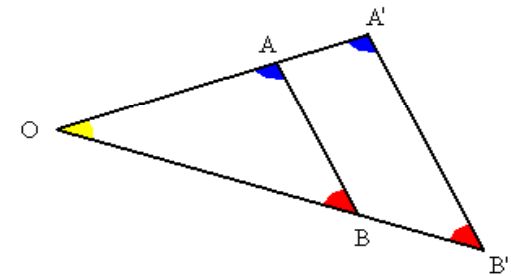


**LA 'CLIENTALIZACION' DE LOS SISTEMAS INDUSTRIALIZADOS DE FACHADA**  
*Una estrategia de producción para la 'clientalización' de la forma  
de los componentes planos de hormigón*



AUTOR: Oriol PARIS VIVIANA  
DIRECTOR: Dr. Ignacio PARICIO ANSUATEGUI



## **Agraïments**

Cristina

Gemma, Alvar, Lici i Jony; Albert, Eloi, Neus, David, Cristina i Eva; Carles; Toni, Sonia i Manolo

Gerard Faneca, Javier Medina, Antoni Recort (Escofet); Antoni Mas (Leiro); Camil Rubio (Presotec 3000); Jose Manuel Rubio (Tecnyconta); Ferran Sen, Carles Esquerrà (Technocladd); Juan Grau (Folcrá); Max Radt, Alex Parella, Jesús Vegas, Antoni Dalmases (Technal); Albert Cuchí, Rafi Serra, Helena Coch i Laia Haurie (UPC); Fernando Sánchez-Mora (Arquitectura Vertida); Anton Maria Checa i al equip (iMat - 2008-2011)

Ignacio Paricio

## **Dedicada**

A la meva família,  
per la seva comprensió i suport durant tot aquest temps.

Moltes gràcies





# ÍNDICE

<b>1</b>	<b><u>INTRODUCCIÓN Y METODOLOGÍA</u></b>	<b>7</b>
1.1	<u>Introducción al contexto socio-económico</u>	7
1.1.1	La industria de la construcción y la clientalización de sus productos	
1.1.2	La clientalización en la arquitectura	
1.1.3	La clientalización en la fachada	
1.2	<u>Metodología</u>	28
1.2.1	Reflexión y conceptualización de la investigación desarrollada en un centro tecnológico	
1.2.2	Análisis de la taxonomía sobre las transformaciones de los materiales de la construcción	
1.2.3	Análisis del grado de clientalización de las áreas más próximas a la industrialización de la fachada	
1.2.4	Entrada en las empresas del sector para validar los costes y las tecnologías desarrolladas	
1.2.5	Reflexiones finales y síntesis sobre la viabilidad de la propuesta en un marco de producción industrial real	
<b>2</b>	<b><u>CONTEXTO Y PROPÓSITO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN</u></b>	<b>39</b>
2.1	<u>Contexto de producción industrial</u>	39
2.2	<u>La técnica del vertido para la conformación de paneles planos</u>	42
2.3	<u>Modelos industriales para la producción de componentes planos de hormigón mediante la técnica del vertido</u>	43
2.3.1	Operaciones necesarias para la conformación de un componente plano de hormigón	
2.3.2	Análisis de las operaciones que intervienen en la definición de la forma	
2.3.3	Conclusiones parciales	
2.4	<u>Objetivo</u>	56
2.4.1	La clientalización en un componente plano de hormigón	
2.5	<u>Hipótesis</u>	57
2.6	<u>Estrategia</u>	58
2.7	<u>Definición del objeto de análisis</u>	58
2.7.1	Definición geométrica del componente	
2.7.2	Requerimientos funcionales del componente	

<b>3</b>	<b><u>ESTADO DEL ARTE</u></b>	<b>63</b>
	<b>Sistemas de producción que incorporan marcos perimetrales metálicos como elementos definidores de la forma en la fabricación de componentes planos de hormigón</b>	
3.1	<u>La importancia de la junta en la construcción por componentes</u>	63
3.2	<u>Marcos perimetrales interiores sin funciones completas de molde</u>	67
3.2.1	El caso de Bellvitge	
3.3	<u>Marcos perimetrales exteriores sin funciones completas de molde</u>	72
3.3.1	El sistema Metal Stud Crete	
3.4	<u>Marcos perimetrales exteriores con funciones completas de molde</u>	76
3.4.1	El sistema Arquitectura Vertida	
3.4.2	El sistema MGS Aluminium	
3.4.3	El sistema Ecolite Concrete	
3.4.4	El sistema de Leiro	
3.5	<u>Conclusiones</u>	96
3.5.1	Marcos perimetrales interiores	
3.5.2	Los perfiles en el perímetro exterior	
<b>4</b>	<b><u>LA CONFORMACIÓN DE COMPONENTES PLANOS BASADOS EN LOS SEMIPRODUCTOS LINEALES</u></b>	<b>105</b>
	<b>La tecnología para la climalización en el mundo de las carpinterías y los bastidores de fachada</b>	
4.1	<u>Introducción</u>	105
4.2	<u>La industria de las carpinterías</u>	108
4.2.1	La ventana	
4.2.2	El sistema <i>Unitized</i> para muro cortina	
4.3	<u>Operaciones necesarias para la definición de la forma de un componente <i>Unitized</i> para fachada ligera</u>	114
4.3.1	Corte de los semiproductos lineales a la longitud deseada	
4.3.2	Mecanizado de los perfiles	
4.3.3	Retestado de perfiles	

4.3.4	Ensamblaje de los perfiles	
4.3.5	Sellado de esquinas	
4.3.6	Operaciones de plementado	
4.4	<u>Conclusiones</u>	122
4.4.1	Una estrategia de producción optimizada	
4.4.2	Conclusiones sobre el componente <i>Unitized</i>	

## **5 PROPUESTA 127**

---

### **La conformación de componentes planos de hormigón para fachada mediante el uso de bastidores clientalizados como encofrado perdido**

5.1	<u>Propuesta de un nuevo proceso industrial</u>	127
5.1.1	El bastidor como molde perdido	
5.2	<u>Perímetro exterior. Funciones añadidas</u>	133
5.2.1	La estanqueidad entre componentes	
5.2.2	El montaje inequívoco	
5.2.3	La compatibilidad entre componentes	
5.3	<u>Perímetro interior. El hueco</u>	136
5.3.1	Mejoras en la fabricación del panel	
5.3.2	Mejoras en el montaje del panel en obra	
5.3.3	Mejoras del panel en servicio	
5.4	<u>Viabilidad técnica de la propuesta</u>	139
5.4.1	La compatibilidad química	
5.4.2	La compatibilidad física	

<b>6</b>	<b><u>EL COSTE DE LA CLIENTALIZACION</u></b>	<b>151</b>
	<b>Análisis de los costes asociados a la definición de la forma de los componentes planos</b>	
6.1	<u>Contexto y bases para el cálculo del coste de la clientalización de la forma</u>	151
6.1.1	Marco de análisis	
6.2	<u>Análisis de los costes asociados a la clientalización de la forma de los paneles de hormigón</u>	155
6.2.1	La relevancia del coste del molde respecto al coste de panel	
6.2.2	Resultados de los costes asociados a la clientalización de la forma de los moldes	
6.3	<u>Análisis de los costes asociados a la ejecución de un bastidor de fachada</u>	162
6.3.1	Los costes asociados a la clientalización de la forma de los bastidores	
6.4	<u>Viabilidad económica de la propuesta</u>	167
6.4.1	El proceso de producción	
6.4.2	El montaje en obra	
<b>7</b>	<b><u>CONCLUSIONES Y PROSPECTIVA</u></b>	<b>179</b>
7.1	<u>Conclusiones de la tesis</u>	179
7.1.1	Componentes clientalizados planos de hormigón	
7.1.2	Competitividad económica	
7.1.3	Mejora de las prestaciones del componente con molde perdido	
7.2	<u>Nuevas estrategias de producción implícitas en la propuesta</u>	182
7.2.1	Mejora del proceso productivo	
7.2.2	Pensamiento mono-material	
7.2.3	Un modelo de producción más ágil y flexible	
7.3	<u>Prospectiva</u>	186

<b><u>Desarrollo 1</u></b>	<b>Análisis de las operaciones necesarias para la conformación de un componente de hormigón en un modelo de producción mixto</b>	<b>215</b>
<b><u>Desarrollo 2</u></b>	<b>Técnicas para la obtención de semiproductos lineales de acero y aluminio para un bastidor de fachada</b>	<b>231</b>
<b><u>Desarrollo 3</u></b>	<b>La conformación de componentes planos de fachada mediante perfiles extruidos de aluminio. Sistema Unitized para fachada ligera</b>	<b>253</b>
<b><u>Desarrollo 4</u></b>	<b>Análisis del coste-variación dimensional para la conformación de un panel plano de hormigón en el contexto de un modelo de producción mixto</b>	<b>273</b>
	▪ <i>Anexo 1.- Tablas de cálculo del panel de 5x3m</i>	299
	▪ <i>Anexo 2.- Documentación grafica del molde del panel de 5x3m</i>	313
	▪ <i>Anexo 3.- Tablas de cálculo del panel de 2x3m</i>	319
	▪ <i>Anexo 4.- Documentación grafica del molde del panel de 2x3m</i>	333
<b><u>Desarrollo 5</u></b>	<b>Análisis del coste-variación dimensional para la conformación de un bastidor para un componente <i>Unitized</i> de fachada ligera</b>	<b>339</b>
	▪ <i>Anexo 5.- Tablas de cálculo del bastidor de 1.500x3.000mm</i>	353
	▪ <i>Anexo 6.- Documentación gráfica del bastidor de 1.500x3.000mm</i>	361
<b><u>Desarrollo 6</u></b>	<b>Análisis del coste-variación dimensional de la propuesta</b>	<b>365</b>
	▪ <i>Anexo 7.- Tablas de cálculo del sistema de producción de la propuesta 5x3m</i>	387
	▪ <i>Anexo 8.- Tablas de cálculo del sistema de producción de la propuesta 2x3m</i>	399
	▪ <i>Anexo 9.- Tablas de cálculo para el análisis de la repercusión de la junta</i>	411
	▪ <i>Anexo 10.- Documentación gráfica de la repercusión de la junta</i>	415
	▪ <i>Anexo 11.- Documentación gráfica del panel propuesta de 5x3m</i>	419
	▪ <i>Anexo 12.- Documentación gráfica del panel propuesta de 2x3m</i>	423

**FICHAS****425**

---

<u>Ficha 1</u>	Sistema Metal Stud Crete	429
<u>Ficha 2</u>	Sistema GRC Aluminium	439
<u>Ficha 3</u>	Sistema Ecolite Concrete	449
<u>Ficha 4</u>	Sistema Leiro	463

**BIBLIOGRAFÍA****479**

## **ABSTRACT**

### **CUSTOMIZATION OF INDUSTRIALIZED CLADDING SYSTEMS**

#### **A production strategy for customization of the shape of flat concrete components**

AUTHOR: Oriol PARIS VIVIANA

Doctoral Advisor: PhD. Ignacio PARICIO ANSUATEGUI

#### **A Change in the Current Production System. Adaptation of Consumer Goods to the User's Needs**

Production systems inherited from *Taylorism* were model successes in the era of economic growth, since there was a high and constant demand giving meaning to mass production of products at a reasonable cost.

These production models are based on the industrial *push* concept, mainly characterized by constantly injecting products into the market, often generating enormous industries that are ceasing to make sense with the current financial crisis and change in the economic model.

Nowadays, many companies that want to stay competitive in the modern market have done so by providing added value to their products through personalization. This indicates an important change in the production model – changing it into a *pull* system – because customer requirements become one of the main production motors.

This ability on the part of industries to personalize their products has not been achieved by sacrificing financial gains, but rather by developing more agile and flexible strategies leading to *just-in-time* production systems. These changes have been made possible because of including computerized management systems in production lines.

### **Production Systems for Flat Concrete Components**

The modern precast concrete industry has not experienced significant changes in their production systems since the 1960s. Although it is true that during this period improvements to materials used in moulds and concrete have been made, there are few companies that have been able to include automated systems in their production processes.

These companies continue producing below the amortization limits of mould costs with well-known consequences for cladding components: geometric restrictions, high repetition and long series production requirements.

### **The Window as a Customized Component**

However, while the concrete industry has become stagnant and impervious to flexibility in their processes, other industries in the construction sector – especially those related to lineal *semi-products* – have figured out how to develop an agile and flexible production system able to offer short production times with few repetitions and without substantially increasing final costs.

A good example of this is the window industry. We have assumed, almost without being aware of it, that the geometry of a window is not conditioned by the manufacturing process but rather it practically depends solely on the geometric requirements of the project.

Along these lines, could the precast concrete industry permit the same flexibility? Could it adapt to project demands and geometric requirements or could industry geometry adapt to architecture simply thanks to the designer's skills?

### **Customized Moulds for the Shape of Concrete Panels**

For the precast concrete industry customization of flat panel shapes is mainly a cost problem. If we increase variability, productivity decreases and costs increase.



This study arose from the intention to offer the industry an industrialized production strategy that does not compel repetition or execution of long series in order to be competitive, but rather allows for adaptation to client needs without implying an additional cost for short series.

Given that the window industry is able to shape customized frames with pinpoint accuracy, the proposal shall use this technology to develop customizable perimetric mould to shape flat concrete *components*, guaranteeing technical and especially economic viability.

### **Added Functions of the Mould vs. Cost Amortization**

As we know, currently high mould costs should have repercussions on the amount of *components* manufactured (amortization) this being the only possible strategy to guarantee economic competitiveness of the system.

In the proposal, the customized mould shall be considered a lost mould and, as a result, there will be no possible amortization. Every concrete *component* shall have its own mould that will contribute more features than the mere restraint of amorphous material.

This is the key that shall guarantee economic viability of the proposal. The concept of current system amortization is substituted by the added functions of the mould.

This proposal shall, therefore, allow for decreases in manufacturing tolerances of concrete *components*, facilitating error-free onsite assembly and guaranteeing water-tightness with a moulded seal and compatibility with other *components*.

Once technological system improvements regarding conventional concrete *components* are demonstrated, we shall observe that the proposal also develops a new industrial production model approximating a *just-in-time* production system.

For all intents and purposes, increases in productivity will no longer be linked to product repeatability; rather both elements will cease to be directly connected thereby clearing the way for a path towards customization of the shape of flat concrete *components*.

### **Prospects for the Future**

The proposal strategy is nothing new if we compare it to certain techniques currently being used in building works with amorphous material.

Shotcreting mortar or plaster on supporting frames that act as moulds or pouring concrete on steel corrugated sheet metal to create a composite floor are clear examples of this. The supporting frame not only acts as a mould, it also offers additional benefits to the entire system.

Conceptualizing this production strategy using *semi-products* – which are easily customized – as lost moulds and offering added features to the overall structure blazes a trail towards new customization products based on amorphous materials.

In the future it should be understood that evolution of amorphous material deposition techniques through a rapid prototyping system permit *just-in-time* production and made-to-measure possibilities for practically any flat or three-dimensional element imaginable.

## **RESUMEN**

### **LA CLIENTALIZACION DE LOS SISTEMAS INDUSTRIALIZADOS DE FACHADA**

**Una estrategia de producción para la ‘clientalización’ de la forma de los componentes planos de hormigón**

AUTOR: Oriol PARIS VIVIANA

DIRECTOR: Dr. Ignacio PARICIO ANSUATEGUI

#### **Un cambio en el modelo de producción actual. La adecuación de los bienes de consumo al usuario**

Los sistemas de producción heredados del Taylorismo han sido modelos de éxito en las épocas de crecimiento económico puesto que disponían de una demanda elevada y constante para dar sentido a una gran producción de elementos a un coste razonable.

Estos modelos de producción están basados en el concepto industrial ‘push’ caracterizado principalmente por la inyección constante de productos al mercado, generando en muchos casos industrias enormes que, con el cambio de modelo económico y la crisis actual, están dejando de tener sentido.

Muchas de las empresas actuales que han querido mantener su competitividad en el mercado actual lo han hecho aportando valor añadido a sus productos a través de la personalización. Esto supone un cambio importante en el modelo de producción – convirtiéndolo en un sistema ‘pull’- ya que los requerimientos del cliente pasan a ser uno de los principales motores de la producción.

Esta capacidad de las industrias para la personalización de sus productos no se ha conseguido a base de sacrificar parte del beneficio económico sino a través del desarrollo de estrategias de producción más ágiles y flexibles que les permiten producir ‘just-in-time’.

Estos cambios han sido posibles gracias a la incorporación de sistemas informatizados de gestión en sus líneas de producción.

### **Los sistemas de producción de los componentes planos de hormigón**

La industria actual de los prefabricados de hormigón no ha experimentado cambios significativos en sus sistemas de producción desde los años 60. Si bien es cierto que durante este periodo se han incorporado mejoras en los materiales utilizados tanto en los moldes como en los hormigones, pocas son las empresas que han podido incorporar sistemas automatizados en sus procesos de producción.

Estas empresas continúan produciendo bajo las limitaciones de la 'amortización' del coste del molde con unas consecuencias bien conocidas en los componentes de fachada: restricciones geométricas, elevada repetición y necesidad de producción de series largas.

### **La ventana como componente clientalizado**

Pero mientras la industria del hormigón ha quedado estancada e impermeable a la flexibilización de sus procesos, otras industrias del sector de la construcción –sobre todo las relacionadas con los semiproductos lineales- han sabido desarrollar un sistema de producción ágil y flexible capaz de dar respuesta a producciones cortas y de pocas repeticiones sin un incremento sustancial del coste final.

Un buen ejemplo de ello es la industria de las carpinterías. Casi sin darnos cuenta hemos asumido que la geometría de una ventana no está condicionada por el proceso de fabricación sino que prácticamente solo depende de los requerimientos geométricos del proyecto.

Así pues ¿Podría la industria de los prefabricados de hormigón permitir la misma flexibilidad? ¿Podría esta adaptarse a la demanda y a los requerimientos geométricos del proyecto? o ¿Solo gracias a la destreza del proyectista pueden adaptarse las geometrías de la industria a las de la arquitectura?

### **Los moldes clientalizables para la conformación de paneles de hormigón**

Para la industria de los prefabricados de hormigón, la clientalización de la forma de los paneles planos es principalmente un problema de coste. Si aumentamos la variabilidad disminuye la productividad y aumenta el coste.

Este estudio nace con la voluntad de poder ofrecer a esta industria una estrategia de producción industrial que no obligue a la repetición ni a la ejecución de series largas para poder ser competitivo sino que le permita adaptarse a las necesidades del cliente sin que esto suponga un sobrecoste para las series cortas.

Puesto que la industria de las carpinterías es capaz de conformar marcos a medida y con precisión milimétrica, la propuesta utilizara esta tecnología para desarrollar moldes perimetrales clientalizables para la conformación de los componentes planos de hormigón, garantizando la viabilidad técnica y sobretodo económica.

### **Las funciones añadidas del molde vs la amortización del coste**

Como sabemos, actualmente el elevado coste de un molde debe ser repercutido en el número de componentes fabricados (amortización) siendo esta la única estrategia posible para garantizar la competitividad económica del sistema.

En la propuesta se utilizará el molde clientalizado como molde perdido y en consecuencia no habrá posible amortización. Cada componente de hormigón tendrá su propio molde que le aportará más funciones que la simple contención del material amorfo.

Esta es la clave que permitirá garantizar la viabilidad económica de la propuesta. El concepto de amortización del sistema actual es substituido por el de funciones añadidas del molde.

Así pues la propuesta permitirá disminuir las tolerancias de fabricación de los componentes de hormigón, facilitará su montaje inequívoco en obra, garantizará la estanqueidad mediante una junta conformada y la compatibilidad con otros componentes.

Una vez demostradas las mejoras tecnológicas del sistema respecto a los componentes de hormigón convencionales veremos como también la propuesta desarrolla un nuevo modelo de producción industrial que le aproxima a un sistema de producción 'just-in-time'.

En efecto, el aumento de la productividad ya no irá ligado a la repetitividad del producto sino que ambos dejarán de estar directamente vinculados abriendo un camino hacia la clientalización de la forma de los componentes planos de hormigón.

### **Prospectiva**

La estrategia de la propuesta no es nada nuevo si lo comparamos con algunas de las técnicas actuales de puesta en obra de los materiales amorfos.

El proyectado de yesos o morteros sobre soportes que ejercen funciones de molde, o el vertido de hormigón sobre chapas grecadas de acero para la ejecución de un forjado colaborante, son claros ejemplos de ello. El soporte no solo ejerce de molde sino que además aporta otras prestaciones al conjunto.

La conceptualización de esta estrategia de producción que utiliza los semiproductos – fácilmente clientalizables- como molde perdido y que aporta más funciones al conjunto abre un camino de desarrollo de nuevos componentes clientalizables basados en los materiales amorfos.

En un contexto de futuro deberá tenerse en cuenta la evolución de las técnicas de deposición de materiales amorfos mediante el sistema de ‘rapid prototyping’ que permiten conformar ‘just-in-time’ y a medida prácticamente cualquier elemento plano o tridimensional imaginable.

# CAPÍTULO 1 – INTRODUCCIÓN Y METODOLOGÍA



*La 'Cientalización' en los modelos actuales de producción*

## **CAPÍTULO 1 – INTRODUCCIÓN Y METODOLOGÍA**

*1.1.- Introducción al contexto socio-económico*

*1.2.- Metodología*

CAPÍTULO 2 – CONTEXTO Y PROPÓSITO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

CAPÍTULO 3 – ESTADO DEL ARTE

CAPÍTULO 4 – LA CONFORMACIÓN DE COMPONENTES PLANOS BASADOS EN LOS  
SEMIPRODUCTOS LINEALES

CAPÍTULO 5 – PROPUESTA

CAPÍTULO 6 – EL COSTE DE LA CLIENTALIZACIÓN

CAPÍTULO 7 – CONCLUSIONES Y PROSPECTIVA





# 1 INTRODUCCIÓN Y METODOLOGÍA

## 1.1 Introducción al contexto socio-económico

Actualmente gran parte de la industria puede ofrecer un amplio catálogo de productos de bajo coste y de una calidad media gracias a la optimización de un modelo de producción heredado de la 'Taylorización'<sup>1</sup>.

Este modelo que ha tenido un considerable éxito durante los periodos económicos de bonanza gracias a la elevada y constante demanda de productos, actualmente está dejando de tener sentido. Por un lado la demanda ha dejado de ser elevada y mucho menos constante y por otro la consciencia de la limitación de los recursos disponibles hacen pensar que este modelo de producción industrial debería de adaptarse a las nuevas necesidades.

Este modelo hasta día de hoy ha permitido optimizar los procesos industriales tanto en tiempo como en coste pero lo ha hecho a cambio de tener que realizar largas series de producción de elementos idénticos.

Esta imposibilidad por introducir la variabilidad del producto en procesos de producción basados en la *organización científica del trabajo*<sup>2</sup> fue muy bien caricaturizada por el propio



---

<sup>1</sup> Taylorización – ver 'Terminología'

<sup>2</sup> Organización científica del trabajo – ver 'Terminología'

Henry Ford a principios del s.XX cuando hablaba de la producción del modelo Ford-T, que todavía ahora es aplicable en mucha de las industrias:

**“...el cliente puede elegir el color, siempre y cuando sea negro...”**

Lógicamente el concepto de variabilidad de producto no tendría sentido si no fuera dentro de un contexto de optimización del sistema industrial con la incorporación de procesos repetitivos, ya que como veremos a lo largo del estudio todas aquellas operaciones que se desarrollan de forma manual, son más susceptibles de recibir modificaciones si la demanda así lo solicitara.

En este contexto, la reivindicación de la identidad por parte del usuario y en consecuencia de la ‘clientalización’<sup>3</sup> de los productos tiene cada día mayor importancia.

Encontramos modelos industriales que han empezado a introducir aspectos de personalización en sus sistemas de producción. Sectores como el de la automoción, el calzado, las telecomunicaciones, el hardware, etc..., permiten modificar aspectos internos y externos de sus modelos ‘estándares’ sin que esto repercuta significativamente en el coste final, más allá del coste añadido de los nuevos materiales o componentes (Fig. 1.1 y 1.2)

Estos modelos industriales que permiten ‘clientalizar’ los productos finales a un mismo precio, no lo han conseguido sacrificando parte del beneficio, si no aplicando nuevas estrategias de producción que permiten tener en cuenta los requerimientos del cliente produciendo prácticamente ‘just-in-time’.

<sup>3</sup> Clientalización – ver apartado ‘Terminología’

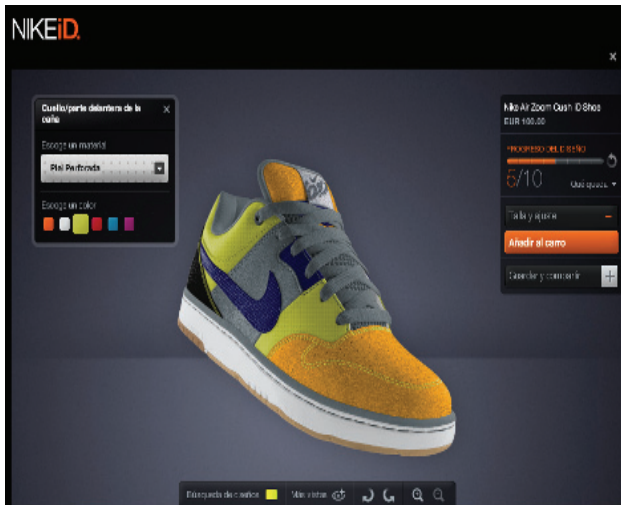


Fig.1.1. Campaña de ‘clientalización’ de NIKE (2009)  
<http://www.nikeid.com>



Fig.1.2. Propuestas para la ‘clientalización’ del iPhone (2011)  
<http://www.colorware.com>

Estas industrias han abandonado los modelos tradicionales de organización científica del trabajo de *F. Winslow Taylor* conocidos actualmente como sistemas de **Producción en masa**<sup>4</sup> o **'Mass production'**, donde sólo la repetición de los elementos y los procesos permite optimizar la producción y disminuir así el coste por unidad (Fig. 1.3).

Cada vez más, este modelo tradicional de producción desarrollado para una demanda elevada y constante donde la variabilidad del producto penaliza sobre la cantidad producida, está dejando de ser competitivo (Fig. 1.4<sup>5</sup>).

Actualmente las empresas que quieren mantener su competitividad en un mercado global y muy diversificado están adaptando sus industrias a modelos de producción flexibles, capaces no solo de adaptar la producción a la demanda sino de aportar mayor competitividad a través de introducir aspectos que interesan al cliente.

Muchos de estos modelos de producción están basados en la filosofía del *'Lean Management'* o en términos de producción *'Lean Manufacturing'*, desarrollada a finales del s.XX por la empresa Toyota.

Los conceptos de producción que defiende el *'Lean Manufacturing'* en muchos aspectos no difieren de los principios aplicados durante los últimos años por la mayoría de las industrias (optimizar los recursos utilizados, mejorar el proceso de producción, evitar operaciones innecesarias, etc...) pero si que difiere principalmente en tres conceptos que marcaron la

<sup>4</sup> Producción en masa – ver 'Terminología'

<sup>5</sup> 'Fundamentos de Manufactura Moderna'. Mikell P.Groover. Bibliografía



Fig.1.3. Sistema de 'producción en masa' de las industrias Ford 1908.

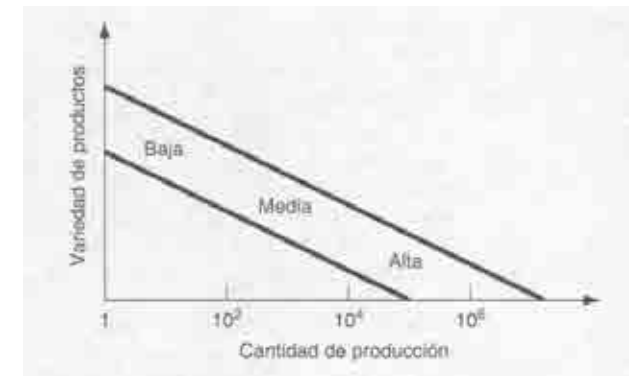


Fig.1.4. Modelo de producción tradicional. Variabilidad vs productividad

diferencia con los otros modelos de producción industrial y que ahora son de interés para este estudio:

- I. Tener en consideración los intereses del cliente
- II. Garantizar la variabilidad del producto
- III. Permitir la flexibilidad y capacidad de adaptarse a la demanda en cada momento

Esto tres conceptos quedan recogidos en el 3r principio de la filosofía del 'Lean Management' aplicada por Toyota:

**<sup>6</sup>Utilice sistemas 'pull' para evitar producir en exceso**

- Suministre a sus clientes al final de producción lo que quieran, donde quieran y en cantidad que quieran. La reposición de material basándose en consumo es el principio básico del 'just-in-time'.
- Minimice su trabajo en proceso y en el almacén de inventario almacenado cantidades pequeñas de los productos y reponiéndolos frecuentemente según lo que el cliente se lleva realmente.
- Sea receptivo a los cambios diarios en la demanda del consumidor en lugar de confiar en programaciones y sistemas informáticos que siguen la evolución de un inventario poco económico.

---

<sup>6</sup> 'Las claves del éxito de Toyota. 14 principios de gestión del fabricante más grande del mundo'. Pag. 80. Jeffrey K. Liker. Bibliografía

Si hasta ahora la producción se caracterizaba por el concepto 'push'<sup>7</sup> donde las industrias inyectan de forma casi constante productos al mercado sin tener en cuenta las consideraciones del futuro cliente, los modelos contemporáneos de producción apuestan por el concepto 'pull'<sup>8</sup>, donde el cliente representa un importante 'motor' para la producción.

En términos de variabilidad de producto, este nuevo modelo de producción busca la **'Personalización en Masa o Mass Customization'<sup>9</sup>**, cuyo objetivo es poder mantener la misma capacidad de producción permitiendo la personalización del producto según las necesidades del cliente.

Lógicamente, para conseguir aplicar este modelo de producción ha sido de vital importancia las mejoras de los sistemas de fabricación y de las tecnologías de la información que gestionan los procesos de producción. Con estas tecnologías se ha podido introducir modificaciones al producto just-in-time con una elevada precisión sin alterar el proceso industrial.

Si hasta día de hoy la producción de *stocks* permitía mantener escondidas las ineficiencias del proceso de producción (averías, fallos de maquinaria, retrasos en los suministros, etc...), la filosofía que defiende al *Lean Management* permite minimizarlos o prácticamente eliminarlos haciendo más eficiente el ciclo de producción (Fig. 1.5<sup>10</sup>).



Fig.1.5. Producción de 'stock' como blindaje a las ineficiencias del sistema tradicional de producción continua

<sup>7</sup> Push – ver 'Terminología'

<sup>8</sup> Pull – ver 'Terminología'

<sup>9</sup> Personalización en Masa – ver 'Terminología'

<sup>10</sup> 'Producir sin parar, ¿es éste el objetivo a perseguir?' Luis Cuatrecasas Arbos



Fig.1.6. Menú de personalización para los ordenadores portátiles DELL. <http://www.dell.com>

Empresas como *Dell*, *Hewlett-Packard*, *Ford* o *Toyota* están aplicando desde los años 90 este concepto de producción, flexible, a tiempo, y adaptado a las necesidades del cliente ofreciendo productos a costes competitivos.

Ahora más que nunca empieza a ser un requerimiento necesario para todas las empresas que quieran mantener o aumentar sus niveles de competitividad en el mercado global actual (Fig. 1.6 y 1.7).

<sup>11</sup> [...] *las organizaciones cada vez buscan más conseguir la habilidad de diseñar, producir y suministrar rápidamente productos que satisfacen las necesidades específicas de cada cliente diferenciado a precios cercanos a la producción tradicional en masa. Es decir, satisfacer las necesidades específicas de los clientes, siendo eficientes en costes y produciendo en grandes volúmenes [...]*

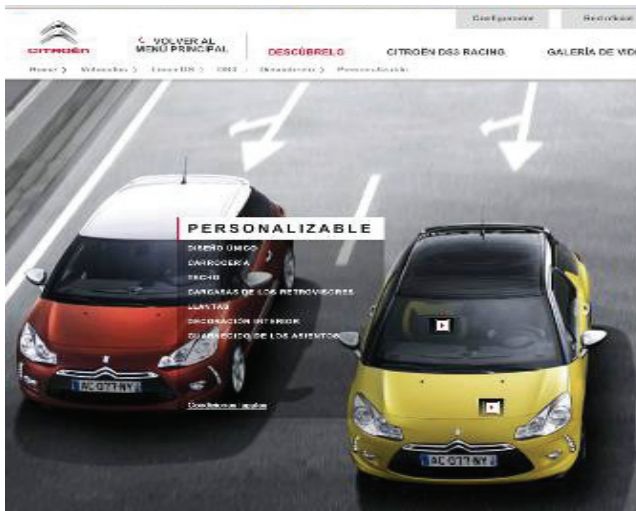


Fig.1.7. Campaña 2011 para el coche Citroën DS3 'Personalizable'. <http://www.ds3.citroen.com/>

Lógicamente las empresas que han actualizado sus sistemas de producción no lo han hecho de la misma forma puesto que cada una de ellas parte de objetivos y capacidades productivas distintas, pero podemos diferenciar dos conceptos claros sobre los que han evolucionado.

Por un lado tenemos **'la flexibilización en un modelo de producción masiva'**. En este caso nos referimos a modelos de producción, que sin perder su gran capacidad, han incorporado aspectos de personalización en sus productos. Podría ser el caso de las empresas automovilísticas o del calzado deportivo, por ejemplo.

<sup>11</sup> 'Beneficios de la personalización en masa' – J. R Vilana 2006. Bibliografía

Y por otro lado tenemos **'la producción a medida y por encargo'**. Este modelo de producción está pensado para una respuesta 'just-in-time'. La capacidad de producción es mucho menor que el caso anterior pero permite adaptarse con mayor facilidad a los requerimientos del cliente.

En este caso el cliente, conocedor de la tecnología que desarrolla la empresa, encarga el desarrollo de su producto. Entre estas empresas se incluyen todas aquellas cuya producción es más cercana a un modelo de producción artesanal.

Como veremos más adelante el modelo de producción para la conformación de paneles planos de hormigón está más cerca del primer modelo que de este segundo, pero sin llegar a incorporar la flexibilización en su cadena de producción.

### **1.1.1 La industria de la construcción y la clientalización de sus productos**

De la misma manera que sucede con las industrias de otros sectores, la clave para conseguir la personalización en los productos de la construcción no sólo depende de la automatización y robotización de los procesos productivos, puesto que ya han sido desarrolladas tecnologías durante estas últimas décadas sin conseguir una personalización en masa:

➤ ***Depende principalmente de la estrategia de producción.***

Si analizamos los procesos de producción de las industrias suministradoras de *elementos*<sup>12</sup>, *semiproductos*<sup>13</sup> o *componentes*<sup>14</sup>, para el sector de la edificación observamos como las que

---

<sup>12</sup> Elemento. Ver Terminología





Fig.1.8. Sistema de 'Producción en masa' para placas alveolares de hormigón. Mabeton España S.A.



Fig.1.9. Sistema de fachada Aquapanel Outdoor de Knauf. Viviendas en Poblenou. Barcelona.

han industrializado sus procesos, lo han hecho mejorando y automatizando las instalaciones en base al modelo tradicional de producción, generando en muchos casos enormes industrias que sin la demanda habitual tienen gran parte del capital inmovilizado en maquinaria y 'stocks'<sup>15</sup> de material (Fig. 1.8) que como hemos visto genera una situación insostenible en el tiempo.

Hasta día de hoy, el principal objetivo de estas industrias ha sido conseguir elevados rendimientos de producción sin tener demasiado en cuenta las necesidades del cliente siguiendo el concepto 'push' de producción industrial.

Pero en este nuevo contexto, con un mercado cada vez más competitivo y globalizado, estas industrias necesitan encontrar nuevos modelos de producción capaces de responder 'just-in-time' adaptados a la demanda y sensibles a los intereses del cliente.

De los múltiples productos que la industria suministra al sector de la construcción prestaremos especial atención aquellos obtenidos por procesos de transformación aplicados a los materiales amorfos<sup>16</sup>, los semiproductos y a los componentes.

El principal interés por estos materiales y sus procesos de transformación radica en su posición aventajada para poder ofrecer soluciones industrializadas y/o prefabricadas de fachada, desde los sistemas ligeros basados en la tecnología del 'steel frame' hasta los sistemas de paneles pesados de hormigón (Fig. 1.9).

---

<sup>13</sup> Semiproducto. Ver Terminología

<sup>14</sup> Componente. Ver Terminología

<sup>15</sup> Stock. Ver Terminología

<sup>16</sup> Material amorfo. Ver Terminología



### La industria de los materiales AMORFOS

Posiblemente representa una de las formas del material más antigua utilizada en la historia de la construcción donde los procesos de conformación se realizaban directamente a obra. La tierra o el cemento son dos claros ejemplos de materiales amorfos que han sido y son utilizados para la construcción de la arquitectura.

Pero nuestro interés se centra en el momento actual y sobretodo en las industrias que conforman estos materiales amorfos.

Lógicamente,

*<sup>17</sup>[...] muchos materiales son amorfos en algún momento de su proceso de transformación y, en ese estado se les aplica una técnica de conformación para que, por un proceso físico o químico, adopten una forma determinada [...]*

Así pues tanto el vidrio como el aluminio, por ejemplo, han sido materiales amorfos antes de ser conformados pero en este caso sus procesos de transformación se han desarrollado en un entorno industrial (Fig. 1.10).

De todos los posibles materiales amorfos analizamos el hormigón como material utilizado para conformar paneles planos autoportantes de fachada.

---

<sup>17</sup> Pag. 7.3. 'Análisis de las áreas de compatibilidad entre construcción e industrialización. Los semiproductos y otras alternativas'. Ignacio Paricio Ansuátegui.

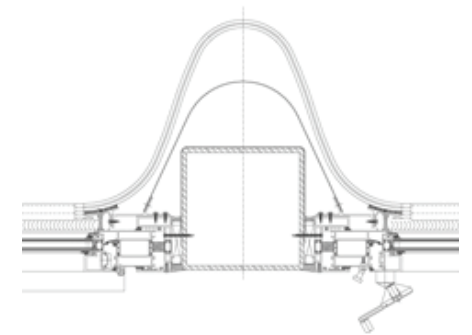
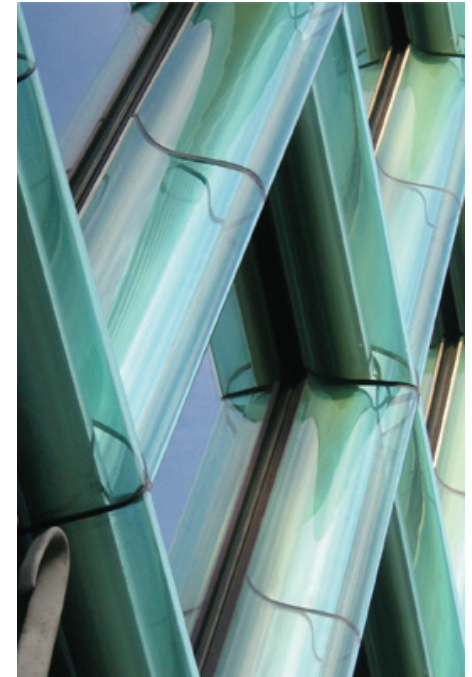


Fig.1.10. Fachada para 40 Bond, Apartment Building de Herzog & de Meuron. Empresa Cricursa



Fig.1.11. Panel de hormigón para el Hotel Catalonia de Plaza Europa. Barcelona. Arq. Jean Nouvel. Empresa Escofet

Gracias a su facilidad de conformación en condiciones normales y su elevada capacidad para adoptar prácticamente cualquier forma, textura o color, seguramente este representa el material amorfo más utilizado en la construcción, y de hecho desde un punto de vista teórico este debería ser uno de los materiales ideales para la clonalización de la forma de cualquier elemento (Fig. 1.11).

Pero aun disponiendo de este elevado potencial para ser conformado en cualquier geometría, en un entorno industrial los elementos resultantes siguen muy atados a las reglas de producción.

- ***Conformar un material amorfo implica el desarrollo de un molde capaz de contener la pasta y cuyo coste es imputado al elemento producido.***

Este ha sido y sigue siendo el hándicap de las industrias dedicadas a la conformación del hormigón, 'obligadas' a desarrollar sistemas de producción que amortizan los costes del molde no les ha permitido introducir la variabilidad de la forma en los elementos de una serie de producción, sobre todo cuando estos elementos son componentes.

Aunque la mayoría de las industrias especializadas en los elementos de hormigón prefabricado producen componentes, no debe olvidarse que no siempre es así. También disponemos de empresas que con el hormigón desarrollan elementos que deben considerarse semiproductos ya que podremos modificarlos y adaptar su geometría en función de las necesidades geométricas del proyecto (Fig. 1.12).



Fig.1.12. Semiproducto de hormigón. Panel Omega Z. Empresa Pabitex

## La industria de los SEMIPRODUCTOS

Inicialmente muchos de estos productos no estaba pensada para la aplicación en el sector de la edificación, pero poco a poco el sector ha ido introduciéndolos como nuevos materiales y elementos constructivos mucho más especializados, mejorando las prestaciones que los materiales ligados a la construcción tradicional no podían aportar.

Si analizamos los procesos industriales que conforman la mayoría de estos semiproductos, observamos cómo estos están muy orientados a garantizar una elevada **producción en continuo** para minimizar el coste y poder ser competitivos.

Esta optimización del proceso industrial en busca de un aumento de la productividad ha llevado a unos modelos de producción incapaces de aportar mayor variabilidad a sus productos de la que ya ofrecen (Fig. 1.13).

La industria ha optimizado de tal forma los procesos de transformación primaria de los materiales que cualquier modificación alteraría la línea de producción y en consecuencia los costes finales del producto.

Conscientes de sus limitaciones productivas, algunas empresas conformadoras de semiproductos están intentando introducir aspectos de clientalización en su producción sabiendo que este podría ser un valor añadido a sus productos y así mantener su competitividad en el mercado actual (Fig. 1.14).

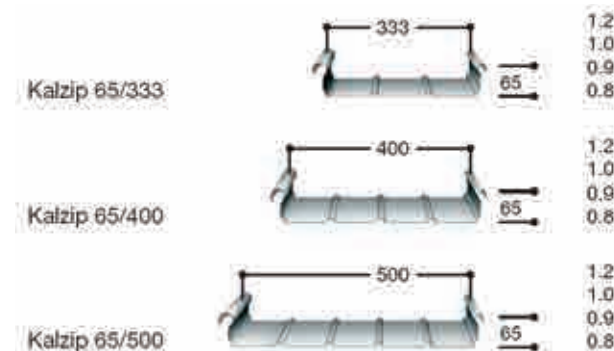


Fig.1.13. Perfilado en continuo de bandejas. Disponibles tres dimensiones. Semiproductos.



Fig.1.14. Intentos de clientalización en los paneles sándwich, modificables en una sola dimensión. Empresa ACH

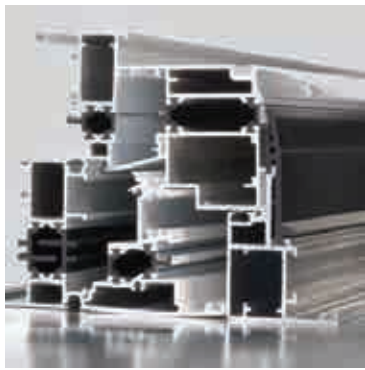


Fig.1.15. Perfiles de aluminio extruidos. Semiproductos lineales



Fig.1.16. Paneles de madera aglomerada tipo OSB. Semiproductos planos



Fig.1.17. Componente. No admite transformación geométrica.

Aun así una de las claves que ha facilitado la introducción de los semiproductos en el sector de la construcción ha sido su capacidad para ser transformados geoméricamente a través de las transformaciones secundarias<sup>18</sup> una vez fabricados (Fig. 1.15 y 1.16).

En efecto, los semiproductos podemos cortarlos, plegarlos, curvarlos, ensamblarlos, etc... en función de su morfología (lineales, planos o tridimensionales) sin que pierdan sus propiedades iniciales. De aquí su denominación, estos son elementos que todavía deben recibir alguna transformación geométrica para ser utilizados como productos finales en obra.

Así pues, la industria desarrolla los semiproductos según criterios geoméricos industriales de producción y de transporte, y los procesos de construcción los transforman según necesidades geométricas del proyecto.

- ***Esta transformabilidad de los semiproductos ha facilitado su rápida y exitosa incorporación en los procesos constructivos y como veremos a lo largo del estudio esta puede ser la clave para el desarrollo de componentes clientizados de hormigón.***

### **La industria de los COMPONENTES**

Otras veces encontramos elementos en la construcción que no pueden recibir transformaciones ya que perderían parte de sus propiedades iniciales. Este es el caso de los componentes (Fig. 1.17).

---

<sup>18</sup> Transformaciones secundarias: Cortar, plegar, remonición, ensamblar, etc...

La mayoría de las industrias de conformación de componentes están basadas en el mismo modelo de producción que las empresas de semiproductos. Estructurando sus procesos en una ***producción en continuo*** entendida en este caso como una sucesión ordenada de operaciones discontinuas de transformación muy optimizadas que no admiten prácticamente modificaciones.

Pero la gran diferencia entre la industria de los semiproductos y la industria de los componentes está en que esta última conforma elementos para la construcción que no pueden modificarse y que por lo tanto no dejan margen al proceso constructivo para adaptarlos a los imprevistos geométricos de los proyectos, sino más bien al contrario, muchas veces son estos los que llegan a condicionar ciertos aspectos del proyecto.

Desde el punto de vista de la clientalización esta característica transmite toda responsabilidad al proceso industrial, ya que a diferencia de lo que sucede con los semiproductos una vez el componente ha salido de fábrica no queda prácticamente margen en el proceso constructivo para adaptarlos a los imprevistos geométricos de la obra.

Así pues, si las industrias de los componentes producen de forma continua elementos independientes -unidades indivisibles- la optimización del proceso industrial les ha llevado a la repetición de estas unidades indivisibles tantas veces como sea posible, dificultando enormemente la incorporación de la variabilidad en su proceso de producción.

La variabilidad en estas líneas de producción encarecen tanto el producto que lo hacen poco viable económicamente y solo en algunos proyectos puede asumirse este sobrecoste en elementos puntuales (Fig. 1.18 y 1.19)



*Fig.1.18. La repetición de componentes como estrategia para la composición. Conformación de geometrías tridimensionales con componentes planos en los puntos singulares. Estudio Aires Mateus. Dublin*



*Fig.1.19. Componente tridimensional de GRC. Viviendas Torre Baró. Arq. J. MIAS*



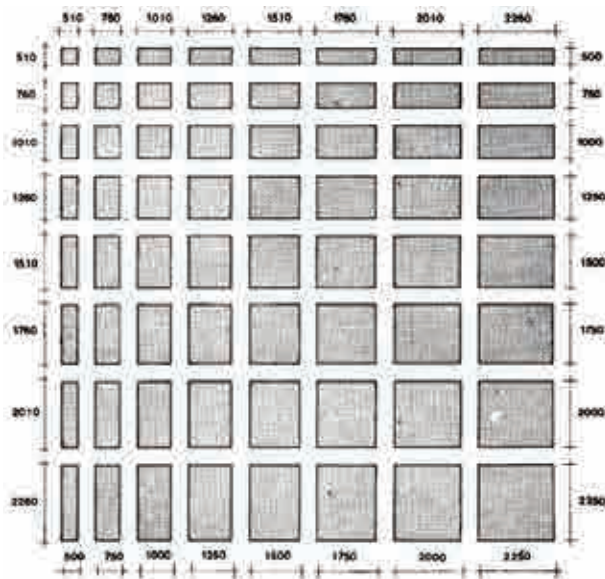


Fig.1.20a. 'Criterio de diseño' para huecos y carpinterías según la NTE-FCL (España 1974)

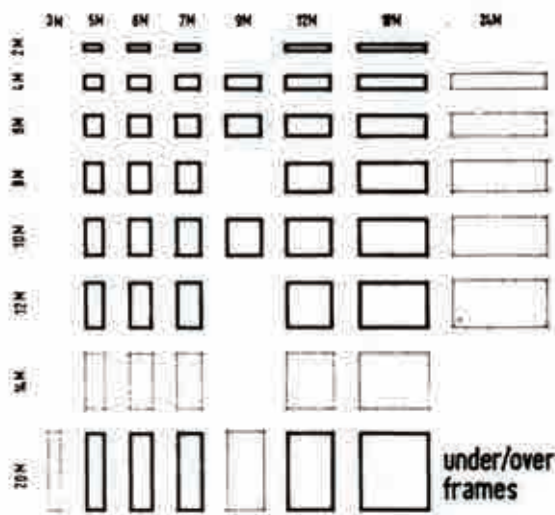


Fig.1.20b. Propuesta de modularización de los componentes para el sistema 'Metal Frame Construction' de Nenck

Esta producción repetitiva de los componentes ha sido reinterpretada por el sector de la construcción a través de la 'modularización' o repetición de una misma dimensión en los proyectos.

La incorporación de todos estos productos prefabricados de gran tamaño a llevado a lo largo de la historia de la construcción a varios intentos fallidos a establecer reglas para una construcción 'modularizada', muchas veces a través de diversas normativas de la edificación impulsadas por las industrias y apoyadas por las administraciones.

Ejemplos como "AFNOR NF P01-101- Dimensions de coordination des ouvrages et des éléments de construction" (Francia 1942) la "ISO 1006:1983-Building construction Modular coordination. Basic module" (Internacional 1983) o una más cercana la antigua NTE-FCL- Norma Tecnológica de la Edificación-Fachadas, carpinterías de aleaciones ligeras -España 1974- (Fig.1.20a) y otras publicaciones<sup>19</sup>, dan fe de esta voluntad por racionalizar la construcción a través de la 'modularización' de los elementos constructivos (Fig.1.20b<sup>20</sup>).

Actualmente, esta racionalización de los sistemas constructivos se traduce en la definición de uno o varios módulos constructivos que permiten trabajar con componentes y/o semiproductos prácticamente enteros minimizando las operaciones de transformación en la obra. Ahora ya no son las normativas quienes recomiendan esta modulación de los proyectos sino que esta vez lo dicta la industria directamente.

<sup>19</sup> 'Dimensional co-ordination for Building (1968)', 'La situation de la coordination modulaire dans le monde. G.Blanchère 1973', 'Technique de la coordination modulaire dans la construction de logements: la méthode CRA. 1975. (Bibliografía)

<sup>20</sup> 'Sistema 'Metal Frame Construction' de Nenck. 'Industrialized building v.2'. 50 International Methods. 1965. Pag. 108 (Bibliografía)

Cada vez encontramos más sistemas industrializados y/o prefabricados que no dudan en indicar sus dimensiones habituales de producción para convertirse en una de las medidas de referencia para el proyecto.

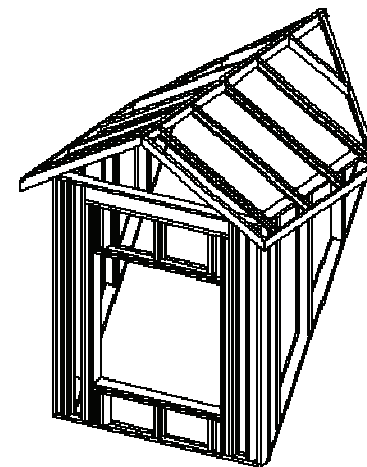
Pero paralelamente a estos intentos por introducir la modularización en los proyectos por parte de algunas industrias de componentes, encontramos ejemplos donde más bien la tendencia ha sido todo lo contrario.

En efecto, las industrias basadas en la conformación de componentes mediante semiproductos lineales han sabido desarrollar un proceso de producción que permite la variabilidad de la forma de sus componentes (bastidores de fachada, carpinterías de ventana o incluso elementos tridimensionales (Fig. 1.21).

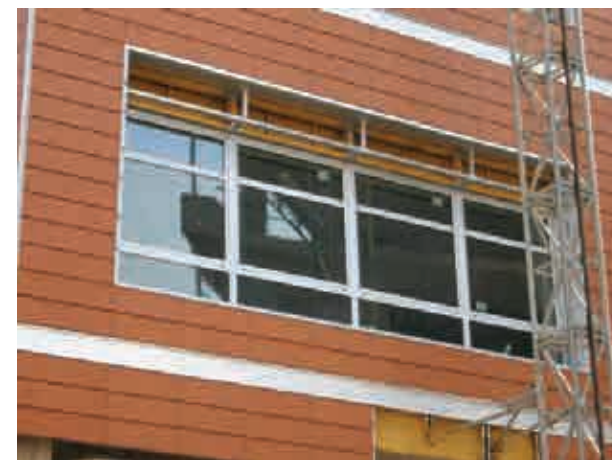
Tanto las dimensiones de los huecos de una fachada como su grado de repetitividad no están condicionadas por ninguna limitación del sistema de producción sino que este deja total libertad para la composición de la fachada.

Incluso con la incorporación de estas tecnologías entre los sistemas de construcción convencional nos da una idea de cómo esta industria ha sabido adaptarse a las geometrías que encontraban en la obra.

Un claro ejemplo de ello es la ejecución del hueco de ventana. Muchas veces el tamaño final del hueco no se ajusta exactamente a las dimensiones previstas en el proyecto. Las tolerancias admitidas durante el proceso de construcción obligan al carpintero a tomar las dimensiones finales 'in-situ' (Fig. 1.22).



*Fig.1.21. Elemento tridimensional adaptado a la pendiente de la cubierta conformado mediante semiproductos lineales*



*Fig.1.22. La industria de las carpinterías ha sabido adaptarse a las dimensiones de cada proyecto*



Fig.1.23

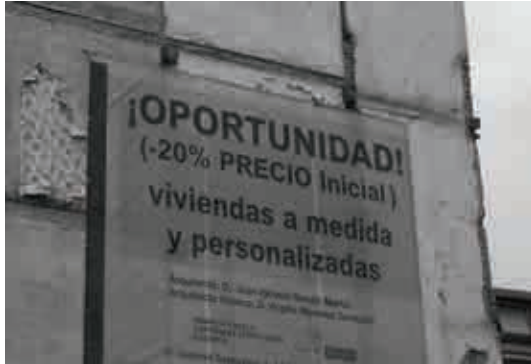


Fig.1.24. Ejemplos de empresas promotoras de viviendas que acuden a la 'personalización' como valor añadido. 2011

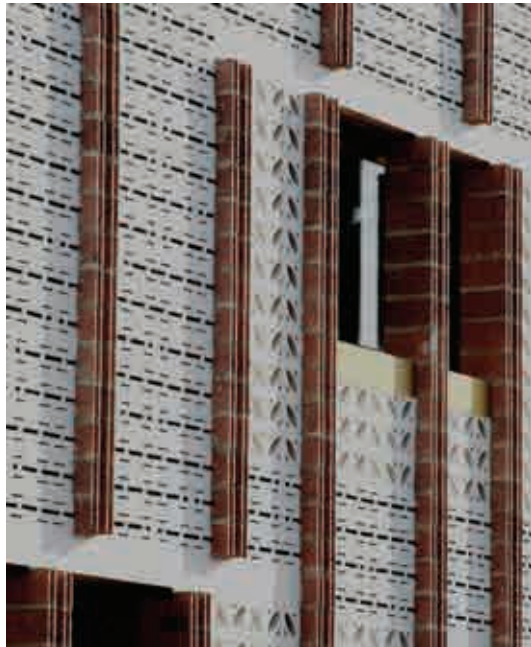


Fig.1.25. Ampliación del 'Instituto Josep Sureda i Blanes' en Palma de Mallorca. SMS Arquitectos

La ejecución de las ventanas con las 'nuevas' medidas del proyecto no ha representado ningún problema, ni desde el punto de vista de la geometría ni desde el coste.

- ***La industria de las carpinterías que suministra componentes a la obra ha desarrollado una estrategia de producción que les permite dar respuesta a la variabilidad de la forma manteniendo los costes.***

### 1.1.2 La clientalización en la arquitectura

Como sucede en otros sectores industriales, gracias a la situación socio-económica actual, el sector de la construcción está empezando a reconocer al cliente como al principal motivo de su razón de ser, o al menos así lo expresan (Fig. 1.23 y 1.24). La falta de demanda ha provocado el desarrollo de nuevas estrategias comerciales poco utilizadas durante estos últimos años.

En un contexto industrial, una de las principales características que identificaría el proyecto arquitectónico sería la '*variedad de producto*'.

Difícilmente podemos encontrar dos edificios iguales. Estas diferencias pueden venir motivadas por el equipo técnico que lo desarrolla, por el emplazamiento, el programa funcional, las tecnologías utilizadas durante la ejecución, etc... pocas veces la industria dispondrá de un 'producto repetitivo' para construir. Las excepciones las podríamos encontrar en la construcción de grandes polígonos industriales o de vivienda colectiva.

Los procesos constructivos basados en operaciones artesanales normalmente ligadas a los gremios permiten una elevada clientalización de la forma. La construcción con pequeños



elementos permite no solo modificar la geometría de la propia pieza cerámica sino que a través de la yuxtaposición de estos pequeños elementos permite generar una gran diversidad de geometrías (Fig. 1.25).

El salto a una construcción con elementos de mayor tamaño (semiproductos), muchas veces condicionados geoméricamente por el propio proceso de conformación, ha menguado la capacidad de adaptarlos a otras geometrías que la arquitectura podía proponer.

La tendencia actual de trabajar con elementos constructivos cada vez más grandes y más acabados (componentes) no ha dejado de aumentar la dificultad para adaptar los sistemas constructivos a la forma del edificio (Fig. 1.26).

Los sistemas industrializados han buscado, con más o menos éxito, la manera de introducir el concepto de la personalización en sus productos, puesto que adaptarse a las necesidades de cada proyecto hace más competitivo al sistema.

Pero muchas veces esta personalización no se desarrolla en el si del proceso industrial sino a través de carenados en la propia envolvente del edificio (Fig. 1.27).

Sea cual sea la estratégica que cada empresa haya introducido en su sistema de producción para adaptarse a las necesidades de cada proyecto (cliente), es evidente que La clientalización de la forma de los productos de la construcción es todavía un hándicap que gran parte de la industria no ha resuelto.

Así pues,



*Fig.1.26. Módulo tridimensional fabricado por Modultec para un conjunto de viviendas en Torelló. TAC Arquitectes.*



*Fig.1.27. Soluciones epidérmicas de clientalización. Sistema CompacHabit*



Fig.1.28. Fachada de paneles conformados a base de semiproductos y componentes. Paris. J.Prouvé

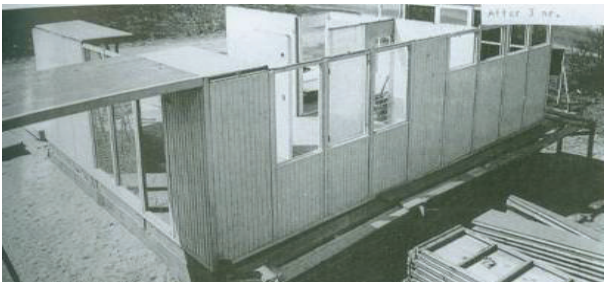


Fig.1.29. Vivienda prototipo construida mediante semiproductos y componentes de Konrad Wachsmann 1945



Fig.1.30. Montaje de la fachada del Hotel AC de Barcelona basada en los semiproductos . MAP Arquitectos

- **Pensar en la clientalización de la arquitectura es poner en relación dos aspectos fundamentales: la forma del edificio con la forma de los materiales y/o elementos. Dependerá de la capacidad que tengan estos y de sus procesos de transformación que podamos conseguir las geometrías deseadas y aumentar así el potencial de clientalización.**

### 1.1.3 La clientalización en la fachada

De la misma manera que lo han hecho los otros sistemas constructivos del edificio, los sistemas de fachada han ido evolucionando hacia soluciones más industrializadas.

En este sentido, la fachada es uno de los subsistemas del edificio que con mayor énfasis debe de afrontar los aspectos más amplios de la clientalización puesto que como parte de la envolvente del edificio muchas veces toma una gran relevancia en los proyectos urbanos.

La evolución de las geometrías y de los lenguajes compositivos de las fachadas han ido evolucionado de la mano de los materiales, los elementos y los sistemas constructivos disponibles en cada momento, estableciendo en muchos casos y para las soluciones industrializadas una relación directa entre la tecnología y el lenguaje de la fachada (Fig.1.28 y 1.29).

Pero de todos los sistemas industrializados de fachada los basados en los semiproductos y en concreto los semiproductos lineales y planos se han posicionado como uno de los sistemas de mayor éxito (Fig. 1.30).

Su elevada capacidad para ser transformados durante el proceso de montaje les ha permitido adaptarse fácilmente tanto a los requerimientos geométricos del proyecto como a los de la obra.

Aun así los sistemas de fachada basados en los componentes han mantenido una amplia aceptación en el mercado durante los últimos años, posiblemente gracias a la elevada velocidad de montaje. Construir con componentes permite aumentar las garantías de calidad a la vez que disminuye el tiempo de ejecución.

De los diferentes componentes de fachada, el estudio se centrara en los conformados con hormigón cuyo uso a lo largo de la historia ha sido de gran importancia sobretodo en periodos de mayor demanda de vivienda.

Desde un punto de vista de la clientalización y por lo tanto de la variabilidad de producto, estos sistemas prefabricados de fachada siempre se han caracterizado por la elevada repetición de elementos (Fig. 1.31<sup>21</sup>, 1.32<sup>20</sup> y 1.33).

Plantearse la composición de una fachada con sistemas prefabricados de hormigón siempre ha obligado a establecer un 'módulo' constructivo. Una medida repetible.

Del mismo modo que sucedía durante los años 50 y 60, en los sistemas de producción actual la 'medida repetible' sigue siendo la condición 'sine qua non' para poder garantizar la competitividad económica de estos sistemas.

---

<sup>21</sup> 'Thermocrete' y 'Balency': 'Industrialized building v.2 y v.3'. 50 International Methods. 1965 (Bibliografía)



Fig.1.31. 'Thermocrete'. Sistema Centroeuropeo para la construcción de viviendas



Fig.1.32. 'Balency'. Sistema Francés para la construcción de viviendas



Fig.1.33. Viviendas en Bellvitge 1970 (Barcelona)



Fig.1.34. Panel sándwich para una Agencia de publicidad en Reim. Arq. Amann & Gittel Architekten (Munich)



Fig.1.35. Componentes de hormigón para fachada. Bloque de viviendas en Valle Hebron 2011 (Barcelona). Empresa MGS

El origen de esta condición debemos buscarlo en la estrategia de producción de las industrias de los componentes de hormigón.

La optimización de los procesos realizados en fábrica ha llevado al desarrollo de un modelo de producción cerrado, rígido, obligado a trabajar con series largas y con una elevada repetición de elemento para poder garantizar su competitividad frente a otros sistemas de fachada.

Lógicamente, esta optimización de los procesos de fabricación ha repercutido directamente en el lenguaje compositivo de las fachadas.

Dada la repetición como condición endógena del sistema, los arquitectos han desarrollado varias estrategias para evitar la imagen tosca y repetitiva de los prefabricados de los años 60. A veces lo han hecho a través del diseño de paneles abiertos que definen parte del hueco (Fig. 1.34) otras veces mediante la combinación de tres o cuatro piezas iguales combinadas estratégicamente dejando espacios entre paneles a modo de hueco (Fig. 1.35, 1.36a y 1.36b).

Los paneles prefabricados de hormigón se conciben como componentes rígidos incapaces de ofrecer la mas mínima variabilidad de su forma ni capacidad por adaptarse a las condiciones geométricas de la construcción *'in-situ'* y la tecnología de las carpinterías se utiliza como elementos de relleno capaz de dar respuesta perfectamente a la geometría generada por la ausencia del panel, asumiendo gran parte de las tolerancias del conjunto de la fachada durante la fabricación y el montaje.



En este último caso el desarrollo de las tecnologías basadas en los semiproductos –tanto lineales como planos- ha ayudado a la competitividad económica del conjunto de la fachada.

Así pues, parece que a los sistemas de producción de los paneles de hormigón no les podemos pedir modificaciones geométricas de sus componentes en una misma serie de producción pero en cambio no nos plantea ningún problema pedir carpinterías a medida y adaptadas a la obra.

En muchos casos y de forma intuitiva el proyectista ha asumido la capacidad de las industrias de las carpinterías por adaptarse a las geometrías no esperadas de la obra sin que esto influya significativamente en el coste final.

Como veremos, esta estrategia utilizada en la construcción de muchas de las fachadas prefabricadas de hormigón, empieza a vislumbrar algunos de los aspectos mas importantes que se desarrollaran en el estudio.

- ***El modelo de producción industrial de componentes basados en los semiproductos es mucho más ágil, flexible y clientalizable que el modelo de producción de los componentes planos de hormigón.***



Fig.1.36a. Edificio Inakasa, Las Palmas de Gran Canaria.  
Arq: Alexis Lopez Acosta



Fig.1.36b. Edificio CEIP Roc Blanc. Terrassa 2004.  
Arq. Picharchitects

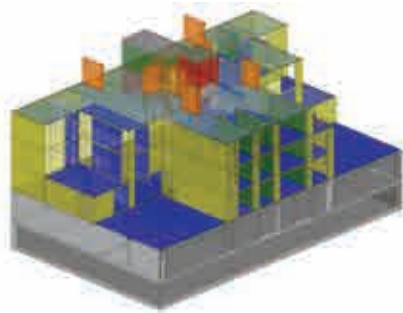


Fig.1.37. Descomposición de un edificio real en componentes. Conjunto residencial en St. Pere de Ribes. Arq. Clotet-Paricio

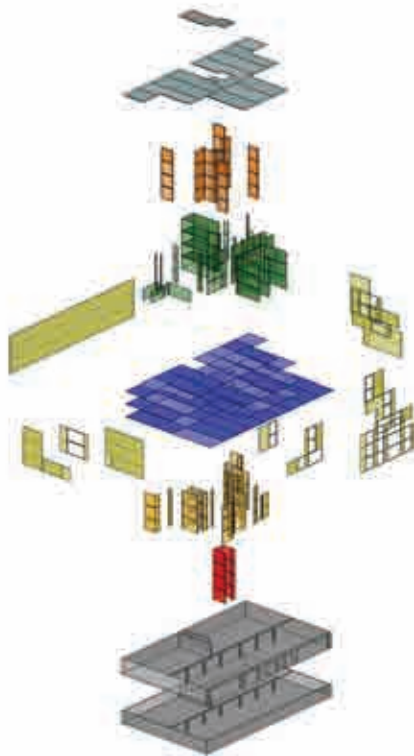


Fig.1.38. Los siete componentes Completos, Compatibles y Clientalizables

## 1.2 Metodología

### 1.2.1 Reflexión y conceptualización de la investigación desarrollada en un centro tecnológico

Este estudio se ha desarrollado en el ámbito de la investigación realizada en el *iMat*<sup>22</sup> durante el periodo comprendido entre el 2008 y 2011 a través del proyecto titulado '*Tall de l'edifici*', cuyo objetivo era la mejora de los procesos y los sistemas constructivos utilizando como principal estrategia la descomposición de los edificios en siete componentes compatibles (Fig. 1.37 y 1.38).

El proyecto tenía como prioridades mejorar tanto la calidad de los productos como de sus procesos de puesta en obra, optimizar el coste de la construcción y garantizar que los sistemas resultantes fueran capaces de adaptarse a las necesidades del proyecto. Esto motivó el desarrollo de unos componentes para la edificación que fueran Completos, Compatibles y Clientalizables.

Como ayuda al proyecto y a la obtención de estos componentes se desarrolló un hormigón de ultra alta resistencia armado con fibras (UHPCFR) que permitió conseguir elementos para la edificación mucho más delgados, optimizando de esta forma tanto la superficie útil de los edificios como su peso total, a la vez que permitía mejorar el proceso de fabricación de los componentes.

<sup>22</sup> *iMat* – Centre Tecnològic del Construcció. Barcelona

Mi vinculación con el proyecto del ‘*Tall de l’edifici*’ como responsable del desarrollo y ejecución de los prototipos a escala real me acercó a los procesos industriales permitiéndome comprender las problemáticas de producción de las industrias (Fig. 1.39).

Esta colaboración directa con algunas de las empresas del *patronato*<sup>23</sup> del *iMat* facilitó mi aproximación a la industria de los prefabricados de hormigón y a la industria de las carpinterías.

- ***Este estudio aporta una reflexión y conceptualización de la investigación iniciada en el contexto del iMat atendiendo a los requerimientos de una producción industrial real.***

### 1.2.2 Análisis de la taxonomía sobre las transformaciones de los materiales de la construcción

Como ya hemos visto en el apartado ‘1.1 Introducción al contexto socio-económico’, para la conceptualización de los análisis desarrollados en el estudio se ha tomado como referencia la taxonomía planteada en la tesis<sup>24</sup> doctoral del *Dr. Ignacio Paricio Ansuátegui* sobre el ‘Análisis de las áreas de compatibilidad entre la construcción y la industrialización’ (Fig. 1.40) utilizada como sistema de clasificación para diferenciar las distintas técnicas de puesta en

<sup>23</sup> Empresas que formaban parte del patronato del *iMat* durante el período de desarrollo de la tesis: *Basf, Cecam, Piera, Cerámicas Calaf, Cementos Molins, Circa, CompactHabit, Dupont, Alsina, Escofet, Formica, Hormipresa, Hydro, Mecanotubo, Poliuretanos, Roca, Rockwool, Texsa, Uniland, ITeC.*

<sup>24</sup> Título tesis doctoral: ‘Análisis de las áreas de compatibilidad entre construcción e industrialización. Los semiproductos y otras alternativas’. *Ignacio Paricio Ansuátegui, Barcelona 1979.*



Fig.1.39. Exposición de los componentes desarrollados en el *iMat*, para el proyecto ‘*Casa Barcelona*’. *Construmat 2011*

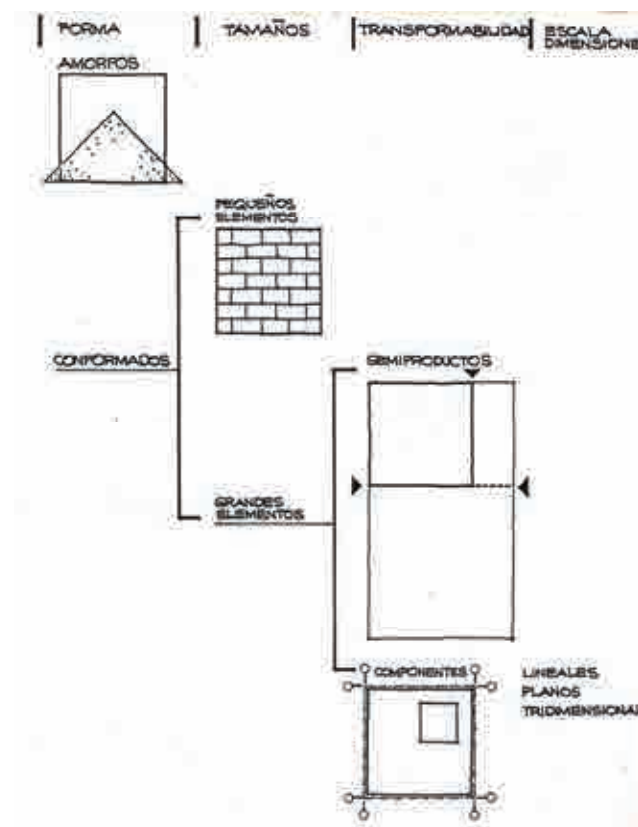


Fig.1.40. Taxonomía para la clasificación de los materiales según su forma en el momento de llegar a obra. Tesis doctoral de *Ignacio Paricio Ansuátegui*



Fig.1.41. Ejecución de un panel de hormigón en fábrica.  
Tecnyconta

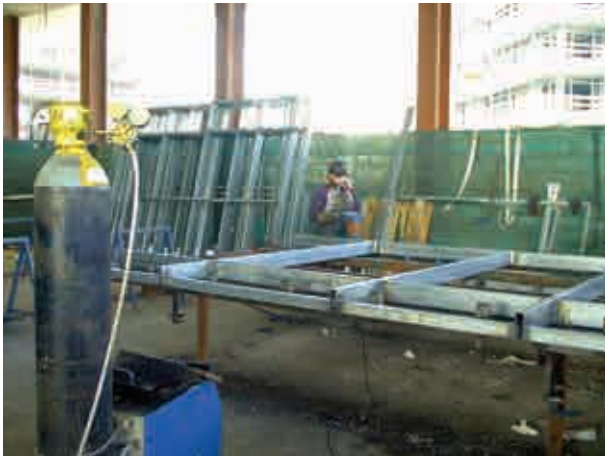


Fig.1.42. Conformación de bastidores de fachada 'in situ'  
mediante semiproductos lineales.  
Edificio 'Illa de la Ilum'. Arq. Clotet-Paricio

obra de los materiales de la construcción (amorfo, pequeños elementos, semiproductos y componentes)

Esta taxonomía está basada en la forma, el tamaño y la transformabilidad de los materiales en el momento de la recepción a pie de obra, pero no contempla ninguna referencia a los procesos de transformación industrial que han sido necesarios antes de su recepción.

Aun así, si entendemos el emplazamiento del edificio o en muchos casos el propio edificio como la *'última fábrica'* antes de colocar los materiales y/o elementos constructivos podemos imaginar que esta misma taxonomía puede ser igual de válida para la transformación y conformación de los materiales en la última industria antes de ser transportados a obra. Veámoslo:

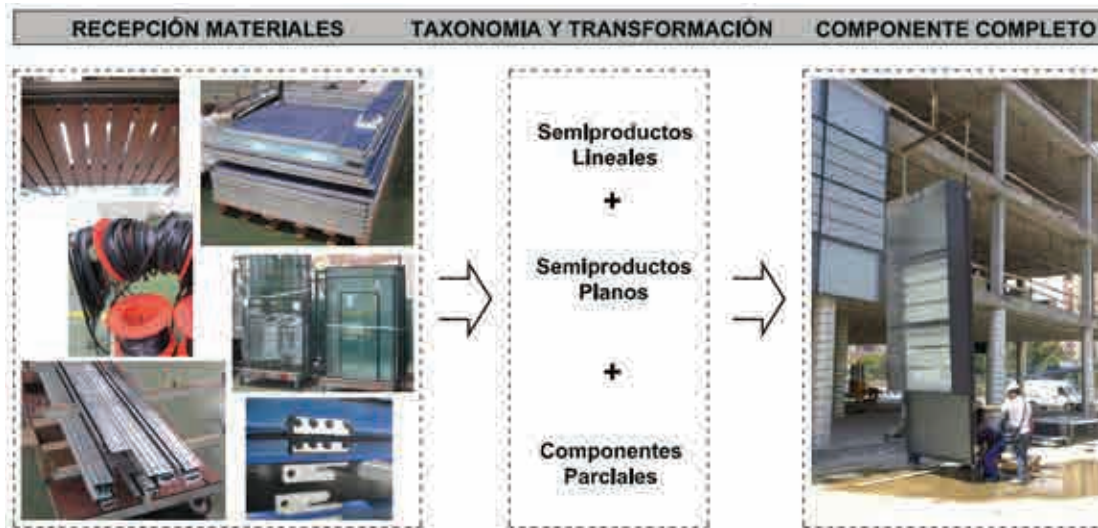
Si por ejemplo comparamos el proceso de conformación de una losa de hormigón en obra con el proceso de conformación de un panel de hormigón en fábrica (Fig. 1.41) observamos como en ambos casos la técnica para la conformación de estos elementos es la misma y necesitamos controlar prácticamente los mismos requerimientos durante la ejecución. En ambos casos estamos conformando un material amorfo que es vertido sobre un molde capaz de contenerlo y darle forma y que posteriormente en ambos casos estos pueden ser recuperados para otros usos.

El mismo paralelismo sucede entre la conformación de un bastidor o un premarco de ventana realizado a pie de obra y la conformación de estos en fábrica (Fig. 1.42). En ambos



casos la conformación del componente se realiza a través de la transformación por corte y ensamblaje de semiproductos (Fig. 1.43<sup>25</sup>).

La técnica de transformación es la misma tan solo cambian las condiciones y los recursos disponibles.



Proceso de conformación de un componente Unitized para fachada ligera

Puesto que el ámbito de estudio del trabajo se centra en el análisis de la capacidad de los procesos industriales por clientalizar sus productos, será de interés el conocimiento de las técnicas de conformación de los materiales que los hacen posible y no tanto el lugar donde estas se realicen (Fig. 1.44).

<sup>25</sup> 'Refabricating Architecture'. KIERAN, Stephen. Pag. 92 (Ver Bibliografía)

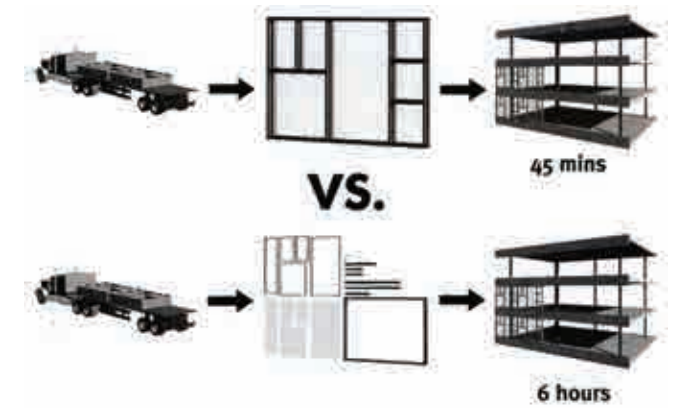


Fig.1.43. Conformación de un panel ligero a obra o en obra. Las operaciones necesarias serán las mismas solo cambian las condiciones de transformación y los recursos

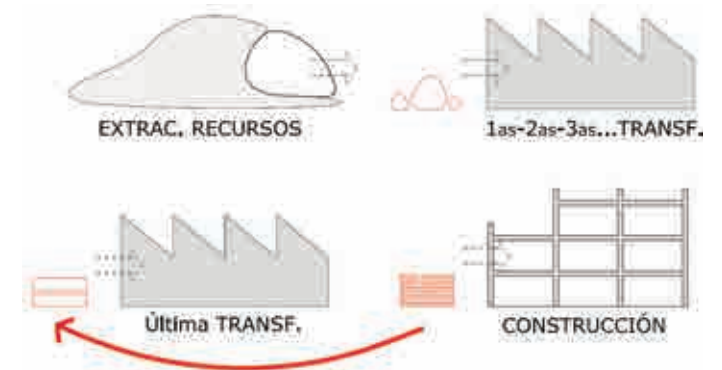


Fig.1.44. Proceso de conformación de los materiales para la construcción. Reubicación del momento tomado como punto de partida para la taxonomía. Última industria antes de transportar a obra

- **En el estudio se ha utilizado la misma taxonomía planteada por el Dr. Ignacio Paricio en su tesis doctoral, puesto que en nuestro caso no es tan importante el LUGAR donde se realizaran las transformaciones sino la capacidad de transformación de los materiales y COMO esta se pueden realizar.**

Una vez aceptado este nuevo contexto industrial para la taxonomía, debemos ampliar algunas definiciones sobre los semiproductos que en esta no quedan definidas.

Como veremos durante el proceso de conformación de un componente plano de hormigón los semiproductos tomarán una vital importancia ya que serán los responsables de la definición de su forma.

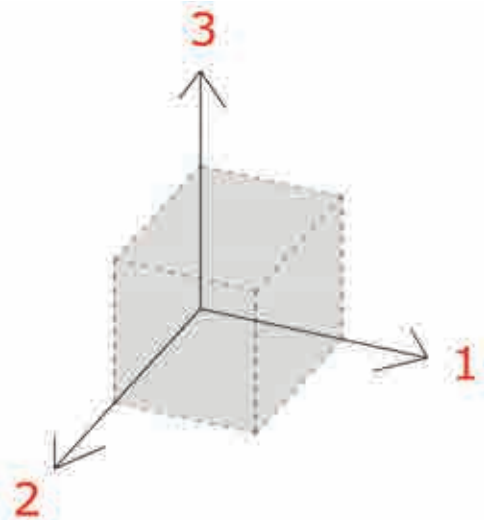


Fig.1.45. Ejes de transformabilidad de los semiproductos

Así pues en función de su transformabilidad y no de su geometría, tendremos tres grupos de semiproductos:

- 1) Semiproductos lineales: formado por los semiproductos que pueden ser transformados en una sola dirección.
- 2) Semiproductos bidimensionales o planos: formado por los semiproductos que pueden ser transformados en dos direcciones.
- 3) Semiproductos tridimensionales: aunque de menor presencia sobretodo en los últimos procesos de conformación de elementos constructivos, está formado por los semiproductos que pueden ser transformados en las tres direcciones.

Aunque en si estas definiciones parezcan una evidencia sirven para definir el criterio que se ha tomado en el estudio y eliminar cualquier tipo de duda respecto a otras definiciones sobre los semiproductos que los clasifican según su forma y no según su transformabilidad (Fig. 1.45).

- Por lo tanto deben considerarse semiproductos lineales tanto los perfiles laminados, los perfiles extruidos de aluminio como las bandejas perfiladas de acero o los paneles sándwiches con una junta conformada.
- Serán considerados semiproductos planos entre otros, los paneles de yeso laminado, los paneles de madera aglomerada o madera contralaminada sin junta conformada.
- Y por ultimo pueden ser considerados semiproductos tridimensionales los elementos espumados y conformados como podría ser un casetón de porexpan.

De este modo quedan definidas las condiciones de transformabilidad y criterios de clasificación de los semiproductos utilizados en el estudio.

### 1.2.3 Análisis del grado de cientalización de las áreas más próximas a la industrialización de la fachada

Durante el desarrollo del estudio se ha realizado el análisis de los sistemas industrializados utilizados en las aéreas más próximas a la fachada, observando la capacidad de los sistemas para adaptarse a las necesidades geométricas del proyecto (Fig. 1.46).

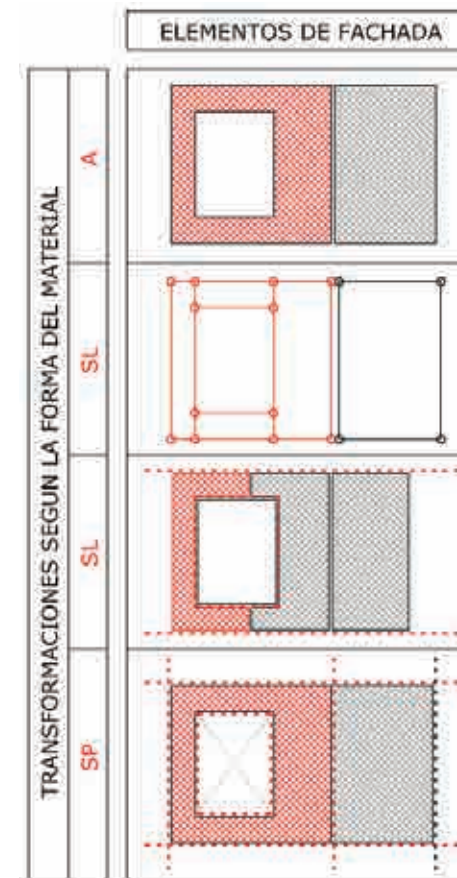


Fig.1.46. Conformación de elementos autoportantes de fachada según la forma del material

En este sentido, uno de los principales análisis se ha realizado entorno a los sistemas basados en los semiproductos lineales, capaces de conformar tanto bastidores de fachada como elementos de carpinterías.

Este análisis no solo se ha hecho del propio elemento de fachada sino también del proceso industrial de conformación del que se ha observado una gran capacidad para desarrollar componentes altamente clientalizados según las necesidades del proyecto.

Lógicamente también se han analizado los procesos industriales de conformación de los paneles planos de hormigón para poder discernir las condiciones fundamentales que no permiten ofrecer la clientalización de sus productos.

- ***La comprensión de este proceso de conformación ha permitido desarrollar una propuesta industrial real que es capaz de dar una respuesta a la clientalización del mismo modo que lo hace la industria de las carpinterías.***



Fig.1.47. Instalaciones de la empresa Precon en Cervera. Lleida.

#### **1.2.4 Entrada en las empresas del sector para validar los costes y las tecnologías desarrolladas**

Una vez planteada la estrategia de producción y conceptualizada la solución de la propuesta se ha comprobado su viabilidad en un entorno industrial real.

Para ello se han hecho aproximaciones a los modelos reales de producción a través de las empresas vinculadas con el Centro Tecnológico y otras empresas del sector relacionadas con los sistemas de fachada. A través de este contacto se ha podido validar la propuesta tanto

desde un punto de vista tecnológico como desde el punto de vista económico siendo este último el de mayor interés para garantizar la viabilidad de la propuesta.

Los costes económicos vinculados a las operaciones de conformación tanto de los paneles de hormigón como de los bastidores de fachada se han considerado dentro de un contexto de producción industrial real teniendo en cuenta una serie de producción de 100 componentes.

Para poder calcular los costes de la conformación de los paneles de hormigón se han realizado entrevistas y/o visitas en las fabricas de empresas representativas del sector como *Escofet*, *Prefabricados Planas* (Fig. 1.48), *Precon* (Fig. 1.47), *GRC Aluminium*, *Tecnyconta*, *EBAWE*, etc... para así poder plantear un escenario real de producción tanto desde el punto de vista de la tecnología más utilizada como de los costes económicos asociados a las operaciones necesarias.

Por otro lado también se han visitado varias empresas vinculadas a la conformación de componentes planos basados en los semiproductos lineales como ventanas, paneles Unitized o bastidores de fachada para poder plantear un escenario real, tanto desde un punto de vista tecnológico como de costes de ejecución. Entre las empresas visitadas están *Technal*, *Folcrá*, *Wicon*, *Technocladd* (Fig. 1.49) o *Teccon Evolution*.

- ***Los costes económicos calculados en el estudio son de un gran interés entendidos como valores relativos y comparables entre ellos pero no deberían tomarse como valores absolutos.***

Estos costes responden a un momento muy concreto de las industrias actuales pudiendo verse modificados si el contexto socio-económico cambiara.



*Fig.1.48. Instalaciones de la empresa Prefabricats Planas en Santa Coloma de Farners. Girona*



*Fig.1.49. Instalaciones de la empresa Technocladd en Vallgorguina. Barcelona.*



### 1.2.5 Reflexiones finales y síntesis sobre la viabilidad de la propuesta en un marco de producción industrial real

Una vez desarrollada y calculada la propuesta se ha analizado su viabilidad teniendo en cuenta también los procesos industriales reales y los cambios que podría suponer para una supuesta aplicación en una industria actual.

Las conclusiones que se pueden extraer de este estudio no solo responden al componente de fachada y a la mejora tecnológica que este aporta respecto a los sistemas actuales de hormigón sino que también responden a la optimización del proceso industrial que lo hace posible, mejorando el sistema convencional de producción haciéndolo más flexible y adaptable a la demanda del mercado.

Finalmente se hace una reflexión sobre la coyuntura del estudio en el marco industrial actual teniendo en cuenta la evolución de las tecnologías relacionadas con el 'Rapid Prototyping' y su aplicación para los elementos de la construcción (Fig. 1.50).

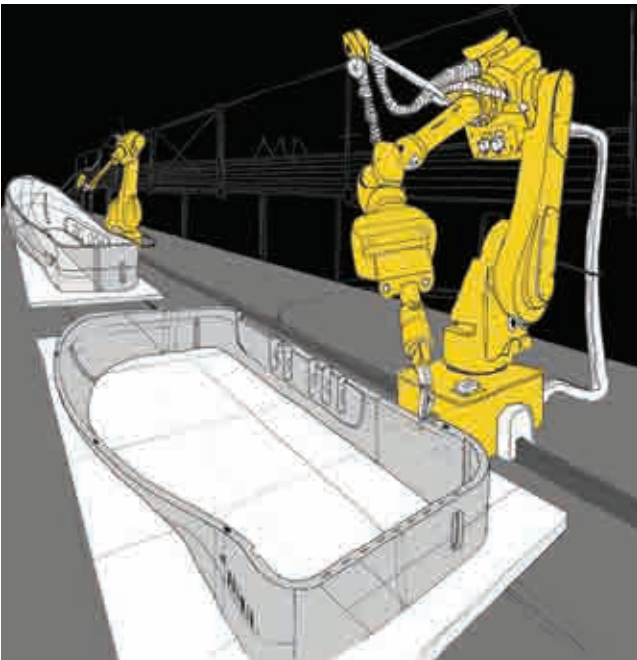
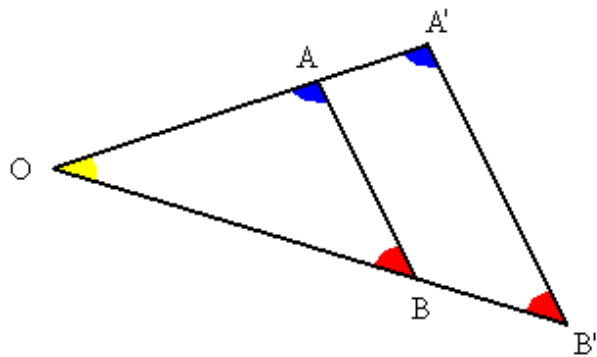


Fig.1.50. Infografía de la técnica del 'Rapid Prototyping' aplicada a la conformación de elementos constructivos. Contour crafting.

- ***La propuesta de este estudio es fruto de la conceptualización y racionalización de la estrategia para la clientalización de los componentes planos de hormigón desarrollada y patentada en el contexto de la I+D+i del iMat entre el 2008 y el 2011.***

## CAPÍTULO 2 – CONTEXTO Y PROPÓSITO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN



La 'Clientalización' de la forma de los componentes planos de hormigón

### CAPÍTULO 1 – INTRODUCCIÓN Y METODOLOGÍA

#### **CAPÍTULO 2 – CONTEXTO Y PROPÓSITO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

- 2.1.- Contexto de producción industrial
- 2.2.- La técnica del vertido para la conformación de paneles planos
- 2.3.- Modelos industriales para la producción de componentes planos de hormigón mediante la técnica del vertido
- 2.4.- Objetivo
- 2.5.- Hipótesis
- 2.6.- Estrategia
- 2.7.- Definición del objeto de análisis

### CAPÍTULO 3 – ESTADO DEL ARTE

### CAPÍTULO 4 – LA CONFORMACIÓN DE COMPONENTES PLANOS BASADOS EN LOS SEMIPRODUCTOS LINEALES

### CAPÍTULO 5 – PROPUESTA

### CAPÍTULO 6 – EL COSTE DE LA CLIENTALIZACIÓN

### CAPÍTULO 7 – CONCLUSIONES Y PROSPECTIVA





## 2 CONTEXTO Y PROPÓSITO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

### 2.1 Contexto de producción industrial

Las principales industrias del sector que actualmente producen componentes planos de hormigón para fachada utilizan prácticamente los mismos procesos de producción desarrollados durante los años 60 y 70. (Fig. 2.1<sup>1</sup> y 2.2). Aunque los sistemas de conformación de los encofrados perimetrales para la técnica de vertido están muy diversificados, no distan mucho de los primeros sistemas de conformación.

Es evidente que estos procesos han evolucionado como también lo han hecho los materiales utilizados, pero las estrategias industriales siguen siendo prácticamente las mismas. La mayoría de los sistemas de conformación de los materiales amorfos rentabilizan la producción gracias a la **recuperación del molde, obligando a producir series largas con una elevada repetición de componentes.**

El hormigón,

<sup>2</sup>*[...] es un material fabricado por moldeo y capaz, en principio, de adoptar cualquier forma. La principal limitación, como en cualquier material moldeado, la establecemos nosotros al trazar un límite a la 'amortización' del molde. Todo es posible pero no todo es razonable. Inevitablemente consideramos toda forma en*



Fig.2.1. Conformación de paneles sobre mesas individuales.



Fig.2.2. Conformación de paneles sobre mesas continuas.

---

<sup>1</sup> 'Prefabricación o metaproyecto constructivo' - G.Mario Oliveri

<sup>2</sup> 'Hormigón prefabricado y construcción en altura' Ramón Araujo. Revista Tectónica nº5. Pág.4

*hormigón prefabricado como un sistema de piezas repetidas y/o variables a partir de un patrón [...]*

Así pues, la rentabilidad de los costes de producción de un molde sigue viéndose reflejada en la repetición de los componentes de una serie.

El coste que representa la conformación de cada molde nuevo no puede ser asumido por muchos de los presupuestos de los proyectos actuales obligando a racionalizar el despiece de componentes que conforman la fachada.

Si observamos cómo se muestran las industrias de componentes planos de hormigón en sus ‘Catálogos de productos’ o en los ‘Manuales de recomendaciones para el proyecto’, vemos como lo habitual es mostrar las dimensiones estándares de producción a partir de las cuales podemos crecer modularmente (Fig. 2.3 y 2.4)

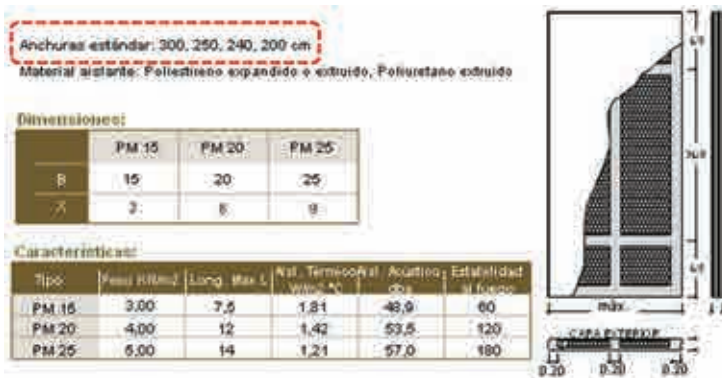


Fig.2.3. Recomendaciones geométricas para paneles de fachada de la empresa de prefabricados HORMIPRESA

	ESPESOR	ANCHURA	LONGITUD
Panel de Molde	10 cm.	3.2 m.	Hasta 7 m.
	12 cm.	3.2 m.	Hasta 8 m.
	16 cm.	3.2 m.	Hasta 10 m.
	20 cm.	3.2 m.	Hasta 12 m.
	24 cm.	3.2 m.	Hasta 14 m.

Fig.2.4. Recomendaciones geométricas para paneles de fachada de la empresa Prefabricats PUJOL

<sup>3</sup>*[...] la capacidad de la prefabricación de repetir una misma pieza varias veces a partir de un mismo molde hace que piezas sofisticadas y complejas puedan ser rentables [...] o bien [...] aunque cada proyecto tenga algunos paneles especiales, si repetimos el máximo número de piezas el edificio resultará más económico y factible[...]*

Debido al elevado coste de conformación de los moldes, la principal estrategia que nos ofrece este modelo industrial para ‘clientalizar’ la forma es el desarrollo de un ‘molde

<sup>3</sup> ‘Manual de proyecto’ de PLANAS ark de la empresa Prefabricados Planas

*maestro'* sobre el cual podemos conseguir variaciones del componente principal (Fig.2.5 y 2.6).

A efectos de producción industrial esta estrategia tiene otra limitación como es el orden de hormigonado de los distintos componentes. Para conseguir un correcto acabado de los componentes sin necesidad de reparar la mesa de hormigonado después de cada vertido es recomendable empezar por las piezas de mayor dimensión y finalizar por las más pequeñas. La subdivisión de un molde en moldes pequeños afectará directamente a la superficie de la mesa de hormigonado debido a los procesos de fijación de las tabicas sobre esta.

Como vemos hay múltiples ejemplos y recomendaciones de empresas de componentes planos de hormigón que no olvidan establecer desde un buen inicio cuales son 'las reglas del juego' a la hora de producir.

Actualmente pocas son las empresas que han iniciado una reestructuración completa del sistema productivo pensando en las nuevas tecnologías de producción o automatización que pueden surgir de otros moldeos industriales. Probablemente porque no han tenido la necesidad de plantearse una reconversión del modelo productivo por miedo a la pérdida de la demanda, puesto que los clientes (arquitectos) han aceptado las condiciones de producción que el modelo industrial dictaba.

- ***La visión endógena de la industria y la resignación con la que muchos proyectistas han afrontado las condiciones de producción de los componentes planos de fachada en sus proyectos, no ha ayudado a empujar a la industria a hacer una reflexión sobre las limitaciones de sus procesos.***

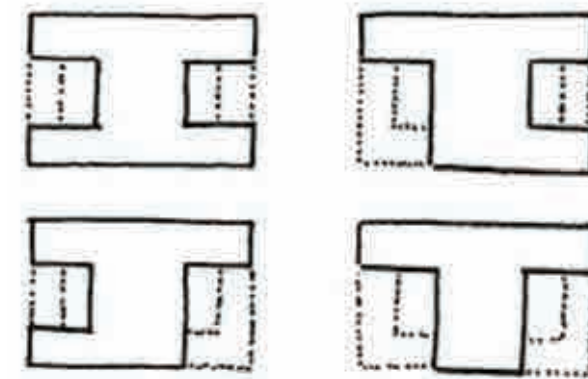


Fig.2.5. Propuesta de 'molde maestro' como estrategia para conseguir variabilidad en la forma de los componentes de una misma serie. Catálogo de PLANAS ark



Fig.2.6. Estandarización mediante 'molde maestro' de componentes de hormigón. Viviendas en Barcelona.

Siempre y cuando se persigan objetivos económicos, la actual racionalización y estandarización de los componentes de hormigón utilizados en una fachada parece coherente con el sistema de producción industrial que se nos ofrece, pero:

- *¿Hasta qué punto la producción industrial puede adaptarse a las necesidades del cliente sin que esto suponga un sobrecoste para el proyecto?*
- *¿Las estrategias actuales de producción industrial pueden dar respuesta a los nuevos requerimientos de clientalización del mercado?*



Fig.2.7. Técnica de vertido de hormigón sobre molde horizontal.

## 2.2 La técnica del vertido para la conformación de paneles planos

De todas las posibles técnicas actuales para la conformación de paneles planos de hormigón se ha elegido como objeto de estudio la técnica del vertido (Fig. 2.7).

Tanto la simplicidad del molde como la manera de hormigonar han hecho de esta la técnica actual más utilizada para conformar componentes planos de fachada. Quedan pues fuera del alcance del estudio, técnicas como la extrusión o la proyección de pastas sobre molde.

Entendemos por técnica del vertido sobre molde horizontal a:

- *La conformación del material amorfo (hormigón) mediante el vertido por gravedad sobre un molde horizontal, formado por: una mesa de hormigonado plana cuya función principal es definir el acabado del componente, y unas tabicas laterales o moldes perimetrales que son los encargados de definir la forma perimetral, el espesor y el tipo de junta del componente.* (Fig. 2.8).

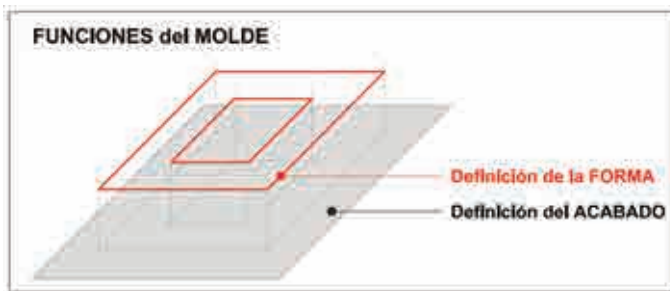


Fig.2.8. Funciones del molde.

Puesto que el objetivo del estudio se centra en la clientalización de la forma de los componentes planos, dejando de lado los aspectos de acabado, se analizarán con detalle las diferentes operaciones implicadas en la conformación de los moldes perimetrales<sup>4</sup>.

### 2.3 Modelos industriales para la producción de componentes planos de hormigón mediante la técnica del vertido

Actualmente las industrias especializadas en la conformación de componentes planos de hormigón siguen varios modelos industriales. Desde los modelos de producción artesanal donde todas las operaciones prácticamente se realizan de forma manual, hasta modelos muy automatizados donde la intervención de la mano de obra es prácticamente testimonial, pasando por múltiples modelos mixtos que combinan operaciones manuales con operaciones automatizadas.

A modo de introducción describiremos estos tres escenarios para situar mejor la estrategia desarrollada para el análisis de los costes asociados a la clientalización de la forma de los moldes:

- I. Los sistemas manuales están basados en procesos con un elevado uso de la mano de obra. Todas las operaciones necesarias para la conformación de los moldes perimetrales dependen de la habilidad de los operarios, desde el corte de los perfiles o maderas de borde, el replanteo sobre la mesa, las operaciones de fijación, etc...

---

<sup>4</sup> *Moldes perimetrales (Ver Terminología): Consideramos moldes perimetrales tanto a las tabicas exteriores que definen la geometría global del componente como a las tabicas interiores que definen la geometría de los posibles huecos del componente.*



Fig.2.9. Conformación de moldes perimetrales de forma artesanal



Fig.2.10. Molde desarrollado mediante sistemas manuales. Precon



generalmente se utilizan sencillas herramientas de corte y ensamblaje para la conformación de los moldes perimetrales.

En este escenario no se utiliza ningún sistema automatizado ni robotizado para el desarrollo de las operaciones (Fig. 2.9 y 2.10)



Fig.2.11. Sistema de replanteo mediante plotter de Weckenmann

II. Los sistemas mixtos introducen sencillos sistemas informáticos que mediante robots o sistemas de posición laser permiten desarrollar algunas de las operaciones del proceso (Fig.2.11). Habitualmente limitado a las operaciones de replanteo de los moldes perimetrales y otros elementos sobre la mesa de encofrado. El resto de operaciones se realizan generalmente de forma manual.

III. Los sistemas automatizados están basados en grandes y complejas instalaciones basadas en los sistemas de *CAD-CAM*<sup>5</sup> que permiten controlar y gestionar todas las operaciones necesarias para la conformación del molde (Fig. 2.12). Todos los planos de taller son introducidos en el sistema informático de gestión y los robots son los encargados de conformar los moldes. En este caso los operarios se limitan prácticamente a supervisar las operaciones realizadas por los robots.

Entrar en el análisis de estos tres modelos de gestión o escenarios de producción industrial no nos ayudaría a determinar la capacidad del sistema para clientizar la forma de los componentes de hormigón. Como veremos es muy difícil o prácticamente imposible



Fig.2.12. Sistemas robotizados de la empresa EBAWE

---

<sup>5</sup> *Sistemas CAD-CAM. Ver Terminología*

determinar los límites entre un modelo y otro en función de los niveles de automatización de sus operaciones.

A lo largo del tiempo, las industrias han ido incorporando pequeñas inversiones en maquinaria y procesos redefiniendo constantemente su modelo de producción hecho que dificulta establecer los límites entre estos y hace perder sentido a la clasificación de los tres escenarios planteados.

Bajo este punto de vista y teniendo en cuenta el objetivo del estudio:

- ***Analizaremos independientemente cada una de las operaciones necesarias para la conformación de un componente plano de hormigón, con la finalidad de detectar las mejores estrategias para la clientalización de su forma.***

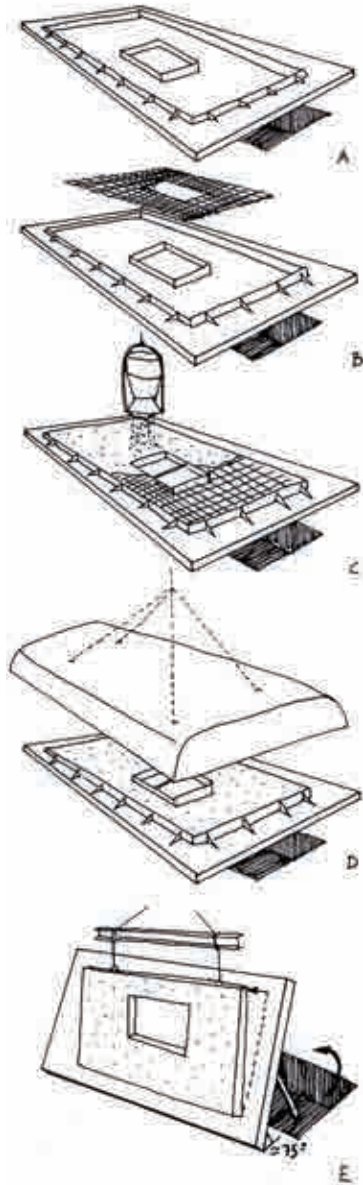
### **2.3.1 Operaciones necesarias para la conformación de un componente plano de hormigón**

Si consideramos todas las *operaciones*<sup>6</sup> necesarias para la obtención de un componente plano de hormigón (sin tener en cuenta las operaciones de tratamientos superficiales y acabados) tendremos (Fig. 2.13):

1. Limpieza y preparación de la mesa de hormigonado.
2. Definición geométrica del molde perimetral.

---

<sup>6</sup> Alfonso del Águila García. 'La industrialización de la edificación de viviendas. Tomo 1 - Sistemas'



3. Replanteo de los moldes perimetrales sobre mesa de hormigonado.
4. Ensamblaje de los molde perimetrales.
5. Fijación de los moldes perimetrales sobre la mesa de hormigonado (Imagen A).
6. Sellado de juntas entre la mesa de hormigonado y los moldes perimetrales.
7. Aplicación de desencofrantes.
8. Colocación y fijación de armados o refuerzos y de accesorios para instalaciones en caso necesario (Imagen B).
9. Vertido del hormigón sobre el molde (Imagen C).
10. Vibrado del hormigón mediante aguja o mesa vibrante.
11. Tapado y curado del componente (Imagen D).
12. Desmontaje de los moldes perimetrales.
13. Desmoldeo, elevación y acopio del componente (Imagen E).

De todas estas operaciones necesarias para la ejecución de un panel plano de hormigón son de especial interés aquellas que determinan e influyen en los costes para la definición de la forma del componente.

Por lo tanto serán todas aquellas operaciones en las que intervienen directa o indirectamente los moldes perimetrales:

- a) *Definición geométrica del molde perimetral*
- b) *El replanteo de los moldes perimetrales sobre mesa de hormigonado*

Fig.2.13. Secuencia simplificada de las operaciones necesarias para la conformación de un panel de hormigón (Alfonso del Águila García)



- c) *Ensamblaje de los moldes perimetrales*
- d) *Fijación de los moldes perimetrales sobre la mesa de hormigonado*
- e) *El desmontaje de los moldes perimetrales*

El resto de operaciones como ‘*La preparación de la mesa de hormigonado*’, ‘*La aplicación del desencofrante*’, ‘*La colocación de armados*’, etc... no se han considerado en el análisis ya que los costes asociados a dichas operaciones son independientes a la definición de la forma del componente, de tal manera que en cualquier escenario de producción ya sea para series con máxima repetición de componentes o para series con una elevada variabilidad, los costes asociados a estas operaciones siempre permanecen constantes y no son representativos del nivel de clientalización de las series.

### **2.3.2 Análisis de las operaciones que intervienen en la definición de la forma**

En el presente capítulo se analizan tan solo aquellas operaciones que intervienen directamente en la definición de la forma de los moldes perimetrales y que por lo tanto tienen una repercusión directa en los costes de la clientalización.

Este capítulo se encuentra ampliado y detallado en el ‘*Desarrollo 1. Análisis de las operaciones necesarias para la conformación de un componente de hormigón en un modelo de producción mixto*’.

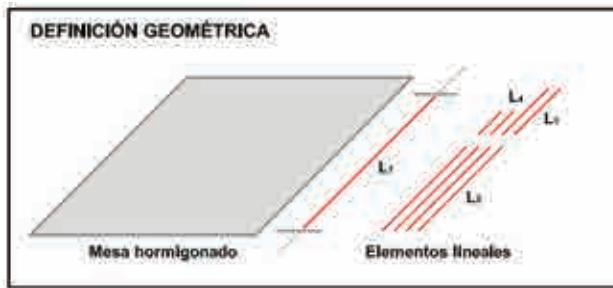


Fig.2.14. Definición geométrica del molde perimetral



Fig.2.15. Definición geométrica del molde perimetral mediante semiproductos. Empresa Escofet



Fig.2.16. Elemento de molde perimetral mediante componente lineales. Empresa Weckenmann

### **A)- DEFINICIÓN GEOMÉTRICA del molde perimetral**

Para definir la forma de un componente plano son necesarios los moldes perimetrales formados normalmente por elementos lineales que caracterizaran el grosor y el tipo de junta del componente (Fig. 2.14).

Para ello la industria actual dispone de dos sistemas:

- I. El primer sistema utiliza semiproductos lineales, habitualmente perfiles laminados de acero, aluminio y/o a veces tableros o llatas de madera en función de la durabilidad del molde.
- II. El segundo sistema utiliza componentes lineales con los extremos conformados.

La principal diferencia entre ambos es la facilidad para disponer de moldes a medida.

Como sabemos los semiproductos lineales tienen la capacidad de ser cortados a medida en función de la necesidad mientras que los componentes lineales forman parte de catálogos estandarizados de empresas especializadas en este tipo de moldes perimetrales.

Este es puede ser un factor determinante para conseguir elevados niveles de clientelización de los componentes.

- I. Los sistemas que utilizan los semiproductos lineales tienen una gran capacidad para adaptarse a las geometrías deseadas a cambio de importantes inversiones de mano de obra en las operaciones de replanteo, corte y ensamblaje para definir la longitud y la geometría del borde de molde (Fig. 2.15).

- II. Los sistemas que utilizan componentes lineales la geometría y la longitud del perfil queda definida por los catálogos, condicionando la clientalización de la forma de componente a la disponibilidad de enormes acopios de perfiles. Normalmente estos componentes lineales se utilizan en instalaciones industriales dotadas con complejos sistemas de automatización (Fig. 2.16).

### **B)- REPLANTEO del molde perimetral sobre la mesa de hormigonado**

Las operaciones de replanteo son necesarias para definir la correcta posición de los moldes perimetrales sobre la mesa de hormigonado (Fig. 2.17).

Para realizar estas operaciones disponemos de dos sistemas:

- I. El sistema manual de replanteo realizado por los propios operarios una vez interpretados los planos de taller. Este representa el sistema más común en los procesos de conformación actuales y no necesita de ninguna infraestructura especial.
- II. El replanteo mediante sistema de gestión CAD-CAM.

Bajo esta tecnología existen dos alternativas posibles. O bien un plotter es el encargado de trazar sobre la mesa de hormigonado la ubicación exacta de cada uno de los elementos que conformara el panel (Fig. 2.18) o bien este trazado se proyecta mediante sistemas laser (Fig. 2.19).

De los dos basados en la tecnología del CAD-CAM, la tendencia es utilizar el sistema por láser puesto que es de fácil integración con los procesos actuales de producción. Por otro lado, el

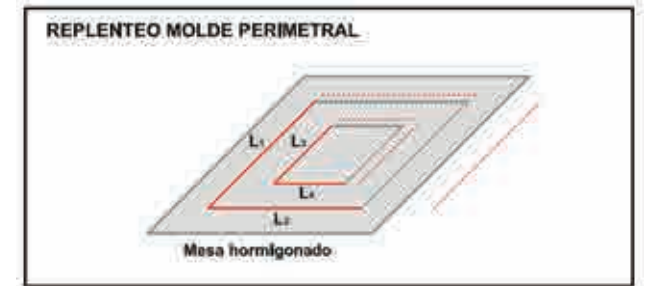


Fig.2.17. Operaciones de replanteo sobre la mesa de hormigonado



Fig.2.18. Sistema de replanteo mediante plotter sobre la mesa de hormigonado. Empresa Weckenmann



Fig.2.19. Sistema de replanteo mediante proyección laser

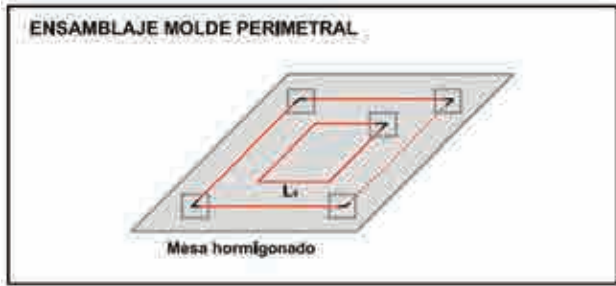


Fig.2.20. Operaciones de ensamble sobre mesa de hormigonado



Fig.2.21. Resolución manual para esquina de molde. Empresa Escofet

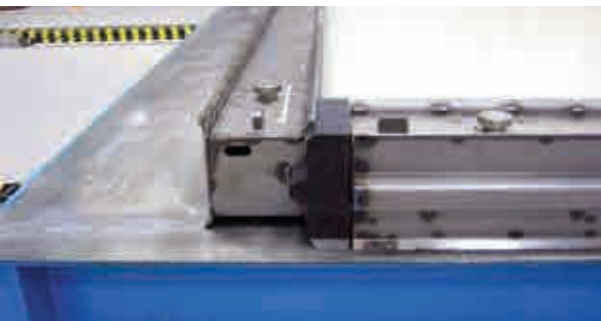


Fig.2.22. Cabezas especiales de perfiles para resolución del ensamblaje. Empresa Weckenmann

dibujo de la plantilla mediante laser permite su visualización una vez colocados los moldes, facilitando las operaciones de comprobación.

La principal diferencia entre los sistemas manuales o los basados en la tecnología del CAD-CAM, es la precisión y la posibilidad de error que pueda existir durante el replanteo. De todos modos el replanteo manual es el más utilizado actualmente ya no necesita de instalaciones ni *software* especial.

### **C)- ENSAMBLAJE de los perfiles del molde perimetral**

Las operaciones de ensamblaje de los moldes perimetrales deben garantizar dos aspectos importantes para la ejecución de los paneles: garantizar la estanqueidad de los moldes y permitir su reversibilidad (Fig. 2.20).

Para ello se han desarrollado tres alternativas que inciden directamente en las cabezas de los perfiles:

- I. Para los moldes desarrollados a partir de semiproductos lineales deben de realizarse operaciones manuales de transformación geométrica de los perfiles. Mediante operaciones de corte y soldadura se desarrolla la geometría de intersección (Fig.2.21).
- II. Para los molde conformados con componentes lineales existen dos posibles alternativas: o bien se utilizan piezas especiales colocadas en las cabezas de los perfiles (Fig. 2.22) o bien los perfiles llevan las cabezas conformadas de fabrica (Fig.2.23).

En el primer caso (moldes mediante semiproductos) la libertad geométrica está garantizada. Las intersecciones pueden desarrollarse según las características geométricas de la junta de los paneles de hormigón (según proyecto). Resolver el ensamblaje de esta manera repercute en unos costes importantes de mano de obra.

En el segundo caso (moldes mediante componentes lineales), tanto para los perfiles que utilizan piezas especiales como los que ya llevan conformada la geometría de la intersección, las posibilidades geométricas quedan sujetas a la disponibilidad de elementos de los catálogos de perfiles. El ensamblaje en este caso es directo y no supone costes especiales en mano de obra.

Aunque el uso de perfiles con cabezas conformadas podría utilizarse que cualquier sistema de producción de paneles, habitualmente este se limita a instalaciones industriales con elevados sistemas de automatización de moldes.

#### **D)-FIJACION del molde perimetral sobre la mesa de hormigonado**

Una vez los perfiles definidos geoméricamente se colocan sobre la mesa de hormigonado se inician las operaciones de fijación (Fig. 2.24).

Para fijar los perfiles sobre la mesa disponemos de dos sistemas caracterizados por su reversibilidad: Sistemas de fijación mecánica y sistemas de fijación magnética.

- I. Los sistemas de fijación mecánica se realizan mediante con tornillería y pasadores centradores (Fig. 2.25 Izquierda). El primero es el encargado de comprimir el perfil

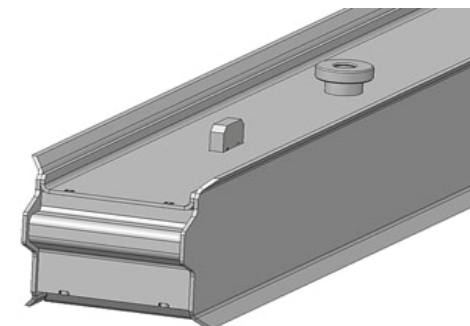


Fig.2.23. Perfiles con las cabezas conformadas. Empresa Weckenmann



Fig.2.24. Operaciones de fijación de los moldes perimetrales sobre la mesa de hormigonado



Fig.2.25. Fijación de tabicas laterales con sistemas mecanizados y sistemas imantados

sobre la mesa y el segundo de precisar su ubicación. Este sistema obliga a perforar las mesas de hormigonado pero aporta una mayor precisión al panel.



Fig.2.26. Colocación robotizada del molde perimetral con sistema de fijación magnético de la empresa EBAWE

- II. Para los sistemas de fijación magnética existen dos alternativas en función del tipo de molde perimetral. Si el molde perimetral está formado por semiproductos lineales, el imán de fijación será un elemento externo vinculado al perfil (Fig. 2.25 Derecha). Por el contrario, si el molde es a base de componentes lineales habitualmente ya llevan integrado el imán de fijación. Este último sistema se utiliza principalmente en instalaciones muy automatizadas (Fig. 2.26).

En los modelos de producción industrial más comunes es habitual combinar ambas tecnologías de fijación sobretodo en las que usan semiproductos lineales como moldes perimetrales.

Los principales factores que determinan el uso de un sistema u otro dependen de la reversibilidad del molde, la durabilidad de la mesa de hormigonado y la precisión en el acabado de las aristas del panel de hormigón.

### **E)-DESMONTAJE del molde perimetral**

Las operaciones de desmontaje de los moldes perimetrales son cada día más importantes en los sistemas de producción actual (Fig. 2.27).

Los sistema de recuperación de los moldes dependerán de las técnicas utilizadas en las operaciones de montaje y ensamblaje de los perfiles perimetrales, repitiendo dichas operaciones en sentido contrario.

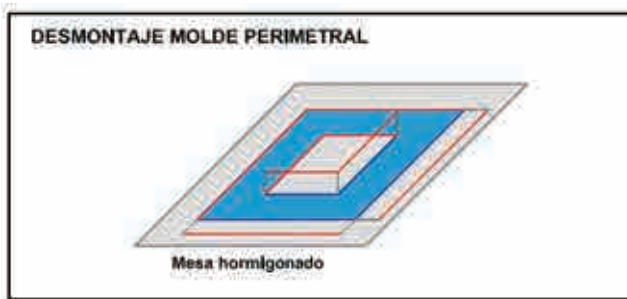


Fig.2.27. Operaciones de desmontaje de los molde perimetrales para poder desmoldear el componente



Pero, los dos principales motivos que obligan a las operaciones de desmontaje de los moldes perimetrales responden a aspectos técnicos y de producción.

- I. Debido a la complejidad geométrica de las juntas de los paneles de hormigón para poder ayudar a la estanqueidad una vez colocados, obliga muchas veces a desmontar al menos dos o tres de los cuatro laterales de un molde para poder desmoldear el panel (Fig. 2.28).
- II. Por otro lado la necesidad de los sistemas actuales de producción por recuperar los moldes y poderlos utilizar cuantas veces más posible también apunta hacia un tipo de moldes perimetrales reversibles (Fig. 2.29).

Ambos aspectos han obligado a desarrollar estas operaciones de desmontaje de los moldes, que como veremos más adelante tendrán una importante repercusión en los costes finales de producción.

### 2.3.3 Conclusiones parciales

Después de analizar las distintas operaciones de producción que influyen directamente en la definición de la forma de un componente plano de hormigón, observamos como prácticamente cada una de estas operaciones puede desarrollarse de forma manual o con sistemas más automatizados.

La elección de un sistema u otro para una operación puede condicionar a la manera de desarrollar la siguiente. Si por ejemplo preferimos trabajar con perfiles de sección

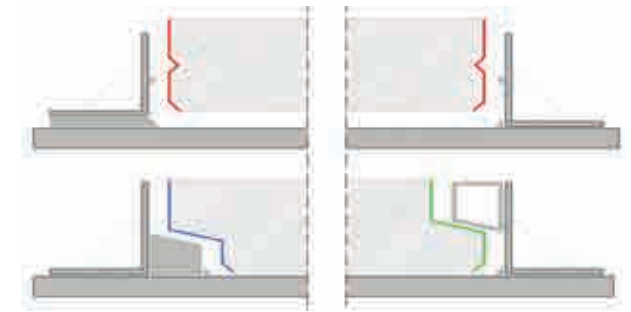


Fig.2.28. Desmontaje de tres de los molde perimetrales para permitir el desmoldeo del panel de hormigón

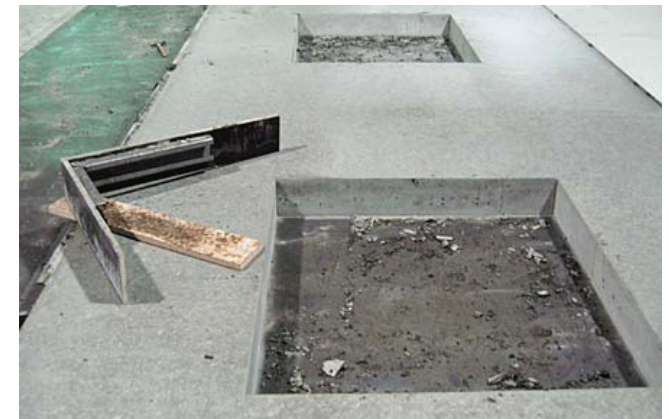


Fig.2.29. Desmontaje manual del molde perimetral



conformada esto nos llevará a pensar en sistemas de replanteo y colocación automatizados mediante robots, pero sí en cambio pensamos en perfiles laminados de sección normalizada esto nos abre un camino hacia una mayor posibilidad de combinaciones, el replanteo puede ser manual o mediante sistemas laser o plotter, la fijación puede ser atornillada o imantada, etc...

Lógicamente, dependerá de la apuesta de cada industria que elija una secuencia de operaciones u otra en función de su capacidad de inversión o necesidad de producción.

Aunque que la tendencia de los modelos industriales actuales avanzan hacia la automatización para mejorar en tiempo, coste y calidad de sus productos, son pocas las empresas que a día de hoy pueden apostar por un cambio radical de sus instalaciones debido al elevado coste de inversión que esto significa.

- ***Los modelos de producción actuales son tan diversos que imposibilita su tipificación. Cada industria ha evolucionado en función de sus necesidades y sus recursos generando modelos a caballo entre los sistemas manuales y los sistemas automatizados.***



Fig.2.30. La clientalización del molde perimetral a través de la adición de elementos de porexpan. Empresa Tecnyconta

Los sistemas manuales de producción permiten elevados niveles de clientalización. La presencia de la mano de obra en las operaciones necesarias para la definición de la forma permite introducir con cierta facilidad cambios en la geometría de los moldes perimetrales (Fig. 2.30).

Pero el principal problema que plantea esta facilidad para modificar las geometrías de los moldes perimetrales es la elevada cantidad de mano de obra necesaria. En un contexto de

producción artesanal no industrializado no tendría sentido hablar de la clientalización ni de sus costes, pero para que estos modelos de producción manual sean competitivos en el mercado actual han tenido que industrializar sus procesos, optimizando tanto el uso de los materiales como de las operaciones manuales llevando a la repetición como estrategia de optimización (Fig. 2.31).

Por otro lado hemos visto como en algunas de las operaciones como la definición geométrica del molde perimetral pueden automatizarse hasta el punto de conseguir sistemas de producción prácticamente robotizados, pero a cambio de dos condiciones importantes: una elevada inversión económica y una estandarización de los moldes perimetrales.

De entrada, en estos modelos de producción automatizados la variabilidad de la forma no debería presentar ningún coste añadido, puesto que el tiempo que dedica un robot a montar un molde es prácticamente independiente a su geometría.

Pero estos sistemas de producción automatizados están basados en el uso de los componentes lineales, limitados tanto en sección como en longitud según la disponibilidad del fabricante y la capacidad de almacenaje de la propia industria (Fig. 2.32).

Para poder llevar a cabo esta automatización de los procesos son necesarias inversiones de varios millones de euros que una vez realizadas necesitan de una demanda elevada y constante (Fig. 2.33).

Así pues, los modelos de producción que han automatizado todas las operaciones vinculadas a la definición geométrica del molde no han conseguido garantizar la clientalización de la forma para series cortas de producción.



Fig.2.31. Instalación para producción manual en mesas continuas de la empresa Precon

Profiling	No chamfers	One chamfers one-sided	One chamfers double-sided	Two chamfers one-sided	Two chamfers double-sided
	11	12	13	14	15
Groove	20	21	22	23	24
Tongue	30	31	32	33	34
Groove and tongue	40	41	42	43	44

Fig.2.32. Catalogo de secciones de los componentes lineales de la empresa Weckenmann



Fig.2.33. Instalación automatizada tipo carrusel de EBAWE de 22 millones de euros con un capacidad de producción de paneles planos de 4.500m<sup>2</sup>/día



Fig.2.34. CEIP Corbera 2004. Arq. Picharchitects

Y, los modelos mixtos con algunas operaciones manuales y otras con ayudas basadas en los sistemas de control numérico tampoco ha garantizado la clientalización de la forma de los moldes debido al elevado coste de la mano de obra necesaria.

- **Los sistemas de producción actuales no son capaces de garantizar una elevada variabilidad de la forma de sus componentes.**
- **El elevado coste asociado a la definición de la forma de un componente de hormigón ha llevado a estrategias de producción que obligan a amortizarlo hecho que repercute directamente en la variabilidad de la forma de los componentes.**

## 2.4 Objetivo

El trabajo se centrará en el análisis de la técnica del vertido del hormigón y en los procesos industriales necesarios para la fabricación de los componentes planos de hormigón.

- **El objetivo del presente estudio es la clientalización de la forma de los componentes planos de hormigón para fachada.**

### 2.4.1 La clientalización en un componente plano de hormigón

De los diversos aspectos de clientalización que le podríamos pedir a un panel de hormigón para la fachada, pueden agruparse en:

## I. Aspectos de acabado. Color y textura

Actualmente, gracias a la evolución del material como de los moldes flexibles podemos conseguir una elevada variedad de colores y acabados para el hormigón (Fig.2.34 y 2.35). Por lo tanto:

Estos aspectos (color y textura) no serán objeto del estudio puesto que ya se encuentran en un estado muy desarrollado.

## II. Aspectos de forma. Geometrías planas y geometrías tridimensionales

Las geometrías planas son aquellas que se desarrollan en dos dimensiones predominantes y pueden conformarse a través de componentes planos de hormigón.

Las geometrías tridimensionales pueden conformarse mediante componentes planos 'plegados' (Fig.2.36) o mediante componentes tridimensionales (Fig.2.37).

Dado su uso mayoritario, en el estudio se analizarán los aspectos de climalización de la forma de los componentes planos para generar superficies planas de fachada.

### 2.5 Hipótesis

- **La conformación de los moldes perimetrales mediante bastidores metálicos de semiproductos lineales y utilizados como 'molde perdido'.**

La incorporación de los moldes perimetrales como 'molde perdido' no debe suponer un incremento de coste para el componente final.



Fig.2.35. Paneles de fachada desarrollados por la empresa Reckli con el sistema 'RECKLI-Formliners'



Fig.2.36. Componentes tridimensionales en Montpellier (Antigone)



Fig.2.37. Componentes tridimensionales. Edificio en West 55th av. New York

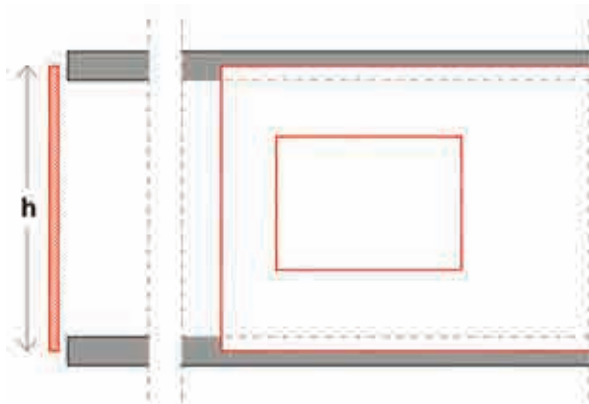


Fig.2.38. Componente plano entre plantas que incluye el hueco en caso necesario.

## 2.6 Estrategia

- *La principal estrategia del estudio se basa en el análisis de la técnica industrial desarrollada por la industria de las carpinterías para la ejecución de los moldes perimetrales del componente de hormigón.*

La industria de las carpinterías ha desarrollado estrategias industriales que permiten una elevada clientalización de la forma de sus componentes planos tanto para las ventanas como para los componentes de 'fachada ligera'.

## 2.7 Definición del objeto de análisis

- *El objeto de análisis del estudio es un componente plano de hormigón de gran formato autoportante para fachada.*

### 2.7.1 Definición geométrica del componente

El componente de hormigón será un panel plano de fachada que deberá cumplir dos requisitos geométricos:

#### I. Cubrir la altura libre entre plantas

Para garantizar el correcto comportamiento mecánico del panel frente acciones horizontales de viento como para facilitar su proceso de montaje, el panel de fachada deberá cubrir la altura libre entre dos plantas (Fig.2.38).



El sistema de fijación del panel a la estructura no es objeto del estudio.

## II. Incorporar el hueco de la fachada

Los huecos existentes en la fachada deberán incluirse en el panel. La geometría del hueco debe poder ser definida por un único panel (Fig.2.38).

### 2.7.2 Requerimientos funcionales del componente

De los cinco requerimientos funcionales<sup>7</sup> básicos para la edificación que podríamos pedirle a un panel de hormigón tan solo será condición el cumplimiento del requerimiento mecánico.

- ***El panel de fachada debe ser autoportante.***

Las condiciones de estabilidad que debe cumplir son frente a las acciones horizontales de viento a su peso propio (Fig.2.39). El cumplimiento de dicha condición permite considerar al panel como soporte principal del sistema de fachada.

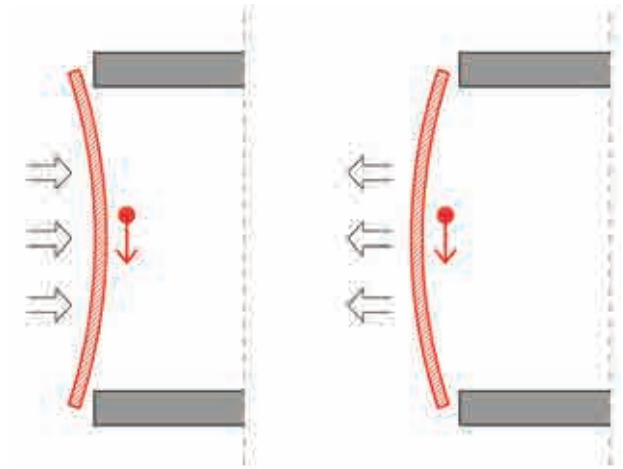


Fig.2.39. Estabilidad frente a esfuerzos horizontales de viento y verticales de peso propio

---

<sup>7</sup> Cinco requerimientos funcionales básicos: mecánico, térmico, acústico, estanco y al fuego. Tesis doctoral 'La hoja interior de la fachada ventilada'. Dra. Cristina Parda March

## CAPÍTULO 3 – ESTADO DEL ARTE

CAPÍTULO 1 – INTRODUCCIÓN Y METODOLOGÍA

CAPÍTULO 2 – CONTEXTO Y PROPÓSITO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

### **CAPÍTULO 3 – ESTADO DEL ARTE**

- 3.1.- La importancia de la junta en la construcción por componentes*
- 3.2.- Marcos perimetrales interiores sin funciones completas de molde*
- 3.3.- Marcos perimetrales exteriores sin funciones completas de molde*
- 3.4.- Marcos perimetrales exteriores con funciones completas de molde*
- 3.5.- Conclusiones*

CAPÍTULO 4 – LA CONFORMACIÓN DE COMPONENTES PLANOS BASADOS EN LOS SEMIPRODUCTOS LINEALES

CAPÍTULO 5 – PROPUESTA

CAPÍTULO 6 – EL COSTE DE LA CLIENTALIZACIÓN

CAPÍTULO 7 – CONCLUSIONES Y PROSPECTIVA



*Bellvitge, Barcelona 1969*





### 3 ESTADO DEL ARTE

#### **Sistemas de producción que incorporan marcos perimetrales ‘perdidos’ como elementos definidores de la forma en la fabricación de componentes planos de hormigón**

##### **3.1 La importancia de la junta en la construcción por componentes**

El ensamblaje entre o varios componentes prefabricados siempre ha obligado al diseño específico de los elementos de unión para poder garantizar su compatibilidad, tanto desde un punto de vista geométrico como funcional.

En este sentido cabe diferenciar entre lo que entendemos por compatibilidad geométrica entre componentes y el elemento de junta.

##### **Geometría**

Desde un punto de vista industrial, la compatibilidad geométrica entre componentes hace referencia principalmente a un factor de calidad. Para que dos componentes puedan unirse perfectamente tan solo es necesario que se cumplan ciertos requisitos de borde sin que sea necesario introducir un elemento interpuesto (junta) que permita resolver más funciones que la perfecta unión. En este caso tan solo es condición que ambas geometrías de borde sean geoméricamente compatibles.

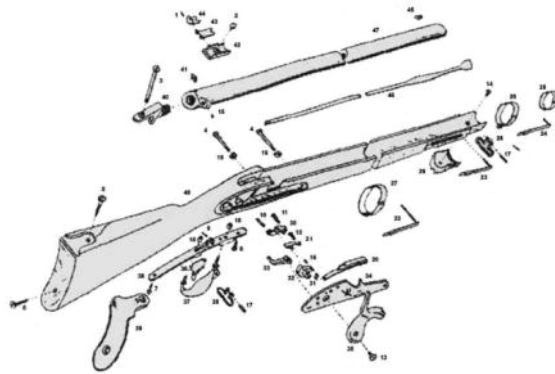


Fig.3.1. Conformación de un mosquete mediante la 'Manufactura de partes intercambiables'

En este sentido, uno de los primeros ejemplos que obligó a desarrollar industrialmente el concepto de compatibilidad geométrica entre componentes fue la producción de mosquetes para el ejército de EEUU después de la Guerra de la Independencia.

*Eli Whitney* (1765-1825) inventor y fabricante americano, recibió el encargo de producir una gran cantidad de mosquetes debido a la elevada demanda. Para ello desarrolló el sistema de producción en serie<sup>1</sup>, popularizado posteriormente por Henry Ford para la fabricación del Ford-T.

La aportación de *E. Whitney* permitió pasar de una producción artesanal donde cada mosquete fabricado era diferente al anterior, a un proceso de producción en serie donde cada una de las partes (componentes) podía fabricarse de forma independiente a las otras (Fig. 3.1) permitiendo superar la construcción por adición de los procesos artesanales.

Esto le llevó a definir un concepto que hoy a día de hoy es condición necesaria en muchos de los procesos industriales: 'la manufactura de partes intercambiables', que obliga a respetar los criterios de tolerancias de fabricación de los componentes para garantizar su correcto ensamblaje.

### **Funciones**

El concepto de junta ha estado y está presente en muchos ámbitos industriales, que con más o menos esfuerzos han desarrollado este 'elemento' de nexo entre los diferentes

---

<sup>1</sup> Producción en serie. Ver Terminología

componentes que conforman un sistema. Aunque la junta también puede resolver problemas de compatibilidad geométrica no tiene por qué ser esta su única función.

<sup>2</sup>[...] *La junta es la transición entre dos piezas, establecida por diferentes motivos: como limite dimensional de los materiales, por necesidades de montaje, para independizar movimientos entre elementos diferentes, etc. En ella se plantean problemas de transmisión de esfuerzos mecánicos, junto a la misión de responder a las diferentes características que tienen las superficies que confluyen en ella [...]*

Desde el momento en el que queremos unir dos elementos para formar otra unidad o sistema necesitamos desarrollar una junta, ya sea mediante materiales especializados o elementos diseñados para desarrollar dicha función.

El concepto de junta no es nada nuevo, los sistemas de construcción tradicional también lo contemplaban pero es en los sistemas prefabricados y/o industrializados donde toma una especial relevancia. Actualmente cada industria ha desarrollado su propia estrategia en el desarrollo de las juntas, evaluando tanto los procesos de montaje como los costes que esta pueda suponer y aunque la junta tiene una ubicación muy precisa entre componentes, esta puede desarrollarse a en base a tres estrategias, tres tipos (Fig. 3.2):

- I. Formada por el ensamblaje de dos 'medias juntas'(a-a') ubicadas en los perímetros de los componentes a ensamblar. Posiblemente la más utilizada.

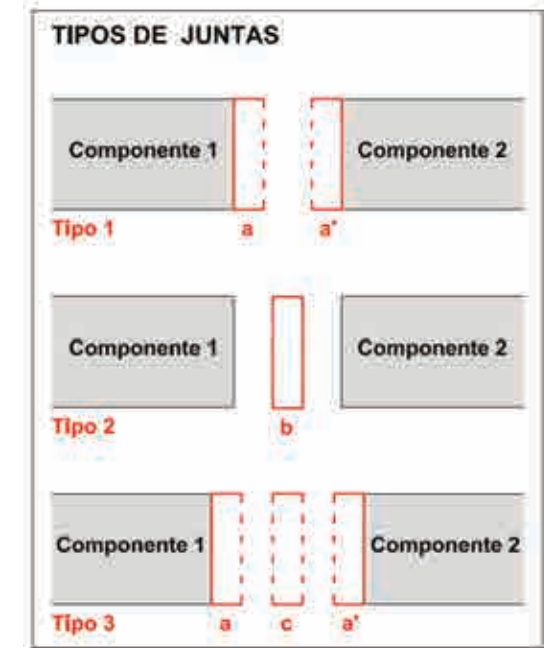


Fig.3.2. Clasificación de los tipos de junta según su conformación por partes

---

<sup>2</sup> 'La arquitectura como técnica'. Ramón Araujo. Pag.93 (Bibliografía)



Fig.3.3. La junta debe garantizar la continuidad en la estanqueidad (agua y aire) y el aislamiento acústico, además de permitir la practicabilidad de la puerta

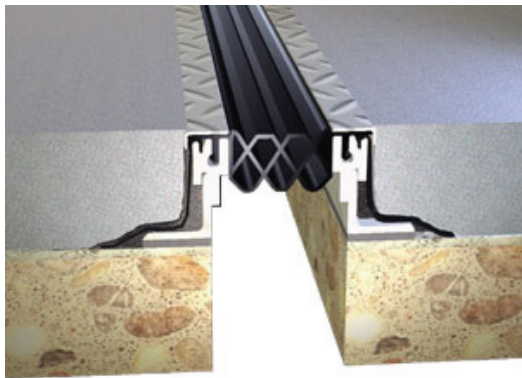


Fig.3.4. Junta de expansión para un puente con rodadura de vehículos. Wabo Water Tite

- II. La junta (b) es un componente en si, a la que los componentes se le unen, generando otras dos uniones de menor complejidad.
- III. Formada por dos 'medias juntas' (a-a') de los componentes complementadas por un tercer componente de junta (c).

En los sistemas prefabricados para la construcción la primera estrategia acostumbra a ser la que más aceptación ha tenido aunque también encontramos ejemplos en los otros dos sentidos.

Sea cual sea la solución sabemos que las juntas deben de satisfacer como mínimo los mismos requerimientos que satisfacen los componentes que van a unir garantizando una cierta continuidad funcional, garantizando lógicamente su compatibilidad geométrica (Fig. 3.3<sup>3</sup>).

Pero en muchos casos los requerimientos que deben cumplir las juntas no se limitan a las de los componentes contiguos sino que además pueden aportar otras prestaciones al conjunto del sistema (Fig. 3.4).

Así pues las juntas pueden llegar a representar un sistema en si mismo, complejo y de difícil desarrollo. Esto nos lleva a pensar que estas no solo serán de interés por sus requerimientos tecnológicos sino porque, como veremos, la junta representa un coste añadido a cualquier construcción por componentes.

---

<sup>3</sup> 'Refabricating Architecture'. KIERAN, Stephen. Pag. 92 (Bibliografía)

En los componentes planos de hormigón vemos como el elemento de junta no solo aparece en el perímetro exterior de los paneles que los relaciona sino que también debemos considerarla en relación al hueco interior.

Si entendemos la ventana como un componente que se fabrica en un entorno industrial distinto al del panel, entonces se establece una relación directa entre el componente de hormigón y el componente de ventana que obliga a resolver la junta (Fig. 3.5<sup>4</sup>).

- **Como veremos en los capítulos siguientes, ambas juntas del panel –perímetro exterior y perímetro interior- han llevado a plantear desarrollos de soluciones concurrentes entre la definición de la forma de los paneles y la compatibilidad entre los componentes.**

### 3.2 Marcos perimetrales interiores sin funciones completas de molde

En este sentido encontramos varias referencias a lo largo de la historia de los prefabricados de hormigón donde se incorporan desde su fabricación algunos de los elementos de carpintería en los huecos.

Disponemos de múltiples referencias bibliográficas, ejemplos y casos donde el elemento de premarco o incluso directamente el marco de la ventana forma parte del molde perimetral interior de los paneles (Fig. 3.6<sup>5</sup>).

---

<sup>4</sup> 'Industrialized building 1- 50 International Methods'. R.M.E. DIAMANT, MSc. Pag. 46 (Bibliografía)

<sup>5</sup> 'Industrialized building 1- 50 International Methods'. R.M.E. DIAMANT, MSc. Pag. 50 (Bibliografía)



Fig.3.5. Paneles finalizados de hormigón con la ventana incorporada. Sistema de prefabricación Coignet. Anterior a 1960 Francia

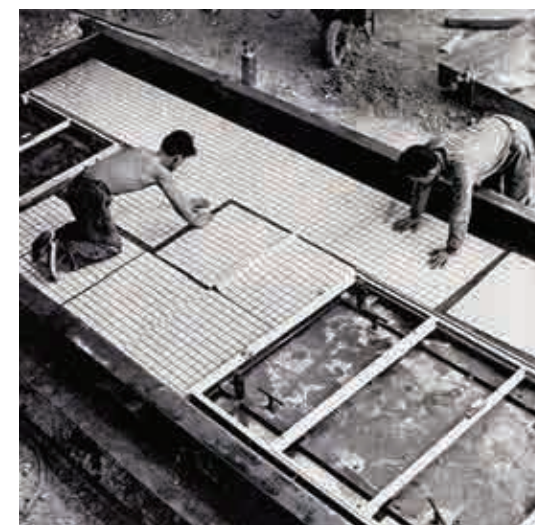


Fig.3.6. Colocación del núcleo de un panel sándwich de hormigón que incorpora los marcos de la ventana antes de hormigonar el lado superior del componente. Sistema Camus patentado en 1949. Francia

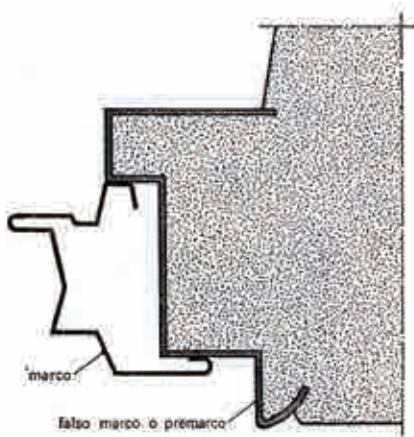


Fig.3.7. Premarco de acero embebido al panel de hormigón (Tecnologías de la construcción industrializada' G.Blachère)

G.Blachère<sup>5</sup>, en 'Tecnologías de la construcción industrializada' ya hace una clara referencia a este aspecto cuando habla de los sistemas de construcción con grandes paneles de hormigón y analiza las diferentes juntas del componente:

<sup>6</sup>[...] una junta importante es la de los marcos de carpintería y del hormigón. Los marcos en la solución clásica se colocan en el molde en la fabricación. Es un punto importante de economía [...] algunas veces se dispone en el molde no del marco, sino de un premarco de planchas o perfil metálico sobre el que se fijará el marco [...] (Fig.3.7)

Como vemos ya se asumía de forma natural la incorporación de un premarco en el propio proceso de conformación del panel en vistas a una mejora del funcionamiento de la junta.

Ejemplos como los del 'Seminario de prefabricación'<sup>7</sup> de 1973 en Madrid donde aparecen soluciones de premarcos embebidos en el propio panel (Fig. 3.8) o los ejemplos citados anteriormente por G.Blachère hacen de esta una solución habitual durante los años 50 y 60.

La solución de incluir elementos de marco o premarco durante la ejecución de los paneles no solo permitía mejorar el comportamiento de dicha junta frente a la estanqueidad del hueco sino que también debía dar respuesta a aspectos económicos relacionados con la ejecución del componente completo.

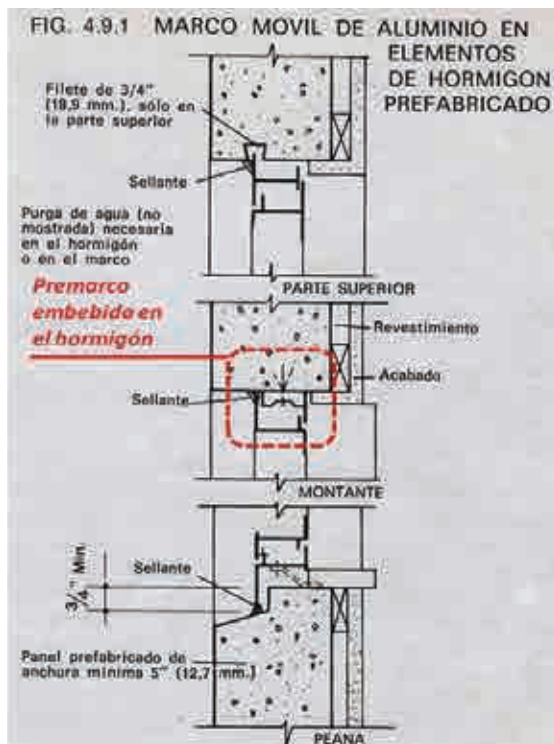


Fig.3.8. Premarco embebido en la solución de ventana

<sup>6</sup> 'Tecnologías de la construcción industrializada'. Gerard Blachère (Bibliografía)

<sup>7</sup> Fachadas prefabricadas de hormigón. Manual de diseño (1973) (Bibliografía)



En efecto, el desarrollo de las juntas de los sistemas prefabricados siempre ha representado un coste añadido respecto a los sistemas constructivos que no la tienen o sobretodo no la tienen tan especializada.

El elemento de junta necesita de una consideración especial dentro del componente ya que en ella también recaen responsabilidades técnicas y económicas que garantizan la viabilidad del sistema.

En este sentido, tanto *G.Blachère* como *P.Bernard* ponen de manifiesto la importancia del coste de los elementos de junta en un sistema de elementos prefabricados de hormigón, este último en referencia a los análisis realizados por el *Plan de Construcción Francés* del 1975 donde se diferencian claramente los costes de un sistema entre:

<sup>8</sup>*[...] las partes macizas de los componentes y los gastos referentes a las uniones. En estos últimos se halla, por ejemplo: todos los costes de producción relativos a la forma de los bordes de los componente; la complicación de los moldes y de las operaciones de moldeo parar ejecutar los perfiles de borde; los materiales y accesorios diversos que intervienen en la confección de las juntas, tanto en fabrica o taller como en obra; los correspondientes gastos de mano de obra, principalmente para la puesta en obra que consiste en efectuar los ensamblajes, que se imputan en gran parte en el capítulo “juntas” [...]*

---

<sup>8</sup> 'La construction par composants compatibles' Paul Bernard (Bibliografía)

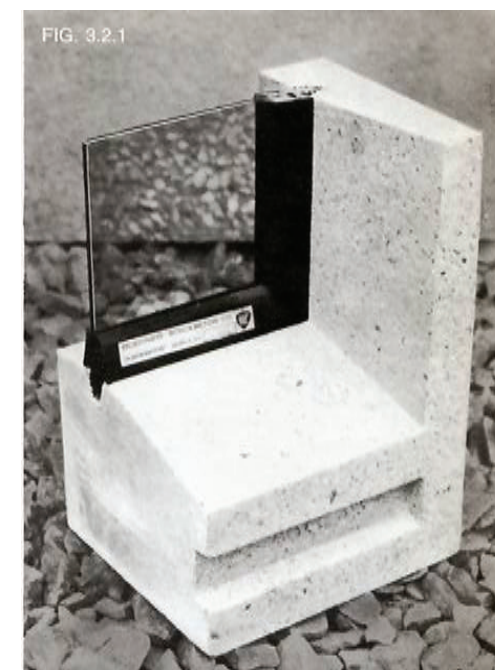


Fig.3.9. Junta elástica de goma entre el vidrio y el panel de hormigón

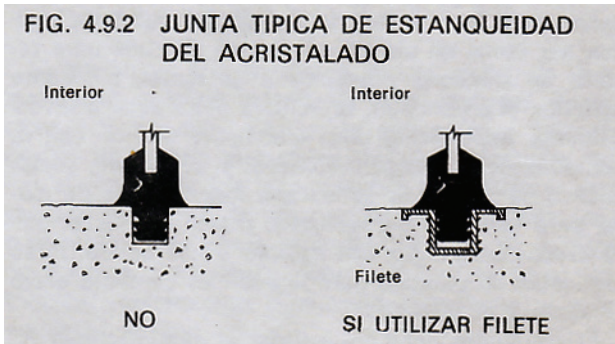


Fig.3.10. Propuesta de mejora para la junta embebida entre el vidrio y el panel de hormigón mediante incorporación de perfil omega

Esta necesidad de controlar y minimizar el coste tanto del componente como de las juntas, debido a la mano de obra necesaria en el proceso de ejecución y a la cantidad de materiales utilizados, llevó a plantear soluciones que eliminaban los marcos y premarcos en la definición de los huecos (Fig.3.9<sup>9</sup>):

*R. Bender<sup>10</sup> [...] hoy en día se ven aparecer sistemas sin marco: es una solución de evidencia [...] la solución se completa con hojas sin bastidor llegando así a ventanas únicamente de hormigón y de vidrio [...]*

Lógicamente esta última sugerencia de *R. Bender* parece técnicamente poco inviable puesto que invalidaba su practicabilidad y tanto la estanqueidad como la durabilidad de la ventana se podrían ver comprometidas. A cambio se desarrollaron propuestas que interponían una junta elástica y un pequeño perfil como solución para la optimización del material utilizado (Fig. 3.10<sup>9</sup>), aun así el perfil no podía ser continuo en todo el perímetro si se tenía en cuenta la reposición del vidrio.

Si bien es cierto que la incorporación de los perfiles de carpintería en los procesos de conformación de los paneles no permitía eliminar los molde perimetrales, ***su presencia venía justificada por la optimización de los aspectos técnicos y económicos de la junta entre el componente de hormigón y el componente de ventana.***

<sup>9</sup> 'Fachadas prefabricadas de hormigón'. Manual de diseño (1973) (Bibliografía)

<sup>10</sup> 'Tecnologías de la construcción industrializada' Richard Bender (1976) (Bibliografía)

### 3.2.1 El caso de Bellvitge

Un buen ejemplo de ello lo podemos ver en la gran intervención urbanística que se inició en 1964 en Bellvitge (Hospitalet del Llobregat) donde se construyeron más de 120.000 viviendas en casi 20 años como respuesta al intenso proceso de inmigración de la población española en busca de mejores oportunidades.

Bellvitge se construyó principalmente en 2 fases, Bellvitge Norte iniciada 1964 y Bellvitge Sud iniciada en 1967. La operación se realizó a través de un consorcio de empresas promotoras y constructoras lideradas por *Inmobiliaria Ciudad Condal S.A.* cuya principal constructora era CIDESA participada en un 50% por otras dos empresas francesas propietarias de las patentes del sistema.

Debido a la magnitud del proyecto la empresa constructora montó *in-situ* la fábrica de prefabricados encargada de producir todos los componentes de hormigón del proyecto (Fig.3.11).

El proceso de conformación de los paneles planos se realizaba de forma convencional mediante el vertido del hormigón sobre el molde horizontal conformado con tabicas reversibles de acero que garantizaban la elevada durabilidad del molde.

La durabilidad de los moldes era de vital importancia puesto que prácticamente todos los bloques de viviendas que se iban a construir eran prácticamente iguales a excepción de pequeñas modificaciones en los paneles de fachada (balcones y ventanas) que fueron incorporándose a medida que avanzaba la construcción (estas modificaciones se aprecian sobretodo entre el Bellvitge Nord y el Bellvitge Sud).



Fig.3.11. Instalación de nave de CIDESA para la fabricación a pie de obra de los elementos prefabricados de hormigón (1968)



Fig.3.12. Marco de carpintería con flejes preparado para utilizarlo como parte del molde perimetral interior (1969)



Fig.3.13. Fijación del marco de la ventana al molde perimetral interior (1969)



Fig.3.14. Panel de fachada prefabricado con las las ventanas ya montadas (1969)



Fig.3.15. Estado actual de las carpinterías embebidas en el panel de hormigón (2012)

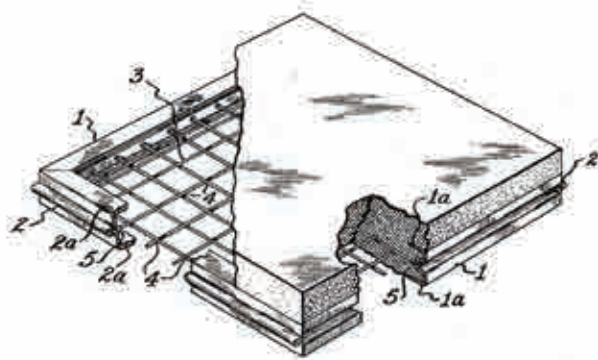


Fig.3.16. Patente 'Structural cement slab'

Pero más allá de la repetitividad y la amortización de los moldes, el interés por este proyecto está principalmente en la ejecución de los paneles de fachada de hormigón y concretamente en la incorporación de marco de la ventana en el proceso de hormigonado sin contemplar la necesidad de un premarco (Fig. 3.12).

En efecto, este representa un claro ejemplo de ejecución donde se colocaba el marco de la ventana durante el proceso de conformación de los paneles para dejarlo embebido (Fig.3.13).

Una vez el hormigón había endurecido, se fijaban las hojas practicables de la ventana y se dejaba el componente de hormigón listo para el montaje (Fig. 3.14)

La colocación de los paneles en fachada se realizaba con las carpinterías colocadas optimizando los tiempos de ejecución en obra gracias a la eliminación de las operaciones de replanteo de los huecos de los paneles (Fig. 3.15). Aún así,

- ***El marco de la ventana no desarrollaba funciones plenas de molde, puesto que no cubría todo el espesor del panel***

### 3.3 Marcos perimetrales exteriores sin funciones completas de molde

Del mismo modo que sucede con los marcos o premarcos de ventana donde muchas veces eran incluidos en los propios procesos de producción de los paneles como estrategia para mejorar los costes y calidades de la junta entre el panel y la ventana, también podemos encontrar ejemplos donde el desarrollo de paneles mixtos de acero y hormigón a utilizado o



utiliza la tecnología de transformación del acero como molde o parte del molde para su conformación (Fig. 3.16<sup>11</sup>).

Muchos de estos sistemas aparecen como evolución del sistema *Tilt-Up* americano de prefabricación '*in-situ*', que permitía disminuir una parte importante de los costes asociados al transporte y manipulación de los paneles pesados de gran formato (Fig. 3.17<sup>12</sup>).

La incorporación de esta nueva tecnología del hormigón a la ya desarrollada tecnología del '*Ballom frame*' o '*Steel Frame*' ha facilitado el desarrollo de patentes y empresas que han elaborado sistemas constructivos basados en los paneles mixtos de acero-hormigón (Fig.3.18<sup>13</sup>) e incluso de madera-cemento<sup>14</sup>.

De nuevo veremos como estas tecnologías mixtas que combinan la técnica de conformación de bastidores de acero y la tecnología del hormigón aportaran mejoras al proceso de producción de los componentes de hormigón, tanto por la ejecución de las juntas como por los costes asociados a la definición de la forma de los moldes.

### 3.3.1 El sistema Metal Stud Crete<sup>15</sup>

El sistema constructivo está basado en la fabricación '*in-situ*' de paneles mixtos de acero-hormigón utilizados tanto como elementos de cerramiento como elementos estructurales.

<sup>11</sup> Patente US 2,338,246 Inventor: E.C. Hoge (1944)

<sup>12</sup> Patente US 3,394,523 Inventor: W.J.Sackett (1968)

<sup>13</sup> Patente US 5,5265,629 Inventor: Joseph A. Cavaness (1996)

<sup>14</sup> '*Tilt-wall concrete panel and method of fabricating buildings therewith*'. Patente US 4,856,244

<sup>15</sup> Sistema desarrollado en la Ficha 1.- Metal Stud Crete

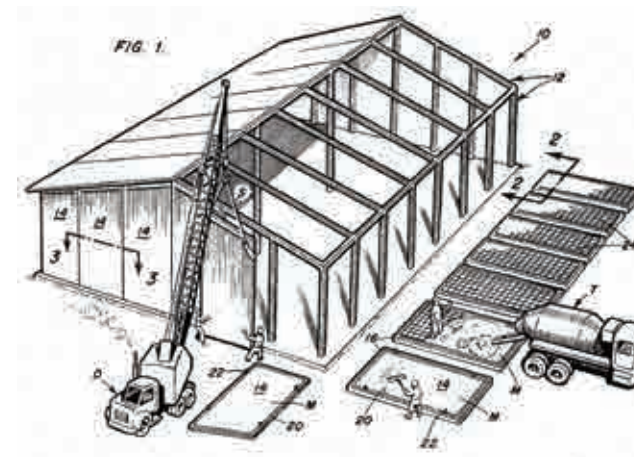


Fig.3.17. Patente 'Building enclosure of panels'.

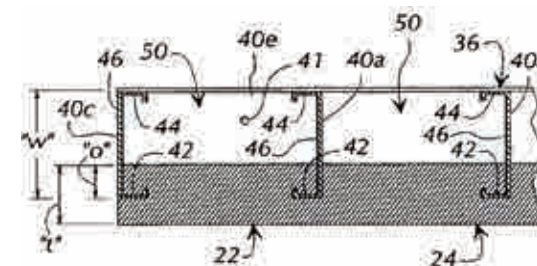


Fig.3.18. Patente 'Composite Building Panel'.

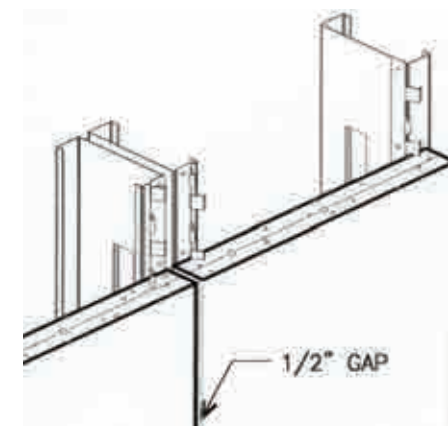


Fig.3.19. Patente 'Reinforced structural member for building constructions'.

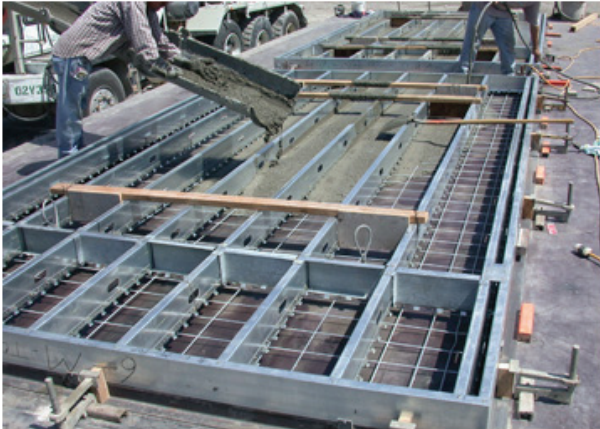


Fig.3.20. Operaciones de vertido del hormigón entre perfiles del bastidor ya conformado



Fig.3.21. Perfil en 'L' como complemento del bastidor para las funciones de molde perimetral

Los paneles están formados por un entramado o bastidor de perfiles de acero galvanizado plegados y ensamblados mediante la técnica del *'Steel frame'* al que se le añade una delgada losa de hormigón que aporta el acabado y rigidez del panel.

La conexión entre el bastidor y el hormigón se realiza a través de unas pestañas añadidas al perfil en forma de 'C' quedando embebidas en la losa de hormigón una vez hormigonado (Fig. 3.19<sup>16</sup>).

Este sistema constructivo plantea la conexión entre paneles a través de los perfiles de acero, por lo tanto la transmisión de esfuerzos entre los paneles no se realiza a través del hormigón sino a través de la tornillería que une los perfiles.

La ejecución del panel se realiza en dos fases claramente referenciadas según los dos elementos que lo conforman: acero y hormigón.

- I. La ejecución del bastidor de acero se realiza en un taller ajeno especializado en la técnica de conformación del *'Steel frame'*.
- II. La ejecución de la losa de hormigón se realiza 'in-situ' o en fábrica mediante la técnica de vertido vertical sobre molde horizontal (Fig. 3.20).

Si analizamos con más detalle el proceso de conformación de los paneles vemos como el bastidor de acero no desarrolla funciones de molde. El bastidor queda levantado de la 'mesa de hormigonado' (2") dejando un espacio por donde el hormigón podría escaparse.

---

<sup>16</sup> Patente US 5,414,972 Inventor: Antonio R. Ruiz (1995)

Para evitar esta fuga de hormigón se incorpora un perfil perimetral en forma de 'L' que desarrolla realmente las funciones de molde perimetral (Fig. 3.21 y 3.22). Tal y como se desprende del manual de ejecución del sistema, este perfil añadido deberá de adaptarse a la geometría del propio bastidor.

<sup>17</sup>[...] NOTE: Metal Frame wall panel dimensions are rarely if ever the same as the concrete form dimensions. Always refer to the shop drawings for specific dimensions [...]

Así pues el bastidor juega un papel importante pero no exclusivo como molde perimetral del sistema. Este sirve de galga para el molde perimetral complementario.

La solución de levantar el bastidor evitando que este entre en contacto con el fondo del molde, responde principalmente a dos requerimientos técnicos del sistema:

I. Evitar la visibilidad del bastidor por el lado acabado del panel

Todo el bastidor se realiza con la misma sección de perfil en 'C' por lo tanto llevarlo a fondo de molde implicaría visualizarlo por el lado del panel acabado. La posibilidad de levantarlo unos centímetros dejándolo embebidos los perfiles a media losa también tendría consecuencias de 'transparencia' del bastidor por el lado exterior del panel.

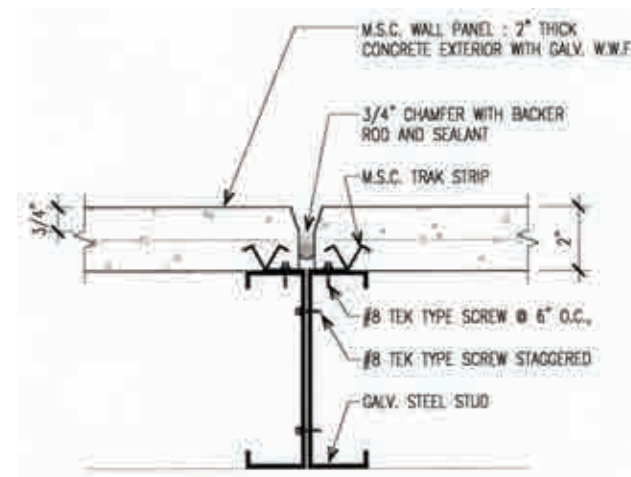


Fig.3.22. Unión entre dos paneles mediante tornillería rosca-chapa y sellado convencional de la junta



Fig.3.23. Manipulación del panel a través del bastidor de acero. Se observa en el canto del panel la presencia de los perfiles y del hormigón

<sup>17</sup> Metal Stud Crete Composite Wall System 'Quality Control And Fabrication Manual'. January 30, 2008.



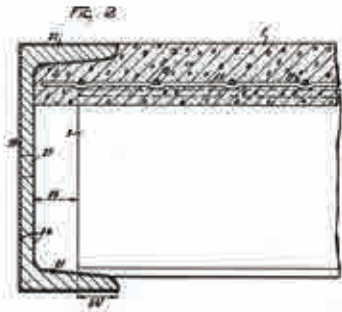


Fig.3.24. Patente 'Prefabricated section of a wall, floor or roof'

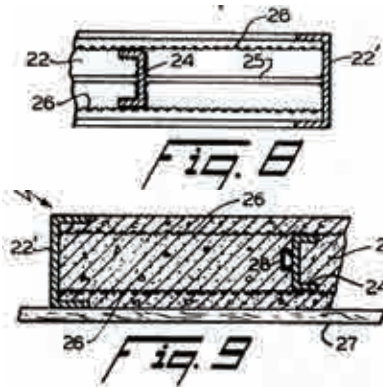


Fig.3.25. Patente 'Lightweight structural panel'.

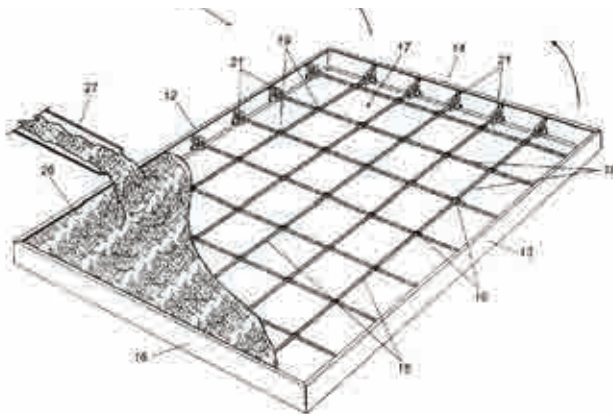


Fig.3.26. Patente 'Tilt-Up concrete wall panel form and method of fabricating same'.

## II. Facilitar el sellado de las juntas mediante los sistemas convencionales de paneles de hormigón

Puesto que el perfil no llega fondo de molde, una vez extraído el molde perimetral complementario, los testeros de la losa del panel quedan preparados para recibir la el sellado de las juntas mediante cordón de fondo de junta y silicona neutra (Fig.3.22).

Así pues el sistema *Metal Stud Crete* combina dos tecnologías aparentemente independientes (bastidores y paneles) para la ejecución de los componentes de fachada que son ensamblados para conformar paneles mixtos de acero-hormigón (Fig.3.23).

A pesar del acercamiento de estas dos tecnologías en un solo componente:

- ***El sistema Metal Stud Crete no utiliza los bastidores de acero galvanizado como elemento de molde para la ejecución de los paneles aunque los utiliza como galga para colocar los perfiles de borde imantados al bastidor, minimizando así las operaciones de replanteo.***

### 3.4 Marcos perimetrales con funciones completas de molde

Si hasta ahora hemos analizado casos en los que los perfiles perimetrales (interiores o exteriores) no desarrollaban funciones estrictas de molde, ahora veremos algunos ejemplos donde los perfiles añadidos al componente de hormigón desarrollan claramente funciones de molde.

En este sentido encontramos referencias tanto en patentes como en empresas donde se proponen sistemas que permiten eliminar el uso de los moldes reversibles de los sistemas convencionales de conformación (Fig.3.24<sup>18</sup>, Fig.3.25<sup>19</sup> y Fig.3.26<sup>20</sup>).

Como veremos la aparición de los marcos perimetrales en cada uno de los casos responde a requerimientos diversos en función de las necesidades de cada uno de los componentes pero siempre y en todos ellos el molde perimetral (interior o exterior) es el responsable de la definición de su forma.

### 3.4.1 El sistema Arquitectura Vertida

El sistema conocido actualmente como 'Arquitectura Vertida' nace como el desarrollo tecnológico de una de las patentes de Miguel Fisac presentada en 1997 y publicada finalmente en 2001. Esta patente<sup>21</sup> titulada 'Procedimiento de construcción de viviendas y similares' propone (Fig.3.27):

*<sup>21</sup>[...] un procedimiento de construcción de viviendas y similares cuya finalidad es proporcionar al mercado y público en general una nueva manera o sistema de construcción en donde los paramentos tanto interiores como exteriores son prefabricados y cuando lo requieran pueden actuar como encofrados permanentes*

<sup>18</sup> Patente US 3,484,999 Inventor: C. Van Der Lely. (1969)

<sup>19</sup> Patente US 3,604,174 Inventor: Thomas J. Nelson Jr. (1971)

<sup>20</sup> Patente US 6,658,810 B2 Inventor: W. Michael DeLoach, Sr. (2003)

<sup>21</sup> Patente ES 2 148 024 A1 Inventor: Miguel Fisac Serna. (2001)

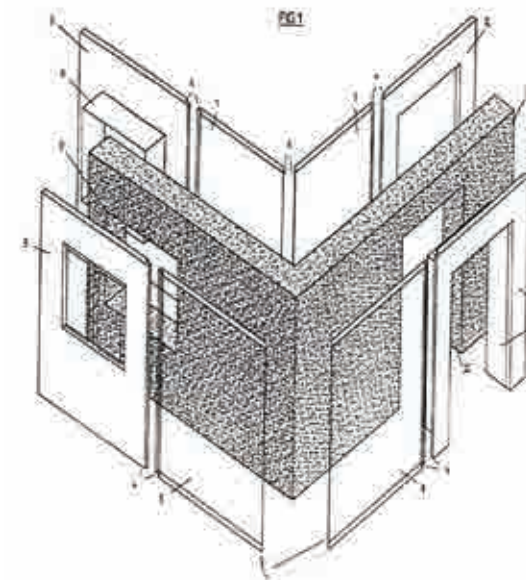


Fig.3.27. Patente 'Procedimiento de construcción de viviendas y similares'. Miguel Fisac 2001



Fig.3.28. Proceso de construcción del sistema 'Arquitectura Vertida'. 54 viviendas en Albacete



Fig.3.29. Prototipo muestra del 'panel ligero' del sistema Arquitectura Vertida



Fig.3.30. Montaje de un panel 'ligero' sobre las placas alveolares. 54 viviendas en Albacete

para el hormigón para el hormigón que formará la estructura pesada de la construcción [...]

La patente reivindica un procedimiento constructivo basado en la construcción de edificios mediante muros de cerramiento estructurales (interiores y exteriores), liberando así al espacio interior de cualquier otro elemento estructural lineal (pilares, jácenas, etc...) Fig.3.28.

El desarrollo tecnológico de este sistema se realizó juntamente con el despacho del arquitecto *Fernando Sánchez-Mora*, el ingeniero de caminos *José Luis Lleyda* y en colaboración con la empresa *Postelectrica Fabricación S.A.* que fabrica y desarrolla los paneles del sistema *Arquitectura Vertida* desde 2006.

Una de las principales ventajas del sistema es el transporte a obra de 'paneles ligeros'. Estos paneles ligeros están formados por dos láminas de hormigón HA-25 (Fig.3.29) conectadas mediante celosías de acero (Fig.3.31) que una vez colocados en obra dan soporte a los elementos horizontales de la estructura (placas alveolares) Fig.3.30.

Posteriormente en obra se procede al vertido de hormigón autocompactante que rellena los paneles a vez que los unen con las placas alveolares consiguiendo un mayor comportamiento hiperestático del sistema estructural.

Pero independientemente del sistema constructivo nuestro interés se centra en el proceso de ejecución de los paneles y sobretodo en la incorporación de un elemento de premarco para la definición del hueco interior de los paneles (Fig. 3.31).

La incorporación de dicho premarco aparece en las primeras propuestas publicadas<sup>22</sup> del sistema, pero posteriormente durante el desarrollo industrial del sistema fue sustituido por otros elementos y sistema más convencionales.

Inicialmente este premarco debía resolver dos funciones:

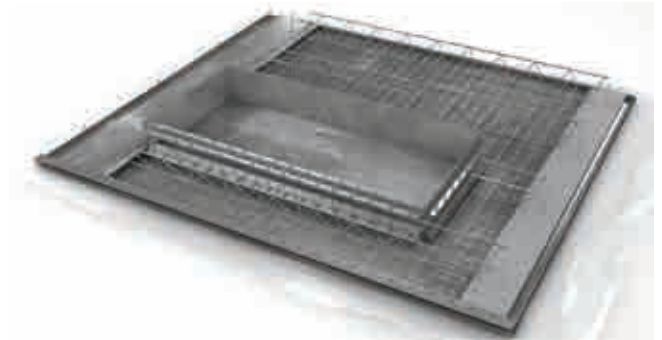
I. Funciones de molde

El premarco debía de desarrollar funciones de molde tanto en el proceso de conformación del 'panel ligero' a fábrica como posteriormente durante el proceso de llenado del panel en la obra.

II. Funciones mecánicas y de servicio

El premarco podía desarrollar dos funciones claramente diferenciadas. Una vez el panel ha sido hormigonado y empieza a recibir el descenso de cargas de la estructura, el premarco colabora en el comportamiento mecánico del panel como sustituto del hormigón en la zona del hueco.

Por otro lado el premarco facilita el montaje de las carpinterías, ya sea a taller o a obra. También gracias a su 'continuidad' (premarco telar) permite evitar la ejecución posterior de elementos especializados como el alfeizar, el dintel o las jambas que garanticen la estanqueidad perimetral en el hueco.



*Fig.3.31. Simulación del proceso de conformación del 'panel ligero'. Integración del premarco de acero como elemento de molde. Arquitectura Vertida*



*Fig.3.32. Premarcos de los huecos montados en obra. 54 viviendas en Albacete. Arquitectura Vertida.*

---

<sup>22</sup> 'Arquitectura Vertida' S.González; F.Sanchez-Mora. Informes de la construcción. Vol.58. 2006 (Bibliografía)



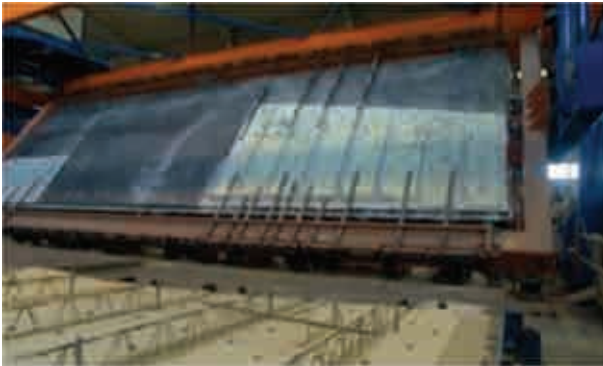


Fig.3.33. Volteado del 'panel ligero' en las instalaciones de la empresa Postelctrica Fabricación S.A.



Fig.3.34. '54 viviendas en Albacete'. 2010. Arquitectura Vertida.

Las principales razones que motivaron el abandono del uso del premarco de acero como elemento de molde perdido fueron sobretodo de tipo económicas y de producción.

Por un lado la incorporación del premarco como elemento de molde dificultaba el proceso de conformación del 'panel ligero' que debía disponer de un correcto acabado por ambos lados. El sistema de producción obliga primero a la ejecución de una cara del 'panel ligero' (exterior) para poder luego ensamblarla con la otra cara del panel (interior) aun fresca (Fig.3.33) y así conseguir un panel con ambas caras bien acabadas.

Además la incorporación del premarco implica la vinculación de otra industria dentro de un proceso de conformación ya muy automatizado y estandarizado por la empresa prefabricadora.

Desde un punto de vista económico parecía evidente, incorporar un elemento añadido que principalmente responde a funciones de moldeo del hormigón y que no podemos 'amortizar' parece ser un coste inasumible por la industria actual.

Actualmente se ha desarrollado un sistema de conformación del hueco en fábrica mediante tabicas móviles para cada una de las caras del panel. Posteriormente en obra se coloca alrededor del hueco un elemento tipo 'nervometal' a modo de encofrado perdido durante las operaciones de vertido.

Con el sistema inicial de premarco de acero no se llegó a realizar ninguno de los proyectos previstos. Como hemos visto el sistema fue evolucionando hacia otras soluciones para el hueco.

Antes de la sustitución del premarco de acero por uno de hormigón, este sistema representaba un claro ejemplo de la incorporación de un elemento de molde perdido durante el proceso de ejecución del panel. Aun teniendo en cuenta las mejoras tecnológicas que la solución aportaba al sistema constructivo estas no fueron suficientes para incorporarlas en un contexto de producción industrial actual.

Respecto a la clientalización de la forma que el sistema con premarco de acero podía sugerir no encontramos una representación clara en las primeras propuestas de proyecto. De hecho vemos como hay una evidente repetición en la geometría del hueco (Fig. 3.34, 3.35 y 3.37). También encontramos proyectos como el prototipo para vivienda GZ10<sup>23</sup> que utiliza este sistema pero que huye de resolver el perímetro del hueco con elementos perimetrales incorporados al panel (Fig. 3.36).

Lógicamente esto no significa que el sistema no permita una cierta clientalización de la forma del hueco ya que posiblemente en estos casos tanto la repetición del hueco como el despiece de los paneles responden más a una voluntad compositiva de proyecto que a una restricción propia del sistema.

- ***En los primeros desarrollos del sistema 'Arquitectura Vertida' se proponía utilizar un premarco a modo de molde perdido que permitía desarrollar otras funciones necesarias durante el proceso constructivo.***

---

<sup>23</sup> 'Gz/10. Un prototipo experimental de vivienda unifamiliar. Aplicación práctica de la última patente del arquitecto Miguel Fisac'. F. González Blanco. Informes de la construcción. Junio 2012



Fig.3.35. Propuesta para 53 viviendas en el ensanche de Vallecas. Madrid. Arquitectura Vertida.

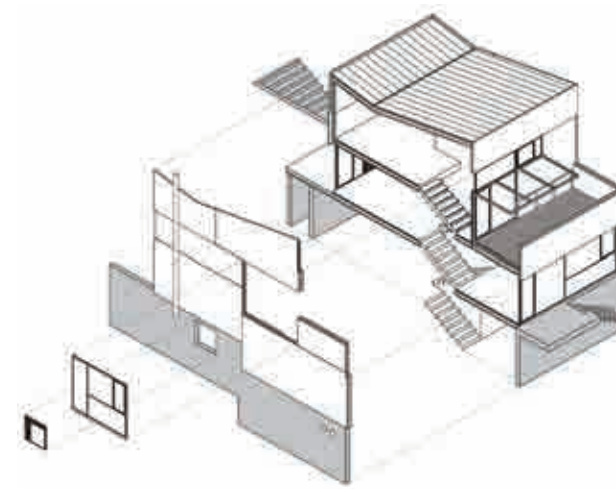


Fig.3.36. El hueco se resuelve con la ausencia de panel. GZ/10 prototipo de vivienda unifamiliar aplicando la patente de 'Arquitectura Vertida'. Arq. Fermín González Blanco

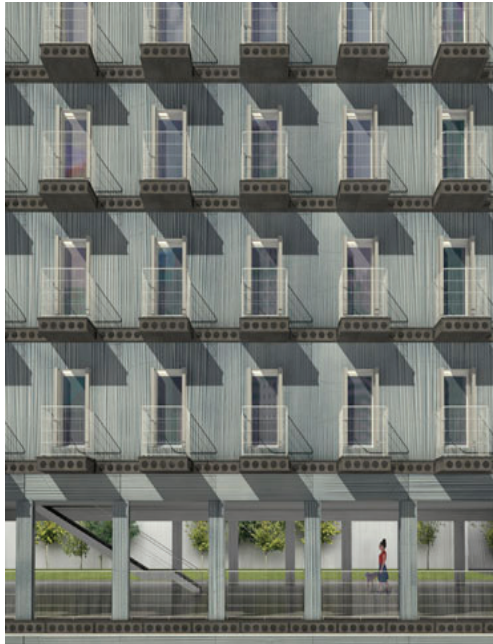


Fig.3.37. Propuesta para 113 viviendas en Méndez Álvaro. Madrid. Arquitectura Vertida.

- *Esta estrategia no fue considerada como ‘herramienta’ para conseguir una mayor clientalización de la forma del hueco de fachada.*
- *La elevada automatización de la industria encargada de la ejecución del sistema, no facilitó la incorporación de nuevas estrategias de producción, con el premarco del hueco.*

### 3.4.2 El sistema GRC Aluminium<sup>24</sup>

Un primer ejemplo de la utilización de marcos perimetrales como molde perdido en los procesos de moldeo del hormigón es el sistema *GRC Aluminium* que desarrolló la empresa Presotec 3000 juntamente con la antigua empresa MGS situada en Girona dedicada a la conformación de componentes planos de GRC (*Glass Reinforced Concrete*) para fachada.

Durante un corto periodo del 2007 al 2009 esta empresa utilizó un sistema de moldes perimetrales perdidos para la conformación de los paneles tipo *Stud Frame* de GRC.

Un perfil de aluminio extruido de sección en forma de ‘F’ invertida, se colocaba a modo de molde perimetral encima de la mesa de moldeo delimitando la geometría perimetral exterior del panel (Fig. 3.38a, 3.38b).

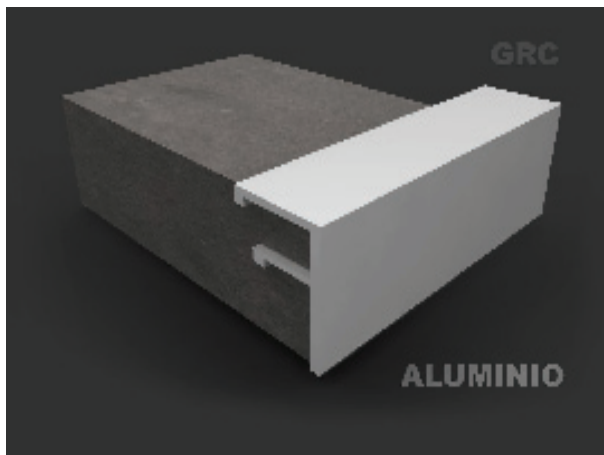


Fig.3.38a. Infografía del sistema de perfil ‘F’ embebido a la cascara de GRC. Sistema GRC Aluminium

<sup>24</sup> Sistema desarrollado en la Ficha 2.- Sistema GRC Aluminium



Una vez colocado y fijado el marco de aluminio a unas tabicas laterales se proyectaba la pasta de GRC procurando que esta penetrara hasta el último rincón del perfil.

Una vez realizada la cascara superficial de 10 o 15mm, se terminaba el componente siguiendo el proceso habitual de conformación de los paneles Stud Frame de GRC.

La incorporación del perfil perimetral tipo 'F' en los paneles de GRC respondía principalmente a tres factores que en aquellos momentos preocupaban especialmente a la empresa:

I. El concepto del Poka-Yoke asociado a la producción y a la calidad

Presotec 3000 tenía como principal objetivo garantizar el control dimensional de los paneles que fabricaba y así evitar mayores problemas durante el montaje en obra. En este sentido utilizar perfiles de aluminio extruido y cortados por la industria de las carpinterías garantizaba una mayor precisión dimensional de los paneles.

II. Garantía de calidad y durabilidad del sellado de juntas. Estanqueidad

El sistema también debía de aportar mejoras en la ejecución de las juntas (estanqueidad) mediante sellado que actualmente se ejecutan para los paneles Stud Frame de GRC. La durabilidad de los productos utilizados para estas operaciones de sellado tan solo pueden garantizarse siempre y cuando el material de soporte está limpio y presenta una cierta homogeneidad para su aplicación. En este caso el perfil de aluminio mejoraba estas condiciones (Fig. 3.39).



Fig.3.38b. Infografía del sistema de perfil 'F' embebido a la cascara de GRC. Sistema GRC Aluminium

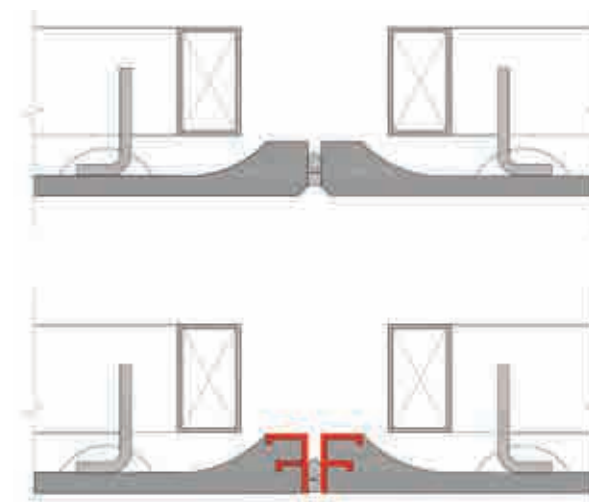


Fig.3.39.

Arriba: Junta convencional para paneles Stud Frame de GRC.  
Abajo: Propuesta de junta del sistema GRC Aluminium.



Fig.3.40. Perfil de aluminio en los paneles de GRC desarrollados con el sistema GRC Aluminium.

### III. Mejorar y mantener la calidad de las aristas perimetrales de los paneles

Durante las operaciones de manipulación de los paneles se pueden producir daños irreversibles sobretodo en las aristas de los paneles más aun si estos paneles están formados por delgadas cascarras de GRC.

Por otro lado, se detecto la inquietud en algunos arquitectos por mejorar el aspecto en el acabado perimetral de los paneles, definiendo con mayor precisión sus aristas e incluso planteaban la posibilidad de dejar vista la arista del perfil perimetral de aluminio.

Pero, teniendo en cuenta que la sección del perfil no permitía resolver ningún requerimiento de estanqueidad (agua o aire) obligaba a sellar la junta con los sistemas habituales.

Un ejemplo de la aplicación del sistema *GRC Aluminium* con perfiles de borde como molde perdido puede verse en el proyecto de viviendas de la Calle Modolell de Barcelona. Como vemos (Fig. 3.40) el panel de GRC lleva incorporado el perfil perimetral 'F' de aluminio cortado a bisel en las esquinas. Por delante de este aparece el bastidor de perfiles tubulares de acero galvanizado.

Finalmente el sistema de sellado de junta para garantizar la estanqueidad del sistema se ejecutó de forma convencional mediante cordón de fondo de junta y cordón de silicona, sin que se pudiera apreciar el perfil perimetral de aluminio (Fig. 3.41a).



Fig.3.41a. Junta sellada con sistemas convencionales en los paneles de Modolell desarrollados con el sistema GRC Aluminium.

Otro de los proyectos en los que se utilizó el sistema de *GRC Aluminium* fue en el Pabellón de Aragón de la Exposición Universal de Zaragoza en 2008 para el desarrollo de los paneles de GRC tridimensionales de fachada (Fig. 3.41b).

- **El sistema ‘GRC Aluminium’ no tenía como objetivo de clientalización de la forma de los componentes si no que pretendía mejorar principalmente aspectos de calidad del panel, vinculados a la fabricación, la manipulación y el montaje en obra.**



Fig.3.41b. Paneles de GRC Aluminium en la fachada del Pabellón de Aragón. Exposición Zaragoza 2008

### 3.4.3 El sistema EcoliteConcrete<sup>25</sup>

La empresa *Ecolite International Inc.* desarrolla el sistema *EcoliteConcrete*<sup>26</sup> basado en un sistema de paneles mixtos acero-hormigón totalmente prefabricados (Fig. 3.42).

El sistema está formado por un bastidor de perfiles plegados de acero galvanizado plementado con una delgada losa de hormigón aireado que aportará rigidez al elemento, ya que principalmente lo utilizan como elemento estructural del sistema.

---

<sup>25</sup> Sistema desarrollado en la Ficha 3.- Sistema EcoliteConcrete

<sup>26</sup> 'Composite building panel and method of making composite building panel'. Patente nº US 7,757,454 B2. Inventor: Brian Smith (2010)

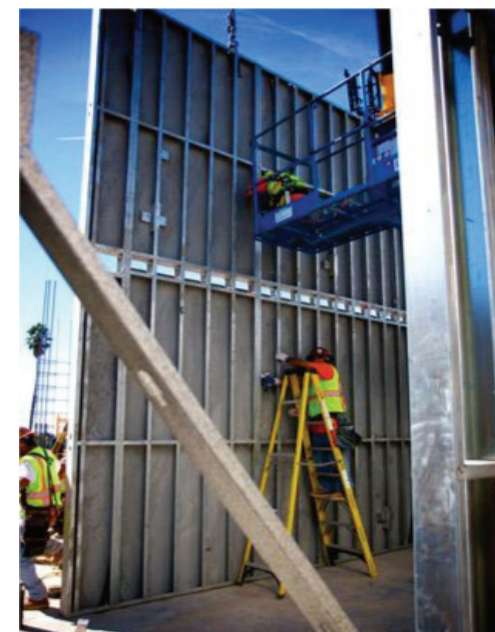


Fig.3.42. Panel del sistema Ecoliteconcrete donde podemos ver el entramado de acero



Fig.3.43. Bastidor con el deployeé de conexión con el hormigón

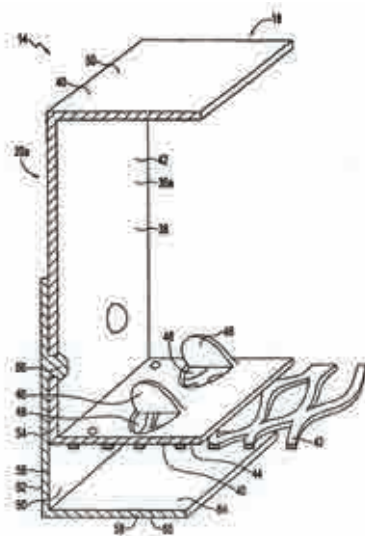


Fig.3.44. Sección tipo de la solución del perfil de borde perimetral del sistema Ecoliteconcrete

En este caso la conexión entre el bastidor de acero y la losa de hormigón es fundamental y se realiza a través de un *deployeé* extendido en toda la superficie del panel (Fig. 3.43).

Este sistema plantea la conexión entre los componentes de fachada a través de propio bastidor de acero mediante el sistema heredado de 'steel frame' con tornillería del mismo modo que lo hacía *Metal Stud Crete*.

Pero el sistema *Ecoliteconcrete* se diferencia del anterior en dos aspectos muy importantes:

- I. La producción del panel
- II. La definición de los moldes perimetrales

La producción del panel se realiza completamente en taller y por la misma empresa. Las operaciones de perfilado, corte y ensamblaje de los perfiles ser realizan la misma industria que amasa y vierte el hormigón para conformar el panel. Esto aporta eficacia al sistema de producción y permite trabajar prácticamente *just-in-time*, puesto que la producción de los bastidores es independiente a las operaciones del moldeo del hormigón.

Pero la diferencia más importante respecto al sistema *Metal Stud Crete* está en el uso de los bastidores como moldes perimetrales para el moldeo del hormigón.

Si nos fijamos en los perfiles perimetrales del bastidor en forma de 'C' vemos como estos quedan levantados de la mesa hormigonado para mantener elevado el *deployeé* a media altura hasta dónde debe cubrir el hormigón (Fig. 3.44<sup>27</sup>).

<sup>27</sup> Patente nº US 7,757,454 B2. Inventor: Brian Smith (2010)



Para que el bastidor quede levantado se fija en todo el perímetro otro perfil suplementario también de acero en forma de 'L' que será el que se apoyará sobre la mesa de hormigonado. Este segundo perfil será el responsable de contener el hormigón y desarrollar las funciones de molde perimetral (Fig. 3.45).

La patente plantea dos posibles alternativas en función de la reposición o no del perfil perimetral 'L', pero como veremos más adelante existen importantes diferencias entre lo que reivindica la patente y lo que está ejecutando actualmente *Ecolite International*.

1) Mantener el perfil perimetral en 'L'

La primera de las posibilidades mantiene el perfil perimetral como un elemento más del componente de fachada. En este caso el perfil quedaría visto por la cara exterior de panel (Fig. 3.46<sup>28</sup>).

2) Recuperar el perfil perimetral en 'L'

En el segundo caso el perfil perimetral se retira dejando la geometría marcada en el panel. Una vez colocados se procede al sellado de la junta con materiales elásticos (Fig. 3.47<sup>28</sup>).

Como podemos imaginar, en cualquiera de las dos soluciones la presencia de la junta entre paneles es muy importante.

En el primer caso los paneles quedarán enmarcados por el perfil perimetral de acero galvanizado y en el segundo caso el material añadido (normalmente lechada de cemento) en



Fig.3.45. Operaciones de vertido del hormigón aireado entre los perfiles plegados del bastidor de acero galvanizado

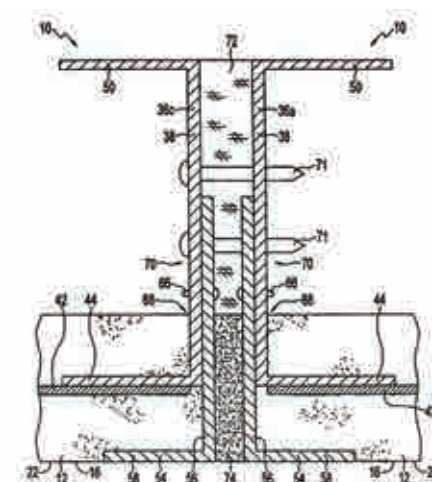


Fig.3.46. Solución de junta que mantiene el perfil 'L'. El panel queda enmarcado por el perfil

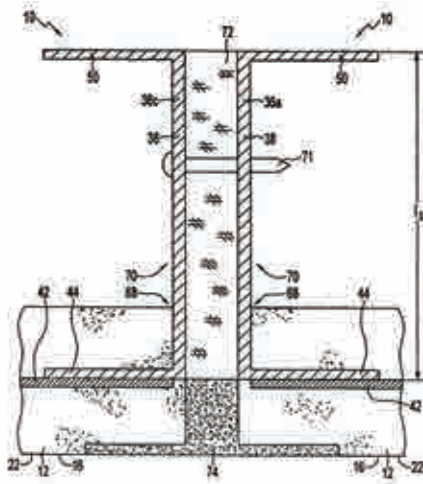


Fig.3.47. Solución de junta una vez recuperado el perfil 'L'. La junta se rellena con lechada de cemento o materiales especiales de sellado

la junta evidenciará su presencia tanto por el cambio de color como por la posible fisuración de esta.

Esto nos lleva a comentar la solución que actualmente están utilizando, donde ha desaparecido el perfil perimetral en 'L' como elemento de molde.

Una vez conformados los bastidores de acero se colocan sobre la mesa de hormigonado levantados con unos pequeños separadores que garantizan la misma distancia respecto al mesa como lo haría el perfil en 'L'.

En su lugar, utilizan moldes perimetrales reversibles propios de los procesos convencionales de conformación de los paneles de hormigón.

En este caso, aunque el procedimiento no aproveche el bastidor como molde perimetral, el simple hecho de disponer de este sobre la mesa de hormigonado permite con gran facilidad ajustar las tabicas a los límites del componente evitando así las operaciones de replanteo a la vez que limita el movimiento del bastidor durante las operaciones de vertido del hormigón (Fig. 3.48).

Como vemos, el sistema *Ecoliteconcrete* permite utilizar los bastidores de acero como moldes perimetrales del hormigón, pero el sistema de producción actual se ha decantado hacia un sistema 'mixto' que permite obtener paneles de fachada con junta convencional para ser vista (Fig. 3.49).

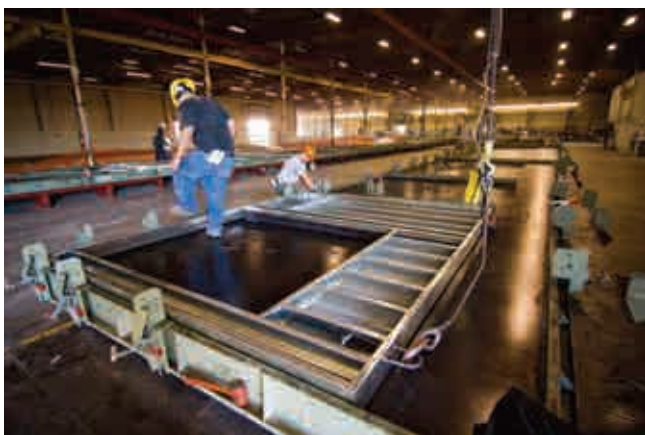


Fig.3.48. Montaje del bastidor sobre la mesa de hormigonado. Colocación de las tabicas laterales antes del vertido

- *El sistema Ecoliteconcrete demuestra un gran potencial para conseguir eliminar los moldes convencionales para la fabricación de un panel de hormigón. Posiblemente con un pequeño rediseño de los perfiles perimetrales podría minimizarse su presencia por el lado acabado del panel.*

#### 3.4.4 El sistema Leiro<sup>28</sup>

Después de analizar dos sistemas de paneles de fachada mixtos basados en la herencia del 'steel frame' americano y complementados mediante delgadas losas de hormigón como elemento de acabado y refuerzo (*EcoliteConcrete* y *Metal Stud Crete*), ahora veremos un sistema de paneles portantes desarrollado por la empresa '*Piedra Natural de Leiro S.A.*' (Leiro de ahora en adelante) donde la presencia de los perfiles de acero se limita principalmente al marco perimetral de los paneles.

Esta empresa dedica su actividad económica en el sector de la construcción diversificada en dos áreas claramente diferenciadas. Por un lado desarrolla trabajos con la piedra natural para revestimientos de fachada y elementos de jardín, y por otro desarrolla operaciones de promoción y construcción de diferentes tipos de edificaciones, equipamientos (Fig. 3.50), naves industriales, viviendas unifamiliares y edificios plurifamiliares. Como veremos esta segunda actividad es la de interés para el estudio.

---

<sup>28</sup> Sistema desarrollado en la Ficha 4.- Sistema Leiro



Fig.3.49. Panel finalizado donde se observa con claridad parte de la capa de hormigón sobresaliendo del perfil perimetral



Fig.3.50. Edificio construido con el sistema Leiro. Hotel 'El Muntanyà'. Seva (Barcelona)





Fig.3.51. Elevación de un panel del sistema de Leiro durante la construcción de una nave industrial.

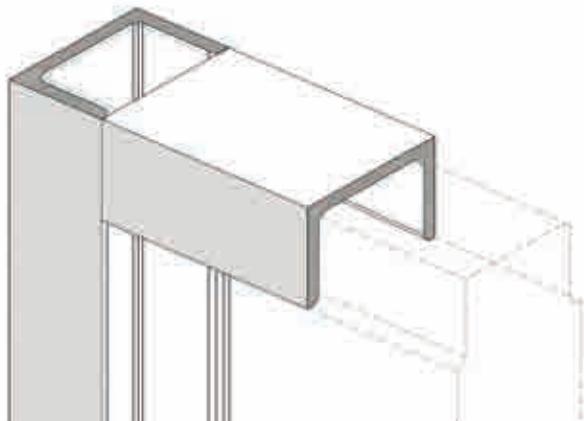


Fig.3.52. Unión entre los perfiles perimetrales exteriores del panel

Leiro a lo largo de estos últimos 30 años ha desarrollado un sistema propio para construir sus edificaciones. Como podemos ver en la *ficha*<sup>29</sup> de desarrollo, este sistema ha ido evolucionando a lo largo de los últimos años adaptándose a las necesidades económicas del momento, pero en este capítulo nos centraremos sobretudo en la etapa en las que utilizaban los perfiles de acero como moldes perimetrales perdidos (1985-2005).

El sistema constructivo de Leiro está basado en la ejecución de paneles prefabricados de hormigón armado utilizados como elementos estructurales, tanto verticales (cerramiento y divisorias) como horizontales (forjados y cubiertas).

Inicialmente, el procedimiento constructivo era muy parecido al sistema 'Tilt-Up' americano donde aprovechando la solera ya ejecutada del edificio como 'mesa de hormigonado' se procedía a colocar perfiles estructurales tipo UPN de acero laminado a modo de moldes perimetrales perdidos y se hormigonaban los paneles *in-situ* (Fig. 3.51).

Los perfiles también se cortaban y se soldaban '*in-situ*' a testa sin tan si quiera resolver las esquinas con ingleses (Fig. 3.52).

Los paneles podían ser de diferentes espesores según las necesidades mecánicas del elemento pero en cualquier caso los perfiles perimetrales UPN recogían todo el espesor de los paneles para poder desarrollar (entre otras funciones) la función de molde perimetral.

La fabricación '*in-situ*' se realizaba sobre todo para naves industriales desarrolladas en una sola planta. Pero a medida que *Leiro* empezó con construcciones que tenían más de una planta (viviendas unifamiliares o plurifamiliares) la ejecución '*in-situ*' fue cada vez menos

viable puesto que no se podía utilizar la solera del edificio como mesa de hormigonado y el proceso de fabricación de los paneles se fue llevando al taller.

El elevado número de construcciones desarrolladas por *Leiro* entre los años 1990-2005 les llevó a plantearse la necesidad de obtener un *Documento de Idoneidad Técnica* del sistema para poder garantizar su correcta ejecución bajo el nombre de *PANELMARK'*<sup>29</sup> (Fig. 3.53 y 3.54).

Si tenemos en cuenta que los paneles de este sistema no solo hacían de cerramiento o divisoria sino que eran también los elementos estructurales podemos afirmar que la presencia de los perfiles perimetrales respondía principalmente a cuatro aspectos:

- I. Mejorar el comportamiento estructural de los paneles a través del confinamiento de los paneles mediante el marco perimetral.
- II. Resolver los mecanismos de unión entre los paneles del sistema mediante un cordón de soldadura.
- III. Facilitar la manipulación y elevación de los paneles utilizando los perfiles como puntos libres de fijación.
- IV. Facilitar el proceso de fabricación de los paneles *in-situ* o *a taller* sin necesidad de utilizar los sistemas de moldeo reversibles.

---

<sup>29</sup> DIT 407 'Sistema industrializado de paneles de hormigón armado *PANELMARK'* concedido por el Instituto Eduardo Torroja el 21 de Mayo de 2003 al sistema constructivo desarrollado por *Leiro*

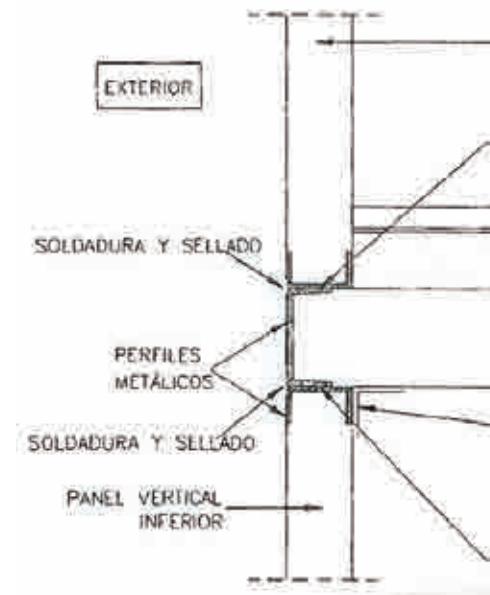


Fig.3.53. Unión de paneles exteriores estructurales con forjado. Sistema *PANELMARK* de *Leiro*

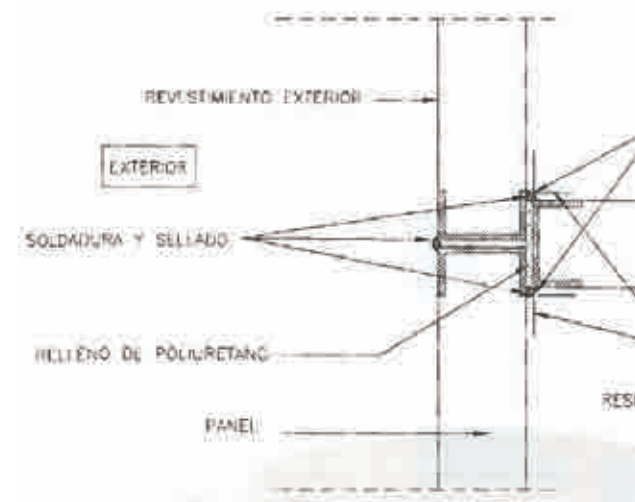


Fig.3.54. Unión vertical de paneles exteriores con panel interior. Sistema *PANELMARK* de *Leiro*



Fig.3.55. Huecos desarrollados con moldes de EPS



Fig.3.56. Huecos desarrollados con perfiles UPN

Como vemos, la utilización de los perfiles perimetrales utilizados a modo de molde perdidos respondía a cuestiones relacionadas con la ejecución, la manipulación y las prestaciones finales de los paneles.

Para la ejecución de los huecos en los paneles se utilizaban dos sistemas distintos en función del tamaño del hueco. Puesto que estamos tratando con paneles estructurales las tensiones alrededor del hueco pueden llegar a ser importantes:

I. Placa de porexpan

Cuando el hueco era suficientemente pequeño o de predominio vertical y las tensiones localizadas en el dintel y las jambas eran admisibles para el hormigón, el molde se revolvía mediante una placa de porexpan del tamaño del hueco que podría ser reutilizada para huecos de menor tamaño (Fig. 3.55).

II. Perfiles UPN estructurales

Cuando el hueco era grande o de predominio horizontal se utilizaban los mismos perfiles UPN que en el molde perimetral, permitiendo distribuir las tensiones a través del perfil.

Este segundo sistema para la ejecución de huecos en algún caso se llevó al extremo donde el hueco era más bien la ausencia de panel (Fig. 3.56)

Pero la estrategia de utilizar los perfiles estructurales UPN como moldes perdidos dejó de utilizarse por razones económicas debido al incremento del coste del acero durante este último periodo y la poca optimización de este, en el panel.

Según explica *Leiro*, en estas condiciones el coste de los perfiles perimetrales podía llegar a representar casi el 40% del coste total del panel dependiendo de su geometría.

Esto llevó a minimizar el uso de los perfiles perimetrales UPN en los paneles eliminando toda función de molde perdido.

Actualmente la utilización de los perfiles en continuo tan solo se utilizan en aquellas zonas donde son absolutamente necesarios por motivos estructurales o de estabilización del edificio (Fig. 3.57).

En el resto de paneles el uso de los perfiles UPN se limita puntualmente a tramos de 10-20cm situados en el perímetro exterior de los paneles cada 1,5m aproximadamente (Fig.3.58), estratégicamente colocados para garantizar dos de las cuatro funciones iniciales:

- I. Los puntos de unión entre los paneles del sistema mediante soldadura
- II. Los puntos de fijación para la manipulación y elevación de los paneles

De este modo se eliminó toda posibilidad de que los perfiles perimetrales pudieran hacer de molde perdido del panel, obligando a retomar los procesos convencionales de conformación de paneles.

### **Un modelo de negocio distinto**

Como hemos visto, *Leiro* desarrolla tanto la promoción, el diseño y la construcción de todos los edificios en los que está implicada. Aunque nuestro interés por el sistema constructivo nos haya obligado a analizar su ámbito de trabajo para comprenderlo, no debemos verla



*Fig.3.57. Perfil continuo en las esquinas para facilitar la estabilización del edificio. Viviendas en Vilanova del Vallès (2012)*



*Fig.3.58. Paneles con tramos de perfil UPN estratégicamente colocados en las zonas de conexión entre paneles. Viviendas en Vilanova del Vallès (2012)*

como una empresa de prefabricados de hormigón sino como una empresa promotora-constructora que ha desarrollado su propio sistema.

Por lo tanto, el éxito de su negocio no depende tan solo de la competitividad del sistema constructivo –ni desde un punto de vista técnico ni desde un punto de vista económico– sino que depende sobre todo de una buena gestión del conjunto de operaciones que permiten realizar sus promociones.

Bajo este punto de vista el sistema constructivo de Leiro no tiene por que competir directamente con ningún otro sistema constructivo del mercado puesto que el negocio de la empresa es mucha más amplio.

Por esto no observamos una clara voluntad por mejorar del sistema constructivo bajo parámetros tecnológicos, las pocas evoluciones del sistema han venido justificadas tan solo por el coste económico del sistema olvidando otras alternativas que permitieran mantener las posibilidades tecnológicas que el sistema podía aportar.

- ***La tecnología constructiva desarrollada por Leiro representa ‘el medio para conseguir el fin’, en este caso la promoción y construcción de naves industriales, viviendas unifamiliares y edificios plurifamiliares.***

### **La clientalización como consecuencia del proceso de fabricación**

Desde el punto de vista de la clientalización la primera fase de desarrollo del sistema es la de mayor interés para el estudio.



*Fig.3.59. Acopio de paneles conformados mediante perfiles laminados como molde perdido en las instalaciones de Tagamanen.*

La voluntad de prefabricar los paneles a pie de obra aprovechando la solera como mesa de hormigonado obligó a plantearse la ejecución de los moldes también *'in-situ'*. Prefabricar de esta manera evitaba viajes de camiones con grandes paneles que en el caso de *Leiro* podían superar las dimensiones máximas permitidas para un transporte normal, y a la vez permite mantener libre la nave industrial para la producción de otros elementos.

Esta estrategia de producción de paneles llevaba en si unos primeros inicios de clientalización de la forma de los componentes (Fig. 3.59 y 3.60) :

- ***El corte de los perfiles laminados unidos formando moldes permite obtener paneles de dimensiones diversas sin plantearse la 'amortización de molde'***

### **La disminución del coste vs la racionalización del sistema**

Lógicamente, la incorporación de los perfiles UPN en los paneles suponía un sobrecoste aparentemente innecesario que había que minimizar.

Este sobrecoste debido tanto al propio material –perfiles estructurales UPN 120-160 que pesan entre 13 y 18 kg/m respectivamente– como a la mano de obra no especializada necesaria para su manipulación podía representar el 40% del coste total en paneles pequeños (3x2m aproximadamente).

En este caso la decisión pasó por minimizar el uso de los perfiles utilizándolos de forma puntual en el perímetro pero perdiendo su función inicial de molde.



Fig.3.60. Acopio de paneles conformados mediante perfiles laminados como molde perdido en las instalaciones de Tagamanen.



Fig.3.61. Tramos de perfiles UPN de 10cm situados cada 150cm





Fig.3.62. Acopio de paneles conformados mediante perfiles laminados como molde perdido en las instalaciones de Tagamanen.

La necesidad de disminuir el coste del panel no fue acompañada de una racionalización tecnológica del perfil de borde. Se minimizó la cantidad de material necesario y para poder seguir garantizando dos de las principales funciones que tenía el perfil, perdiendo así su capacidad como molde (Fig. 3.61):

- I. Puntos para la manipulación y elevación de los paneles
- II. Puntos para la unión entre paneles a través de soldadura

En este momento, quizás la incorporación de una industria especializada en la manipulación del acero y un estudio para la disminuir las secciones de los perfiles de acero podrían haber sido una estrategia para optimizar el coste del molde perimetral, manteniendo el potencial de clientalización del sistema (Fig. 3.62).

- ***Una visión transversal con industrias metalúrgicas del sector hubiera permitido evolucionar el sistema constructivo de tal modo que se siguieran garantizando las cuatro funciones iniciales del molde perimetral continuo***

### 3.5 Conclusiones

Como hemos visto, son varios los ejemplos entre patentes, productos y casos en los que se han vinculado dos tecnologías industriales en un mismo componente para desarrollar dos elementos: marcos o bastidores de acero y paneles de hormigón.

Desde los casos de finales del siglo XX hasta los más actuales vemos como la industria del hormigón ha tendido puentes hacia otros modelos industriales en busca de una mejora

tecnológica y/o económica del sistema, pero de todos estos casos pocos son los que a día de hoy mantienen su continuidad.

De hecho, podríamos resumir en dos los motivos directos que han hecho que muchas de estas propuestas no hayan encontrado su competitividad en el mercado actual:

I. Sistemas cerrados de producción

Las industrias del hormigón han ido evolucionando y optimizándose en base a su propio sistema de producción sin adoptar nuevas tecnologías que no le eran propias. En algunos casos han llegado a tal nivel de automatización del sistema que no permite introducir ninguna modificación al modelo de producción de los paneles.

II. Incremento en el coste de los componentes

Desde el punto de vista de los costes, la incorporación de cualquier elemento nuevo en el componente (premarco o bastidor) se considera un coste añadido sin tener en cuenta los beneficios colaterales (tecnológicos y económicos) que esta estrategia de producción puede aportar.

La industria de los componentes de hormigón tan solo contempla el coste de producción del panel sin contemplar las demás repercusiones económicas que pueden compensar este coste inicial. Así pues cualquier elemento añadido al sistema, aparentemente innecesario, es eliminado del proceso de producción.

En el marco de las responsabilidades, el sector de la construcción en lugar de tender hacia consorcios de empresas o agrupamientos gremiales ha apostado por el camino contrario,

eliminado cualquier continuidad de los modelos industriales que de una forma más bien intuitiva habían iniciado.

La mayoría de las industrias han concentrado todos sus esfuerzos en la mejora y optimización de las tecnologías que les eran conocidas sin permitir la incorporación de otros sistemas de producción complementarios.

- ***Esta visión endógena de la propia industria no ha facilitado a lo largo de la historia la creación de consorcios de empresas que trabajasen en el desarrollo de un mismo componente mejorando así el sistema de producción***

### **3.5.1 Marcos perimetrales interiores**

La incorporación de elementos de carpinterías en la ejecución de los paneles de hormigón no es nada nuevo, demostrando ser una práctica habitual en la mayor parte de Europa durante el periodo de gran prefabricación.

La prefabricación en estos momentos perseguía dos máximas, por un lado mejorar la velocidad de ejecución de las construcciones (existía una elevada demanda de vivienda que había que resolver rápidamente) y por otro garantizar la calidad de estas con un menor coste.

Prefabricar los componentes debía de ser un ‘sello de calidad’ gracias al fácil control de la producción, pero lo que al final realmente se podía garantizar era la homogeneidad de la producción, independientemente de su calidad que dependía sobretodo de las exigencias del proyecto y de su ejecución.

De hecho Richard Bender en '*Una visión de la construcción industrializada*' analizando los diferentes industriales y la relación que estos han tenido y tendrán para la conformación de componentes de hormigón apunta hacia un acercamiento entre las empresas de conformación de paneles, las de marcos y las de juntas de ventanas:

<sup>30</sup>*[...] análogamente, el fabricante de marcos de aluminio para puertas, juntas de plástico o paneles de pared prefabricados, estará más íntimamente relacionado con las construcciones específicas de lo que estaba el fabricante de redondos de acero, plástico en bruto u hormigón preparado [...]*

Pero la tendencia a incorporar los elementos de carpintería en los procesos de hormigonado, acabó en el olvido. Las empresas tendieron hacia la especialización y dejaron de combinar tecnologías que no les eran propias.

Si nos centramos en el desarrollo del componente, y lo analizamos desde el punto vista del interés del estudio, vemos como en ninguno de los casos analizados el objetivo de la incorporación de las carpinterías era la clientalización de la forma de los huecos, puesto que no permitía eliminar el molde perimetral interior.

Lógicamente, en aquellos momentos no se tenía en consideración la clientalización de los componentes ya que la competitividad de los productos se media principalmente por el coste y el tiempo de ejecución.

---

<sup>30</sup> Richard Bender '*Una visión de la construcción industrializada*' 1973

Así pues estas primeras propuestas que acercaban los componentes de hormigón a la tecnología de las carpinterías (todavía muy incipiente), se dejó de utilizar en el momento en que no aportaba competitividad al producto final.

Aunque el uso de los marcos de ventana como ‘moldes perdidos’ no respondía a ninguna una voluntad de clientalización de la forma de los huecos, si que buscaba la optimización del coste de la junta entre el panel de hormigón y la ventana.

- ***La optimización del coste de la junta debería tenerse en cuenta en el análisis de los costes que un molde perdido puede suponer***

### **3.5.2 Los perfiles en el perímetro exterior**

En la actualidad encontramos varias empresas nacionales e internacionales que de algún modo u otro han utilizado o están utilizando semiproductos lineales como moldes perdidos para la conformación de sus paneles.

Ya se por una evolución del sistema *Tilt-Up* americano o por una evolución del sistema constructivo *Steel Frame* ha llevado al desarrollado de nuevos procesos de conformación de paneles que utilizan los perfiles perimetrales como moldes perdidos.

Por un lado, los sistemas que han utilizado exclusivamente los perfiles de acero o aluminio como molde perimetral para aportar mejoras técnicas a los paneles han dejado de producirse por motivos económicos (*Arquitectura Vertida, GRC Aluminium o Leiro*).

- ***La junta representaba un incremento de coste importante para el componente.***

Muchas veces el análisis de los costes que se ha hecho de la junta se limitaba a la cuantificación del material añadido por el perfil sin tener en cuenta las mejoras que este puede aportar al sistema de fachada que a su vez pueden y deben ser valorados económicamente.

- ***La falta de una mayor perspectiva global de los costes asociados a la conformación de la junta a través de los perfiles perimetrales no ha permitido la viabilidad de esta solución.***

En cambio los componentes basados en un bastidor de acero plementado con una delgada losa de hormigón que aportar el acabado y una mayor rigidización, siguen manteniendo los perfiles de borde como elementos con capacidad de desarrollar funciones de molde (Metal Stud Crete o Ecolite Concrete). Aunque en muchos casos no aprovechen esta oportunidad, los perfiles de borde siguen formando parte del componente sin suponer un sobrecoste.

Esto es debido a que estos perfiles desarrollan más funciones que la simple contención del hormigón, son elementos del sistema que resuelven funciones mecánicas, de fijación y de montaje y que sin estos no podrían resolverse.

- ***Cuanto más funciones desarrollen los perfiles de borde más justificada tendrá su presencia en los componentes. Los moldes perdidos no pueden limitarse a la función estricta de molde.***



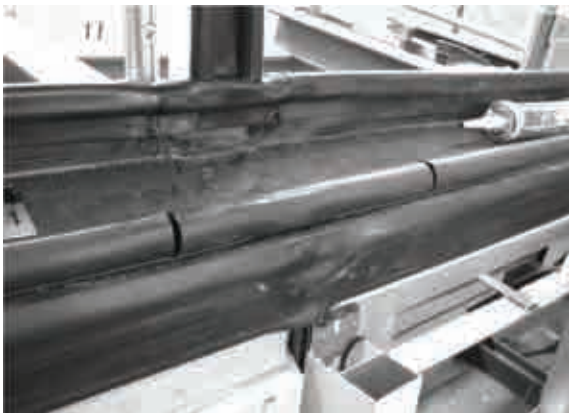


Fig.3.63. Turning Torso. La junta vertical se desarrolla en dos partes. El montante vertical y el componente panel.  
Empresa Folcrá

Como hemos visto, en algunos casos es la patente quien más reivindica la utilidad técnica de los moldes perdidos y no tanto la propia industria que acaba por minimizar su uso. Así pues en los casos analizados:

- ***La incorporación de los perfiles perimetrales en los procesos de conformación de los paneles no nace con una voluntad de clientalización de la forma sino como una mejora técnica para la resolución de las juntas y mejora de la calidad de los componentes.***

En este sentido *Paul Bernard* ya apuntaba a esta íntima e importante relación entre los semiproductos lineales y los materiales amorfos, planteando un nuevo escenario para la junta:

<sup>31</sup>*[...] La asociación entre juntas y componentes es estrecha. Todo lo que concierne a unas repercute en los otros. Modificar el tamaño y el peso de los componentes, es actuar sobre el número de juntas. El progreso de la tecnología de las juntas tiene tanta importancia como poner en el mercado componentes más numerosos, más variados, más eficaces, más innovadores [...] al reencontrar su identidad, **la junta dejará en particular de considerarse negativamente, de aparecer como una rotura, una interrupción, una cruz, un no ser. ¿Llegará el día en que las juntas sean verdaderos componentes?** [...]* (Fig.3.63)

---

<sup>31</sup> 'La construcción por componentes compatibles' Paul Bernard 1983

# CAPÍTULO 4 – LA CONFORMACIÓN DE COMPONENTES PLANOS BASADOS EN LOS SEMIPRODUCTOS LINEALES

CAPÍTULO 1 – INTRODUCCIÓN Y METODOLOGÍA

CAPÍTULO 2 – CONTEXTO Y PROPÓSITO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

CAPÍTULO 3 – ESTADO DEL ARTE



*Zollverein School of Management and Design, Essen. SANAA*

## **CAPÍTULO 4 – LA CONFORMACIÓN DE COMPONENTES PLANOS BASADOS EN LOS SEMIPRODUCTOS LINEALES**

*4.1.- Introducción*

*4.2.- La industria de las carpinterías*

*4.3.- Operaciones necesarias para la definición de la forma de un  
componente Unitized para fachada ligera*

*4.4.- Conclusiones*

CAPÍTULO 5 – PROPUESTA

CAPÍTULO 6 – EL COSTE DE LA CLIENTALIZACIÓN

CAPÍTULO 7 – CONCLUSIONES Y PROSPECTIVA



## 4 LA CONFORMACIÓN DE COMPONENTES PLANOS BASADOS EN LOS SEMIPRODUCTOS LINEALES

La tecnología para la clientalización en el mundo de las carpinterías y los bastidores de fachada

### 4.1 Introducción

En este capítulo estudiaremos la técnica de algunas de las industrias que suministran componentes planos de fachada y que han conseguido desarrollar estrategias de producción que facilitan la clientalización de la forma basadas en la transformación de los semiproductos lineales.

El interés por los semiproductos lineales nace de la facilidad con que estos, mediante las operaciones de ensamblaje, permiten conformar componentes planos de fachada de dimensiones variables sin que esto suponga un incremento en el coste para las series cortas.

Esta facilidad con la que industria actual consigue conformar bastidores de fachada o carpinterías de ventana mediante procesos industriales controlados por sistemas de CAD-CAM, ha consolidado un camino hacia la clientalización de la forma de los componentes planos de fachada (Fig. 4.1).

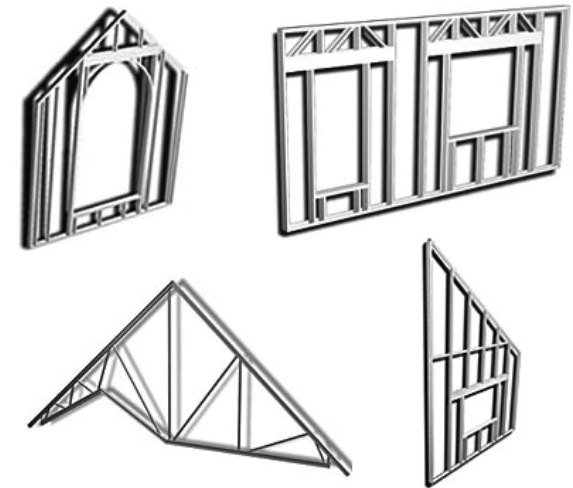


Fig.4.1. Bastidores de acero de dimensiones variables



Fig.4.2. Fabricación de bastidores de madera. SENDECO Products, Inc.

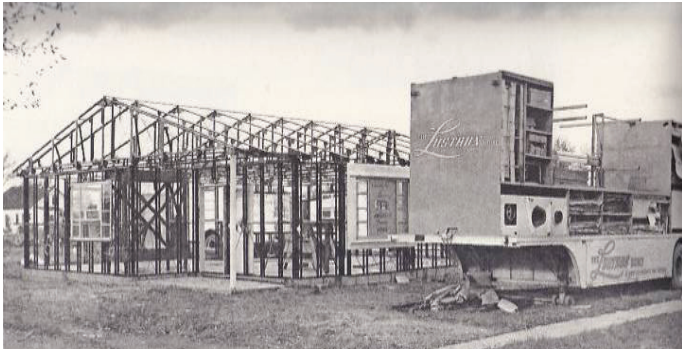


Fig.4.3. Montaje de una 'Lustron Home' en 1950.

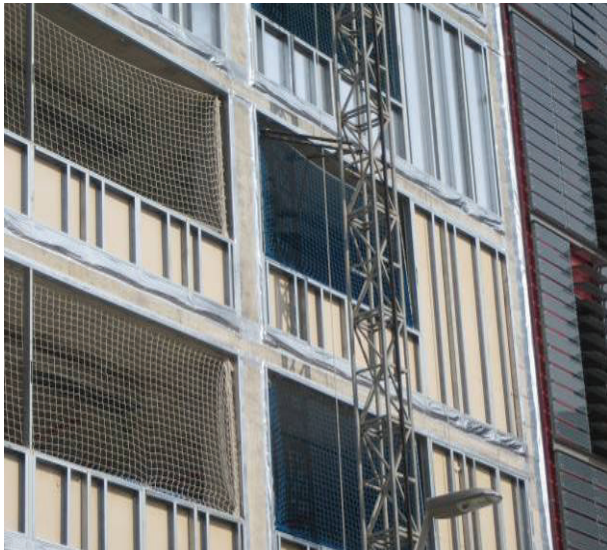


Fig.4.4. Montaje de bastidores de fachada 'in situ' y operaciones de plementado.

Pero el éxito de este sistema frente a la clientalización no recae exclusivamente en la automatización de los procesos industriales si no también en la sencillez y estandarización de las operaciones necesarias para obtenerlos.

Los conocidos sistemas 'ballom frame' o 'steel frame' han sido claros ejemplos del dominio de las técnicas de corte y ensamblaje de los semiproductos lineales desde principios del siglo pasado. Estas dos sencillas operaciones han permitido obtener componentes planos (bidimensionales) altamente clientalizados aun utilizando sistemas manuales de producción.

La elevada necesidad de vivienda en EEUU después de la segunda guerra mundial ayudó a impulsar el desarrollo de nuevas empresas para la mejora de los antiguos procesos de producción manual. La industria de las 'mobile homes' perfeccionó las técnicas de transformación de los semiproductos lineales optimizando los procesos y haciéndolos más industrializados (Fig. 4.2<sup>1</sup> y 4.3<sup>2</sup>).

Hoy en día la expansión de esta técnica en nuestro país ya es una realidad sobre todo con el uso de semiproductos lineales de acero y aluminio. Con ellos construimos sistemas ligeros de cerramiento tanto para divisorias interiores como para fachadas y cubiertas, que posteriormente son plementados con otros semiproductos y/o componentes (Fig. 4.4).

La facilidad de montaje tanto en obra como en taller, la elevada industrialización del proceso y la capacidad de adaptarse a las exigencias geométricas de cada proyecto son factores determinantes para la clientalización del sistema.

<sup>1</sup> 'Una Vision de la construcción industrializadas' Richard Bender. Pag.42.

<sup>2</sup> 'The Lustron Home. The history of a postwar prefabricated housing experiment'. Thomas T.Fetters.







Para estos modelos industriales, la clientalización de la forma no plantea ningún problema ni de producción ni de coste, el sistema tienen la capacidad de conformar componentes conceptualmente idénticos pero de dimensiones especializadas dentro de una misma serie de producción.

- ***El análisis se centrará en las operaciones necesarias para la conformación de componentes planos de fachada basados en los semiproductos lineales, tomado como principales ejemplos la ventana y el sistema Unitized para fachada ligera.***



Fig.4.7. Elementos que conforman una ventana de madera

## 4.2 La industria de las carpinterías

Actualmente las diferencias tecnológicas entre las industrias dedicadas al desarrollo de las carpinterías de ventana y al desarrollo de los sistemas *Unitized* para fachada ligera son casi inapreciables. Ambas industrias utilizan las mismas estrategias de producción e incluso las mismas técnicas de transformación y conformación de los componentes.

Toda la información referente a los componentes está gestionada por sistemas informáticos basados en el CAD-CAM que permite controlar en cada momento del proceso todos los elementos y su transformación.

Estas industrias han minimizado las operaciones manuales optimizando los tiempos de ejecución, mejorando la precisión de sus operaciones y evitando al máximo los posibles errores humanos durante el proceso.

Por otro lado han desarrollado sistemas estandarizados de uniones entre perfiles que permite unir perfiles de diferentes longitudes pero de la misma manera (Fig. 4.7).

Aunque estas operaciones de ensamblaje todavía no han llegado a realizarse de forma automatizada, gracias a su elevada estandarización ha permitido a los operarios realizarlas de una forma optimizada.

En ambos casos, componentes de ventana y componentes *Unitized*, se utilizan procesos de producción ágiles y abiertos que les permiten adecuarlos a los requerimientos geométricos del proyecto.

Como veremos estas industrias han actualizado sus procesos de producción.

- ***Gracias a la industrialización del proceso y a la automatización de las operaciones que definen la geometría del componente han permitido que este modelo sea hoy en día un referente para la clientalización de la forma.***

#### **4.2.1 La ventana**

Después de varios intentos del sector para definir unos patrones para la construcción modulada tanto a nivel nacional como internacional vemos como la industria de las carpinterías ha podido adaptarse prácticamente a cualquier geometría que se le sugiera.

Este modelo de producción basado en una sencilla pero eficaz estrategia de conformación de marcos desarrolla dos operaciones principales: el corte del semiproducto lineal a la longitud deseada y el posterior ensamblaje. Con la optimización de estas dos operaciones han conseguido la elevada clientalización de la forma de sus componentes (Fig. 4.8)



*Fig.4.8. Marco de la ventana. Definición de la forma.*

## I. Libertad geométrica de los componentes

Esta industria no plantea de entrada módulos geométricos para el diseño y la fabricación de las ventanas.

Cuando acudimos a la industria de las carpinterías para el asesoramiento técnico en un proyecto de edificación generalmente las limitaciones geométricas responden a criterios de comportamiento mecánico del componente, a través de la inercia de los perfiles y de las dimensiones máximas de las lunas.

- ***A diferencia de lo que ocurre con las empresas de prefabricados de hormigón y la producción de sus elementos, la geometría de los componentes pocas veces viene condicionada por los procesos de producción.***



*Fig.4.9. Una vez realizados los huecos se tomaran las dimensiones exactas para la conformación de las carpinterías*

## II. La repetitividad en los componentes de una serie de producción

Gracias a la técnica utilizada por la industria de las carpinterías y a la evolución de su proceso industrial la repetitividad de los componentes en una serie de producción no es una condición impuesta por el sistema de producción.

Si pensamos en las construcciones de fachadas con pequeños elementos (Fig. 4.9) en muchos casos las dimensiones finales del hueco no coinciden exactamente con las previstas en el proyecto, incluso a veces con la incorporación de los premarcos.

Una vez construido el hueco, el industrial acude a la obra para poder realizar nuevos planos de ejecución y recoger así las diferencias dimensionales con el proyecto ejecutivo sin que esto suponga un problema para la producción o un incremento del coste.

Por otro lado, las dimensiones del hueco en los sistemas industrializados de fachada muchas veces vienen condicionadas por los propios elementos constructivos (semiproductos) que vertebran el sistema de fachada obligando en este caso a la coordinación dimensional con el hueco de la ventana (Fig. 4.10).

Por lo tanto, aunque muchas veces veamos repetitividad en los huecos de una fachada, en ningún caso esta repetitividad viene condicionada por el proceso de producción sino que normalmente puede ser fruto de un programa funcional muy repetitivo (vivienda, escuela, hotel, etc...) sumado a una voluntad de ordenar la composición de la fachada a veces condicionada por la propia geometría de los elementos constructivos que la conforman. Por lo tanto,

- ***La ventana como ejemplo y la industria de las carpinterías como modelo de producción industrial son un referente para la clientelización de la forma de los componentes planos gracias a las técnicas de transformación y ensamblaje de los semiproductos lineales.***

#### **4.2.2 El sistema *Unitized* para fachada ligera**

Actualmente la tecnología industrial que se utiliza para el desarrollo de las carpinterías de ventana es la misma que se utiliza para la producción de los sistemas de fachada ligera o

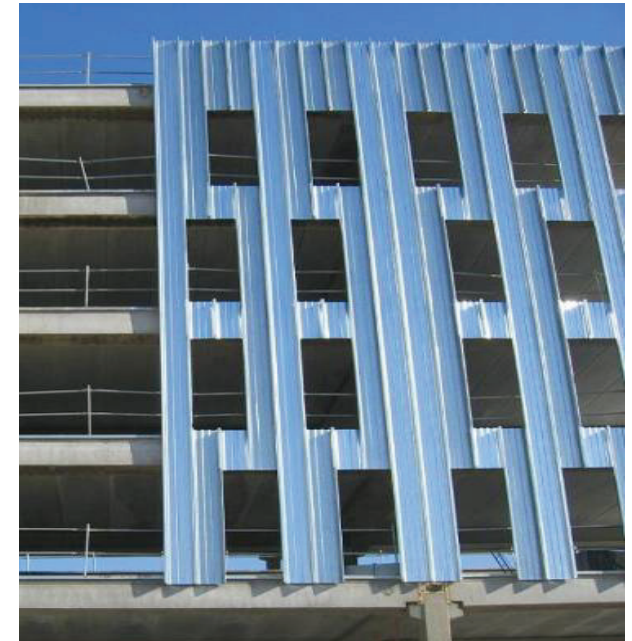


Fig.4.10. Ancho del hueco condicionado al modulo de bandeja.  
Sistema Eurohabitat



Fig.4.11. Zollverein School of Management and Design.  
Kazuyo Sejima and Ryue Nishizawa. Essen



Fig.4.8. Elementos para el ensamblaje de la hoja practicable de la ventana Unicity Plus de Technal

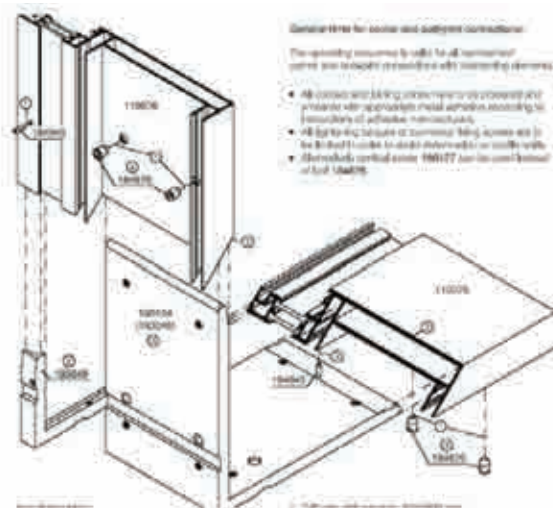


Fig.4.9. Elementos para el ensamblaje de perfiles perimetrales de un módulo WICTEC EL de Wicona

muro cortina. Por lo tanto todos los aspectos favorables para la clientalización de la forma que observamos en la conformación de las ventanas son de alguna manera extrapolables a la producción de los sistemas de muro cortina.

Así pues, si la principal estrategia de producción que permite la clientalización de su forma de las ventana esta basada en las operaciones de corte y ensamblaje de los semiproductos lineales, veremos cómo esta misma estrategia es la que se utiliza para la conformación de los sistemas de muro cortina (Fig. 4.8 y 4.9).

De los diversos sistemas de fachada ligera, prestaremos especial atención al sistema *Stick* y al sistema *Unitized*.

El sistema *Unitized* ('puesto en unidades') también es conocido bajo el nombre de sistema *Panel* o sistema *Modular*. Esta ultima denominación es poco representativa del sistema ya que induce a pensar que el sistema está condicionado a un 'modulo' o una 'dimensión de producción' hecho que podría generar malentendidos en el contexto del presente estudio y la demonización de sistema *Panel* según el '*Manual de producto Fachadas ligeras*<sup>3</sup>' parece solo hace referencia a la colocación de un panel ligero entre forjados hecho que entre en contradicción con el concepto de 'muro cortina'.

Así pues de las tres posibles denominaciones tomaremos *Sistema Unitized* como el nombre que mejor representa el sistema de fachada dentro del contexto del estudio. Montaje por unidades.

<sup>3</sup> '*Manual de producto. Fachadas ligeras*' Autor: ASEFAVE. Ver Bibliografía



Aunque los procesos de fabricación entre el sistema *Stick* y el sistema *Unitized* sean prácticamente los mismos, desde el punto de vista del montaje existen importantes diferencias que hacen de este último el de mayor interés para el estudio.

Según el nivel de prefabricación al llegar a la obra:

- El sistema *Stick* plantea todo su montaje '*in-situ*' a través de la colocación de montantes y travesaños (Fig. 4.10) que posteriormente son plementados mediante semiproductos y/o componentes. El sistema *Stick* se caracteriza por el ensamblaje de semiproductos en la obra.
- Por el contrario el sistema *Unitized* se caracteriza por trabajar con componentes completamente finalizados y desarrollados en taller. Su principal característica es la completa prefabricación de los componentes (Fig. 4.11a y 4.11b).

La tecnología de producción en ambos casos es la misma pero como veremos a continuación, el sistema *Unitized* es de mayor interés para el estudio ya que comparte dos aspectos importantes con los paneles de hormigón:

- I. Desde el punto de vista de la colocación estamos tratando con componentes planos que llegan a la obra con la geometría completamente definida.
- II. Desde un punto de vista funcional, tanto los paneles de hormigón como los componentes del sistema *Unitized* pueden cubrir la distancia entre forjados y son considerados componentes autoportantes de fachada.



Fig.4.10. Montaje sistema *Stick* para el edificio *One New Change* de Jean Nouvel en Londres. 2009

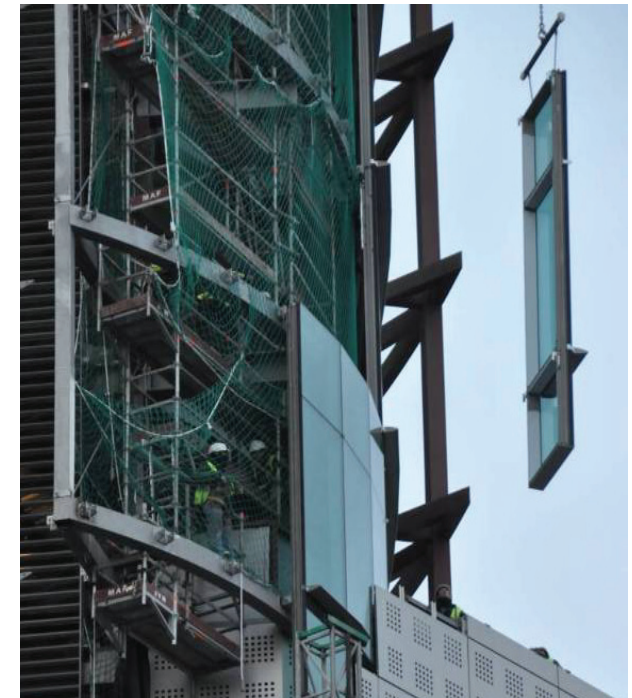


Fig.4.11a. Montaje de un componente *Unitized* de fachada ligera en el edificio de '*El Corte Ingles*' en Madrid (2011)



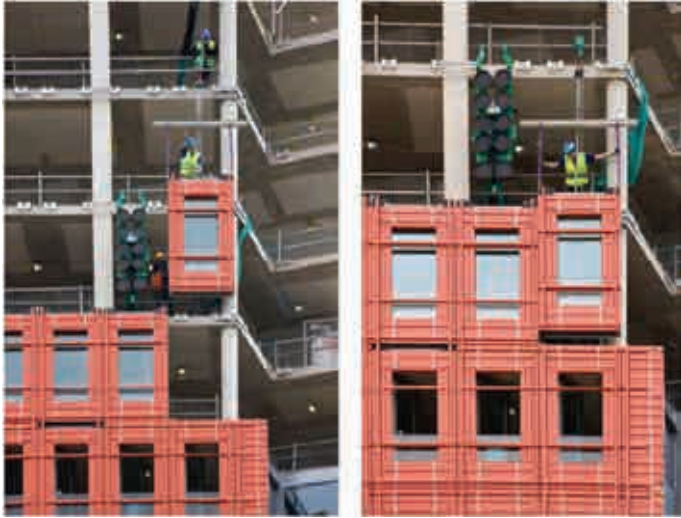


Fig.4.11a. Montaje de un componente Unitized de fachada ligera en el edificio Central St. James. Arq. Renzo Piano. 2010

- *Este paralelismo que existe entre los componentes planos de hormigón y los componentes del sistema Unitized nos permite tomar a estos últimos como referente en el análisis de los procesos que permiten definir la forma y sus posibilidades de clientalización*

#### 4.3 Operaciones necesarias para la definición de la forma de un componente *Unitized* para fachada ligera

Para la obtención de un componente plano y acabado para el sistema de fachada ligera tipo *Unitized* son necesarias las siguientes operaciones:

1. Corte de los semiproductos lineales a la longitud deseada
2. Mecanizado de los perfiles
3. Retestado de perfiles
4. Ensamblaje de los perfiles
5. Sellado de las esquinas
6. Operaciones de plementado

De todo el proceso de *conformación*<sup>4</sup> del componente para fachada ligera son de especial interés aquellas operaciones encargadas de definir su forma. Es decir aquellas operaciones iniciales per permiten obtener un bastidor de fachada, geoméricamente definido y

<sup>4</sup> Desarrollo 3. La conformación de componentes planos de fachada mediante perfiles extruidos de aluminio. Sistema Unitized para fachada ligera

preparado para las posteriores operaciones de plementado con otros semiproductos y/o componentes.

Gracias al uso de los semiproductos planos como material de plementado de los bastidores, estos no interfieren directamente en la variabilidad a la forma del componente. Mediante operaciones básicas de transformación permiten adaptarse a prácticamente a cualquier geometría. Los materiales de plementado definirán las prestaciones y los acabados del componente.

Puesto que el objetivo del estudio es analizar cómo este modelo de producción industrial ha permitido conformar componentes planos de geometría diversa para una misma serie de producción, analizaremos principalmente aquellas operaciones que lo hacen posible:

- a. Corte de los semiproductos lineales a la longitud deseada
- b. Mecanizado de los perfiles
- c. Retestado de perfiles
- d. Ensamblaje de los perfiles
- e. Sellado de las esquinas

Los procesos de conformación de un bastidor de estas características no serían posibles sin las operaciones de transformación primaria de los perfiles. En el *Desarrollo 2<sup>5</sup>* se han

---

<sup>5</sup> *Desarrollo 2. Técnicas para la obtención de semiproductos lineales de acero y aluminio para un bastidor de fachada*



Fig.4.12. Perfiles de aluminio extruidos. Empresa Folcrá



Fig.4.13. Centro de mecanizado de perfiles. Empresa Folcrá



Fig.4.14. Máquina de corte de doble cabeza. Empresa Folcrá

analizado y considerado los procesos de transformación del acero y el aluminio para la obtención de semiproductos lineales (Fig. 4.12).

En este caso el bastidor analizado se basa en los semiproductos lineales de aluminio.

#### 4.3.1 Corte de los semiproductos lineales a la longitud deseada

Las operaciones de corte de los semiproductos lineales son determinantes para conseguir la clientización de la forma de los componentes de fachada puesto que obtendremos las longitudes de los perfiles que definirán su geometría.

Actualmente las operaciones de corte del perfil se realizan mediante sistemas automatizados por control numérico. Toda la información referente al ángulo de corte y la longitud de la barra se introducen a un sistema de gestión CAD-CAM que dará órdenes precisas a las máquinas de corte (Fig. 4.13 y 4.14). El operario indica al ordenador la matriz o modelo de corte que debe realizar.

Como vemos, para estas operaciones la intervención de la mano de obra es mínima. El operario no necesita replantear ni la longitud del perfil ni el ángulo de corte, tan solo lo coloca sobre la maquina y esta lo recoloca en la posición adecuada para iniciar las operaciones.

La automatización permite optimizar los tiempos destinados a las operaciones de corte sin que sea relevante la repetitividad o variabilidad de la longitud de los perfiles finales.

En este caso la repetición del ‘gesto’ la realiza la máquina dedicando el mismo tiempo al replanteo del corte independientemente de la longitud final del perfil.

Gracias a la automatización en las operaciones de corte (Fig. 4.15), el sistema permite obtener perfiles de longitudes diversas con precisión milimétrica, minimizando las tolerancias de fabricación y posterior montaje.

Esta es la primera operación importante para conseguir la clientalización de la forma de los componentes. El sistema permite introducir cualquier modificación en las dimensiones del perfil sin que esto altere el proceso de producción.

- ***Durante esta fase del proceso estamos definiendo las dimensiones finales del componente de fachada y lo hacemos de forma automatizada sin tener que replantearlo manualmente***
- ***Este proceso industrial permite garantizar que el coste del corte es independiente a la longitud o a la repetitividad del perfil***

#### **4.3.2 Mecanizado de los perfiles**

Posteriormente a las operaciones de corte se realizan las operaciones de *mecanizado*<sup>6</sup> de los perfiles.

---

<sup>6</sup> Consideramos las operaciones de mecanizado a aquellas que alteran la geometría del perfil sin modificar sus dimensiones generales: perforado o taladrado, limado, fresado, rebabado, tornado, punzonado, etc...



Fig.4.15. Tronzadora de doble cabezal para el corte de perfiles.  
Empresa Elumatec

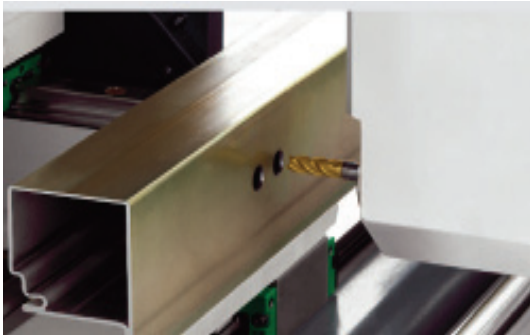
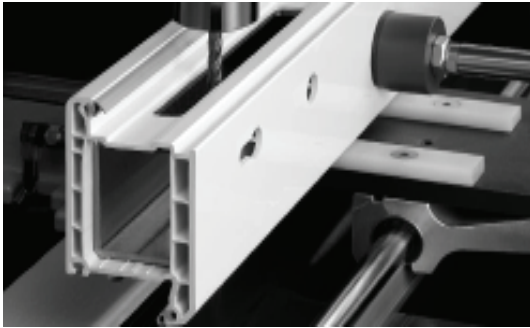


Fig.4.16. Centro de mecanizado de perfiles. Empresa Elumatec

Estas operaciones transforman puntualmente los perfiles dejándolos preparados para el ensamblaje con otros perfiles o utillajes y accesorios que puedan ir fijados a este (Fig. 4.16).

Generalmente, estas operaciones también se realizan de forma automatizada mediante sistemas de gestión CAD-CAM, los perfiles son colocados manualmente en los centros de mecanizado y la maquina es la encargada de replantear y realizar el mecanizado sobre este.

Aunque estas operaciones también puedan realizarse de forma manual mediante matrices de mecanizado cada vez se utilizan menos que las matrices limitan las posibilidades y libertad del mecanizado.

- ***Aunque las operaciones de mecanizado no influyen en la definición de la forma de los componentes de fachada son de vital importancia porque garantizan que las operaciones de ensamblaje de los perfiles se puedan realizar de forma ágil y rápida.***

#### **4.3.3 Retestado de perfiles**

El retestado de los perfiles modifica en caso necesario las cabezas de los perfiles una vez realizado el corte del perfil. Generalmente este corte se ha realizado de forma homogénea en toda la sección por igual pero dependerá del tipo de unión entre perfiles que este corte no sea suficiente para el ensamblaje.

Cuando queremos unir dos perfiles que no han sido cortados a inglete deberemos retestar la cabeza del perfil para facilitar el correcto ensamblaje entre ellos (Fig. 4.17).

Generalmente estas operaciones se realizan con los perfiles intermedios o travesaños que forman parte del bastidor de fachada en un centro de retestado automatizado o en una matriz de retestado.

#### 4.3.4 Ensamblaje de los perfiles

Una vez los perfiles han sido cortados, mecanizados y en algunos casos retestados, estos se identifican uno a uno mediante códigos y agrupados formando 'kits' de montaje. Las operaciones de identificación y agrupación de los perfiles son de vital importancia para facilitar posteriormente las operaciones de replanteo y pre-ensamblaje (Fig. 4.18).

Estas operaciones de replanteo y pre-ensamblaje se realizan de forma manual sobre la mesa de montaje. Dada la elevada manipulación de los elementos necesarios para el ensamblaje de los perfiles todavía no se han podido automatizar estas operaciones y dependen de la habilidad de los operarios para realizarse.

Los operarios encargados del montaje replantean los distintos perfiles sobre la mesa de montaje y los preparan para el pre-ensamblaje.

En esta fase de replanteo toma relevancia la repetitividad o variabilidad geométrica de los componentes. En la medida en la que hay repetición de componentes se minimizan los tiempos de replanteo así como sus costes hasta llegar rápidamente a un punto de optimización del rendimiento del operario que generalmente se considera a partir de las cuatro o cinco repeticiones.



Fig.4.17. Perfil intermedio retestado para facilitar el ensamblaje.  
Empresa Elumatec

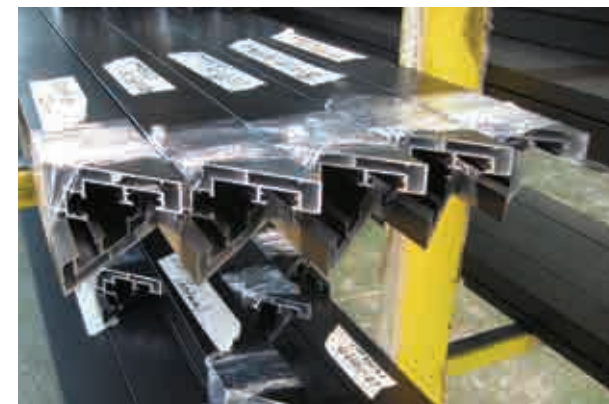


Fig.4.18. Identificación de perfiles mediante codificación



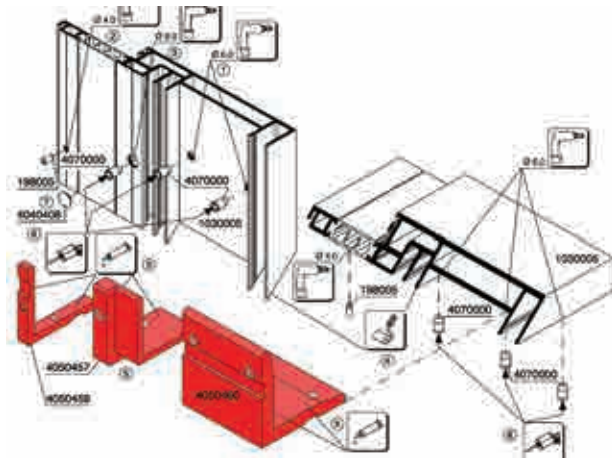


Fig.4.19. Escuadras para el ensamblaje de perfiles.  
Wicona Mod. WITEC EL60

Una vez replanteado se inician las operaciones de pre-ensamblaje que permiten presentar las uniones de los perfiles mediante las escuadras de montaje que una vez definido el tipo de ensamblaje para la serie siempre se realiza de la misma manera, independientemente de la longitud del perfil o la geometría del componente (Fig. 4.19).

La ejecución del nudo (unión entre perfiles) acaba siendo una operación ‘en serie’, siempre se realiza de la misma manera y de forma muy optimizada.

De hecho, estas operaciones se han estandarizado de tal manera que pueden llegar a hacerse también con sistemas automatizados.

#### I. El ensamblaje manual

Se realiza exclusivamente con la mano de obra de los operarios y se realiza sobre la misma mesa de trabajo donde se han replanteado y pre-ensamblado los perfiles. Por lo tanto no deja de ser una continuación de las operaciones iniciadas (Fig. 4.20).

➤ ***Este sistema de ensamblaje requiere mayor dedicación y atención del operario, pero a cambio no existe limitación geométrica del bastidor, ya sea por dimensiones máximas como por geometrías no rectangulares.***

#### II. El ensamblaje automatizado

Un operario coloca el bastidor en el ‘centro de ensamblaje’ donde un robot controlado por software ensambla cada una de las esquinas de forma definitiva (Fig.4.21).



Fig.4.20. Operaciones manuales de ensamblaje. Folcrá

- ***El sistema automatizado permite una mayor agilidad en las operaciones de ensamblaje. Cada 'centro de ensamblaje' está condicionado a determinados espesores de perfil y a bastidores de geometría rectangular de unas dimensiones máximas y mínimas.***

#### **4.3.5 Sellado de esquinas**

Una vez finalizado el ensamblaje de los bastidores se procede al sellado de las esquinas.

En la mayoría de los casos estas operaciones se realizan de forma manual, debido a la complejidad geométrica de los perfiles y sus intersecciones (Fig. 4.22). La elevada responsabilidad del sellado para garantizar la estanquidad del bastidor no permite realizar estas operaciones mediante ninguna maquina automatizada.

Una vez finalizadas las operaciones de sellado del bastidor ya tenemos definida la forma final del componente (Fig. 4.23).

#### **4.3.6 Operaciones de plementado**

Posteriormente iniciaríamos las operaciones de plementado con diferentes semiproductos y/o componentes. Pero estas operaciones no son de interés para el estudio puesto que no son responsables de la definición de la forma de los componentes.

Los materiales de plementado se definirán en función de las prestaciones térmicas, acústicas, mecánicas, etc... del componente y estos pueden ser tantos como de materiales dispongamos.



Fig.4.21. Centro de ensamblaje de Elumatec para bastidores rectangulares



Fig.4.22. Sellado manual de las esquinas del bastidor.  
Empresa Folcrá



Fig.4.23. Bastidor de fachada finalizado.  
Empresa Folcrá

## 4.4 Conclusiones

### 4.4.1 Una estrategia de producción optimizada

Como hemos visto, la industria de las carpinterías ha conseguido industrializar los procesos de producción de sus componentes. El uso de los semiproductos lineales como elemento vertebrador y definidor de la forma de los componentes ha facilitado el éxito de estas industrias.

La industria de las carpinterías se ha especializado en desarrollar sobre todo aquellas operaciones de transformación de los elementos que les permiten definir la forma del componente a través de semiproductos previamente transformados por otras industrias.

Su estrategia de producción está fundamentada principalmente en dos operaciones que han sabido optimizar: el corte y el ensamblaje de los perfiles.

Esta optimización se ha conseguido mediante dos conceptos importantes:

- I. La estandarización de las operaciones***
- II. La incorporación de las nuevas tecnologías de automatización (sistemas CAD-CAM)***

La estandarización se ve reflejada en las dos operaciones fundamentales de la estrategia de producción, el corte y el ensamblaje de perfiles.

En las operaciones de corte, el operario se limita a colocar el perfil sobre la máquina indicándole las características geométricas finales. La máquina es la encargada de realizar el replanteo y cortar a la longitud deseada.

- ***En este caso la repetición de las operaciones no implica la repetición geométrica del elemento.***

En el ensamblaje los procesos no están tan automatizados y la intervención de la mano de obra es importante. Pero en este caso la estandarización de las operaciones se refleja en la repetición del gesto del operario, donde todos los ensamblajes se realizan de la misma manera independientemente de la longitud del perfil.

- ***Esto permite conformar componentes de geometrías distintas a igual coste.***

Los procesos de automatización se han incorporado sobretodo en las operaciones de corte y mecanizado de los perfiles. Como sabemos el corte definirá la geometría y el mecanizado permitirá la estandarización del ensamblaje con independencia a la longitud de la barra. La repetición del gesto.

- ***Por lo tanto las operaciones que facilitan la clientalización de la forma del componente no dependen de la destreza o rapidez de los operarios sino de la correcta combinación entre la estandarización y la automatización de los procesos.***



Fig.4.24. Componente modular finalizado. Empresa Technocladd

#### 4.4.2 Conclusiones sobre el componente *Unitized*

El paralelismo planteado entre los componentes planos de hormigón y los componentes *Unitized* para fachada ligera nos permite extraer observaciones relevantes que pueden considerarse para la propuesta en estudio:

##### Respecto a la fabricación del componente:

El bastidor perimetral clientalizado, conformado a base de semiproductos lineales, no solo define la forma sino que da respuesta a la capacidad mecánica del componente y es el soporte de los materiales de plementado (Fig. 4.24).

- ***El bastidor perimetral forma parte del componente final***

##### Respecto al montaje en obra del componente

El bastidor perimetral no sólo es el encargado de definir la forma (fabricación) sino que es el mecanismo de relación o nexo entre los otros componentes del sistema (montaje).

Gracias a la elevada precisión del sistema de producción se minimizan las tolerancias de fabricación y en consecuencia del montaje (Fig. 4.25).

- ***El bastidor perimetral aporta tres valores añadidos: la compatibilidad entre componentes, el montaje inequívoco o 'Poka-Yoke' y la estanqueidad del sistema al agua y al aire.***

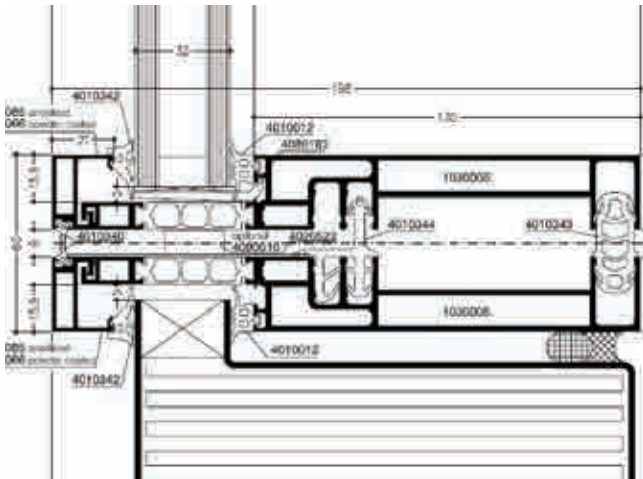
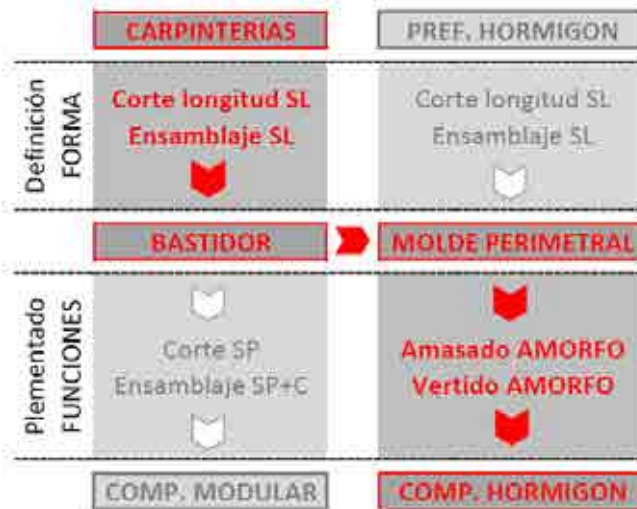


Fig.4.25. Relación entre bastidores perimetrales de dos componentes. Junta horizontal. Sistema WICTEC EL60 de Wicona

## CAPÍTULO 5 – PROPUESTA



*Estrategia para la producción industrial de componentes planos de hormigón*

CAPÍTULO 1 – INTRODUCCIÓN Y METODOLOGÍA

CAPÍTULO 2 – CONTEXTO Y PROPÓSITO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

CAPÍTULO 3 – ESTADO DEL ARTE

CAPÍTULO 4 – LA CONFORMACIÓN DE COMPONENTES PLANOS BASADOS EN LOS SEMIPRODUCTOS LINEALES

### **CAPÍTULO 5 – PROPUESTA**

5.1.- *Propuesta de un nuevo proceso industrial*

5.2.- *Perímetro exterior. Funciones añadidas*

5.3.- *Perímetro interior. El hueco*

5.4.- *Viabilidad técnica de la propuesta*

CAPÍTULO 6 – EL COSTE DE LA CLIENTALIZACIÓN

CAPÍTULO 7 – CONCLUSIONES Y PROSPECTIVA





## 5 PROPUESTA

### La conformación de componentes planos de hormigón para fachada mediante el uso de bastidores clientalizados como encofrado perdido

#### 5.1 Propuesta de un nuevo proceso industrial

Una vez analizadas las limitaciones actuales para la clientalización de la forma de los componentes planos de hormigón y demostrada la elevada capacidad de la industria de los bastidores de fachadas y carpinterías de ventanas para conseguirlo, el estudio propone:

- ***La utilización de bastidores clientalizados realizados según los procesos de la industria de las carpinterías, como moldes perimetrales perdidos para la conformación de componentes planos de hormigón***

Desde el punto de vista de la clientalización, esta propuesta aprovecha la especialización de ambas industrias proponiendo un nuevo modelo de producción industrial que permita obtener componentes planos de hormigón altamente clientalizados.

Por un lado utiliza la capacidad de la industria de las carpinterías para conformar bastidores clientalizados mediante la transformación geométrica de los semiproductos lineales incluso para las series cortas, por otro lado la propuesta se beneficia de todo el conocimiento de la industria de los prefabricados de hormigón y de su técnica de conformación y manipulación del material (Fig. 5.1).

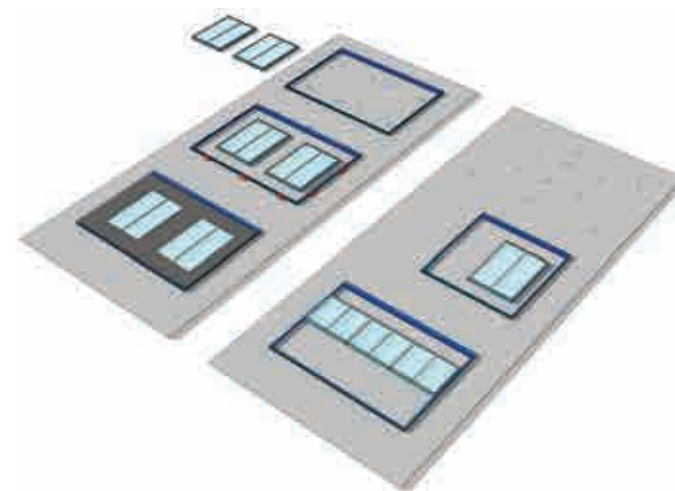


Fig.5.1. Esquema del proceso industrial de la propuesta

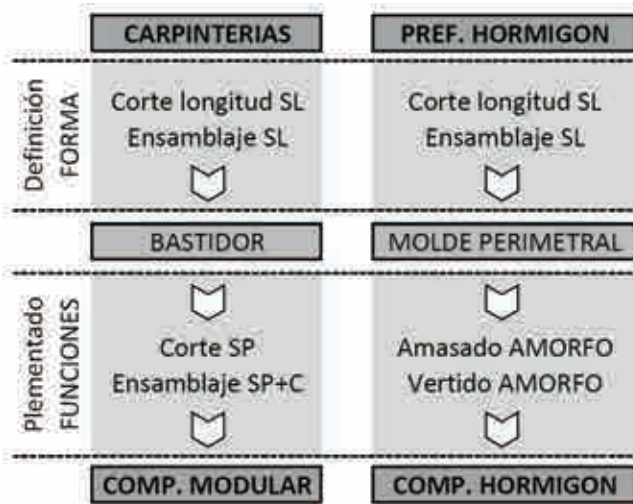


Fig.5.2. Operaciones principales para el proceso de conformación de los componentes Modulares y los paneles de hormigón

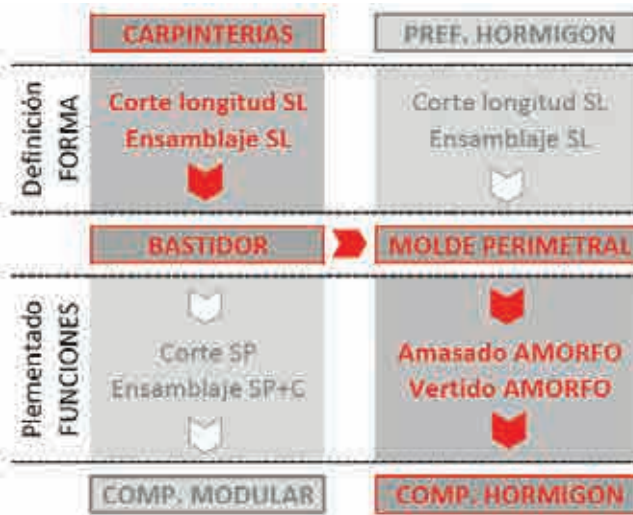


Fig.5.3. Propuesta para la conformación de componentes planos clientalizados de hormigón

Como hemos visto en los anteriores capítulos tanto en la producción de los paneles planos de hormigón como en la de los elementos modulares para muro cortina, observamos como las primeras operaciones se centran en la definición de la forma de los componentes a través de la transformación de semiproductos lineales (Fig. 5.2). Estos elementos forman en un caso los moldes perimetrales para el hormigonado de los paneles y en el otro los bastidores o esqueletos de soporte de los diferentes materiales de plementado.

Este paralelismo entre ambos modelos industriales que utilizan los semiproductos como elementos definidores de la forma de sus componentes permite plantear una nueva estrategia de conformación de los paneles planos de hormigón aprovechando partes del proceso de producción de cada uno (Fig. 5.3):

- I Utilizar la agilidad de la industria de las carpinterías para conformar bastidores clientalizados como moldes perimetrales.**
- II Aprovechar la elevada trabajabilidad del hormigón para las operaciones de plementado.**

Con esta combinación de los dos modelos de producción industrial podemos dar respuesta al objetivo del estudio:

- **‘La clientalización de la forma de los componentes planos de hormigón’**

### 5.1.1 El bastidor como molde perdido

Como sabemos, una de las principales estrategias que caracteriza las distintas técnicas de conformación de los componentes planos de hormigón es la reutilización de los moldes en la misma serie de producción hasta conseguir su amortización.

Esta necesidad conlleva algunas consecuencias a nivel del material, la mano de obra y la productividad que se resumen a continuación:

- I El coste del molde se considera una inversión que repercute directamente en cada panel (incluso podría llegar a considerarse como un coste indirecto!)
- II El modelo obliga a un diseño de molde reversible, durable y en el mejor de los casos reutilizable para otras series, hecho que lo encarece sustancialmente.
- III El proceso de producción incrementa los costes de mano de obra una vez iniciada la serie, sobre todo durante el montaje y desmontaje del molde después de la ejecución de cada panel (Fig. 5.4).
- IV La capacidad de producción (panel/día) viene condicionada por el número de moldes iguales disponibles. Con solo un molde podremos producir un máximo de un panel por día o dos si se utilizan acelerantes de fraguado.

Estos cuatro aspectos estrictamente técnicos tienen importantes consecuencias económicas que el propio modelo de producción ha asumido con la repetición:

- ***El coste del molde se incrementa a medida que demandamos mayor durabilidad.***

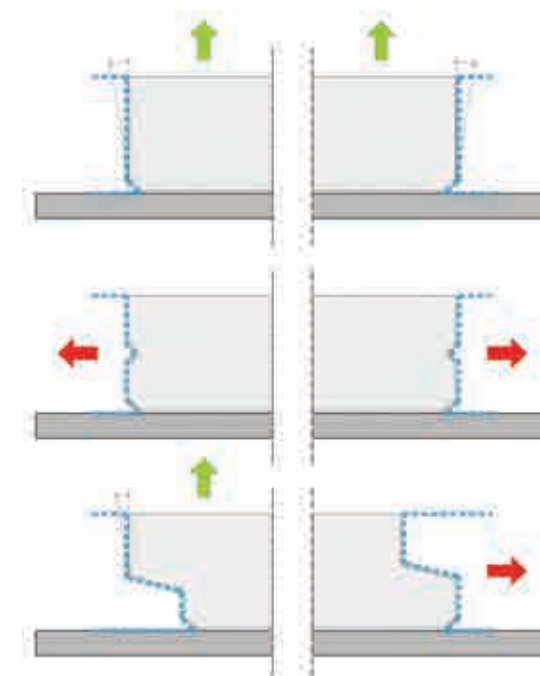


Fig.5.4. Desmontaje de los moldes perimetrales para permitir el desmoldeo del panel

- **Las operaciones manuales de montaje y desmontaje son un coste constante durante la ejecución de la serie.**
- **El aumento de la productividad comporta un incremento importante de los costes.**

Aun así la industria actual ha aceptado estas reglas del juego y con ellas ha generado su modelo de producción basado en la recuperación del molde (Fig. 5.5). Al molde solo se le exige dar forma al hormigón.

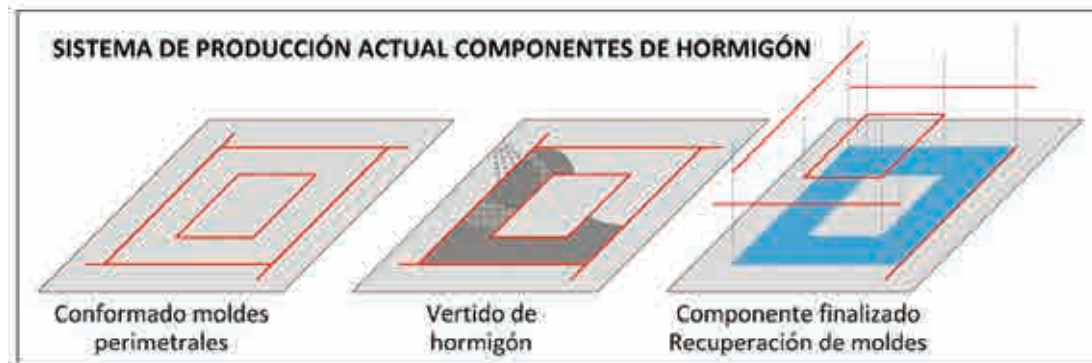


Fig. 5.5. Estrategia de producción actual para los componentes de hormigón. Recuperación del molde.

Si recordamos los procesos de conformación de un componente plano basado en la tecnología de las carpinterías<sup>1</sup> observamos como el bastidor de montaje define la forma del componente a la vez que sirve de soporte para los elementos de plementado posterior.

<sup>1</sup> Desarrollo 3.-La conformación de componentes planos de fachada mediante perfiles extruidos de aluminio. Sistema Unitized para fachada ligera.

En este caso, la estrategia resulta muy interesante tanto desde el punto de vista técnico como del económico al considerar que el bastidor además de ser el soporte para el montaje también dará respuesta a otras funciones del componente y al sistema de fachada, como desarrollaremos más adelante (Fig. 5.6).



*Unitized Modulares de muro cortina.  
El bastidor forma parte del componente aportándole más funciones.*

Así pues, la propuesta plantea utilizar el molde perimetral como molde perdido, es decir desarrollar un molde solo para un uso.

Esto nos permite repensar las exigencias para los moldes actuales:

- I Ya no será necesario exigirle durabilidad como encofrado ni reversibilidad durante el proceso de producción. Esto optimiza tanto el uso del material para el molde como el desarrollo de mecanismos para garantizar su reversibilidad.
- II Y por lo tanto, eliminamos las operaciones de desmontaje de los moldes perimetrales necesarias para el desmoldeo de los paneles.





Fig.5.7. Cambio de exigencias del molde perimetral

Este cambio de exigencias del molde permite modificar sus funciones durante el proceso. Los requerimientos para un molde en el modelo de producción convencional ahora ya no son necesarios (durabilidad y reversibilidad) esto permite reorientarlos hacia otros requerimientos exigibles durante el montaje y puesta en servicio de los paneles (Fig. 5.7).

Los moldes perimetrales no solo funcionan como encofrados del hormigón sino que además deben dar respuesta a la estanqueidad de la fachada, la compatibilidad entre componentes y el montaje inequívoco de estos en obra (Poka-Yoke).

Entendemos pues que la propuesta sigue la misma estrategia de producción de los componentes *Unitized* para fachada ligera (Fig. 5.8):

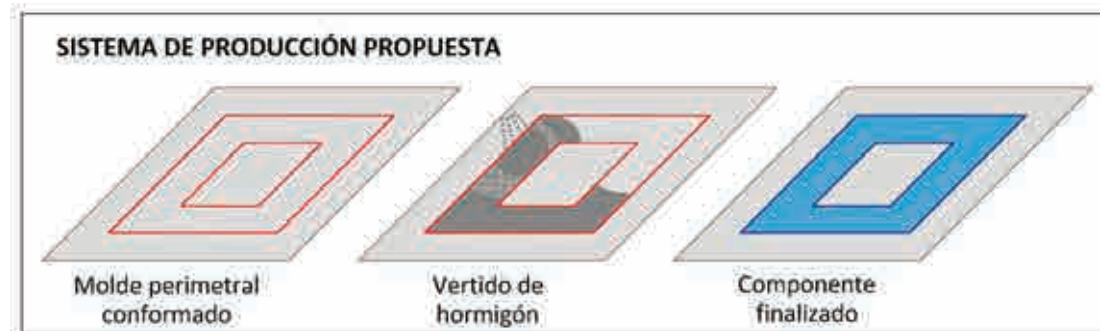


Fig. 5.8. Estrategia de producción de la propuesta.

- ***El molde perimetral (bastidor) no es un elemento a reutilizar (encofrado recuperable) sino que forma parte del componente final, aportando mas prestaciones a los paneles planos de hormigón.***

## 5.2 Perímetro exterior. Funciones añadidas

Una vez asumido que el molde perimetral formará parte del componente acabado, analizaremos las distintas funciones añadidas que este puede aportar a un sistema de fachada de paneles de hormigón.

### 5.2.1 La estanqueidad entre componentes

Generalmente los requerimientos de estanqueidad exigidos entre los componentes de un sistema de fachada de paneles de hormigón se consiguen mediante la combinación de dos estrategias: la geometría y los materiales de sellado.

La trabajabilidad del hormigón y su facilidad para ‘copiar’ la geometría del molde perimetral ha permitido desarrollar diferentes estrategias de junta que permiten garantizar la estanqueidad al agua y al aire (Fig. 5.9).

Actualmente, prácticamente todos los sistema de estanqueidad de los paneles de fachada se desarrollan en obra dejando en manos de los operarios la bondad en la ejecución.

Pocos son los ejemplos donde encontramos una cierta conformación de los mecanismos de estanqueidad durante la fabricación de los paneles. Un ejemplo de esto es la solución propuesta por la empresa francesa ‘Couvraneuf’ (Fig. 5.9 -Tipo 3b.) que cuenta con un pequeño perfil de PVC rígido en forma de ‘U’ embebido en el panel de hormigón donde va

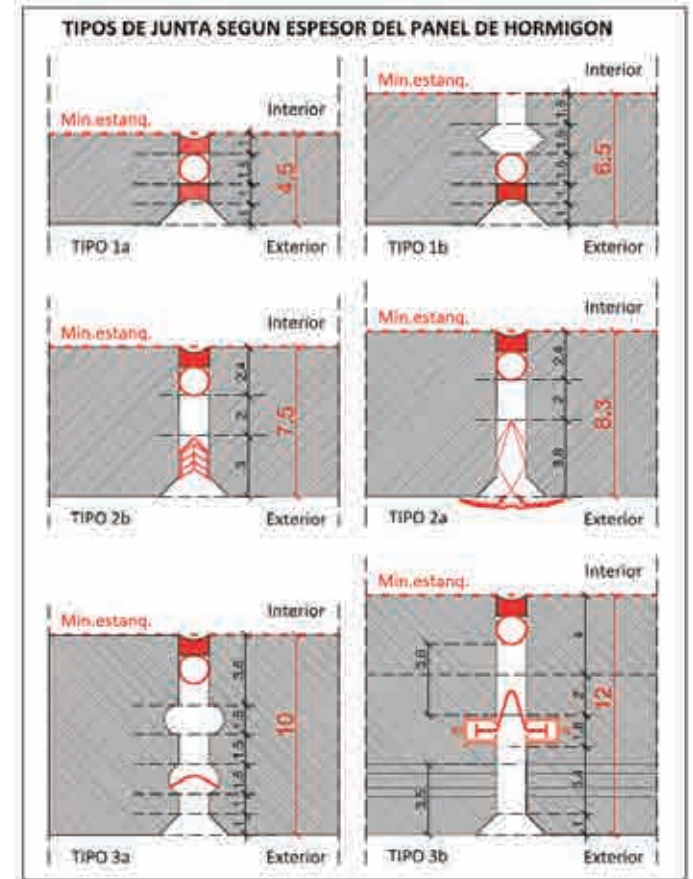


Fig.5.9. Tipos de junta en función del espesor del panel de hormigón

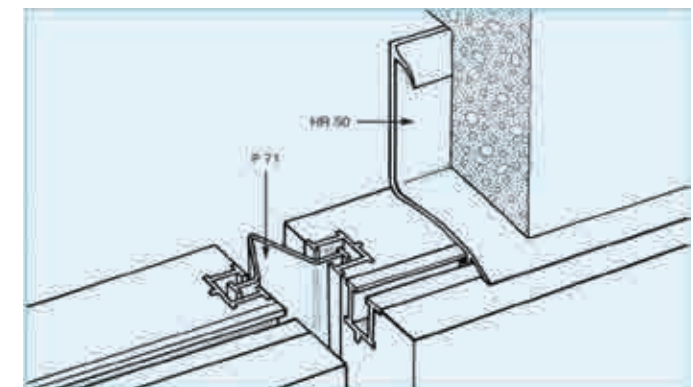


Fig.5.10. Perfil para junta conformada de la empresa ‘Couvraneuf’

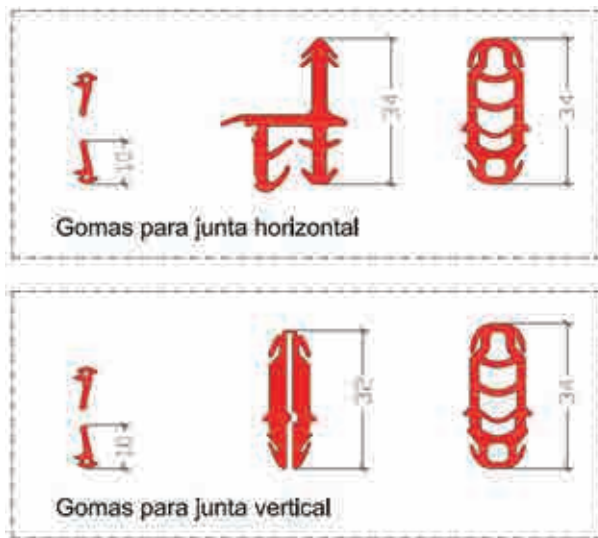


Fig.5.11a. Juntas de EPDM para la estanqueidad del sistema Unitized de Wicona. Cotas en milímetros

colocada una banda flexible de PVC que garantiza la estanqueidad al agua a la vez que da respuesta a las tolerancias tanto de fabricación, como de montaje y a los posibles movimientos del sistema (Fig.5.10).

Esta solución ha sido poco utilizada debido a la dificultad para incluir el perfil de PVC en el molde perimetral además de obligar a trabajar con espesores de panel mayores de 12 cm.

Aun así, estas juntas conformadas no garantizan la estanqueidad al aire y obligan a realizar operaciones de sellado 'in-situ'.

Desde un punto de vista conceptual, la propuesta desarrolla el mismo tipo de junta que utilizan los componente modulares de fachada ligera a través de una 'junta conformada' mediante gomas de estanqueidad especialmente diseñadas (Fig.5.11a) y colocadas en el molde perimetral (Anexo 11.- Documentación grafica de la propuesta). Así pues,

- **La estanquidad al agua y al aire del sistema de fachada queda garantizada una vez montados los paneles en la obra, haciendo innecesarios los medios auxiliares para las operaciones de sellado 'in-situ' habituales en los componentes de hormigón (Fig. 5.11b).**

### 5.2.2 El montaje inequívoco

La dificultad de los sistemas actuales de moldeo por definir con precisión los moldes perimetrales del encofrado y la propia morfología del hormigón en fresco han limitado la capacidad para disminuir las tolerancias de fabricación de los componentes de hormigón.

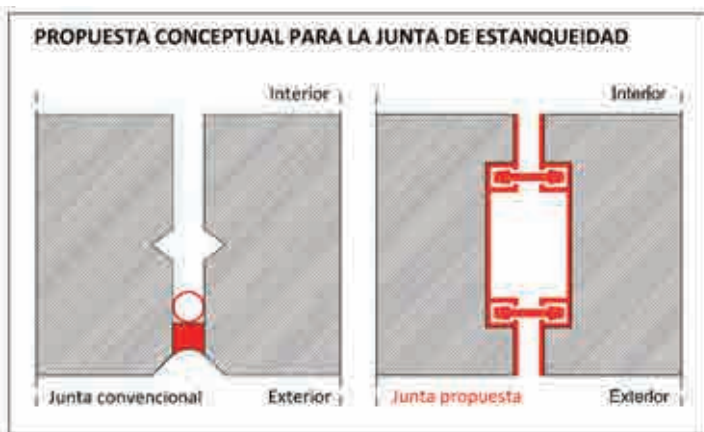


Fig.5.11b. Propuesta conceptual para junta de estanqueidad

A estas tolerancias de fabricación debemos añadir las tolerancias del montaje, provocadas por el propio sistema de fijación y por los elementos de soporte (generalmente la estructura). La suma de ambas tolerancias –fabricación y montaje- nos han llevado a considerar un valor aproximado de  $\pm 1,5\text{cm}$  asumibles con los actuales sistemas de estanqueidad (geometría y sellado).

El uso del bastidor desarrollado mediante la técnica de las carpinterías como molde perdido y definidor del perímetro del componente permite minimizar tanto las tolerancias de fabricación como las de montaje.

La simetría entre los dos perfiles de junta de los componentes y la precisa ubicación de las gomas de estanqueidad exige, y a la vez facilita, la correcta colocación del componente en obra (Fig. 5.12).

- ***El perfil perimetral del panel garantiza la disminución de las tolerancias admisibles y garantiza el preciso montaje en obra.***

### 5.2.3 La compatibilidad entre componentes

Uno de los principales hándicaps de la construcción industrializada ha sido garantizar la compatibilidad entre componentes. Varios estudios han planteado intentos de modularización dimensional y estandarización de las uniones para hacerlos compatibles.

En este caso, la propuesta aporta soluciones de unión compatibles para todo el sistema de fachada mediante el uso del perfil de borde. Esto facilita el montaje entre los propios componentes a la vez que permite la compatibilidad con otro tipo de componentes

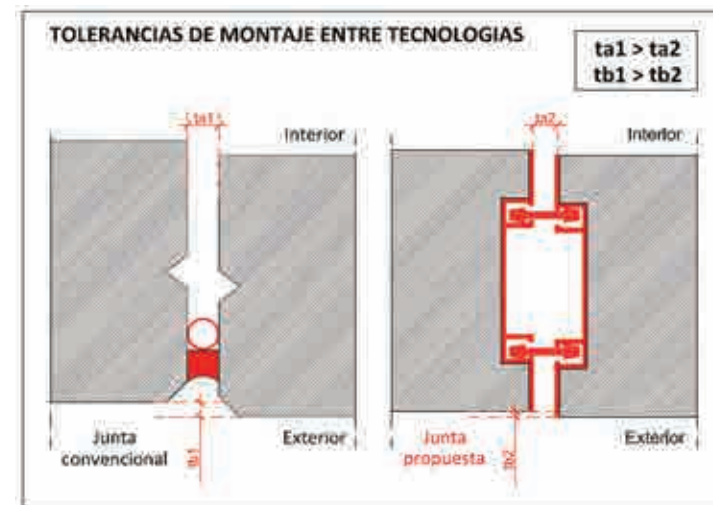


Fig.5.12. Disminución de las tolerancias y montaje inequívoco de los componentes

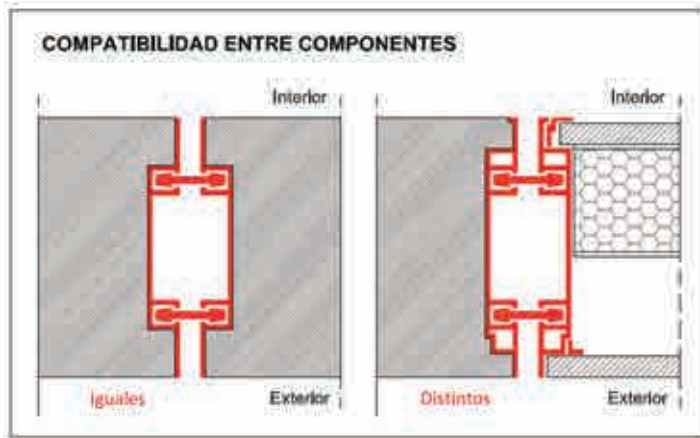


Fig.5.13. El perfil permite compatibilizar diferentes tipos de componentes

garantizando el mismo procedimiento constructivo y homogeneizando la tolerancias de montaje (Fig. 5.13).

- **La compatibilidad entre componentes distintos queda garantizada con el uso del perfil de borde a la vez que permite una mayor clientalización de la fachada combinando sistemas.**

### 5.3 Perímetro interior. El hueco

Como ya vimos en el *Capítulo 2 'Contexto y propósito del trabajo de investigación'* la propuesta del estudio apuesta por la incorporación del hueco en el panel. Desde un punto de vista técnico, esta solución mejora cualquiera de las posibles alternativas donde el hueco no queda completamente enmarcado o se consigue mediante la ausencia de panel (Fig. 5.14).

En la propuesta, la clientalización de la forma del hueco queda también garantizada a través de moldes perimetrales o bastidores ejecutados mediante la técnica de la industria de las carpinterías.

Para ello también utilizaremos un molde perimetral perdido. La incorporación del hueco en el panel aportará importantes ventajas técnicas al componente de hormigón, tanto en el proceso de fabricación, como en el montaje o en servicio una vez colocado en obra.

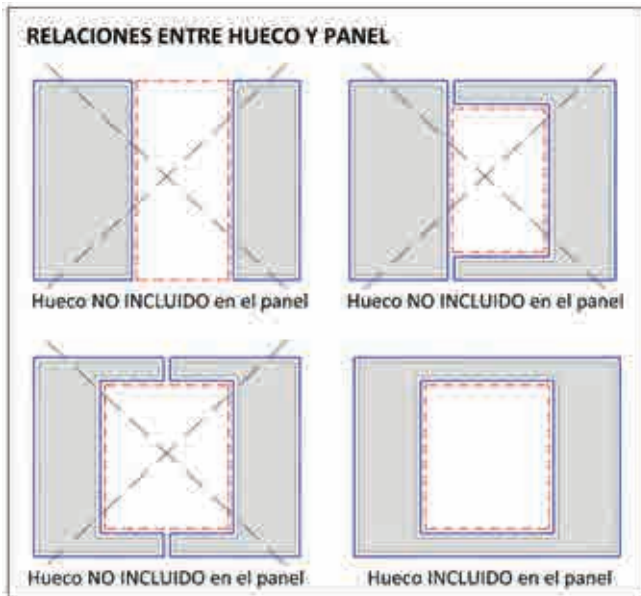


Fig.5.14. Estrategias para la conformación del hueco

### **5.3.1 Mejoras en la fabricación del panel**

Desde el punto de vista de la fabricación, el uso de bastidores desarrollados mediante la técnica de las carpinterías permite también la clientalización de la forma del perímetro interior del encofrado, el hueco.

Utilizar la misma técnica de ejecución para el molde perimetral interior permite:

*I La homogeneización de las tolerancias de fabricación entre el perímetro interior y el perímetro exterior*

Si utilizamos las mismas técnicas para el desarrollo de la forma de todo el componente (perímetro interior y perímetro exterior) podemos garantizar las mismas tolerancias de fabricación tanto para el panel como la ventana.

*II Reagrupamiento funcional del premarco*

Permite resolver en un único elemento dos funciones requeridas en el perímetro del hueco. Estas funciones son la mecánica y la estanqueidad perimetral del hueco.

### **5.3.2 Mejoras en el montaje del panel en obra**

La incorporación del hueco en el panel facilita las operaciones de montaje y disminuye los tiempos de ejecución, permitiendo minimizar errores de montaje y sus posibles consecuencias.



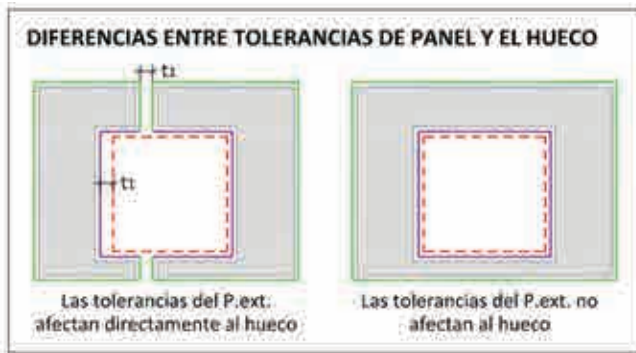


Fig.5.15. Concentración de las tolerancias al perímetro exterior del componente

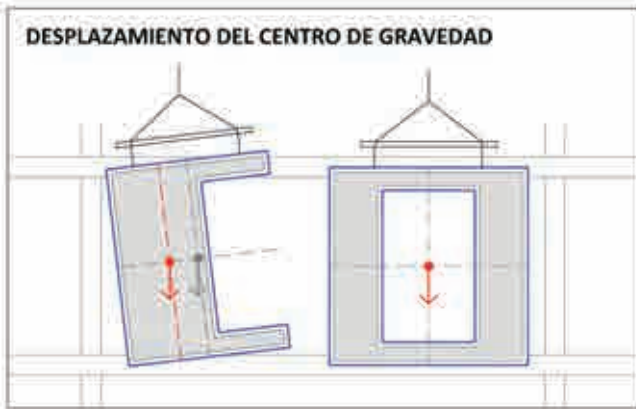


Fig.5.16. La simetría en los componentes facilita las operaciones de montaje

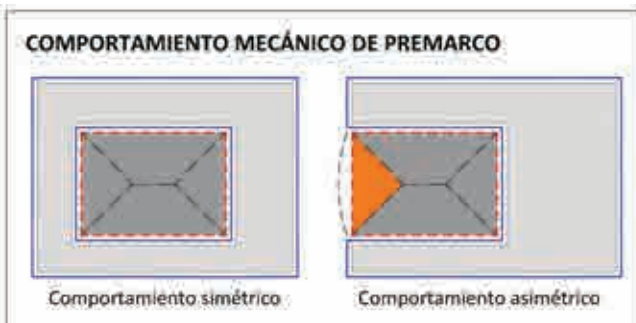


Fig.5.17. Trasmisión homogénea del premarco frente a esfuerzos provocados por la carga de viento

*I Concentración de las tolerancias de montaje en el perímetro exterior*

Las tolerancias de fabricación sumadas a las tolerancias del montaje recaen exclusivamente en el perímetro exterior (Fig. 5.15).

*II Garantiza una mejor estabilidad durante las operaciones de manipulación*

Trabajar con componentes con una cierta simetría facilita su manipulación y replanteo en obra, evitando el diseño y uso de utillajes especiales durante su elevación y montaje (Fig. 5.16).

*III Mejora el tiempo de ejecución del conjunto de la fachada*

La incorporación del hueco en el panel facilita las posteriores operaciones de plementado. Cada panel es independiente y su geometría está definida.

**5.3.3 Mejoras del panel en servicio**

Una vez colocado el panel y finalizada la fachada, el panel entra en servicio. A partir de este momento el panel deberá dar respuesta a los distintos requerimientos de la fachada.

Teniendo en cuenta la ubicación del hueco en el panel, destacamos los siguientes:

*I Uniformidad en el comportamiento mecánico del premarco*

Una relación continua entre el premarco y el hormigón garantiza la uniformidad en la transmisión de los esfuerzos provocados por las acciones horizontales que inciden sobre el vidrio (Fig. 5.17).

### II Garantía de la continuidad de los mecanismos de estanqueidad de las juntas

Los mecanismos de estanqueidad pueden verse interrumpidos si el panel no contiene el hueco obligando a adoptar soluciones particulares que sumadas a los movimientos de la fachada (punto 3) pueden inducir a futuros problemas de estanqueidad (Fig. 5.18).

### III Control de los movimientos de la fachada y del edificio

Una vez la fachada ha entrado en servicio los movimientos de dilatación de los propios paneles o los movimientos provocados por la estructura (elemento de soporte) pueden acusar los problemas de estanqueidad ya citados (Fig. 5.19).

## 5.4 Viabilidad técnica de la propuesta

Para llevar a cabo con éxito la nueva estrategia de producción industrial y llegar a ser un producto competitivo en el mercado actual debemos garantizar la compatibilidad entre los diferentes materiales que formaran el nuevo componente de fachada.

Esta compatibilidad entre materiales depende tanto de aspectos químicos como físicos que pueden afectar al proceso de ejecución y a la durabilidad del componente una vez colocado en obra.

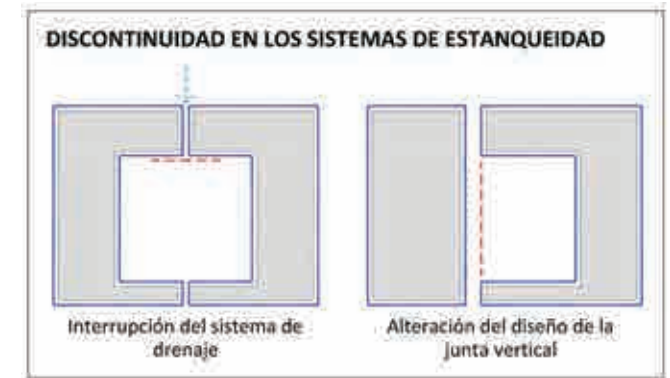


Fig.5.18. Interrupción de los mecanismos de estanqueidad del sistema de paneles

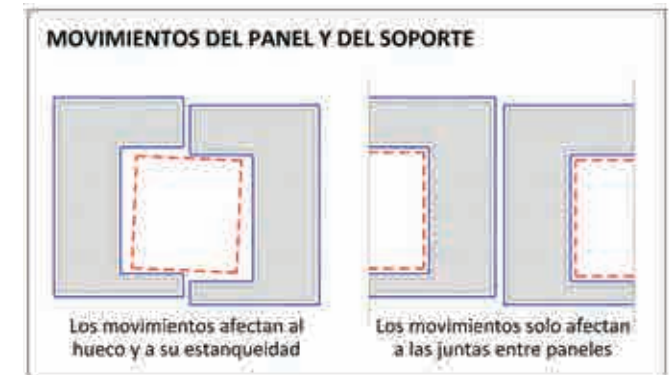


Fig.5.19. Localización de los movimientos de los paneles en la junta

### 5.4.1 La compatibilidad química

Como bien dice la Instrucción del hormigón estructural (EHE08) en el '*Cap. 13 Ejecución. Art.68.3. Encofrados y moldes*<sup>2</sup>' debemos evitar el contacto directo entre elementos de aluminio y los materiales con alto contenido de cemento para evitar así la reacción de los álcalis.

Si comparamos el comportamiento de dos metales habituales en la construcción como son el acero y el aluminio ambos sin tratar y observamos su comportamiento frente la corrosión sabemos que este último tendrá un mejor comportamiento gracias al proceso de pasivación natural en presencia de oxígeno.

El aluminio genera una capa superficial de óxido de aluminio formando una protección pasiva frente a la corrosión pero habrá que tener en cuenta que en determinados niveles de pH esta puede no ser del todo estable.

A diferencia del comportamiento del acero, el aluminio es un material anfótero, es decir que en función del pH del medio, ácido o básico, este reaccionará en sentido contrario al medio pudiendo formar otro compuesto que le haría perder la protección a la corrosión.

Así pues en nuestro caso se podrían plantear dos situaciones de riesgo de corrosión para el aluminio en contacto con el hormigón:

---

<sup>2</sup> *Art.68.3. Encofrados y moldes:*

*[...] No podrán emplearse encofrados de aluminio, salvo que pueda facilitarse a la Dirección Facultativa un certificado, elaborado por una entidad de control, de que los paneles empleados han sido sometidos con anterioridad a un tratamiento de protección superficial que evite la reacción con los álcalis del cemento [...]*

*I Si el pH del medio es inferior a 4,5 o superior a 8,5*

En nuestro caso debemos considerar que en condiciones normales estará en contacto con un medio básico de  $\text{pH} \approx 12$  como es el cemento debido a la portlandita ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) cuya reacción lo llevaría a comportarse como ácido pudiendo iniciar un proceso de corrosión. Pero será gracias al propio proceso de carbonatación del hormigón que el pH tenderá a bajar hacia un pH neutro zona en la que disminuye el riesgo de corrosión del aluminio (Fig.20<sup>3</sup>).

*II Si hay una presencia elevada de cloruros en el medio*

El riesgo de corrosión del aluminio puede aumentar en presencia de elevadas concentraciones de cloruros en el medio. Puesto que en nuestro caso el medio es el hormigón ya habremos tenido en cuenta mantener bajas las concentraciones de cloruros (Fig.21<sup>3</sup>).

*III Si existe contacto con algún elemento de acero*

Otra fuente de corrosión del aluminio podría ser la producida por par galvánico con el acero. En nuestro caso eliminando el contacto directo entre el perfil de aluminio y cualquier elementos de acero (armado, fijaciones, etc...) evitaremos cualquier principio de corrosión.

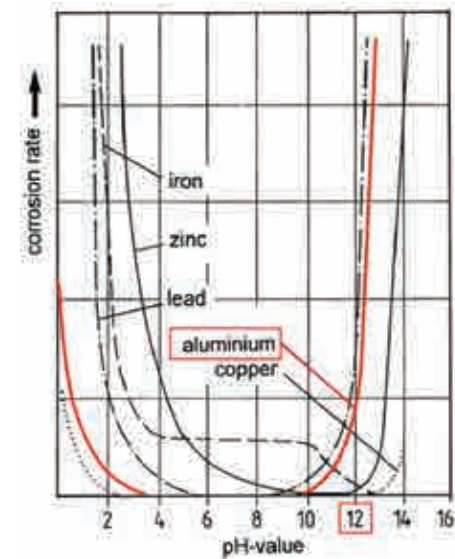


Fig.5.20. Niveles de corrosión de los metales en función del valor del pH

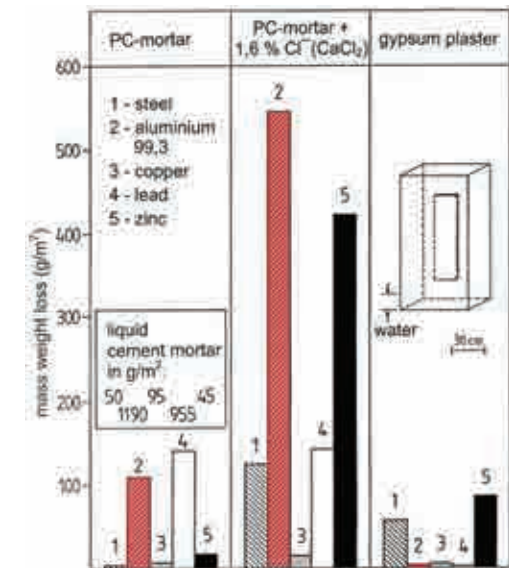


Fig.5.21. Pérdida de masa de los metales después de doce meses en contacto con mortero, mortero con alto contenido de cloruros y yeso

<sup>3</sup> 'Corrosion of metals in contact with mineral building materials'. Ulf Nürnberger. Otto-Graf-Journal Vol.12, 2001

Hay que tener en cuenta que estas consideraciones sobre la compatibilidad química son en base a un aluminio bruto, sin tratar, pero lógicamente los perfiles que utilizaremos llevaran algún tipo de protección y acabado.

Así pues, si queremos garantizar una buena durabilidad del componente, sin dejar ninguna variable al buen hacer del proceso industrial podremos tomar alguna de estas medidas preventivas:

#### I Anodizado del aluminio

Con el proceso de anodizado potenciamos la pasivación del aluminio generando un mayor recubrimiento de óxido de aluminio como protector garantizando una mayor durabilidad del componente. Aun así no eliminamos por completo el riesgo de corrosión.

Las empresas que actualmente utilizan perfiles de aluminio como elemento de encofrado están utilizando *desencofrantes*<sup>4</sup> especiales que una vez aplicados sobre los perfiles inician un proceso de pasivación del aluminio formando una barrera físico-química que inhibe al aluminio del ataque de la alcalinidad del hormigón (Fig.5.22).



Fig.5.22. Perfiles de aluminio utilizados como moldes perimetrales en la ejecución de elementos de hormigón.  
Empresa Prefabricados Tecnyconta

---

<sup>4</sup> *RENOCAST DES EB-T (FUCHS LUBRICANTES). Desencofrante de baja viscosidad para elementos prefabricados de hormigón*

## *II Lacado del aluminio*

El tratamiento superficial del lacado permite interponer un material orgánico (pintura) entre el medio y el aluminio eliminando cualquier posibilidad de corrosión.

## *III Tratamientos superficiales basados en las ceras, siliconas o plásticos*

De la misma manera que sucede con el lacado de perfiles, los tratamientos superficiales mediante ceras, siliconas o plásticos (materiales orgánicos) forman también una barrera entre el medio, el acero y el aluminio.

Así pues en el contexto de la propuesta,

- ***La compatibilidad química entre el aluminio y el hormigón queda garantizada sin generar ningún problema de durabilidad y viabilidad del componente.***

### **5.4.2 La compatibilidad física**

La compatibilidad física de la propuesta se ha analizado en dos momentos de la vida del componente: el proceso de fabricación y una vez el componente entra en servicio.

#### **El proceso de fabricación**

El principal aspecto a tener en cuenta y que afecta directamente a la viabilidad del proceso de fabricación del componente es la retracción del hormigón en el curado.



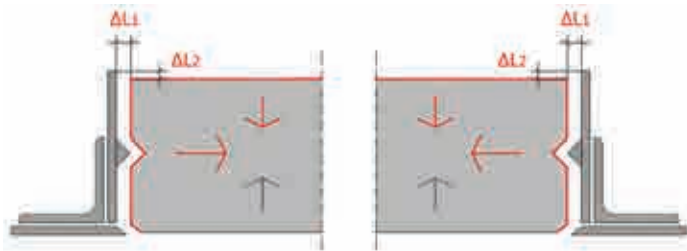


Fig.5.23. Desvinculación entre el molde perimetral y el panel debido a la retracción del hormigón

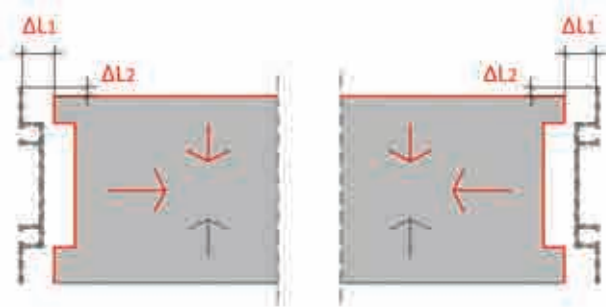


Fig.5.24. Desvinculación entre el molde perimetral y el panel debido a la retracción del hormigón

Como sabemos durante el proceso de endurecimiento del hormigón este realiza movimientos de retracción debido a la deshidratación del material.

Actualmente sabemos que estos movimientos de retracción son isotrópicos y se producen por igual en toda la masa del hormigón. Los valores de retracción pueden oscilar entre 0,3 y 1 mm/m dependiendo de la dosificación del hormigón. Uno de los principales factores determinantes es la relaciones agua-cemento así como las condiciones ambientales durante el proceso de curado.

En los sistemas actuales de conformación de componentes de hormigón a través de moldes recuperables la retracción solo tiene consecuencias dimensionales en el componente final. Esta retracción formará parte de las tolerancias de fabricación. Además colaborará a favor de la desvinculación entre el molde perimetral y el panel facilitando en muchos casos las operaciones de desmoldeo (Fig. 5.23).

Pero como sabemos, la propuesta utiliza el molde perimetral como encofrado perdido y aquí el control de la retracción será un factor decisivo para la viabilidad del sistema (Fig. 5.24).

Planteamos dos alternativas que analizan las relaciones *perímetro-hormigón*: **soluciones permisivas y soluciones coercitivas.**

- A. Las soluciones permisivas son aquellas basadas en la independencia física entre los moldes perimetrales y el hormigón. No se dispone de mecanismos específicos de solidaridad entre ambos.

B. Las soluciones coercitivas serán aquellas que garanticen la íntima unión entre el molde perimetral y el hormigón. El movimiento de uno afecta directamente al otro.

Estas dos alternativas nos llevarán a dos soluciones de perímetro con distintas consecuencias en los componentes de hormigón.

Si consideramos primero los componentes macizos, sin hueco, vemos como la retracción del hormigón puede tener dos efectos en el componente (Fig. 5.25).

A. Las soluciones permisivas, pueden provocar una desvinculación hormigón-marco a lo largo del perímetro con importantes consecuencias para la estanqueidad y la solidaridad del conjunto frente a esfuerzos mecánicos.

B. Las soluciones coercitivas, potencian la probabilidad de aparición de fisuras por retracción e incluso la deformación del molde perimetral afectando a la geometría final del componente y a la estanqueidad entre estos una vez colocados en fachada.

Estas mismas consecuencias se producen con los componentes que incluyen el hueco aunque en este caso los efectos pueden llegar a ser de menor importancia en función del tamaño del hueco.

La retracción del hormigón afectará también al perímetro interior (Fig. 5.26).

A. Para las soluciones permisivas, pueden aparecer los mismos problemas de estanqueidad y solidaridad mecánica que veíamos en el caso del perímetro exterior.

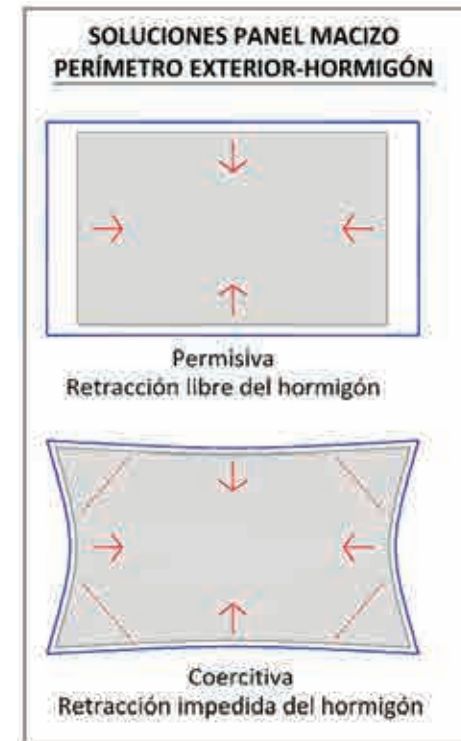


Fig.5.25. Efectos en el panel macizo de hormigón según solución permisiva o coercitiva

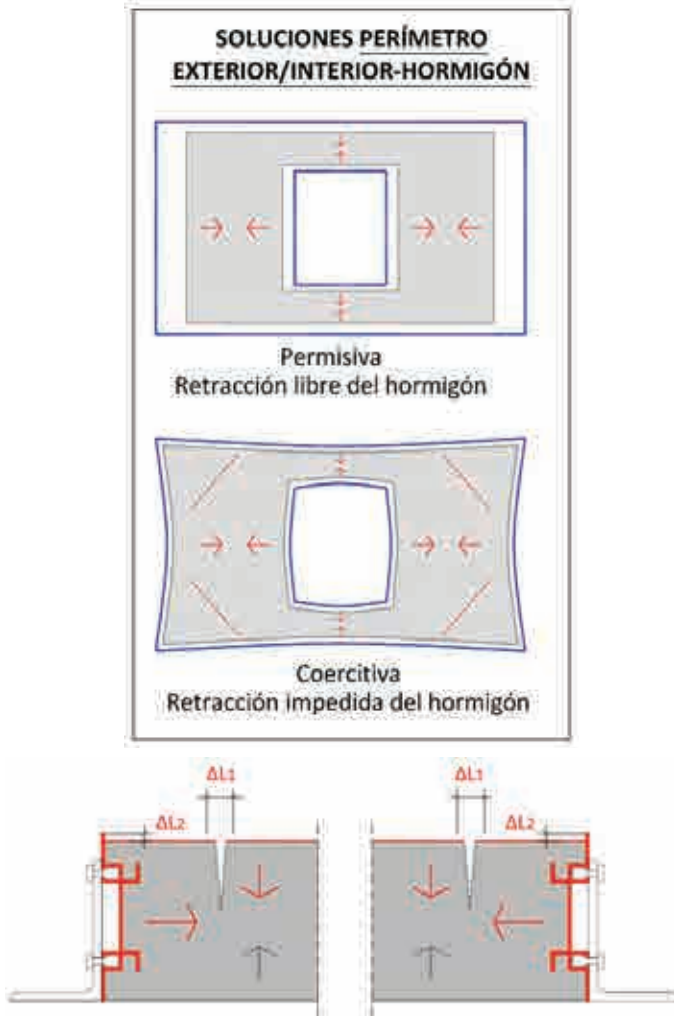


Fig.5.27. Las soluciones coercitivas potencian la aparición de fisuras

B. Para las soluciones coercitivas, la retracción puede provocar una deformación del hueco hacia la zona maciza de hormigón facilitando la aparición de fisuras de retracción.

Ambas soluciones (coercitivas o permisivas) plantean aspectos que deben ser abordados.

Las soluciones permisivas principalmente plantean dos problemas que son difíciles de solucionar. Como hemos dicho, la desvinculación entre el perfil perimetral y el hormigón puede producir apertura de juntas y en consecuencia entrada de agua. Actualmente los materiales de sellado necesitan al menos un ancho de junta de 10 mm para poder garantizar una correcta adherencia, condición que hace poco viable su aplicación en nuestro caso.

Esta desvinculación entre el perfil y el hormigón no permite garantizar la solidaridad mecánica exigida entre ambos elementos, haciendo poco recomendable esta solución tanto para el montaje como posteriormente en servicio.

En cambio las soluciones coercitivas generan mayores tensiones internas del hormigón debido a la estrecha vinculación con los perfiles perimetrales que impiden su libre retracción facilitando la aparición de fisuras en el componente (Fig. 5.27).

Estas consecuencias pueden minimizarse mediante dos medidas preventivas que garantizan la correcta ejecución del componente:

*I Fijación del bastidor a la mesa de hormigonado*

Para evitar las deformaciones geométricas del componente será suficiente fijar los marcos perimetrales a la mesa de hormigonado de tal forma que evitemos su deformación provocada por la retracción del hormigón (Fig. 5.28 y 5.29).

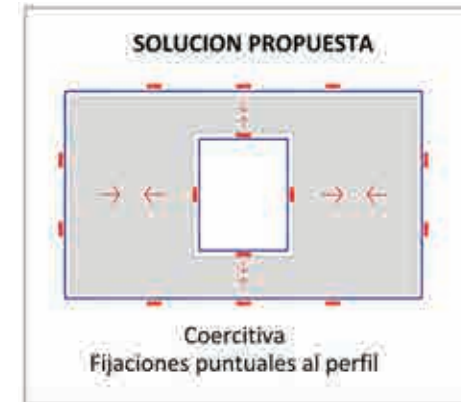
*II Curado continuo del componente durante las primeras 12 - 24 horas*

Un buen curado del hormigón permite minimizar el efecto de la retracción endógena. Humedecer la superficie del componente de hormigón periódicamente y mantenerlo tapado con lonas transpirables. Esto permitirá mantener un equilibrio entre la pérdida de agua y la evolución del módulo de elasticidad del hormigón.

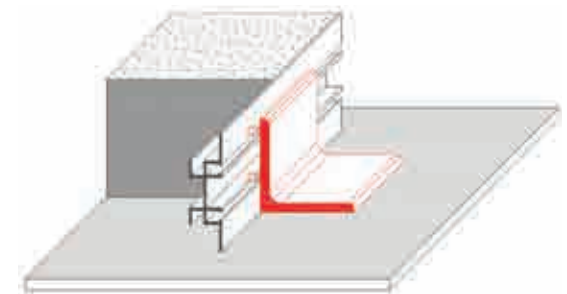
De esta manera modificamos el coeficiente de retracción libre y en consecuencia las tensiones que se generan con el perfil perimetral.

Como sabemos ambas operaciones permitirán la correcta ejecución del componente con moldes perimetrales perdidos.

- ***La propuesta apuesta por las soluciones coercitivas como estrategia para garantizar una correcta relación entre el perfil perimetral y el hormigón.***



*Fig.5.28. Fijación discontinua del perfil perimetral con la mesa de hormigonado*



*Fig.5.29. Elementos de fijación del perfil perimetral a la mesa de hormigonado*

## CAPÍTULO 6 – EL COSTE DE LA CLIENTALIZACIÓN

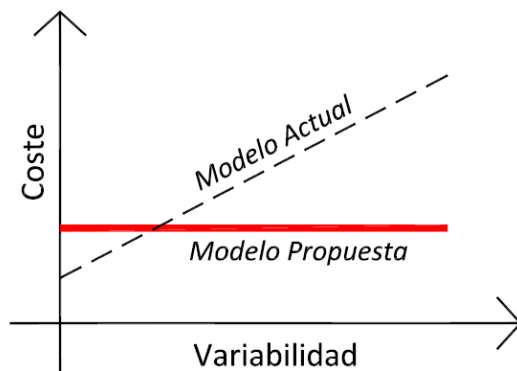
CAPÍTULO 1 – INTRODUCCIÓN Y METODOLOGÍA

CAPÍTULO 2 – CONTEXTO Y PROPÓSITO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

CAPÍTULO 3 – ESTADO DEL ARTE

CAPÍTULO 4 – LA CONFORMACIÓN DE COMPONENTES PLANOS BASADOS EN LOS SEMIPRODUCTOS LINEALES

CAPÍTULO 5 – PROPUESTA



### **CAPÍTULO 6 – EL COSTE DE LA CLIENTALIZACIÓN**

- 6.1.- Contexto y bases para el cálculo del coste de la clientalización de la forma
- 6.2.- Análisis de los costes asociados a la clientalización de la forma de los paneles de hormigón
- 6.3.- Análisis de los costes asociados a la ejecución de un bastidor de fachada
- 6.4.- Viabilidad económica de la propuesta

CAPÍTULO 7 – CONCLUSIONES Y PROSPECTIVA





## 6 EL COSTE DE LA CLIENTALIZACION

### **Análisis de los costes asociados a la definición de la forma de los componentes planos**

#### **6.1 Contexto y bases para el cálculo del coste de la clientalización de la forma**

Este capítulo tiene como objetivo analizar los costes relacionados con la clientalización de la forma de los componentes.

Garantizar la viabilidad de la clientalización de la forma no solo depende de una tecnología que lo permita, que la hay, sino de los costes económicos que esta clientalización conlleva.

Como sabemos producir de forma repetitiva los componentes representa para muchos de los modelos de producción actuales la única posibilidad de garantizar la competitividad económica del sistema, pero:

- *¿Cuál es el coste de la clientalización de la forma de los componentes?*
- *¿Cuánto cuesta desarrollar series de producción con una alta variabilidad en la forma de sus componentes?*
- *¿Es económicamente viable la propuesta del estudio?*

Estas son las cuestiones que se analizan en este capítulo. Para desarrollar el análisis se ha realizado un estudio donde se comparan los costes económicos para series de producción con distintos niveles de clientalización.

### **6.1.1 Marco de análisis**

Se ha definido un marco de análisis para aplicar a las dos tecnologías de componentes de interés: los componentes de hormigón y los componentes del sistema *Unitized* o bastidor.

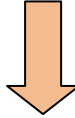
- ***El marco de análisis tiene como objetivo común la ejecución de 100 componentes planos de fachada de dos dimensiones geometrías distintas (5x3m y 2x3m).***

A partir de aquí se ha planteado varios escenarios de producción caracterizados por la repetitividad de sus componentes para poder extraer valores relativos (no absolutos) de los costes asociados a la clientalización de la forma.

El estudio se inicia con el análisis de los costes para una serie BASE de producción cuya variabilidad es mínima y representa la máxima repetición de componentes posibles dentro de una serie: producción de 100 paneles iguales.

A partir de esta serie BASE que representa la mínima variabilidad se calculan los incrementos de costes de los distintos escenarios de producción para ambas tecnologías.

Por ejemplo para el cálculo de los componentes de planos de hormigón<sup>1</sup> se han definido cinco escenarios posibles con distintos niveles de clientalización para conseguir los 100 paneles de fachada según cuadro adjunto:

Conformación de paneles planos de HORMIGÓN			
SERIES*	Moldes distintos	Repeticiones	Clientalización
Serie BASE-0	1 ud	100 uds	<b>BAJA</b>
Serie 1	5 uds	20 uds	
Serie 2	10 uds	10 uds	
Serie 3	20 uds	5 uds	
Serie 4	50 uds	2 uds	
Serie 5	100 uds	1 ud	

Como vemos la diferencia entre las distintas series de producción está en el número de paneles iguales dentro de la serie. Es decir que cada escenario incrementa la variabilidad de moldes respecto al anterior.

Por ejemplo, el escenario 1 utiliza 5 moldes distintos para la producción de 100 paneles, el escenario 2 utiliza 10 moldes distintos para la misma producción, etc... hasta configurar las cinco series de clientalización.

De este modo podremos saber cómo influye en los costes, la variabilidad del molde dentro de una misma serie de producción, tomando como referencia a la SERIE BASE (máxima repetición).

---

<sup>1</sup> Desarrollo 4.- Anàlisis del coste-variación dimensional para la conformación de un panel plano de hormigón en el contexto de un modelo de producción mixto

Para la tecnología del sistema *Unitized* se ha realizado el mismo estudio<sup>2</sup> pero en este caso con un escenario menos puesto, como veremos, la variabilidad de los costes en los distintos escenarios es poco significativa, quedando de la siguiente manera:

<b>Conformación de bastidores planos del sistema Unitized</b>			
<b>SERIES</b>	<b>Bastidores distintos</b>	<b>Repeticiones</b>	<b>Cientalización</b>
Serie BASE-0	1 ud	100 uds	BAJA
Serie 1	5 uds	20 uds	 <b>ALTA</b>
Serie 2	10 uds	10 uds	
Serie 3	100 uds	1 ud	

Así pues en base a este marco de análisis se han realizado los cálculos para conocer los costes asociados a la clientalización de la forma para las dos tecnologías.

Para el cálculo de los costes de cada serie de producción solamente se han considerado aquellas operaciones necesarias para la definición de la forma de los componentes, citadas en el *Capítulo 2* del presente estudio.

Por lo tanto no se tendrán en cuenta ni los costes de la mano de obra y ni los de los materiales relacionados con el armado de los paneles, el vertido del hormigón, el desmoldeo, etc... ya que son costes constantes e independientes a la clientalización de la forma de los componentes de hormigón, ni las operaciones de plementado de los bastidores tipo *Unitized*.

---

<sup>2</sup> Desarrollo 5.- Análisis del coste-variación dimensional para la conformación de un bastidor para un componente *Unitized* de fachada ligera

## 6.2 Análisis de los costes asociados a la clientalización de la forma de los paneles de hormigón

Para el cálculo de los costes asociados a la definición de la forma se ha considerado un modelo de producción industrial manual que incorpora un sistema laser como ayuda para el replanteo de los moldes.

El modelo de producción analizado es representativo de los modelos actuales y queda definido en el *Desarrollo 1*<sup>3</sup>.

### 6.2.1 La relevancia del coste del molde respecto al coste de panel

Antes de empezar a analizar los resultados de los costes asociados a la variabilidad de la forma de los moldes dentro de una serie de producción es importante discernir entre el coste el molde y el coste del componente acabado para confirmar la intención del estudio.

Para ello se han diferenciado en dos grupos las operaciones implicadas directamente en la definición de la forma del molde y las operaciones necesarias para la ejecución del panel (Fig.6.1):

#### I Operaciones implicadas en la definición de la forma del molde

Este primer grupo recoge aquellas operaciones que tiene una influencia directa en los costes derivados de la variabilidad de la forma del molde. La clientalización.

<sup>3</sup> Desarrollo 1-. Análisis de las operaciones necesarias para la conformación de un componente de hormigón en un modelo de producción mixto

EJECUCIÓN DE UN PANEL DE HORMIGON		
	Operaciones implicadas en la DEFINICIÓN DE LA FORMA	Operaciones implicadas en la EJECUCION DEL PANEL
1-	-	Limpieza y preparación de la mesa de hormigonado
2-	Definición geométrica del molde perimetral	-
3-	Replanteo de los moldes perimetrales	-
4-	Ensamblaje de los moldes perimetrales	-
5-	-	Sellado de juntas entre la mesa de hormigonado y los moldes perimetrales
6-	Fijación de los moldes perimetrales	-
7-	-	Aplicación de desencofrantes
8-	-	Elaboración y colocación del armado
9-	-	Vertido del hormigón
10-	-	Vibrado del hormigón
11-	-	Curado del componente
12-	Desmontaje de los moldes perimetrales	-
13-	-	Desmoldeo, elevación y acopio

Fig.6.1. Distribución de las operaciones según su implicación en la ejecución de un panel de hormigón

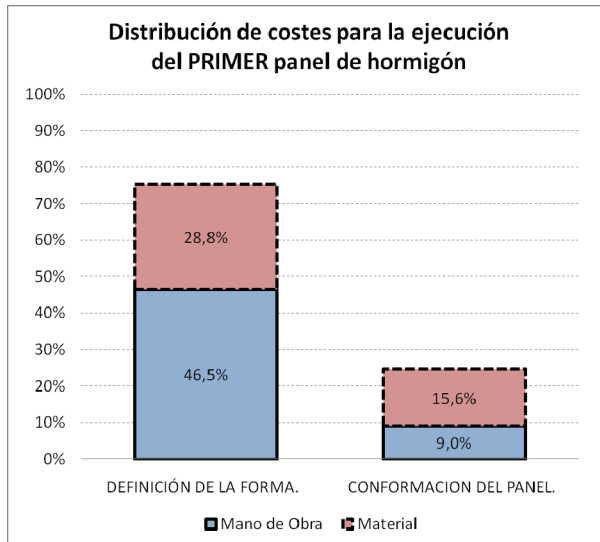


Fig.6.2. Distribución de los costes según grupo de operaciones necesarias para la ejecución del PRIMER panel de hormigón

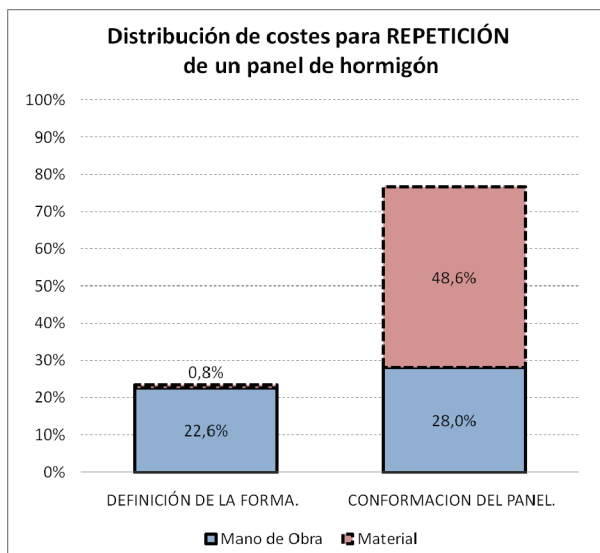


Fig.6.3. Distribución de los costes según grupo de operaciones necesarias para la REPETICION de un panel de hormigón

## II Operaciones implicadas en la ejecución del panel

El segundo grupo recoge el resto de operaciones que están implicadas en la ejecución del panel y que por lo tanto representan costes constantes independientemente a la variabilidad de la serie de producción.

En un contexto actual de producción, esta diferenciación entre grupos de operaciones nos permite determinar la relación entre los costes asociados de la definición de la forma y los costes asociados a la ejecución del panel.

De esta distribución de costes para la ejecución del PRIMER panel de una serie de 100 paneles iguales podemos afirmar (Fig. 6.2):

I Aproximadamente el 75% del coste es debido las operaciones de 'definición de la forma' del molde. Hecho que afecta directamente a la capacidad de clientalización del modelo de producción y confirma el elevado coste de los moldes actuales.

II El 25% restante responde a la mano de obra y material necesario en las operaciones de 'ejecución o conformación del panel'.

Pero una vez iniciadas las REPETICIONES y el molde ya ha quedado amortizado las proporciones de los costes se invierten (Fig. 6.3):

I Ahora el 75% del coste responde a la mano de obra y material necesario en las operaciones de 'ejecución o conformación del panel'.

II Y el 25% restante a las operaciones de 'definición de la forma' del molde.



Como vemos en los modelos de producción actual es de vital importancia controlar los costes vinculados a la definición y transformación del molde, siendo estos los más significativos para el primer molde. El coste del material (hormigón y acero) y su manipulación toma mayor relevancia en cuanto se inician las operaciones de repetición ya que el coste del molde se va amortizando.

➤ ***Estos valores justifican la orientación del siguiente análisis y ratifican que los modelos de producción actuales solo tienen sentido económico dentro de un contexto de amortización del molde.***

## **6.2.2 Resultados de los costes asociados a la clientalización de la forma de los moldes**

En base al marco de análisis desarrollado en el *apartado 6.1.1* del presente capítulo, se han contabilizado los costes de las operaciones relacionadas con la definición de la forma de los componentes, analizados con detalle en el *desarrollo 4<sup>4</sup>* y presentados aquí en forma de resumen. Del estudio se desprende:

### **A. La importancia del coste de la mano de obra en las operaciones para la clientalización de la forma**

Cuando analizamos la distribución de los costes entre la mano de obra y el material necesarios para la definición geométrica del molde, observamos cómo en cualquier de las series analizadas más de la mitad del coste es debido a las horas de mano de

---

<sup>4</sup> Desarrollo 4.-Análisis del coste variación dimensional para la conformación de un panel plano de hormigón

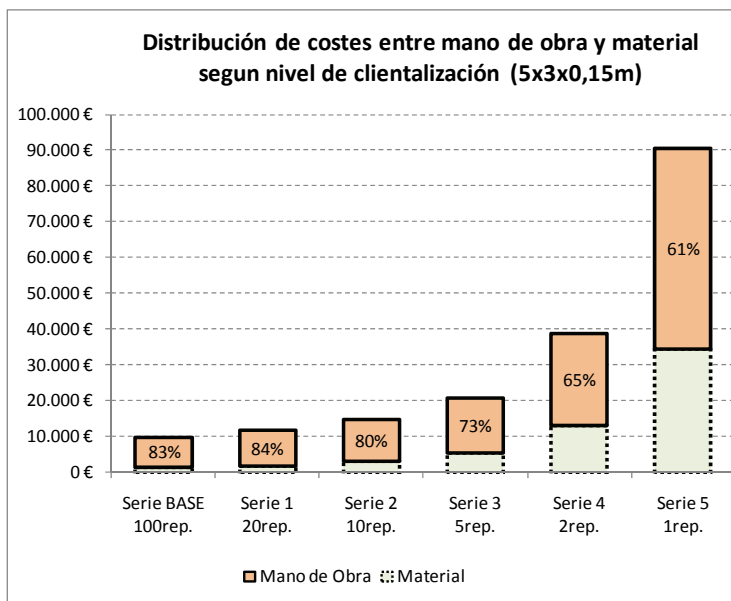


Fig.6.4. Distribución de los costes entre mano de obra y material en seis series de producción con distintos niveles de clientalización de la forma. Anexo 1 del Desarrollo 4.

obra para la conformación del molde (Fig. 6.4). Incluso para las series más habituales de producción (serie BASE, 1 y 2) estos costes representan aproximadamente 80% del coste total.

Si miramos la evolución de estos costes en las series 3, 4 y 5 (series de producción con un elevado nivel de clientalización) observamos una leve tendencia hacia el equilibrio entre los costes de la mano de obra y los costes del material (molde) sobre todo en la serie E donde se plantea una máxima clientalización de los moldes.

Aun así, la elevada necesidad de mano de obra para conformar los moldes y la poca industrialización de este proceso no permite compensar el coste de la mano de obra con el coste del material utilizado.

Así pues:

- ***En los modelos de producción actual la principal limitación a la clientalización de la forma de los componentes viene marcada por el coste de las operaciones relacionadas con la conformación de los moldes***
- ***Estos modelos de producción solo pueden llegar a ser competitivos a través de las repeticiones consiguiendo amortizar el coste del molde.***
- ***El coste de la clientalización crece de forma exponencial (Fig. 6.4)***

## B. Incremento exponencial del coste de la mano de obra para mayor clientalización.

Si tomamos como ejemplo la serie 1 (Fig. 6.5) y observamos los costes de la mano de obra en las operaciones de cambio de molde (1, 20, 40,...) y los costes durante las operaciones de repetición del molde (2-29, 21-29,...) observamos cómo cada operación de cambio de molde representa un coste del orden de 9 veces el coste de la repetición y debido a las pocas repeticiones de esta serie (20 repeticiones) no permite amortizarlo.

Si analizamos el incremento global del coste de la mano de obra en los diferentes escenarios de clientalización, observamos cómo estos costes crecen a medida que también crece el nivel de clientalización de la serie (Fig. 6.6).

Como vemos en las primeras series (1 y 2) cuyo nivel de clientalización empieza a ser significativo, los costes de mano de obra crecen de forma lineal en un 22% y un 48% respectivamente estableciendo los límites para garantizar la competitividad económica para el mercado actual.

En cambio para las series 3, 4 y 5 que plantean niveles altos de clientalización, observamos como aparece un punto de inflexión iniciando un crecimiento exponencial de los costes asociados a la mano de obra, inhabilitando por completo la competitividad de estas series de producción.

- **Los modelos de producción actuales no están preparados para series de producción con niveles medios o medio-altos de clientalización.**

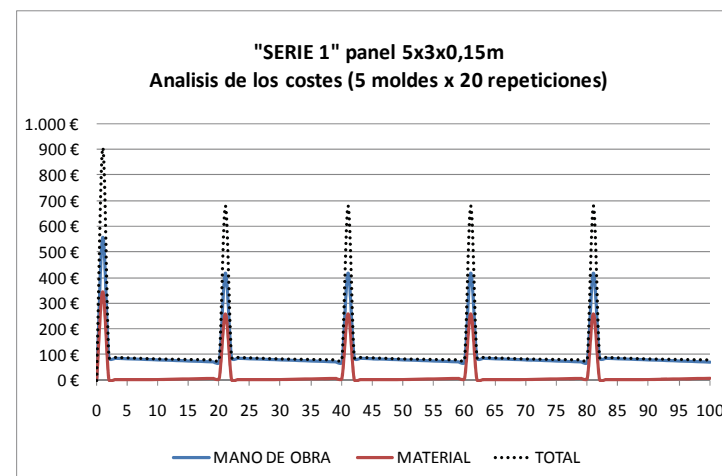


Fig.6.5. Serie de producción de 100 paneles realizados con 10 moldes distintos. Cada 10 paneles producidos realizamos una modificación geométrica del molde. Desarrollo 4.

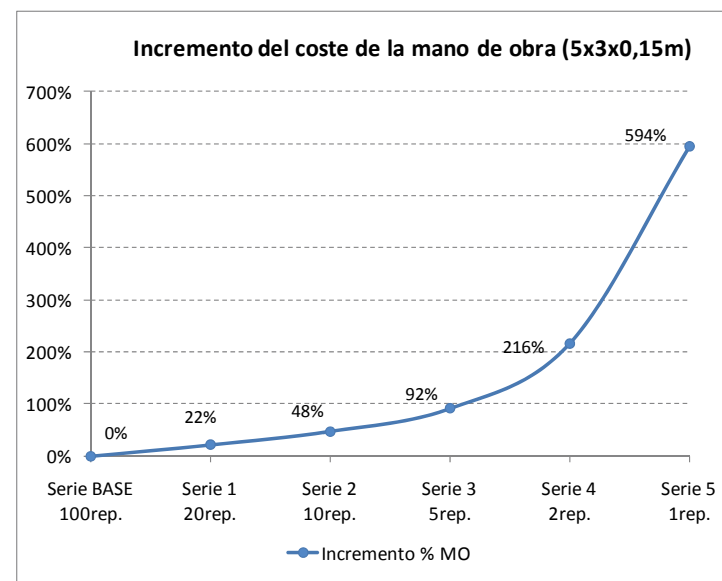


Fig.6.6. Incremento porcentual del coste asociado a la mano de obra referenciado a la serie BASE. Anexo 1 del Desarrollo 4.

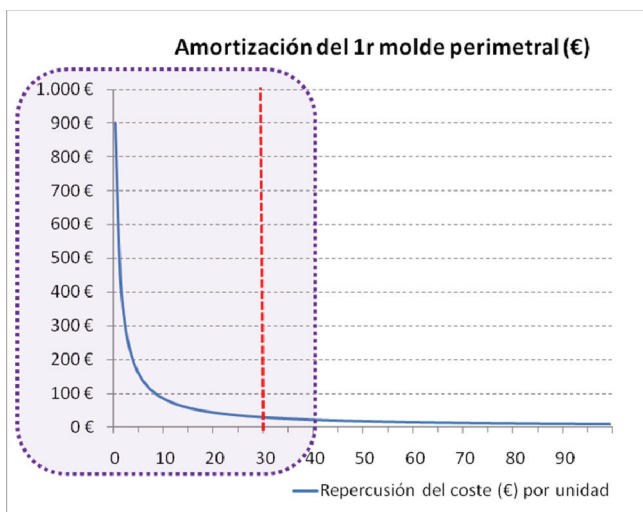


Fig.6.7. Amortización del coste del molde en función de los usos (€)

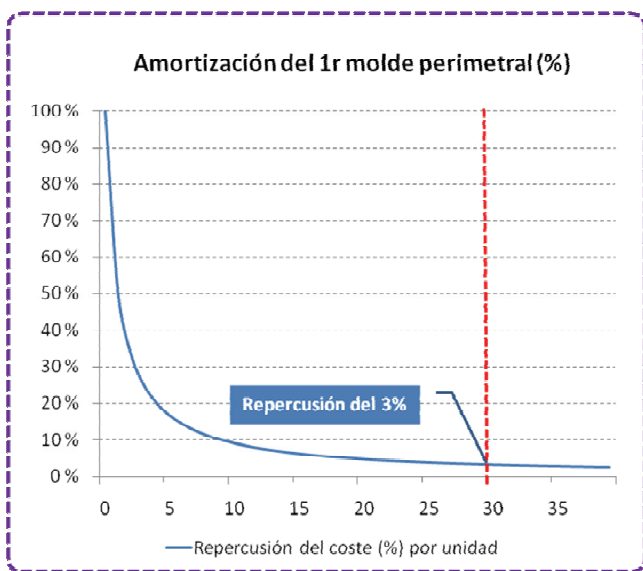


Fig.6.8. Amortización del coste del molde en función de los usos (%)

- **Los costes asociados a las operaciones manuales de cambio de molde crecen de forma exponencial a medida que requerimos mayores niveles de clientalización.**

### C. La amortización del molde como estrategia de producción

Independientemente al modelo producción y de la automatización o no de sus operaciones, observamos como prácticamente todos los modelos actuales están basados en la recuperación de los moldes perimetrales.

Por lo tanto, en el momento en el que consideramos los moldes perimetrales como una inversión de capital para la serie, debemos considerar también su amortización con el máximo de usos posibles.

Para la serie BASE de producción (1 molde x 100 repeticiones), si contabilizamos los costes de conformación, montaje y desmontaje de los moldes y los repercutimos por cada molde realizado, observamos cómo son necesarias 30 repeticiones para considerar que el coste del molde inicial empieza a estar amortizado (3%).

Dicho de otra forma, se estabiliza el coste de la clientalización (Fig. 6.7 y 6.8) y por lo tanto podríamos iniciar un cambio de forma en el molde sin que el coste tuviera una repercusión mayor al 3%.

Así pues, para el modelo de producción analizado la máxima clientelización posible que garantiza su competitividad económica en el mercado debe situarse entre la serie BASE y la serie 1 obligando a un mínimo de 30 repeticiones por molde.

- ***Un sistema productivo basado en la recuperación del molde como estrategia de producción penaliza la variabilidad de la forma de los componentes sobre todo en la producción de series cortas y obliga a la repetición de elementos para garantizar su competitividad en el mercado actual.***

**D. Aumentar la capacidad de producción implica aumentar también los costes por panel producido**

Efectivamente, la necesidad de reutilizar el molde perimetral para todos los paneles de la serie, obliga a desarrollar prácticamente tantos moldes como paneles queramos ejecutar por día. Esto tiene dos consecuencias importantes:

- ***Los costes del molde se deben multiplicar por el número de paneles por día a la vez que dividimos su amortización (Fig. 6.9).***
- ***Este modelo de producción necesita prever de forma anticipada las posibles modificaciones de producción. La rigidez del propio sistema de producción no permite adaptarlo a un sistema 'just-in-time'.***

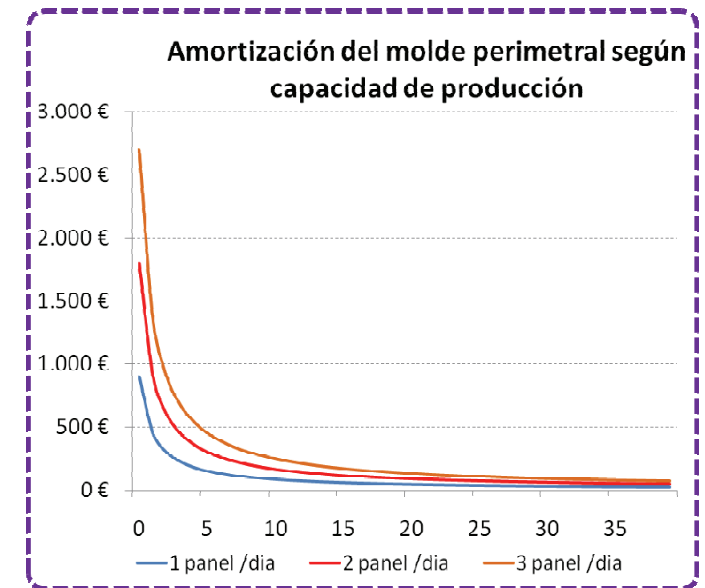


Fig.6.9. Amortización del coste molde en función de la capacidad de producción -panel/día-

### 6.3 Análisis de los costes asociados a la ejecución de un bastidor de fachada

En este caso, se han analizado los costes asociados a la conformación de bastidores de fachada de las mismas dimensiones que los paneles y bajo el mismo marco de análisis.

En este caso también se ha calculado en el escenario BASE representativo de la máxima repetición y tres escenarios más con distintos niveles de clientalización. Con un mismo objetivo:

- **La conformación de 100 bastidores en series con distintos niveles de clientalización.**

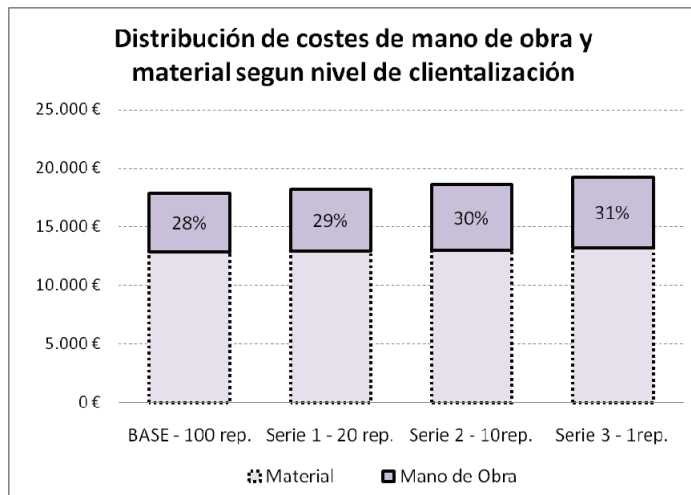


Fig.6.10. Distribución de los costes entre mano de obra y material en cuatro series de producción con distintos niveles de clientalización de la forma.

#### 6.3.1 Los costes asociados a la clientalización de la forma de los bastidores

En este apartado se presenta también un resumen del *Desarrollo 5*<sup>5</sup>. Del estudio se desprende:

- A. El coste de la mano de obra representa menos de 1/3 del coste global del bastidor de fachada.**

Si observamos la repercusión del coste la mano de obra para la conformación de un bastidor de fachada, observamos como este en cualquiera de las cuatro series analizadas representa un coste alrededor del 30% del coste global (Fig. 6.10).

<sup>5</sup> Desarrollo 5.- Análisis del coste-variación dimensional para la conformación de un bastidor para un componente Unitized de fachada ligera



A diferencia de los que sucedía con la conformación de los moldes para un panel de hormigón aquí toma mayor importancia el coste del material respecto a la mano de obra. Esto se debe principalmente a dos motivos:

I La importancia del coste del material utilizado para la conformación de los bastidores

Para el desarrollo de los bastidores analizados se ha considerado perfiles extruidos de aluminio. Actualmente el precio por quilogramos de este material bruto una vez extruido esta alrededor de los 3€/kg al que hay que añadir el tratamiento de acabado que puede oscilar entre los 2 y 4 €/m<sup>2</sup>, y el conjunto puede representar unos 14€/ml.

II La repetitividad de las operaciones manuales

Gracias a la elevada estandarización de las operaciones de conformación de un bastidor (corte y ensamblaje de los perfiles) permite que los costes asociados a la mano de obra permanezcan prácticamente constantes en cualquiera de las serie de las analizadas. Independientemente del nivel de clientalización de la serie.

B. Contención del incremento del coste de la mano de obra en las series de mayor clientalización

Analizando la evolución de los costes a lo largo de la Serie 1, caracterizada por cinco variaciones geométricas del bastidor, observamos como los costes tanto de mano de obra como de material permanecen prácticamente constantes (Fig. 6.11).

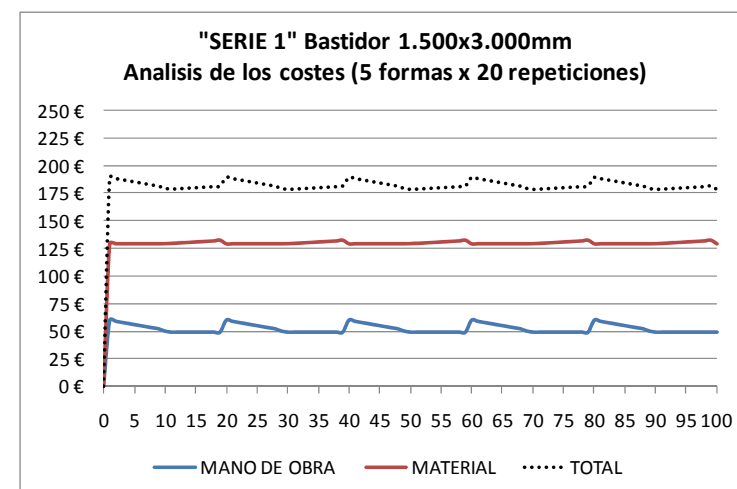


Fig.6.11. Serie de producción de 100 bastidores con cinco formas distintas. Cada 20 bastidores se realiza una modificación geométrica del bastidor.

Si miramos ahora con más detalle un periodo de 20 repeticiones vemos como:

I Los costes de material prácticamente no incrementan

El pequeño ascenso del coste del material que aparece dentro de las 20 repeticiones es debido al concepto de mermas y/o errores durante la producción de un mismo tipo de bastidor.

II Los costes de la mano de obra tienden a descender hasta llegar a la estabilización

Es natural que al inicio de la conformación de un tipo de bastidor el operario no haya interiorizado la geometría del objeto final que va a conformar. Esta adaptación al nuevo componente supone un sobrecoste inicial que poco a poco va estabilizándose a partir de las 10 repeticiones.

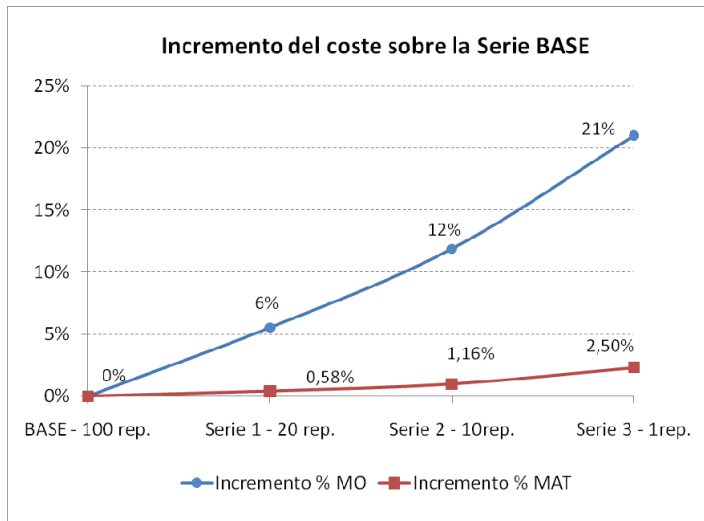


Fig.6.12. Incremento porcentual del coste asociado a la mano de obra y material en referencia a la serie BASE.

Si centramos nuestro análisis al coste de la mano de obra en las cuatro series de producción, podemos observar como en valores relativos a la Serie BASE crece de forma prácticamente lineal. A medida que aumentamos la clientalización de las series incrementamos los costes relativos a la mano de obra (Fig. 6.12).

Pero de este incremento de coste debemos destacar un aspecto muy significativo, para la Serie 2 que representa una serie de alta clientalización con 10 bastidores distintos y 10 repeticiones, el coste de la mano de obra tan solo incrementa un 12% respecto a la Serie BASE (recordemos que para los paneles de hormigón este incremento era de un 48%)

Pero, si miramos la serie 3, que representa la máxima clientalización con una variabilidad del 100% de sus batidores observamos como la diferencia de coste de la mano de obra entre hacer todos los batidores iguales o hacerlos todos diferentes es de tan solo un 21% más, cuando para los paneles de hormigón el incremento estaba en casi un 600%.

Esto nos permite afirmar que la estrategia de producción que utilizan las industrias de la carpinterías permite con cierta facilidad conseguir elevadas cuotas de clientalización de sus productos garantizando su competitividad económica.

- ***Los modelos de producción actuales están preparados para garantizar series de producción con niveles medio-altos de clientalización a unos costes competitivos.***

**C. El coste de la unidad producida es independiente al nivel de clientalización de la serie.**

Como consecuencia de los dos puntos anteriores vemos como el coste final de cada bastidor se mantiene prácticamente constante.

Por un lado tenemos que el coste del material representa más de  $2/3$  del coste global del bastidor y por otro lado hemos visto como el coste de la mano de obra como mucho puede incrementarse en un 21% respecto a la Serie BASE.

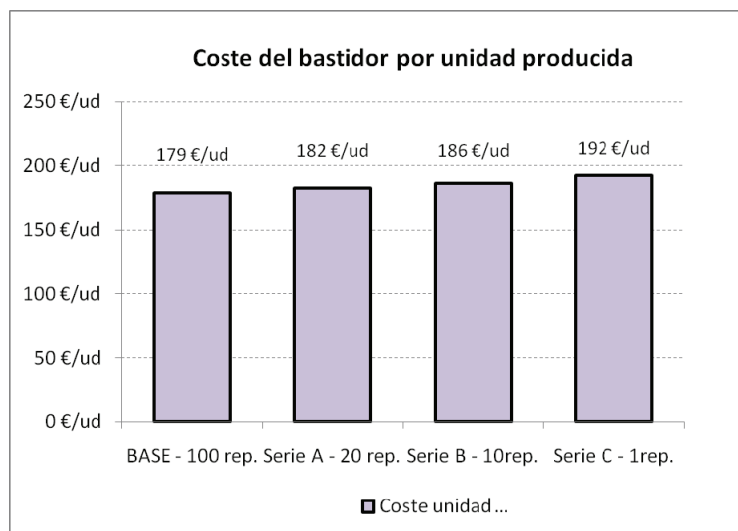


Fig.6.13. Coste por unidad de bastidor para cada serie de producción

Ambos aspectos permiten garantizar costes globales semejantes por bastidor entre las distintas series de producción, independientemente del nivel de clientalización.

De hecho si sabemos que los costes de las operaciones de corte y ensamblaje de los bastidores se mantienen constantes e independientes a la variabilidad de la forma sabemos que la principal variable que puede incidir en el coste por unidad será el número de uniones que tenga el bastidor (Fig. 6.13).

Cabe destacar que en este modelo de producción no tiene sentido hablar de la amortización del bastidor puesto que este formará parte del componente acabado.

Gracias a esto, el elevado coste del material utilizado se verá justificado por las funciones añadidas que aporta el bastidor al sistema de fachada, donde no solo definirá la forma del componente sino que además garantizará:

- El montaje inequívoco entre los paneles en la obra
- La estanquidad al agua y al aire del sistema de fachada

Como veremos más adelante, estos dos aspectos tendrán una repercusión directa en la economía del componente y su competitividad de la propuesta frente a los paneles convencionales de hormigón.

Así pues, el ciclo de análisis de los costes no puede terminar en la fabricación del bastidor o el panel sino que deberá finalizar en su puesta en obra.

- ***La estrategia de producción industrial de los bastidores de fachada pueden garantizar elevados niveles de clientalización de la forma para series cortas.***
- ***La competitividad económica del sistema modular frente a los paneles de hormigón debe analizarse hasta la colocación en obra.***

#### **6.4 Viabilidad económica de la propuesta**

Una vez demostrada la baja capacidad de los sistemas actuales de conformación de paneles de hormigón para poder desarrollar series cortas y mucho menos clientalizadas y demostradas también las capacidades de la industria de las carpinterías para ofrecer juntamente todo lo contrario, ahora vamos a iniciar posiblemente la parte más importante de la propuesta donde se afrontan los aspectos económicos.

Como sabemos, el principal factor que condiciona la capacidad de un sistema de producción de paneles planos de hormigón para dar respuesta a la clientalización de la forma, es el coste.

Prácticamente todos los modelos de producción actuales para paneles planos de hormigón permiten la clientalización de su forma desde un punto de vista técnico. Pero lo que limita su viabilidad es el elevado coste final de los componentes.

Los análisis realizados en el apartado 6.2 del presente capítulo demuestran como los costes de producción de los paneles crecen a medida que aumenta la necesidad de clientalización

de su forma, ya que el coste del molde es tan importante que de algún modo este debe ser repercutido a cada panel, y lógicamente en cuantos mejor posible.

La propuesta utiliza la técnica de las industrias de las carpinterías para desarrollar los moldes consiguiendo un alto nivel de clientalización para después utilizarlos como 'molde perdido'. Pero dicho 'molde perdido' no deberíamos considerarlo como tal, sino más bien como un 'molde invertido'.

De la misma manera que sucede en los procesos convencionales de producción de paneles, en este caso el coste del molde también debe incluirse en el coste final del componente, pero con una gran diferencia: el 'molde invertido' no solo desarrolla funciones de encofrado sino que simplifica y agiliza el proceso de conformación de los paneles así como resuelve en fabrica exigencias que habitualmente se resuelven en obra.

Por lo tanto no debe considerarse como una simple sustitución funcional (molde por bastidor) sino que como veremos será una mejora y optimización del proceso de producción actual minimizando los costes tanto de mano de obra como de material.

- ***La optimización del proceso de producción actual será un factor determinante que garantizará la viabilidad económica de la propuesta para la clientalización de la forma de los componentes planos de hormigón.***

#### 6.4.1 El proceso de producción

La incorporación de un nuevo elemento en el componente de hormigón (bastidor) puede representar un incremento de coste, como mínimo proporcional a la cantidad de material añadido (tamaño del bastidor).

Pero si analizamos el proceso global de la conformación de un componente a través de la estrategia industrial de la propuesta vemos como dicho coste se ve compensado por:

##### A. La disminución del coste del molde.

La necesidad del modelo de producción actual demanda una elevada durabilidad del molde. Un molde que debe ser constantemente montado y desmontado además de tener que soportar las tensiones del desmoldeo. Esto ha desarrollado moldes robustos capaces de garantizar la elevada durabilidad a través del sobredimensionado de los perfiles que lo conforman con una repercusión aproximada de 21,12 kg/ml (Fig. 6.14).

La propuesta utiliza un molde para cada panel, esto permite minimizar las secciones de los perfiles optimizándolos solo para la contención de pasta y no pensando en la reposición. En este caso con una repercusión de 4,2 kg/ml (acero Fig. 6.15) o 1,1 kg/ml (aluminio).

##### B. Disminución del tiempo destinado por la mano de obra a las operaciones de replanteo y fijación.



*Fig.6.14. Moldes perimetrales preparados para permitir las operaciones de montaje y desmontaje. Durabilidad aproximada entre 100 y 200 usos*



*Fig.6.15. Propuesta: Molde perimetral diseñado para un único uso.*





Fig.6.16. Montaje de un bastidor de fachada sobre mesa de hormigonado. Empresa Ecoliteconcrete

Partir de un molde perimetral ya conformado por otra industria especializada minimiza o prácticamente hace desaparecer las operaciones de replanteo de este sobre la mesa de hormigonado y en consecuencia los posibles errores que se podrían generar (Fig.6.16).

También desaparecen las operaciones manuales de desmontaje de los moldes perimetrales y los sistemas de fijación del bastidor sobre la mesa se simplifican.

A pesar de haber incluido el coste del molde perdido a cada panel, ambos aspectos (A y B) son determinantes para garantizar la viabilidad económica.

Pero la propuesta no solo será viable económicamente para ciertos niveles de clientalización (como veremos más adelante), sino que además permite aumentar la capacidad de producción de una industria sin que esto repercuta en el coste final de la serie.

En efecto, otro de los hándicaps que el modelo de producción actual no ha podido superar es la flexibilidad en su capacidad de producción.

Como hemos visto, actualmente limitan su capacidad de producción al número de moldes disponibles de una misma serie, es decir, que en condiciones normales podrá producir 1 panel/día por cada molde disponible.

En caso que la demanda aumentara o sencillamente disminuyeran los plazos de finalización de un proyecto obligaría a conformar otro molde igual para duplicar la producción, o un tercero para triplicarla, etc... asumiendo los nuevos costes de los moldes y disminuyendo su capacidad de amortización a la mitad o una tercera parte según se al caso.

En el sistema de la propuesta todos los bastidores pueden fabricarse independientemente del ritmo de producción de los paneles pudiendo generar acopios de bastidores en función de la capacidad de la fábrica (Fig. 6.17).

Una vez fabricados, la capacidad de producción tan solo dependerá de la disponibilidad de superficie de la mesa de hormigonado.

- ***La propuesta permite aumentar la capacidad de producción sin incrementar los costes, hecho que lo acerca a un modelo de producción ágil y 'just-in-time'.***

Una vez analizados los costes de *amortización*<sup>6</sup> de los moldes en el modelo de producción actual, es necesario determinar el 'coste de la disponibilidad de moldes'<sup>7</sup> para poder iniciar las operaciones de vertido de hormigón.

El 'coste de la disponibilidad de los moldes' es necesario calcularlo para poder comparar la estrategia actual de producción de paneles y la estrategia de la propuesta bajo la misma unidad funcional comparable. Este coste puede descomponerse en lo que hemos llamado el '**coste de disponibilidad del molde**'<sup>8</sup> y el propio '**coste del molde**'<sup>9</sup> incluyendo mano de obra y material (*Desarrollo 6*<sup>10</sup>).



*Fig.6.17. Bastidores preparados para fijar sobre la mesa de hormigonado. Empresa Ecoliteconcrete*

---

<sup>6</sup> Desarrollo 4.-Análisis del coste variación dimensional para la conformación de un panel plano de hormigón

<sup>7</sup> Coste de la disponibilidad de moldes. Ver terminología

<sup>8</sup> Zócalo de disponibilidad del molde. Ver terminología

<sup>9</sup> Coste del molde. Ver terminología

<sup>10</sup> Desarrollo 6.-Análisis del coste-variación dimensional de la propuesta

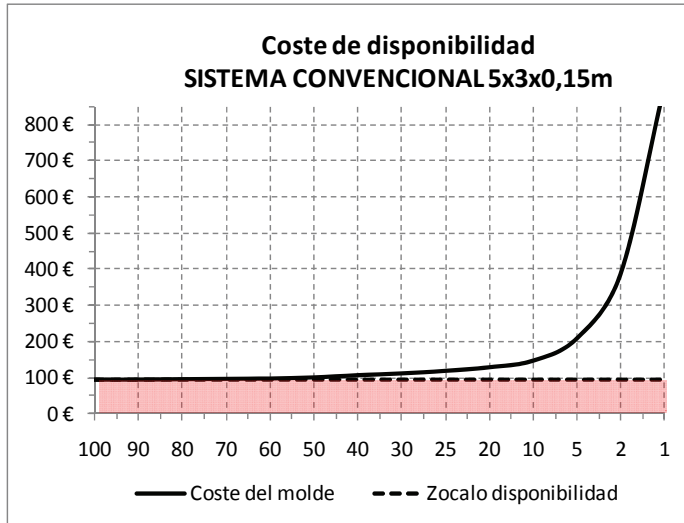


Fig.6.18. Coste para la disponibilidad de 100 moldes en función del nivel de clientalización para el sistema de producción convencional

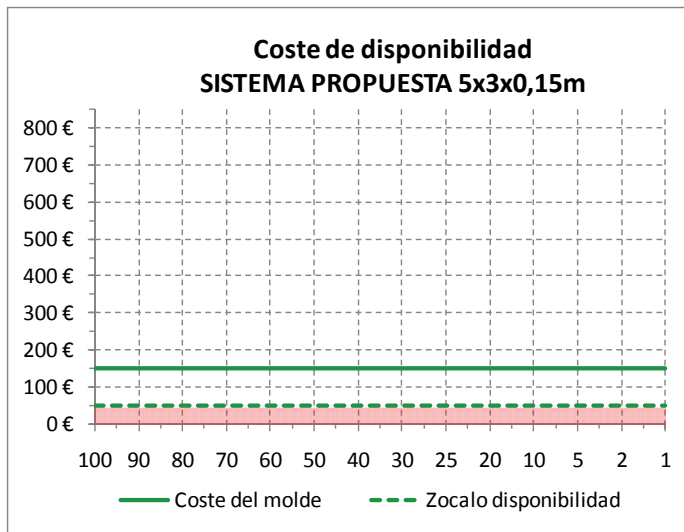


Fig.6.19. Coste para la disponibilidad de 100 moldes en función del nivel de clientalización para el sistema de producción de bastidores

Como sabemos el modelo de producción actual necesita recuperar los moldes después de cada ejecución de un panel y esto implica añadirle a la amortización del molde los costes de las operaciones de desmontaje (para poder desmoldear) y montaje (para poder hormigonar).

Estas dos operaciones en la estrategia de la propuesta no existirán puesto que el molde perimetral quedará embebido al panel. Por lo tanto solo tendremos que levantar el panel y colocar otro bastidor en la mesa de hormigonando.

Así pues el '**zócalo de disponibilidad**' representa el coste de la reposición de los moldes de ambos sistemas al que posteriormente debemos añadir el coste de la ejecución de los moldes (Fig. 6.18 y 6.19).

Una vez añadido el 'zócalo de disponibilidad' en ambos sistemas de producción, vemos como para el sistema convencional la curva de costes de disponibilidad crece de forma exponencial a medida que da respuesta a mayores niveles de clientalización.

Pero estos costes se mantienen relativamente constantes hasta las 30 repeticiones puesto que el coste del molde se va amortizando gracias a la elevada repetición de paneles y prácticamente todo el coste que queda es debido a las operaciones de montaje y desmontaje o lo que hemos llamado como 'zócalo de disponibilidad' (Fig. 6.18).

Si estos costes los comparamos con los de la ejecución de los bastidores y le añadimos el coste del zócalo de disponibilidad, vemos como estos se mantienen constantes ya que el coste del bastidor prácticamente siempre es el mismo (apartado 6.3) y el de las operaciones de montaje sobre la mesa de hormigonado también (Fig. 6.19).

Para determinar el límite de la competitividad (económica) de la propuesta frente al modelo de producción actual se han superpuesto ambos gráficos de costes para la disponibilidad de 100 moldes preparados para hormigonar, de donde se desprende que (Fig. 6.20 y 6.21):

- ***El sistema de producción de la propuesta es económicamente competitivo para series de producción con menos de 10 o 15 repeticiones según tamaño del panel.***

Desde el punto de vista de la producción y su repercusión económica podemos plantear el modelo de la propuesta en aquellos proyectos donde dispongamos de una elevada variabilidad de paneles.

Dicho de otra manera, podemos empezar a plantear proyectos donde la repetitividad de los paneles no sea una condición para el diseño de la fachada con un pequeño incremento de costes.

#### 6.4.2 El montaje en obra

Como hemos visto en el *Capítulo 5* la propuesta aporta mejoras tecnológicas a los paneles de hormigón no solo durante la ejecución sino también durante su colocación a obra y en servicio.

- ***Estas mejoras tecnológicas también deben ser valoradas económicamente y como veremos mejoran aun más la competitividad económica del sistema.***

Una vez fabricados los paneles y evaluados los costes de la propuesta iniciamos el análisis del resto de operaciones necesarias para colocar los paneles en fachada.

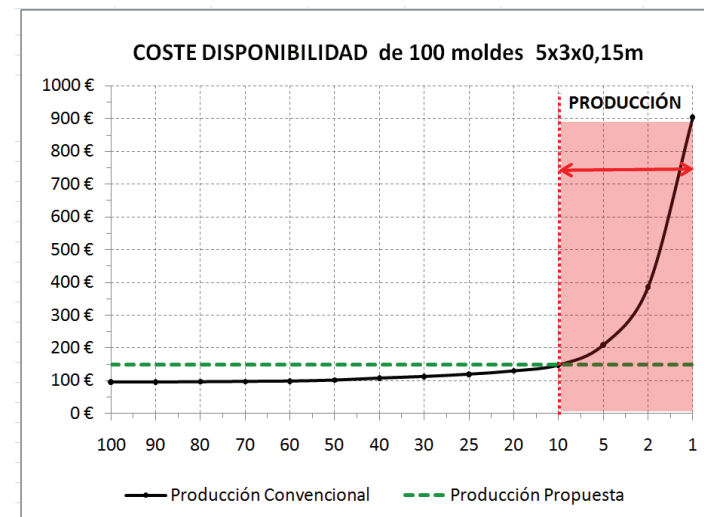


Fig.6.20. Límite de competitividad económica de la propuesta

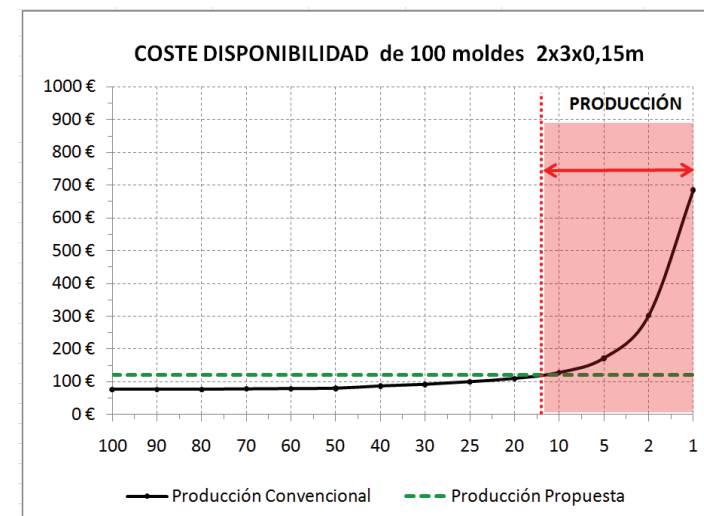


Fig.6.21. Límite de competitividad económica de la propuesta

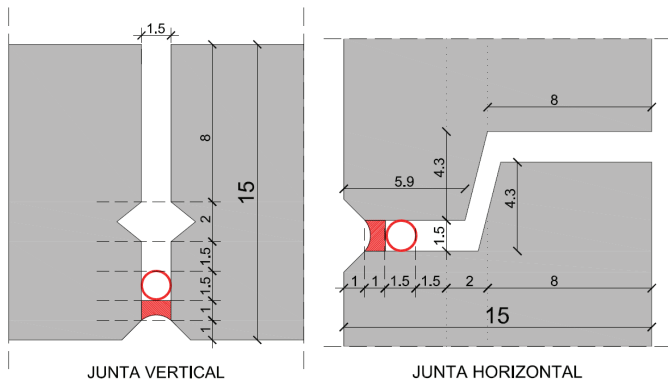


Fig.6.22a. Detalle del tipo de junta valorada económicamente para el sistema convencional. Cotas en centímetros.

Si repasamos las operaciones necesarias observamos como estas no variarían significativamente respecto a los paneles convencionales de hormigón. Para la propuesta también serán necesarias operaciones de acopio en fábrica, carga sobre camión, transporte, acopio en obra, elevación, colocación y fijación a la estructura.

Todas estas operaciones se realizan de forma paralela como sucede con los paneles convencionales de hormigón, incluso en los rendimientos de montaje en obra.

Hasta aquí todos los medios auxiliares necesarios son exactamente los mismos, y por lo tanto no conllevan ninguna repercusión económica para el sistema de la propuesta.

Pero como ya sabemos, una de las funciones añadidas del molde perimetral ‘perdido’ es la resolución de la estanqueidad al agua y al aire mediante juntas conformadas (Fig. 6.22a y 22b). Así pues, no serán necesarias las operaciones de sellado de juntas ‘in-situ’.

- **La estanqueidad al agua y al aire entre los paneles del sistema queda garantizada con el ensamblaje de las juntas conformadas de los paneles.**

Para acabar de ajustar la viabilidad económica de la propuesta se han contabilizado los costes del sellado de juntas en los paneles de hormigón convencional.

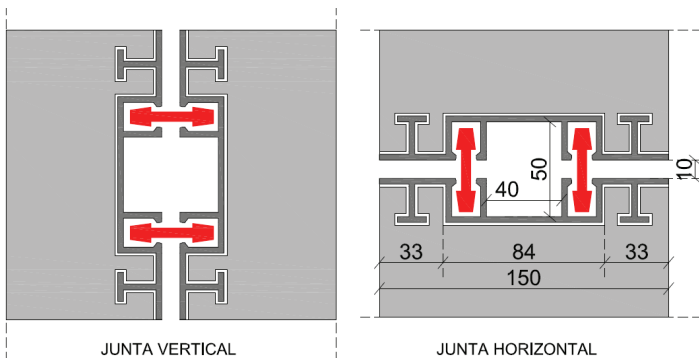


Fig.6.22b. Detalle del tipo de junta valorada económicamente para el sistema de la propuesta. Cotas en milímetros.

Para ello se ha considerado un tipo junta muy común en los paneles prefabricados autoportantes de fachada con cámara de drenaje, fondo de junta y sellado con silicona neutra y se han valorado sus costes de ejecución considerando los medios auxiliares, material y mano de obra necesarios (Fig. 6.23).

Si analizamos los mecanismos necesarios para la estanqueidad en ambos casos y los separamos según geometría y elementos especializados y les asignamos los costes económicos para obtenerlos (Fig. 6.23), observamos como el sobrecoste del perfil de la propuesta (14€/ml) se ve compensado por el menor coste de los elementos especializados (junta sellada 8€/ml vs junta conformada 1,5€/ml) y esto permite mejorar la competitividad económica de la propuesta.

Así pues, para poder comparar realmente la competitividad económica entre ambos componentes de fachada debemos incorporar el coste de las operaciones de sellado a la curva de 'costes de disponibilidad' de los moldes del sistema convencional.

Una vez incorporados los costes de sellado vemos como la curva del 'coste de disponibilidad' asciende de tal forma que hace más competitiva la propuesta tanto para los componentes grandes como para los más pequeños (Fig. 6.24a y 6.24b).

Aunque los costes se han contabilizado y contrastado con empresas del sector especializadas en los paneles prefabricados de hormigón, estos valores no deben tomarse como valores absolutos sino lógicamente como ámbitos de competitividad económica de la propuesta.

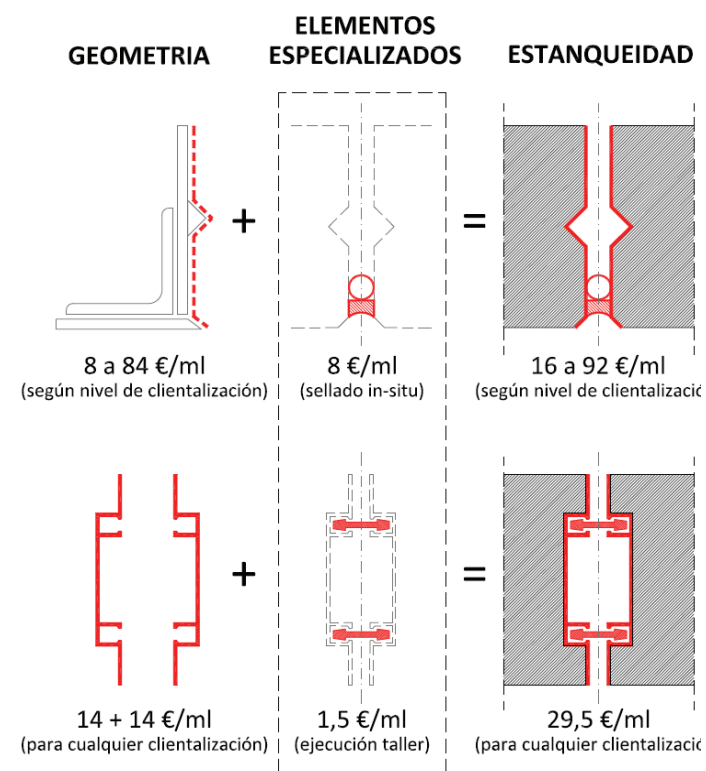


Fig.6.23. Análisis comparativo del coste aproximado de la estanqueidad de paneles de hormigón de 3x2x0,15m. Convencional vs propuesta

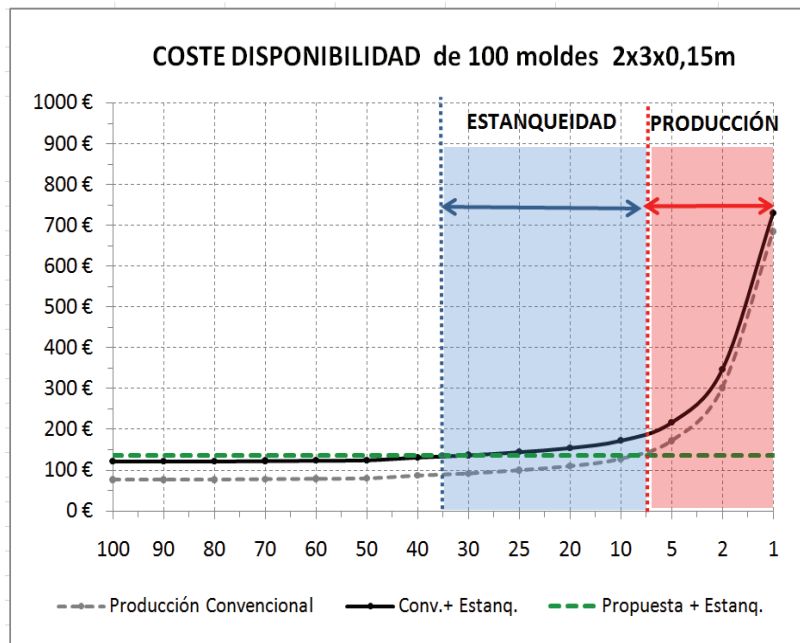


Fig. 6.24a. *Ámbito de competitividad económica de la propuesta según el proceso de fabricación y la estanqueidad del sistema de fachada, para paneles de 2x3m*

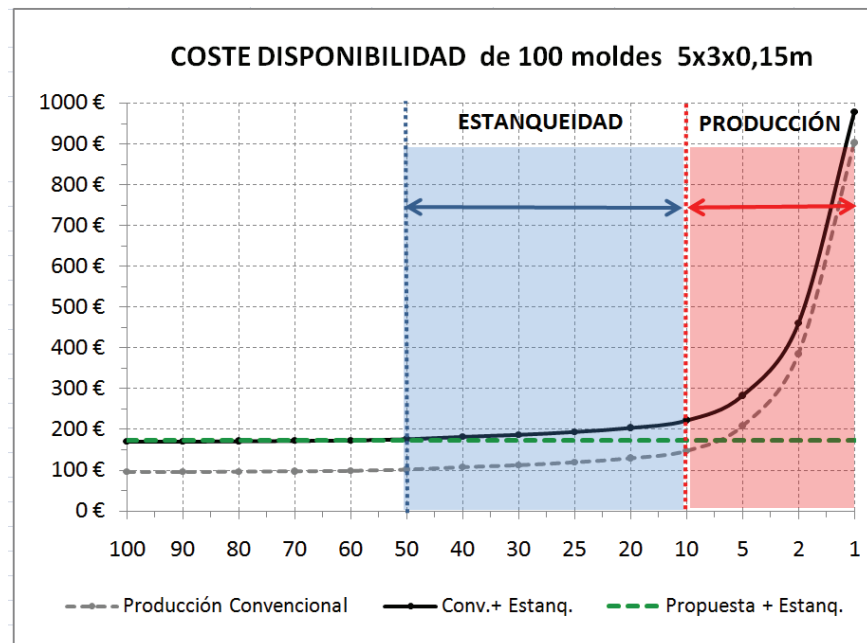
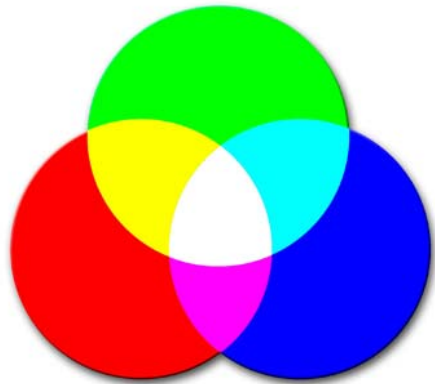


Fig. 6.24b. *Ámbito de competitividad económica de la propuesta según el proceso de fabricación y la estanqueidad del sistema de fachada para paneles de 5x3m*

- **Una vez contabilizado los costes de las operaciones de sellado de los paneles convencionales, la competitividad económica de la propuesta se sitúa entre las 35 y las 50 repeticiones según el tamaño del componente.**



## CAPÍTULO 7 – CONCLUSIONES Y PROSPECTIVA



*La convergencia entre diferentes modelos industriales permite encontrar sistemas de Innovación*

CAPÍTULO 1 – INTRODUCCIÓN Y METODOLOGÍA

CAPÍTULO 2 – CONTEXTO Y PROPÓSITO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

CAPÍTULO 3 – ESTADO DEL ARTE

CAPÍTULO 4 – LA CONFORMACIÓN DE COMPONENTES PLANOS BASADOS EN LOS SEMIPRODUCTOS LINEALES

CAPÍTULO 5 – PROPUESTA

CAPÍTULO 6 – EL COSTE DE LA CLIENTALIZACIÓN

### **CAPÍTULO 7 – CONCLUSIONES Y PROSPECTIVA**

*7.1.- Conclusiones de la tesis*

*7.2.- Nuevas estrategias de producción implícitas en la propuesta*

*7.3.- Prospectiva*



## 7 CONCLUSIONES Y PROSPECTIVA

### 7.1 Conclusiones de la tesis

#### 7.1.1 Componentes clientalizados planos de hormigón

Como hemos visto, el uso de las tecnologías desarrolladas por las industrias de las carpinterías y por los sistemas de fachada ligera nos permite obtener componentes planos de hormigón altamente clientalizables.

La propuesta utiliza las mismas técnicas de conformación de los bastidores de fachada para desarrollar los moldes para el hormigonado de los paneles garantizando así los mismos niveles de clientalización de la forma que consiguen las industrias de las carpinterías (Fig.7.1).

- ***La combinación de ambos modelos de producción permite dar respuesta a los requerimientos de clientalización de la forma de los componentes planos de hormigón superando así las limitaciones del sistema actual.***

#### 7.1.2 Competitividad económica

No existen limitaciones tecnológicas que impidan la clientalización de la forma de los componentes planos de hormigón, sino que estas limitaciones debemos buscarlas en los costes económicos dentro de un sistema de producción industrial. Así pues para garantizar la

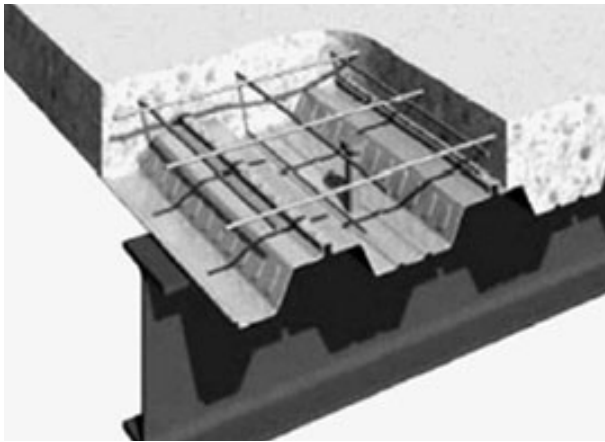


Fig. 7.1. Zollverein School of Management and Design, Essen.  
SANAA

cientalización de la forma de los componentes planos de hormigón es necesario garantizar también su competitividad económica.

Como hemos visto en el *Capítulo 6* la competitividad económica de la propuesta no solo depende de la mejora y optimización de los moldes para la fabricación de los componentes sino que también depende de las funciones añadidas que este molde perdido puede desarrollar.

Para poder conformar los materiales amorfos siempre hemos necesitado elementos capaces de contener la pasta durante el tiempo de fraguado y este elemento (molde) no siempre ha tenido que ser recuperable.



*Fig.7.2. Forjado colaborante. La chapa grecada de acero no solo desarrolla funciones de molde sino que colabora con el comportamiento mecánico del conjunto.*

El tendido de yesos y cales, el revoco o proyectado de morteros de cemento sobre elementos cerámicos o el vertido de hormigón sobre una chapa grecada de acero para la ejecución de un forjado colaborante (Fig. 7.2), etc., son claros ejemplos en los que el material amorfo se conforma sobre un soporte o 'molde' que no es recuperable y su coste no se computa en las operaciones de conformación de la pasta sino que forma parte del coste del conjunto del sistema.

Todos estos ejemplos tienen en común un aspecto que les permite ser competitivos económicamente con otros sistemas constructivos: las funciones añadidas del molde.

En ningún caso plantea problemas económicos considerar el coste de la pared para el tendido o el revoco ni el aislamiento térmico de la solera ya que su presencia queda justificada por las funciones que estos aportan al conjunto (aislamiento térmico, acústico, paso de instalaciones, etc.).

Esta misma estrategia que aprovecha las funciones del soporte o molde es la utilizada en la propuesta del estudio. El coste añadido que podría suponer el molde perdido se ve compensado por las nuevas funciones que desempeña en el componente. Garantizar la estanqueidad sin sistemas de sellado por la cara exterior.

- **Tanto la optimización del molde como las funciones añadidas que este aporta al componente garantizan la competitividad económica de la propuesta (Fig. 7.3).**

### 7.1.3 Mejora de las prestaciones del componente con molde perdido

Aunque parezca una obviedad, vale la pena recordar que las prestaciones que caracterizan a los paneles prefabricados no solo dependen de las prestaciones del material sino también de sus técnicas de conformación.

Como hemos visto las técnicas actuales obligan a trabajar con tolerancias dimensionales que en muchos casos pueden medirse en centímetros hecho que repercute en varios aspectos relacionados con su montaje en obra.

Por otro lado, los componentes de fachada basados en la técnica de las carpinterías combinan distintos materiales (generalmente semiproductos) especializados para cada una de las funciones requeridas. Un ejemplo claro es el perímetro de borde, del bastidor de montaje. Tanto las propiedades del material (aluminio) como las técnicas de conformación, permiten desarrollar componentes de fachada con unas tolerancias de fabricación milimétricas.

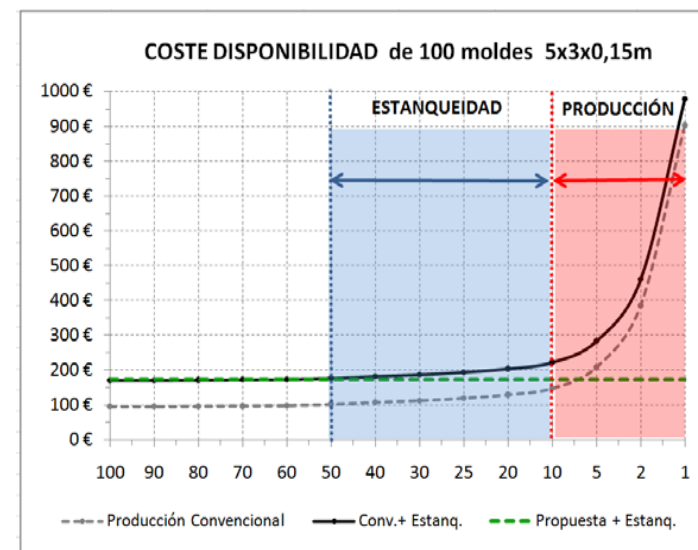


Fig.7.3. *Ámbito de competitividad económica de la propuesta según el proceso de fabricación y la estanqueidad del sistema de fachada para paneles de 5x3m.*

Así pues, la propuesta aprovecha estas técnicas de conformación para desarrollar los moldes perimetrales aportándole a los componentes de hormigón las prestaciones de junta de los componentes *Unitized* de fachada ligera.

El elemento que pone en relación los distintos componentes durante el montaje ya no es el hormigón como sucede en los componentes convencionales, sino que aparece un elemento interpuesto (perfil) que mejora las prestaciones que podría ofrecer el hormigón.

Respecto a los componentes convencionales, el perfil de borde permite (Fig. 7.4):

- I. Disminuir las tolerancias de fabricación garantizando una mayor precisión durante el montaje en obra.***
- II. Facilitar el montaje inequívoco de los componentes a través de geometrías Poka-Yoke.***
- III. Garantizar la compatibilidad entre los componentes de la fachada, ya sean estos de hormigón o no, permitiendo una mayor clientalización de la fachada***
- IV. Garantizar la estanqueidad del sistema de fachada, a través de una junta conformada, eliminando las operaciones de sellado en obra.***

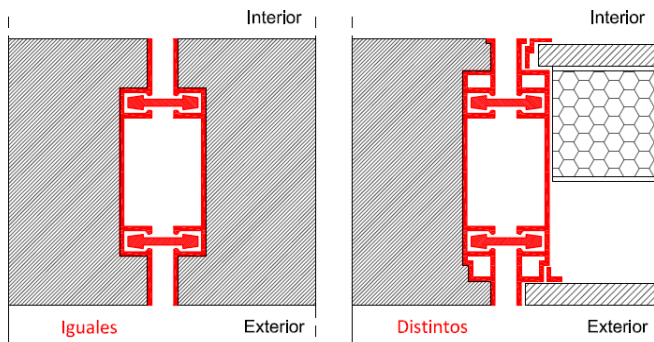


Fig.7.4. Propuesta. La Junta entre componentes garantiza su compatibilidad.

## 7.2 Nuevas estrategias de producción implícitas en la propuesta

A continuación se citan tres aspectos que implícitamente están en la propuesta de la tesis y que inciden en un nuevo modelo de producción.

### 7.2.1 Mejora del proceso productivo

Como sabemos, prácticamente todos los procesos industriales dedicados a la conformación de materiales amorfos están basados en la recuperación del molde para nuevos usos. Esta condición ha marcado al desarrollo de los sistemas de producción, condicionados por el coste del molde y su posterior amortización.

Esta estrategia genera sus propias limitaciones. Pedirle mayor durabilidad a un molde implica incrementar el coste con el uso de materiales más durables o de mayor robustez y el desarrollo de mecanismos complejos que permitan su reversibilidad. El incremento de costes obliga al sistema a amortizarlos a través de un mayor número de usos (Fig. 7.5).

Si bien es cierto que a lo largo de los años cada industria ha conseguido llegar a un acuerdo entre el coste de sus moldes y su durabilidad en ningún caso este sistema de producción ha quedado exento de la repetición.

Todas las mejoras que se han ido incorporando a lo largo de estos últimos años han ido en la línea de la automatización de algunas o todas las operaciones necesarias para la conformación de los moldes a cambio de elevadas inversiones económicas que hasta día de hoy algunas empresas podían permitirse pero que ahora parece poco viable.

La propuesta plantea otra estrategia de producción donde se utiliza parte del proceso de producción de las industrias especializadas en la manipulación y transformación de los

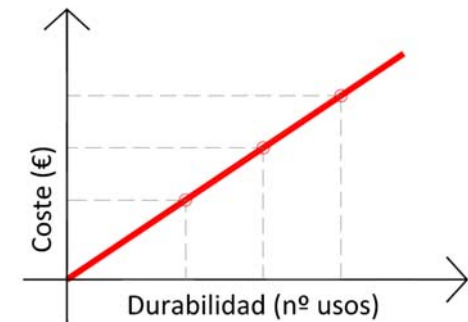


Fig.7.5. Coste vs Durabilidad para los moldes reversibles



semiproductos lineales para optimizar los costes de conformación de los moldes clientalizados de los paneles de hormigón, sin la necesidad de contemplar su amortización.

- ***La visión endógena que tienen muchas veces las industrias de sí mismas, sólo les ha permitido introducir mejoras en sus procesos. Una mirada hacia otros modelos industriales podría representar cambios importantes en sus estrategias de producción.***

### **7.2.2 Pensamiento mono-material**

Como hemos visto, las industrias encargadas de la conformación de los componentes de hormigón han centrado todos sus esfuerzos en el desarrollo y la mejora tecnológica de sus sistemas de producción basándose tan solo en el hormigón.

En este sentido podríamos considerar que su pensamiento muchas veces ha sido mono-material y en consecuencia las tecnologías que han desarrollado están basadas en la experiencia y el conocimiento histórico de la conformación de este material.

En nuestro caso, tanto la incorporación de otro material como del conocimiento de sus técnicas de transformación nos ha permitido desarrollar una propuesta que permite la clientalización de la forma de los componentes planos de hormigón.

La falta de perspectiva y conocimiento de otras tecnologías y materiales que tienen estas industrias no les permite superar la propias limitaciones del sistema de producción.

- **Una mirada transversal entre industrias y materiales podría permitir mejorar y optimizar los procesos de producción actuales.**

### 7.2.3 Un modelo de producción más ágil y flexible

Actualmente, la capacidad de producción de las industrias de componentes de hormigón está sujeta directamente a la cantidad de moldes disponibles.

Para una serie de producción se realizaran tantos moldes como tipos de paneles se necesiten. Esto implica que la capacidad de producción de una industria en condiciones normales será proporcional a la disponibilidad de moldes iguales en fábrica (Fig. 7.6).

Bajo esta premisa, intentar aumentar la producción implica disponer de más moldes iguales asumiendo, lógicamente, el incremento de coste que esto supone que disminuye la capacidad de amortización de los mismos (menor utilización = menor amortización).

La propuesta permite disponer en fábrica de tantos moldes (bastidores) como sea necesario ya que todos deben producirse igualmente. Esto a la vez permite aumentar o disminuir la capacidad de producción de una serie sin que afecte de forma significativa al coste inicialmente previsto. Tan solo necesitaremos disponer de una mayor superficie de mesa de hormigonado.

Si la incorporación de los procesos industrializados en la fabricación de elementos de una industria permitió aumentar su productividad a cambio de penalizar la variabilidad de sus productos, los modelos contemporáneos de producción así como el de la propuesta

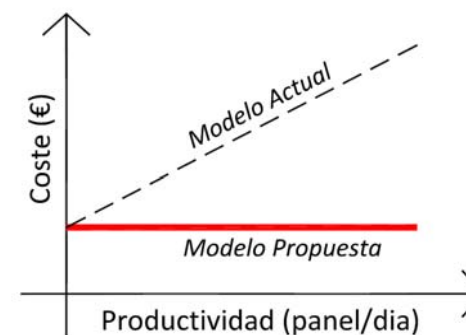


Fig.7.6. Aumento de la productividad sin incremento en los costes

permiten romper esta dependencia entre ambas variables -productividad y variabilidad- generando un modelo de producción mucho más flexible.

- ***La propuesta desarrolla una estrategia de producción flexible capaz de adaptarse a las necesidades en cada momento ('just-in-time') sin que esto suponga un sobre coste significativo.***

### **7.3 Prospectiva**

Teniendo en consideración la rápida evolución y desarrollo de nuevas técnicas de conformación de los elementos constructivos podemos destacar algunos aspectos que han permitido el desarrollo de esta propuesta y que lógicamente pueden ayudar a futuros desarrollos:

#### **I. Diseño convergente**

El éxito del desarrollo de nuevos procesos de conformación de elementos constructivos debe ir acompañado de una visión global del producto. Todos los agentes que intervienen en su desarrollo deberían aportar su conocimiento parcial del proceso para poder mejorar el elemento final, desde las técnicas y procesos de conformación primarios de los materiales hasta los procesos de conformación y montaje en obra.

El diseño convergente permite conocer e introducir paralelamente tanto las limitaciones de producción como los requerimientos finales del producto facilitando un diseño ajustado para un uso óptimo.

## **II. Consorcio de empresas**

Lógicamente este 'diseño convergente' de los productos nos lleva a pensar en consorcios de empresas que trabajan juntas para un objetivo común, donde todos los procesos de producción están representados.

## **III. Los impactos ambientales de la propuesta**

En el estudio no se ha hecho ninguna referencia a aspectos de sostenibilidad ni a los impactos ambientales que la propuesta podría suponer puesto que no era objeto del análisis. La relevancia del tema merecería un amplio estudio para poder valorar las alteraciones de los impactos asociados a esta nueva estrategia de producción.

Aun así, debido a la evidente vinculación de la sostenibilidad en cualquier aspecto relacionado con el sector de la edificación es inevitable y necesario hacer algunas reflexiones que lógicamente pueden generar áreas de investigación de interés.

Diferenciamos dos niveles de reflexión según hablemos de la estrategia de producción o del propio componente:

### **La estrategia de producción:**

- Como ya hemos visto un modelo de producción en masa requiere de una elevada y constante demanda para producir elementos de bajo coste en un contexto de crecimiento constante lógicamente con un flujo de recursos 'ilimitado' que muchas veces son malbaratados en forma de stocks.
- En este sentido la capacidad de una industria para producir de forma ágil y flexible e incluso '*just-in-time*' permite optimizar el uso de recursos necesarios garantizando una adaptación a la fluctuación de la demanda. Ahora ya no es la industria quien inyecta productos (recursos) al mercado en busca de potenciales clientes (push) si no que es la demanda quien los requiere hecho que permite optimizar el uso de los recursos utilizados (pull).

### **El componente de fachada:**

- Partiendo de la naturaleza del material utilizado y de sus impactos asociados, la propuesta no los modifica en ningún nivel puesto que por un lado dependen de su composición (cemento, arena, áridos, agua, aditivos, etc...) y por otro del propio proceso de producción. La técnica del vertido permite utilizar el material necesario con una generación mínima de residuos durante el proceso de conformación.

Pero a efectos de los semiproductos utilizados si que permite una importante reflexión que actualmente está en el desarrollo de muchas áreas de conocimiento del sector:

Como ya hemos visto y ha sido enunciado con anterioridad por varios estudios citados, la utilización de los semiproductos en el sector de la construcción representa el presente y el futuro de muchos de los sistemas constructivos que han apostado por la industrialización. Su elevada capacidad para ser transformados y adaptados a las necesidades o particularidades del proyecto lo ha facilitado.

Desde el punto de vista medioambiental, este potencial de los semiproductos se presenta como un arma de doble filo:

- La generación de residuos

Utilizar los semiproductos como material de la construcción 'a medida' genera una elevada cantidad de residuos. Los propios procesos secundarios de transformación generan pequeños restos sin utilidad aparente.

Esto debería obligar a la industria a ajustar mejor los tamaños de producción al uso final del producto para intentar minimizar los residuos generados, aunque estos puedan ser reutilizados en la propia industria como subproductos.

- La reversibilidad del sistema

Otra de las virtudes que ha facilitado la incorporación de los semiproductos al sector de la construcción es su capacidad de ser desmontados. El sistema de unión en seco permite montar y desmontar los sistemas ya sea por la reposición de piezas desgastadas como por nuevas necesidades del usuario.

Los sistemas constructivos basados en los semiproductos permiten desmontar los edificios en lugar de tener que demolerlos manteniendo buen parte de la 'utilidad' de los elementos para otros usos.

Así pues,

- ***La responsabilidad para mejorar en la sostenibilidad de los sistemas queda por un lado en manos de la industria, adaptando sus sistemas de producción a modelos cercanos al 'just-in time' y por el otro en manos de los técnicos de la edificación en elegir los mejores sistemas constructivos en cada caso sin dejar de pensar en los posibles usos futuros.***

Consciente de lo coyuntural de la propuesta y la rápida evolución de algunas tecnologías experimentales para la conformación de elementos constructivos, en un futuro la técnica de la '*Fabricación aditiva*<sup>1</sup>' podría representar un camino hacia la clientalización de la forma de los componentes de hormigón.

Esta tecnología permitirá importantes avances hacia sistemas de producción '*just-in-time*' con un elevadísimo potencial para el desarrollo de geometrías no solo planas sino también tridimensionales (*Freeform Construction*<sup>2</sup>).

---

<sup>1</sup> *La Fabricación aditiva incluye técnicas como el '3D-shape o el Contour crafting*

<sup>2</sup> '*Freeform Construction: Mega-scale Rapid Manufacturing for construction*'. R.A. Buswell, R.C. Soar, A.G.F. Gibb, A. Thorpe



**TERMINOLOGÍA**



## 1 Terminología

### 1. Clientalización

Capacidad de un modelo de producción industrial para ajustar sus productos a las necesidades del cliente dentro de una misma serie de producción (ver terminología).

La ‘clientalización’ implica una acción directa del cliente hacia la industria y el producto que desea adquirir.

#### ACLARACIÓN:

De entre varios términos aceptados y no aceptados por distintas instituciones técnicas y lingüísticas se ha elegido el uso de la palabra ‘clientalización’ para definir la capacidad de un sistema productivo por adaptarse a las necesidades del cliente.

Se han descartado palabras como:

- ‘*Customización*’ por ser un anglicismo.
- ‘*Personalización*’ por ser una traducción mal interpretada de ‘*customization*’ donde no se hace ninguna referencia al ‘cliente’ hecho que si sucede con el término inglés (‘*customer*’). ‘*Personalización*’ describe la capacidad que tiene un proceso industrial para adaptar sus bienes de consumo a diversos requerimientos. Expresa un ‘potencial’ del proceso industrial.

En cambio, el término ‘clientalización’ o ‘clientalizable’ aunque no esté reconocido por la *Real Academia Española* sí que hace una clara referencia al cliente, es decir que se adapta a las necesidades del cliente que lo va a adquirir. No expresa solamente su ‘potencial’ sino que expresa una ‘acción’ directa del cliente.

La decisión de utilizar ‘clientalización’ en lugar de ‘clientelización’ responde a motivos subjetivos y fonéticos. Puesto que utilizaremos un nuevo término lingüístico se ha preferido ‘clientalización’ por su mejor sonoridad.

## **2. Componente**

Elemento de la construcción que una vez conformado no puede recibir ninguna otra transformación geométrica.

Los componentes se desarrollan para desempeñar funciones muy precisas dentro de los sistemas constructivos.

- **Componentes parciales (fachada)**

Son componentes parciales aquellos elementos constructivos que por si solos desempeñaran como mínimo una función. Dentro de un sistema de fachada podría desarrollar la función portante, soporte, servicio, etc...). Los componentes parciales son complementados por otros componentes parciales y/o semiproductos. Ejemplo: panel plano de hormigón.

- **Componentes completos**

Son componentes completos aquellos elementos constructivos que sin contemplar adiciones de otros componentes parciales y/o semiproductos, desempeñan todas las funciones requeridas por el sistema. Ejemplo: Componente *Unitized* para fachada ligera.

### 3. **Coste de disponibilidad del molde**

Entendemos por el 'coste de disponibilidad del molde' a todos los costes asociados a la obtención de un molde (ver terminología) preparado sobre la mesa de hormigonado para iniciar toda la serie de producción. El 'coste de disponibilidad' se ha utilizado como unidad funcional comparable (ver terminología) para el análisis del coste de la clientalización (Cap.6)

El 'coste de disponibilidad del molde' incluye tanto el coste del molde (ver terminología) como el coste de las operaciones necesarias para poder disponer de un molde preparado para hormigonar.

A este último grupo de operaciones le hemos llamado zócalo de disponibilidad del molde (ver terminología).

- **Zócalo de disponibilidad del molde**

Para un sistema de producción convencional de paneles de hormigón, el zócalo de disponibilidad contempla el coste de la mano de obra y del material de las siguientes operaciones:

- I. Desmontaje de los moldes perimetrales una vez hormigonado el panel
- II. Replanteo y ensamblaje de los molde perimetrales para un nuevo panel
- III. Fijación y sellado de los moldes perimetrales para hormigonar un panel

Estas operaciones representan un coste constante para cualquier serie de producción y caracterizan la estrategia del sistema de producción actual.

- **Coste del molde**

El 'coste del molde' hace referencia a los costes asociados a la mano de obra y el material necesarios para disponer de un molde conformado. En el modelo de producción actual el 'coste del molde' se amortiza a medida que aumentamos los usos del molde mediante las repeticiones.

#### **4. Costes directos**

Son los costes objetivos que se pueden imputar al producto como consecuencia de su proceso de fabricación ya que se conoce con total precisión cada una de las operaciones y materiales implicados en dicho producto.

- *Los costes fijos son proporcionales a la producción. Son variables.*

## 5. Costes indirectos

Son los costes que no se pueden imputar objetivamente en los productos ya que no se conoce con total precisión cual es su responsabilidad pero que son necesarios para la obtención del producto.

- *Los costes indirectos son independientes a la producción. Son fijos.*

Cada empresa establece sus costes indirectos en función del modelo de producción y de la infraestructura utilizada. Incluyen por ejemplo, el alquiler o compra de la nave industrial, la amortización de la maquinaria, los elementos de transporte e incluso las horas de personal necesario pero no implicado directamente en el proceso de producción.

Generalmente estos costes indirectos se expresan en porcentaje sobre el coste directo del producto.

## 6. Elemento

Material (ver terminología) conformado que forma parte de un sistema. Puede recibir transformaciones geométricas. Ejemplos: Lámina impermeable, montante, travesaño, etc. (pequeño elemento, semiproducto o componente) Ver terminología.

## 7. 'Lean Manufacturing'

Sistema de producción ajustada, ágil, esbelta, sin excesos en el uso de los recursos ni de los 'stocks'. Responde a un modelo de producción que tiene como premisas la mejora constante de sus procesos y evitar cualquier exceso en tiempo o en recursos



que no aporte valor al producto. Desarrolla un sistema de producción ajustado a la demanda real 'pull' (ver terminología) en lugar de producir en función de una previsión de la demanda 'push' (ver terminología). El '*Lean Manufacturing*' permite producir a tiempo y a medida ('*just-in-time*').

Este modelo de producción debe su origen al ingeniero japonés *Taiichi Ohno* quien a mediados del s.XX lo aplicó para la producción de automóviles de la empresa Toyota.

## **8. Material**

Producto de aplicación en la construcción que no constituye de por sí un elemento o sistema constructivo (ver terminología); no tiene implícita una función concreta. Ejemplos: cerámica, yeso, hormigón, etc.

- **Materiales amorfos**

Materiales de construcción de estructura amorfa que necesitan de su conformación mediante moldes. De la conformación de un material amorfo podemos obtener pequeños elementos, semiproductos o componentes (ver terminología).

## **9. Molde**

Entendemos por molde a un o un conjunto de elementos sólidos que permiten dar forma a un material amorfo.

Un molde puede estar formado por la combinación de elementos lineales, planos y tridimensionales en función de la geometría final deseada.

- **Molde perimetral**

Entendemos por molde perimetral a los elementos de moldeo que define la geometría interior y/o exterior de un componente plano de hormigón.

- **Molde perimetral exterior**

El molde perimetral exterior es aquel que define la geometría exterior y el espesor de un panel plano. Corresponde a las dimensiones mayores de un panel.

- **Molde perimetral interior**

El molde perimetral interior es aquel que define la geometría perimetral de cualquier hueco situado en un panel plano. También define el espesor del panel.

## 10. Producción en serie

*\*[...] el concepto producción en serie se utiliza para describir el método por el cual se fabrican grandes cantidades de un solo artículo estandarizado. La producción en serie no es simplemente producción en cantidad ni producción mecánica. La producción en serie es la aplicación de los principios de potencia, precisión, economía, método continuidad y velocidad a un proceso de fabricación.*

*La primordial tarea de la dirección consiste en la interpretación de estos principios a través del estudio de operaciones, el desarrollo de maquinaria y su coordinación. El*

*resultado lógico es una organización productiva que proporciona gran cantidad de artículos de material, mano de obra y diseño estándar al mínimo coste [...] -Henry Ford-*

\*BENDER, Richard. *Una visión de la construcción industrializada*. Página 14. Ed. Gustavo Gili, S.A. 1976. ISBN 84-252-0636-7

#### **11. Personalización en masa**

Sistema de producción industrial que permite ‘personalizar’ los productos de una misma serie de producción (ver terminología).

Este modelo de producción tiene la misma capacidad productiva que tiene la producción en masa.

#### **12. ‘Poka-Yoke’ o montaje inequívoco**

Estrategia en el diseño de componentes que garantiza el correcto ensamblaje entre sí sin la posibilidad de errores, normalmente resuelto a través de la geometría. Responde a un aspecto de calidad.

El concepto industrial del ‘Poka-Yoke’ fue introducido por *Shigeo Shingo* en Toyota a mediados del siglo XX para el ‘Sistema de producción Toyota’.

#### **13. Producción en masa**

Sistema de producción industrial basado en la especialización y repetición de las operaciones realizadas por operarios o máquinas que persiguen el objetivo de optimizar el tiempo de ejecución de dichas operaciones. Este modelo de producción

lleva a los sistemas de producción en cadena donde el objeto pasa por todas las estaciones de trabajo hasta llegar al final de la línea de producción.

Este modelo producción está basado en la Taylorización (ver terminología) y encuentra en las industrias de *Henry Ford* su aplicación más conocida.

- *Los sistemas de producción en masa llevan tanto a la repetición de las operaciones como a la de los productos limitando así su capacidad de aportar variabilidad dentro de una serie de producción (ver terminología).*

#### **14. 'Pull'**

Este representa el concepto contrario al modelo 'push' (ver terminología). Un modelo de producción '*pull*' se acerca al cliente para conocer sus necesidades, analiza la demanda y ofrece el producto adecuado. Minimizan los 'stocks' (ver terminología).

- *Este es en el modelo de producción per permite mantener la competitividad a las empresas actuales obligándolas a ser más ágiles y flexibles con sus sistemas de producción.*

#### **15. 'Push'**

Concepto de producción industrial basado principalmente en las necesidades de la industria, normalmente responde a un modelo de producción basado en la producción en masa, donde la industria 'inyecta' sus productos al mercado confiando en los estudios de la demanda.

- *El modelo de producción 'push' ha sido el más utilizado durante el periodo de la industrialización. Genera y necesita de 'stocks' (ver terminología).*

## **16. Semiproducto**

Consideramos semiproductos todo aquellos elementos de la construcción que puede recibir transformaciones geométricas (corte, plegado, curvado, etc...) para adaptarlos a las necesidades geométricas del proyecto. La industria los produce según criterios geométricos industriales y posteriormente son transformados a las geometrías del proyecto.

Generalmente los semiproductos no tienen un uso específico en la construcción, dependerá de las funciones que este sea capaz de resolver y de cómo se utilizan.

Estas transformaciones geométricas (ya sean en fábrica o en obra, véase en Capítulo1) no alteraran las propiedades iniciales de los elementos producidos por la industria y deberán realizarse teniendo en cuenta su transformabilidad obteniendo: semiproductos lineales, semiproductos planos y semiproductos tridimensionales.

- **Semiproducto lineal**

Semiproducto que puede ser transformados en una sola dimensión. Ejemplos: perfil extruido de aluminio, perfil laminado de acero, bandeja perfilada en frio o panel sándwich con una junta conformada.

- **Semiproducto plano o bidimensional**

Semiproducto que puede ser transformados en dos dimensiones. Ejemplos: placa de poliestireno expandido, placa de yeso laminado, lamina impermeable.

- **Semiproducto tridimensional**

Semiproducto que puede ser transformado en las tres dimensiones. Este semiproducto tiene una importante presencia en las transformaciones industriales pero es poco utilizado en los trabajos en obra. Ejemplos: bloque de poliestireno expandido o un tronco de árbol.

## **17. Serie de producción**

Define el conjunto de productos o bienes que responden a las mismas características y que se producen de forma continua en un proceso industrial. Lote de producción.

- *En función del tamaño de producción se puede diferenciar entre series largas de producción y series cortas de producción pero es difícil establecer los límites entre la una y la otra puesto que depende tanto del tamaño de la industria como del bien producido.*

## **18. Sistema**

Conjunto ordenado de elementos y materiales de la construcción que desarrollan una o varias funciones de la edificación. Ejemplos: estructura, fachada, falso techo, etc.

## 19. 'Stock'

El concepto de 'stock' utilizado en un entorno industrial hace referencia a las existencias en espera, tanto de recursos como de elementos fabricados, lo cual permite garantizar a las industrias la capacidad de respuesta a las oscilaciones de la demanda.

- *El 'stock' ha permitido a muchas industrias actuales esconder las anomalías de su línea de producción (paros del sistema, errores de ejecución, retrasos en los suministros, etc...)*

## 20. Taylorización o Organización científica del trabajo

Fue concebida por *Frederick Winslow Taylor* a principios del s.XX y tiene como objetivo el aumento de la productividad a través de la optimización de los tiempos empleados en la mano de obra y de los recursos utilizados mediante la división de las tareas en una línea de producción. Cada operario se especializa en una operación eliminando así los tiempos y recursos perdidos entre operación y operación.

- *La organización científica del trabajo no ha facilitado la introducción de la variabilidad de los productos dentro de una serie de producción. Normalmente hablamos de series de producción largas (ver terminología).*



## **21. Unidad funcional comparable**

La 'unidad funcional comparable' se ha utilizado para establecer un parámetro comparativo entre los dos sistemas de producción, el sistema convencional de producción que recupera los moldes para nuevos usos y el sistema de producción de la propuesta que utiliza un molde nuevo para cada panel.

- *En nuestro caso la 'unidad funcional comparable' es la disponibilidad de un molde preparado para desarrollar un panel.*

## LA CLIENTALIZACION DE LOS SISTEMAS INDUSTRIALIZADOS DE FACHADA

Una estrategia de producción para la ‘clientalización’ de la forma de los componentes planos de hormigón

# DOCUMENTOS DE DESARROLLO

## DESARROLLO 1

*Análisis de las operaciones necesarias para la conformación de un componente de hormigón en un modelo de producción mixto*

## DESARROLLO 2

*Técnicas para la obtención de semiproductos lineales de acero y aluminio para un bastidor de fachada*

## DESARROLLO 3

*La conformación de componentes planos de fachada mediante perfiles extruidos de aluminio. Sistema Unitized para fachada ligera*

## DESARROLLO 4

*Análisis del coste-variación dimensional para la conformación de un panel plano de hormigón en el contexto de un modelo de producción mixto*

## DESARROLLO 5

*Análisis del coste-variación dimensional para la conformación del bastidor de un componente tipo Unitized para fachada ligera*

## DESARROLLO 6

*Análisis del coste-variación dimensional de la propuesta*



## **DESARROLLO 1**

**Análisis de las operaciones necesarias para la conformación de un componente de hormigón en un modelo de producción mixto**



## 1 Análisis de las operaciones necesarias para la conformación de un componente plano de hormigón

En el presente desarrollo se analizan todas las operaciones necesarias para la conformación de un panel plano de hormigón realizado sobre una mesa de hormigonado de 2,8m por 12m de largo (Fig. D1.1).

Como veremos a lo largo del desarrollo cada una de las operaciones se puede realizar de distintas maneras dependiendo del sistema de producción que principalmente podemos diferenciamos entre sistemas manuales y sistemas automatizados o robotizados.

Como sabemos esta diferenciación es poco útil para el objetivo del estudio ya que muchos de los sistemas actuales de producción están a caballo entre los sistemas manuales y los automatizados.

Así pues aquí analizaremos de forma independiente las distintas maneras de realizar cada una de las operaciones para poder evaluar posteriormente la influencia que tienen en los costes asociados a la variabilidad de la forma de los componentes finales dentro de una serie larga de producción.



Fig.D1.1. Mesa de hormigonado.

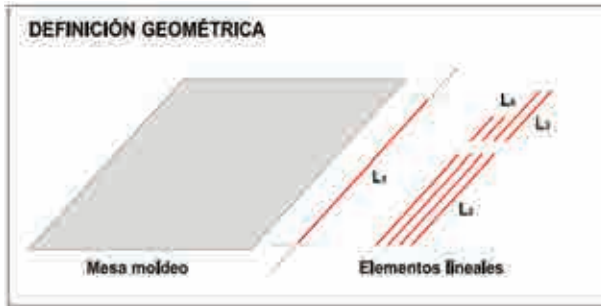


Fig.D1.2.



Fig.D1.3. Perfiles de borde con semiproductos lineales de acero y madera

## 1.1 Operaciones que intervienen en la ejecución de un componente plano de hormigón

### 1.1.1 Limpieza y preparación de la mesa de hormigonado

Antes de iniciar las operaciones de preparación del molde debemos garantizar que la superficie de la mesa de hormigonado este completamente plana, lisa (libre de perforaciones) y limpia de residuos de hormigón, siliconas de sellado o plásticos.

Estas operaciones de limpieza y reparación generalmente se realizan de forma manual.

### 1.1.2 Definición geométrica del molde perimetral (1r molde)

Como hemos visto, para definir la forma de un componente plano son necesarios los moldes perimetrales formados por elementos lineales que caracterizaran el espesor y el tipo de junta del componente (Fig.D1.2). Para ello la industria actual utiliza dos sistemas:

- I. El primer sistema utiliza semiproductos lineales, habitualmente perfiles laminados de acero y/o a veces llantas de madera (Fig. D1.3).

Estos perfiles normalizados de acero son cortados de forma manual a la longitud deseada. Posteriormente son transformados y ensamblados con otros perfiles y berenjenos hasta conseguir la sección deseada para las juntas entre paneles.

Generalmente estas operaciones de transformación y manipulación de los semiproductos se realizan en el propio taller de la fábrica de forma manual con



sencillas herramientas de corte. Este sistema de conformación de los molde perimetrales genera residuos y necesita prever zonas de acopio.

- ***El uso de semiproductos lineales cortados de forma manual permite conseguir una elevada variedad de longitudes y secciones para el molde perimetral pero a cambio de elevados costes en mano de obra (Fig. D1.4). El material se determina principalmente por la durabilidad del molde, pero también pueden considerarse aspectos de acabado.***

II. El segundo sistema utiliza perfiles de sección conformada (Fig. D1.5).

Actualmente la industria dispone de catálogos de perfiles destinados exclusivamente para el uso en moldes perimetrales. Estos catálogos incluyen varios tipos de perfiles, secciones y longitudes que permiten definir los moldes.

Para poder garantizar una elevada variabilidad de la forma, el espesor y el tipo de junta de los paneles debemos de disponer de un importante almacén de perfiles.

Lógicamente estos catálogos son limitados y no pueden dar respuesta a cualquier perfil de borde que necesitemos. Dependerá de la empresa de suministro y de sus modelos disponibles que en menor o mayor medida tengamos que adaptar los paneles de hormigón a sus limitaciones. Cabe destacar que estos perfiles no pueden ser transformados. A estos los consideramos ‘componentes lineales’.

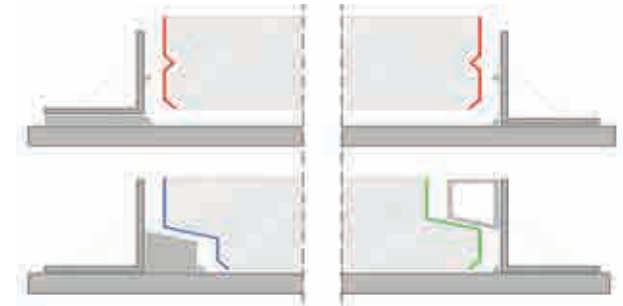


Fig.D1.4. Perfiles de borde con semiproductos lineales



Fig.D1.5. Perfiles de borde conformados de Weckenmann

- ***El uso de perfiles conformados de catálogos, obliga a ‘almacenar’ una elevada cantidad de unidades cuanto mayor sea el grado de clientalización que queramos conseguir.***

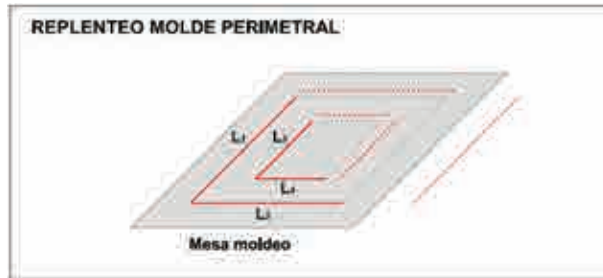


Fig.D1.6.

### 1.1.3 Replanteo del molde perimetral sobre la mesa de hormigonado

Las operaciones de replanteo definen la posición de los moldes perimetrales y de todos los elementos necesarios sobre la mesa de hormigonado. Una vez realizado el replanteo debemos realizar operaciones de comprobación ya que un error en el replanteo puede significar errores en toda una serie de producción.

Para realizar estas operaciones disponemos principalmente de tres sistemas:

- I. El sistema manual de replanteo es aquel que realizan los operarios sobre la misma mesa de hormigonado marcando la posición de cada una de las tabicas o moldes perimetrales según plano de taller.

Habitualmente los medios para realizarlo son muy básicos y fácilmente pueden inducir a errores que son asumidos en las tolerancias de fabricación y posteriormente durante los procesos de montaje.

- ***Este sistema puede inducir a errores en el primer replanteo y que si no son detectados a tiempo pueden invalidar toda una serie producción.***

- II. El segundo sistema de replanteo está basado en los sistemas de software CAD-CAM. Las operaciones de trazado que antes desarrollaban los operarios de forma manual ahora las realiza un plotter sobre la mesa de hormigonado (Fig. D1.7).

Los sistemas actuales robotizados y automatizados por control numérico permiten convertir los planos desarrollados en oficina en sencillas plantillas geométricas que son trazadas sobre la mesa de hormigonado.

El principal problema que plantea este sistema es la dificultad de trazar sobre la mesa de encofrado cuando se han aplicado desencofrantes a lo largo del día. Después de cada ejecución de un panel debe realizarse un nuevo trazado con plotter.

- ***Este sistema de replanteo no permite comprobar la correcta posición de los elementos una vez colocado. Las marcas quedan tapadas o borradas por los propios elementos replanteados y obliga a una comprobación manual.***

- III. El tercer sistema también está basado en los sistemas de software CAD-CAM. Un proyector laser situado en la parte superior de la nave proyecta sobre la mesa de hormigonado la geometría del componente así como todos los accesorios necesarios (cajetas de conexión eléctrica, paso de instalaciones, fijaciones para la extracción, etc...).

El sistema puede calibrarse para tener en cuenta las diferentes alturas de los elementos a encofrar y así poder revisar la correcta colocación de cada uno de ellos una vez situados sobre la mesa de hormigonado.



Fig.D1.7. Sistema de replanteo mediante plotter de Weckenmann

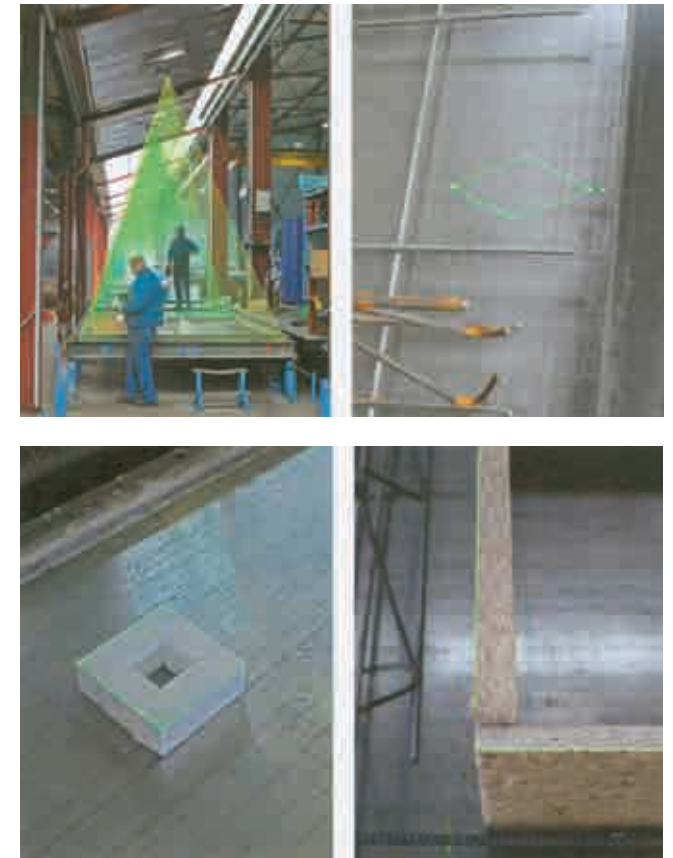


Fig.D1.8. Sistema de replanteo mediante proyección laser

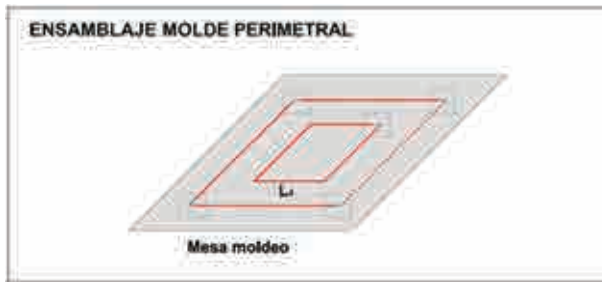


Fig.D1.9.



Fig.D1.10. Resolución manual para esquina de molde



Fig.D1.11. Cabezas especiales de perfiles para resolución de esquina de la empresa Weckenmann

- **El sistema de replanteo por laser permite la comprobación constante de la correcta ubicación de todos los elementos sobre la mesa de hormigonado. (Fig. D1.8)**

#### 1.1.4 Ensamblaje de los perfiles para el molde perimetral

Una vez definidos los perfiles con la geometría y longitud deseada se inician las operaciones de ensamblaje. Estas operaciones son de vital importancia para garantizar parcialmente la estanquidad del molde y para ello es necesario establecer un sistema de compatibilidad entre perfiles perimetrales.

- I. Para los sistemas que utilizan los semiproductos lineales como perfiles de borde, la resolución de las esquinas se realiza de forma manual cortando y transformando de forma adecuada las cabezas de los perfiles de la misma manera que hemos conformando los perfiles y de tal forma que permita garantizar el encaje perfecto entre ellos. (Fig. D1.10)

- **Este sistema de compatibilidad entre perfiles garantiza la mayor clientalización posible pero a cambio de desarrollar soluciones únicas para cada serie.**

- II. Para los sistema que utilizan perfiles de catalogo de sección transversal conformada (componentes lineales) existen dos posibles alternativas:

-Disponer de piezas especiales colocadas en las cabezas de los perfiles y adaptables a distintas intersecciones permitiendo una mayor intercambiabilidad de perfiles (Fig. D1.11)

-Disponer de perfiles de sección transversal conformada con las cabezas también conformadas que limitan la compatibilidad entre perfiles de un mismo sistema (Fig. D1.12)

- ***Ambas soluciones permiten ciertas combinatorias entre perfiles pero la clientalización del sistema queda limitada a la inversión en perfiles distintos.***

### 1.1.5 Fijación del molde perimetral sobre la mesa de hormigonado

Para las operaciones de colocación y fijación de los molde laterales sobre la mesa de encofrado disponemos principalmente de dos sistemas:

- I. Un primer sistema manual donde los operarios colocan sobre las marcas del replanteo las tabicas o moldes perimetrales.

Para poder fijar los moldes a la mesa de hormigonado disponen de dos sistemas claramente diferenciados por su reversibilidad:

-Fijar los moldes perimetrales mediante fijaciones mecánicas básicamente con tornillos y pernos de fijación (Fig. D1.14).

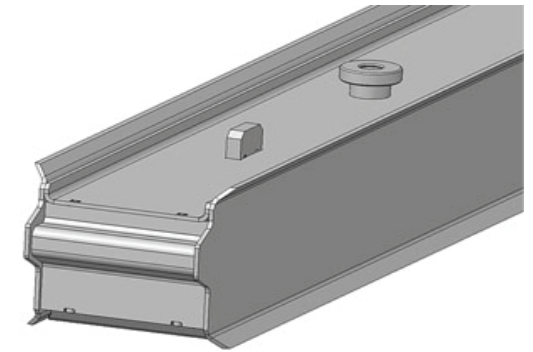


Fig.D1.12. Perfiles con las cabezas conformadas de la empresa Weckenmann

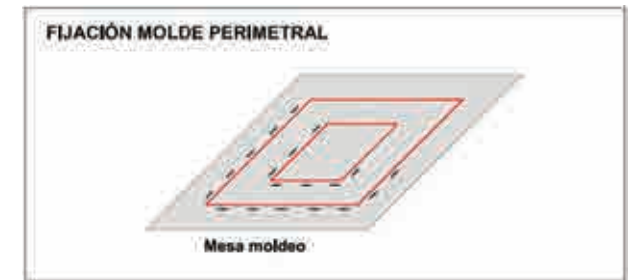


Fig.D1.13.



Fig.D1.14. Fijaciones mecánicas para las tabicas laterales



- ***Este sistema obliga a perforar las mesas de hormigonado reduciendo la durabilidad y obligando a desarrollar un mayor mantenimiento. A cambio el sistema goza de una gran fiabilidad geométrica del molde a lo largo de una serie de producción.***



Fig.D1.15- Fijación de tabicas laterales con imanes

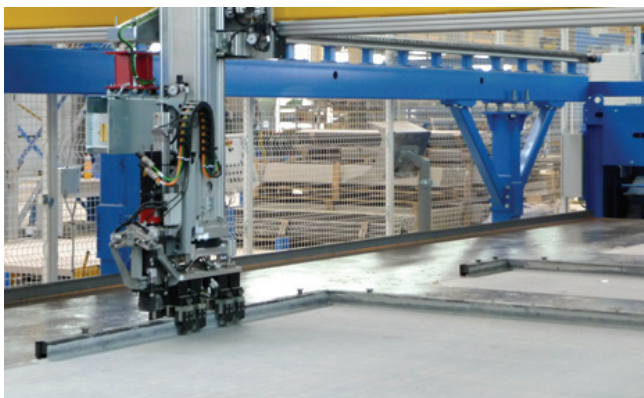


Fig.D1.16. Colocación robotizada del molde perimetral de EBAWE

-Fijar los moldes mediante elementos imantados que inmovilizan las tabicas a la mesa de hormigonado impidiendo su movimiento. (Fig. D1.15)

Los principales problemas que se pueden presentar con el uso de los sistemas magnéticos son el desplazamiento del imán ya sea en el momento de la activación del campo magnético como durante el vibrado si se realizan en mesa.

Muchas veces la discontinuidad en la presión de las tabicas sobre la mesa de hormigonado puede provocar imprecisiones en los bordes perimetrales del componente. Esto puede ser determinante en componentes que necesitan un mayor grado de precisión y sobre todo con hormigones autocompactantes.

- ***A menudo, para minimizar estos problemas se combinan ambos sistemas de fijación: mecánico y magnético.***

- II. El segundo sistema de colocación y fijación se realiza mediante robots controlados por sistema de software CAD-CAM. El robot coge de un amplio acopio de perfiles ya conformados y los coloca sobre la mesa fijándolos con sistemas de imán. (Fig. D1.16)

El sistema está totalmente automatizado y permite minimizar la intervención de la mano de obra. Como ya hemos visto, los perfiles conformados que utilizamos en

este sistema deben ser totalmente compatibles entre ellos sin necesidad de transformación.

- ***Debe tenerse en cuenta los enormes costes de inversión de un sistema automatizado de estas características que pueden ascender entre 2 y 20 millones de euros según el nivel de automatización.***

### **1.1.6 Sellado de juntas entre la mesa de hormigonado y los moldes perimetrales**

Antes de las operaciones de fijación de los molde perimetrales es recomendable colocar una espuma entre estos y la mesa de hormigonado puesto que con el desgaste de los usos tanto el perfil como la mesa pierden planimetría.

Con la colocación de esta espuma entre ambos elementos garantizamos parcialmente la estanqueidad del molde (Fig. D1.17).

Una vez fijados los perfiles se procede al sellado de todas las uniones e intersecciones de perfiles con una silicona neutra que acaba garantizando la estanqueidad del molde.

Estas operaciones son de vital importancia si queremos garantizar una cierta calidad de acabado en los componentes de hormigón más aun si se trabaja con hormigones de elevada trabajabilidad (autocompactantes).

- ***Las operaciones de sellado se realizan de forma manual pero no intervienen en los costes asociados a la clientalización de la forma de los componentes de hormigón***



Fig.D1.14. Arriba: espuma adhesiva colocada entre perfiles y la mesa de hormigonado.

Abajo: sellado con silicona neutra del marco perimetral del molde.



Fig.D1.18a. Bomba para el proyectado del desencofrante

### 1.1.7 Aplicación de los desencofrantes

Para facilitar el desmoldeo de los paneles de hormigón es necesaria la aplicación de materiales desencofrantes. Estos acostumbran a ser derivados de aceites vegetales y se aplican sobre toda superficie en la que esté contacto el hormigón.

Dependiendo del sistema de instalación de la industria, este se puede aplicar de dos maneras:

#### I. Aplicación manual

Acostumbra a ser la manera más habitual de aplicar el desencofrante. Se realiza mediante un trapo empapado con el desencofrante o con una pistola de proyectado. La elección del sistema dependerá de las dimensiones del molde (Fig.D1.18a).

#### II. Aplicación robotizada

Este sistema tan solo se utiliza en aquellas instalaciones en las que prácticamente todas las operaciones de conformación del molde se realizan de forma automatizada o robotizada (Fig.D1.18b).

➤ **Los costes de aplicación de desencofrante no interfieren en los costes de clientalización de la forma de los componentes.**

### 1.1.8 Armado interior del panel

Las operaciones de corte, conformado y soldado de los elementos de armado de un panel habitualmente se realizan en el propio taller de la industria (Fig. D1.19).



Fig.D1.18b. Bomba para el proyectado del desencofrante



Fig.D1.19. Conformación del armado del panel



Estas operaciones habitualmente se realizan de forma manual y en contadas ocasiones encontramos empresas que tengan maquinaria automatizada de corte y conformado de los elementos de armado.

Aunque el corte de las barras corrugadas de acero tenga que realizarse a medida según la geometría del panel, estas operaciones no suponen un coste importante sobre el coste global.

- ***Las operaciones de armado de los componentes de hormigón no condicionaran los costes de la clientización de la forma.***

### **1.1.9 Amasado y vertido del hormigón**

Las operaciones de amasado y vertido del hormigón dependen principalmente del tipo de amasadora. Aunque no sea este el único parámetro, generalmente se establece una relación directa entre el tamaño de la amasadora y la capacidad de producción de una industria. Normalmente la capacidad de amasado de una mezcladora industrial oscila entre 1 y 2m<sup>3</sup>.

Para las operaciones de vertido se pueden utilizar desde sencillos cubilotes (Fig. D1.21) hasta complejos sistemas de transporte y elevación mediante tornillos sinfín (Fig. D1.22).

Habitualmente el transporte del cubilote se realiza mediante el puente grúa de la industria mientras que el transporte con elementos de tornillos sinfín se realiza por suelo. Este segundo sistema permite tener libre el puente grúa para otros trabajos.

También dependerá del tipo de hormigón a verter que sea más adecuado un u otro sistema.



*Fig.D1.21. Vertido del hormigón mediante cubilote. Empresa Escofet*



*Fig.D1.22. Vertido del hormigón mediante tornillo sinfín. Empresa Tecnyconta*

Normalmente serán necesarios entre 2 y 3 operarios para gestionar las operaciones de amasado, transporte y vertido del hormigón dentro de la fábrica.

- **Las operaciones de amasado, transporte y vertido del hormigón no condicionaran los costes asociados a la clientalización de la forma de los componentes.**

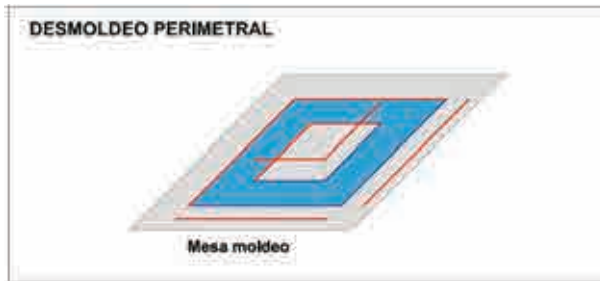


Fig.D1.23.

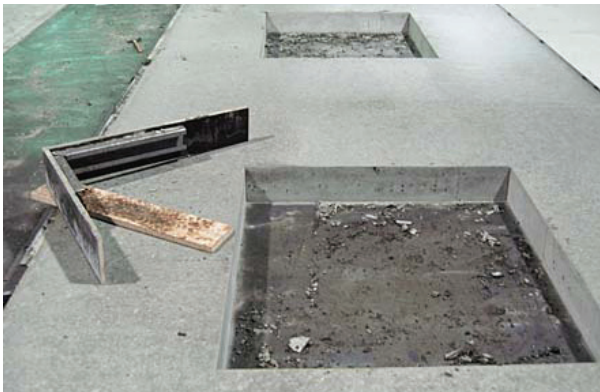


Fig.D1.24. Desmoldeo manual del molde perimetral

### 1.1.10 Desmontaje de los moldes perimetrales

Las operaciones de desmontaje de los moldes perimetrales son cada vez mas importantes. Las actuales exigencias de estanqueidad en las juntas de los componentes de fachada plantean la necesidad de desarrollar geometrías en el encofrado que dificultan las operaciones de desmoldeo.

Por otro lado, la necesidad de recuperar los encofrados perimetrales que exige el modelo productivo actual nos obliga a contabilizar dichas operaciones y repercutir su coste al coste final del componente.

Sea cual sea el sistema de fijación de hayamos desarrollado la geometría de los moldes perimetrales obligará a como mínimo desmontar dos de los cuatro lados del molde y en caso de existencia de hueco este debe ser totalmente desmontado.

Los sistemas que utilizaremos para el desmontaje de los moldes perimetrales dependerá de los sistemas utilizados para la fijación sistemas manuales o automatizados.

- I. El desmontaje de los molde perimetrales se realizará de forma manual cuando los sistemas de fijación a la mesa de hormigonado sean mecánicos o con elementos puntuales imantados (Fig. D1.24).
- II. Por el contrario el desmontaje se realizará de forma automatizada cuando el sistema de colocación y fijación se haya realizado mediante robots controlados por CAD-CAM (Fig. D1.25).

➤ ***La necesidad de recuperar los moldes perimetrales en el modelo de producción actual es una de las operaciones a tener en cuenta para la clientalización de la forma de los componentes.***

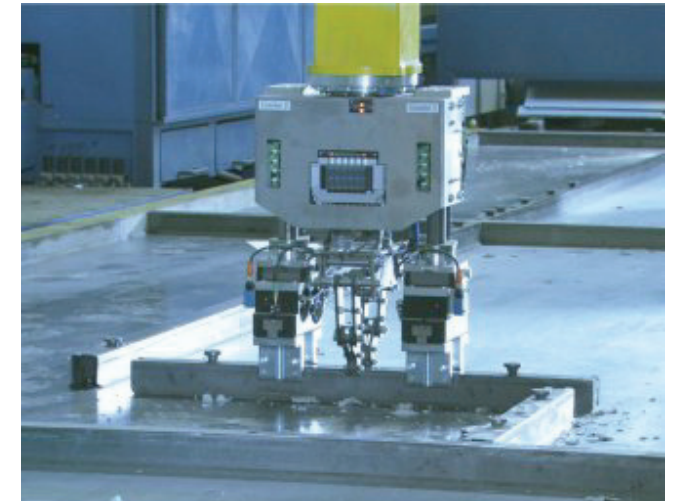


Fig.D1.25. Sistema de desmoldeo robotizado por la empresa Sommer

### 1.1.11 Desmoldeado, elevación y acopio del panel

Las operaciones de desmoldeo de un panel plano de hormigón puede desarrollarse con la mesa horizontal, en la misma posición que el proceso de hormigonado, o con una mesa basculante que minimiza los esfuerzos a flexión al que el panel está sometido durante el desmoldeo (Fig. D1.26).

Para ambas situaciones la elevación de los paneles se realiza con una grúa puente instalada en el nave de fabricación que lo transporta hasta el lugar de acopio.

El acopio de los paneles se realiza de forma vertical sobre unos bastidores o estabilizados por los laterales de los paneles mediante un sistema de ‘peine’ (Fig. D1.27 y D1.28).



Fig.D1.26. Mesa basculante para facilitar el desmoldeo de paneles. Empresa Weckenmann



*Fig.D1.27. Acopio de paneles finalizados sobre bastidor de soporte. Empresa Escofet*



*Fig.D1.27. Acopio de paneles finalizados estabilizados mediante sistema de 'peine'. Empresa Tecnyconta*

- *Estas operaciones no intervienen en el coste de la clientalización de los paneles. La repetitividad de la geometría de la serie es independiente al coste de estas operaciones.*

## **DESARROLLO 2**

**Técnicas para la obtención de semiproductos lineales de acero y aluminio para un bastidor de fachada**



## **2 Técnicas para la obtención de semiproductos lineales de acero y aluminio para un bastidor de fachada**

### **2.1 Introducción**

De todos los semiproductos lineales utilizados para la conformación de bastidores planos de fachada nos centraremos en el análisis de los de acero y aluminio. El interés por estos semiproductos viene condicionado por el análisis de las técnicas de transformación que permiten conformar bastidores de fachada (Desarrollo 4)

Estas técnicas de transformación de los semiproductos lineales pertenecen al grupo de transformaciones primarias del material. Muchas veces estas transformaciones las damos por asumidas cuando iniciamos los análisis de los elementos constructivos pero en nuestro caso toma un especial interés analizar estas transformaciones primarias ya que de estas dependerá por ejemplo el volumen de producción, las posibilidades geométricas del perfil, y la adecuación al coste según su aplicación.

### **2.2 Técnicas de conformación de los semiproductos lineales de acero y aluminio**

Como veremos la industria dispone de varias técnicas para la producción de los semiproductos lineales. De todas estas técnicas son de especial interés las que permiten obtener perfiles de longitud y sección adecuada para su uso en bastidores de fachada.





Fig.D2.1. Tochos de aluminio

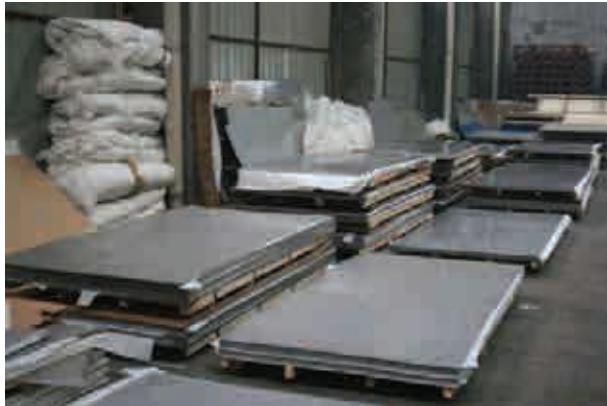


Fig.D2.2. Planchas de acero

Estas técnicas de transformación se han clasificado según dos parámetros que pueden condicionar los usos finales de los semiproductos:

1) El primer parámetro está relacionado con la forma del material antes de iniciar el proceso de transformación: volumétrica o plana.

- Entendemos por transformación volumétrica al proceso de transformación que parte de un volumen de material (tocho) y lo conforma en elementos lineales de sección delgada (Fig.D2.1).
- Entendemos por transformación plana al proceso de transformación que parte de láminas delgadas de material y lo conforma en elementos lineales de sección delgada (Fig.D2.2).

2) El segundo parámetro está relacionado con el propio proceso de transformación y su capacidad de producción: continuo o por unidades

- La producción en continuo se caracteriza en que la longitud del elemento producido no responde a la longitud del elemento en el uso.
- La producción por unidad se caracteriza en que la longitud del elemento producido, generalmente, coincide con la longitud en el uso.

Bajo esto dos parámetros de forma y de proceso de producción podemos clasificar las distintas técnicas de transformación industrial según la tabla siguiente:

		PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN	
		<i>Producción en continuo</i>	<i>Producción por unidad</i>
<b>FORMA DEL MATERIAL</b>	<i>Transformación Plana</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Perfilado</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Plegado</b></li> </ul>
	<i>Transformación Volumétrica</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Extrusión</b></li> <li>• <i>Laminado</i></li> <li>• <i>Estirado</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Forjado</i></li> <li>• <i>Colado</i></li> </ul>
<b>Transformaciones complementarias</b>		<i>Corte / Estampado / Remoción / Ensamblaje</i>	

De todas las técnicas de transformación primaria de los semiproductos lineales se analizarán la extrusión, el perfilado y el plegado, ya que son las que nos permiten obtener los semiproductos lineales para la conformación de componentes planos de fachada.

### 2.3 Transformación plana para la conformación de semiproductos lineales

El uso generalizado del acero en los procesos de transformación planos es debido a su elevada maleabilidad y facilidad para ser transformado mediante operaciones de plegado sin que este pierda excesiva capacidad resistente en las zonas debilitadas.

La industria siderúrgica suministra el acero en forma de láminas planas individuales (Fig.D2.3) o en bobinas de láminas continuas de acero (Fig. D2.4) que en cualquier caso pueden ser de diversos espesores en función del uso final.

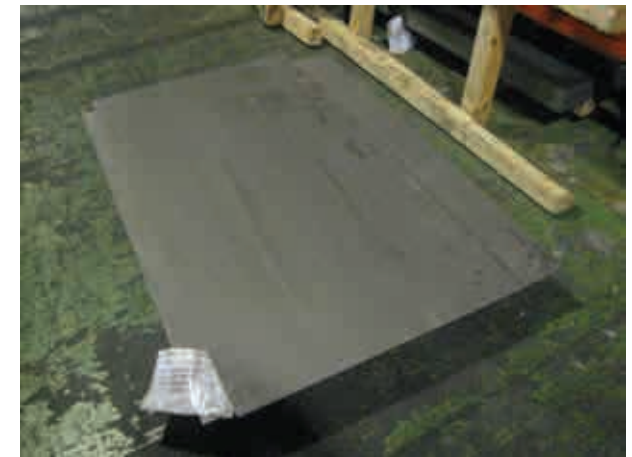


Fig.D2.3. Planchas individuales de acero negro sin tratar



Fig.D2.4. Bobinas de acero para el perfilado

El interés por un suministro en forma de laminas o bobinas dependerá de la técnica de transformación que queramos desarrollar, generalmente utilizaremos laminas individuales para el plegado y bobinas continuas para el perfilado.

Aunque estas técnicas de transformación del acero reciben nombres distintos debido al proceso industrial, en los dos casos partimos de una lamina plana que mediante operaciones de plegado, ya sean por unidades o en continuo, obtenemos perfiles de más o menos complejidad geométrica.

Actualmente la industria del transformado de láminas de acero ha desarrollado dos técnicas:

- 1) Mediante plegadoras donde se obtienen una producción por unidades.
- 2) Mediante líneas de plegado (rollforming) donde se obtiene una producción continua.



Fig.D2.5. Plegadora hidráulica para láminas individuales

### **2.3.1 El plegado. Transformación plana por unidades**

Actualmente la industria dispone con facilidad de maquinas de plegado para chapas de entre 1.250mm a 6.100mm de longitud (Fig. D2.5). Para lograr el plegado de elementos mayores muchas veces se disponen 2 máquinas en serie para conseguir plegar el doble de la longitud.

El punzón y la matriz son los dos principales utillajes a diseñar para la obtención del perfil plegado. Siempre existe una relación entre ambos porque a través de estos conseguimos el ángulo de plegado y la sección final.

En muchos casos la matriz puede ser invariable y es el diseño del punzón el que nos permitirá conseguir una sección plegada más o menos compleja. Si utilizamos punzones lineales conseguiremos secciones abiertas, perfiles en forma de 'V', y para el diseño de perfiles en forma de 'C' podemos utilizar los punzones plegados (Fig. D2.6).

- **Una de las principales restricciones del doblado de chapas mediante plegadoras es la imposibilidad de conseguir perfiles de sección cerrada. El propio proceso lo imposibilita.**

Durante todo proceso de plegado de una chapa debe considerarse el 'spring-back' que actúa como 'efecto memoria' del material. Debido a la elevada elasticidad del material este tiende a recuperar la forma inicial de antes del plegado siempre y cuando no se haya alcanzado el límite elástico de la chapa durante el proceso.

En la zona de plegado de una chapa la parte interior quedará comprimida y la cara exterior traccionada. Normalmente la resistencia a compresión será mayor que la resistencia a tracción, la cara exterior quedará permanentemente deformada si supera el límite elástico, mientras que la cara interior no lo habrá alcanzado y tenderá a recuperar la forma inicial generando el 'spring-back' o retorno elástico (Fig. D2.7).

Este efecto se puede minimizar en función del tipo de plegado:

### **Plegado parcial o al aire**

El proceso de plegado de la chapa se realiza mediante 3 puntos de contacto, uno en el punzón y dos en la matriz (Fig. D2.8).

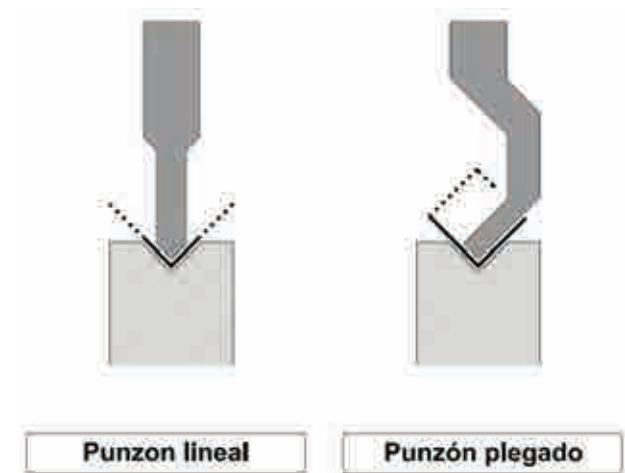


Fig.D2.6. Punzones de plegado.

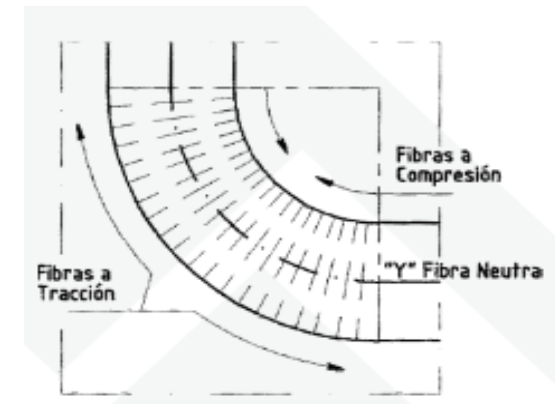


Fig.D2.7. Detalle de las fibras de un doblado

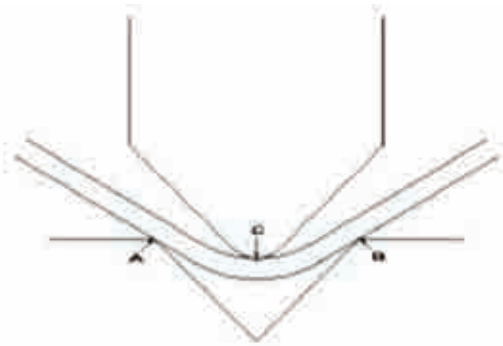


Fig.D2.8. Plegado parcial o al aire

Con este tipo de plegado podemos conseguir gran variedad de ángulos sin tener que cambiar los utillajes tan solo controlando la penetración del punzón en la matriz. Con un punzón y una matriz de  $40^\circ$ , podemos conseguir todos los ángulos de plegado desde los  $180^\circ$  de la chapa plana hasta los  $40^\circ$  de la matriz.

Durante el proceso de plegado la fuerza ejercida por la maquina es relativamente pequeña y permite utilizar plegadoras de bajo tonelaje, pero deben basarse en sistemas de CNC para el control preciso de los dos aspectos más importantes durante el plegado: la profundidad de penetración del punzón y el efecto 'spring-back' de la chapa.

### Plegado a fondo

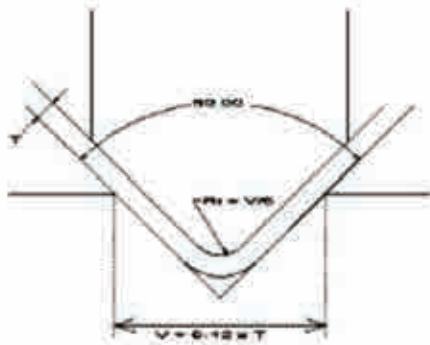


Fig.D2.9. Plegado a fondo

El sistema de plegado a fondo necesita de utillajes específicos para cada tipo de plegado. El ángulo de plegado dependerá del punzón y la matriz utilizados (Fig. D2.9).

El radio interior de la chapa es  $1/6$  de la anchura de V y esta varía entre 6 y 12 veces el espesor de la chapa. El radio interior de plegado será igual al espesor de la chapa para chapas finas y el doble para chapas gruesas.

En este sistema de plegado también es importante el efecto 'spring-back', por este motivo se disponen de diversos utillajes con pequeñas variaciones en los ángulos para poder compensar el efecto sin tener que recurrir a maquinarias con sistemas de CNC.

### **Acuñado o estampado**

Es sistema de acuñado o estampado precisa también de utillajes específicos para cada tipo de plegado y una maquinaria de 5 a 8 veces más tonelaje que las del plegado a fondo pero las ventajas respecto a este sistema es la mayor precisión, la reducción del ángulo de plegado y la minimización del efecto 'spring-back' (Fig. D2.10).

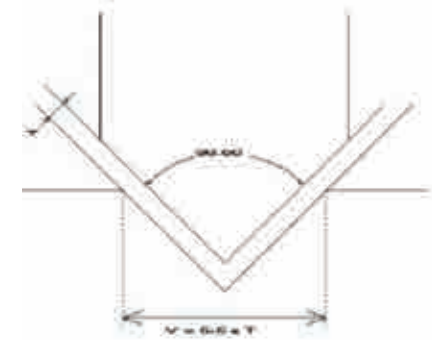


Fig.D2.10. Acuñado o estampado

### **2.3.2 Ventajas y limitaciones del plegado para la obtención de semiproductos lineales**

A continuación se citan los aspectos más importantes que pueden influir en la elección de esta técnica de transformación geométrica para la obtención de semiproductos lineales como perfiles de los bastidores de fachada:

#### **Ventajas**

- **Proceso industrial flexible**

Una de las principales ventajas de las industrias que desarrollan el plegado es su flexibilidad. Gracias a la simplicidad del proceso, la maquinaria y una importante intervención de la mano de obra, permite introducir modificaciones con cierta facilidad a la línea de producción (Fig. D2.11).



Fig.D2.11. Intervención de la mano de obra durante el proceso de plegado





Fig.D2.12. Plegado de elemento de chapa de 2,5m de longitud.  
Empresa Folcrá



Fig.D2.13. Chapas plegadas de sección abierta. Empresa CMC

- **Series cortas**

Posiblemente este sea un sistema muy adecuado para las series cortas sin que estas se vean penalizadas económicamente. Los costes iniciales de desarrollos de matriz o punzones rápidamente pueden verse amortizados con la repetitividad del producto.

En cambio para las series largas esta técnica pierde competitividad frente a las de producción continua. La elevada intervención de la mano de obra en el proceso encarece excesivamente la producción.

#### Limitaciones

- **Precisión**

Debido a una importante intervención manual durante el proceso de plegado, pueden acumularse algunos errores durante la ejecución, minimizando las garantías y aumentando las tolerancias de producción.

- **Longitud**

Considerando nuestro interés por los semiproductos lineales esta técnica encuentra una de sus principales limitaciones en la propia máquina de plegado para la que la longitud máxima está alrededor de los 6 metros (Fig. D2.12).

- **Sección**

La propia técnica de plegado impide la ejecución de perfiles de sección compleja y cerrada (Fig. D2.13). Limitando la capacidad de diversificar la producción de semiproductos lineales.



### 2.3.3 El perfilado. Transformación plana en continuo

El doblado por producción continua no deja de ser una técnica específica del plegado llamada perfilado. Se desarrolla en líneas de perfilado, máquinas previstas de rodillos que definen la secuencia de plegado que irá transformando el perfil hasta conseguir la sección final deseada (Fig. D2.14).

Los espesores de la chapa se sitúan entre 0,5 y 2mm y el suministro se realiza en bobinas, esto permite plegado continuo de perfiles de distintas longitudes a través del corte con una velocidad de producción de entre 5-15m/min.

Para el desarrollo del plegado continuo es necesario el diseño de la 'flor'. La 'flor' define el número y ángulo de plegado de las distintas estaciones o rodillos (Fig. D2.15<sup>1</sup>). Normalmente la distancia entre estaciones de plegado es de 50 a 100 cm y los ángulos entre 5 y 15°. Pero finalmente el diseño de la 'flor' es específico para cada perfil en función del espesor de la chapa y la sección definitiva.

#### Estudio de la sección

Es de interés para el presente estudio centrarse en las posibilidades del perfilado para la obtención de diversas secciones de los semiproductos lineales.



Fig.D2.14. Máquina de perfilado. Tecnalia-Roll Forming.

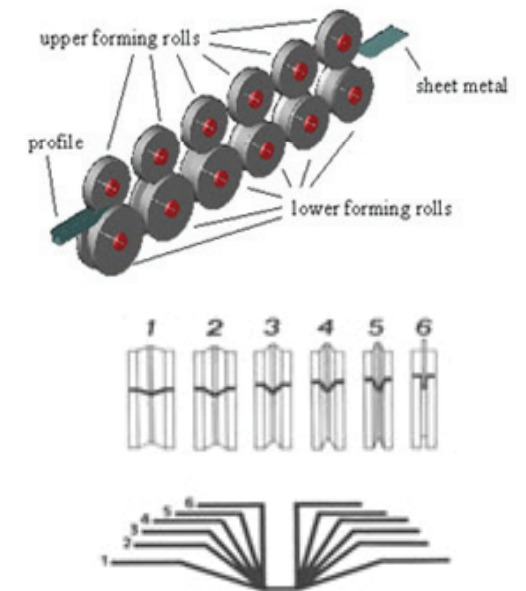


Fig.D2.15. Estudio de la 'flor' para el perfilado de una sección 'omega'. Tecnalia

<sup>1</sup> Fig.15. '1st International Congress on Roll Forming' - 2009

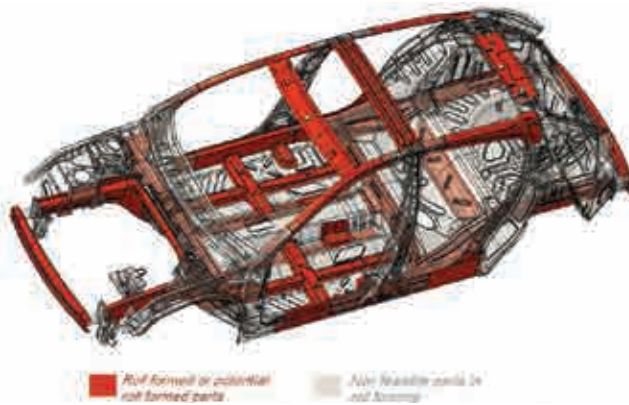


Fig.D2.16. En rojo: perfiles potenciales para desarrollarse mediante la técnica del 'Rollforming'. Tecnalia



Fig.D2.17. Desarrollo de la sección para perfil de sección cerrada mediante la técnica del 'Rollforming'. Tecnalia

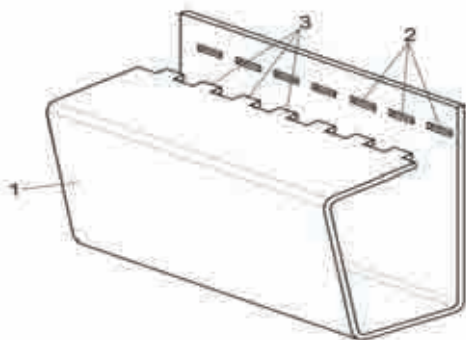


Fig.D2.18. Desarrollo de perfil de sección cerrada con sistema de fijación. Tecnalia

Actualmente la industria del automóvil está desarrollando sistemas de perfilado que permitan la obtención de perfiles más complejos y que contemplan el desarrollo de las secciones cerradas. Muchos de los perfiles producidos por estampación que conforman el bastidor de un automóvil están siendo substituidos por mejores procesos de perfilado que consiguen una mayor producción y un abaratamiento de los costes (Fig. D2.16<sup>2</sup>)

La evolución en este sector nos permitirá el desarrollo de perfiles mucho más complejos para el sector de la construcción.

### Perfiles de sección abierta y cerrada

Las secciones más habituales obtenidas a través del perfilado continuo han sido secciones abiertas. Los perfiles utilizados en trasdosados, tabiquerías interiores y cielos rasos son generalmente obtenidos a través de la mecanización por perfilado continuo.

Estos semiproductos lineales, generalmente han dado respuesta a requerimientos mecánicos y de montaje de un sistema, que con sencillas secciones generalmente abiertas han sido suficiente.

Actualmente sofisticados sistema de perfilado están permitiendo contemplar las múltiples posibilidades en la obtención de perfiles cerrados que en algunos casos contemplan mecanismos de fijación (Fig. D2.17<sup>2</sup> y D2.18<sup>2</sup>).

<sup>2</sup> Fig. 16, 17 y 18. Imágenes del '1st International Congress on Roll Forming' - 2009

### Perfiles de ancho y alto variable

La disponibilidad de la tecnología CNC en los procesos de perfilado continuo está llevando a cabo una importante evolución en la obtención de los perfiles. Si hasta ahora los perfiles obtenidos se diferenciaban por su sección constante, abierta o cerrada, ahora ya podemos introducir dos variables más, el ancho y el alto.

Para conseguir perfiles de sección variable debemos iniciar la manipulación de la chapa antes de la secuencia de perfilado modificando su geometría. Gracias a la tecnología disponible, podemos introducir el corte por laser al inicio y a la misma velocidad de producción de la máquina de perfilado, para obtener diversos tipos de perfil (Fig. D2.19):

- I. *La obtención de un perfil de altura variable se consigue mediante un proceso de perfilado constante en base a una chapa de geometría variable (1).*
- II. *La obtención de un perfil de ancho variable se consigue mediante un proceso de perfilado variable paralelo a los límites de la chapa (2).*
- III. *La combinación de ambos sistemas permite la obtención de perfiles variable en altura y anchura simultáneamente.*

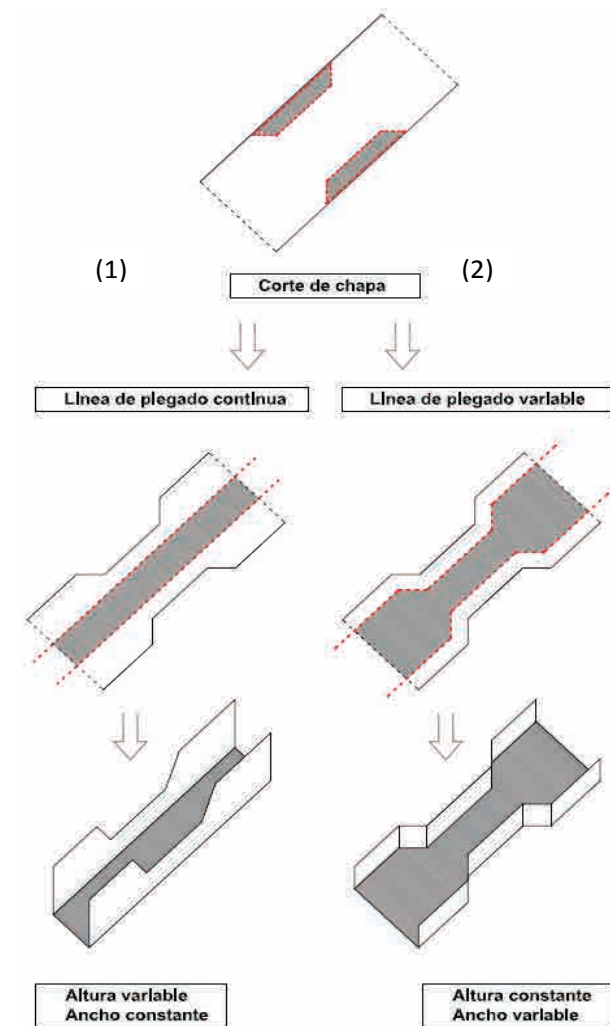


Fig.D2.19

- (1) *Proceso de perfilado constante para la obtención de perfil de altura variable.*
- (2) *Proceso de perfilado variable para la obtención de perfil de altura constante.*



Fig.D2.20. Perfiles de sección variable. Rollforming en Tecnalia



Fig.D2.21. Simulación de perfiles propuestos por la empresa Welsper Profile

### 2.3.4 Ventajas y limitaciones del perfilado para la obtención de semiproductos lineales

Una vez conocidas las posibilidades de la técnica del perfilado ahora podemos analizar las en función de nuestras necesidades para el desarrollo de un bastidor de fachada.

#### Ventajas

- **Proceso industrial flexible**

La flexibilidad del proceso industrial se consigue gracias a los sistemas CNC permitiendo una eficiente manipulación de la maquinaria.

Tradicionalmente los sistemas de perfilado en continuo eran poco flexibles obligando a ejecutar perfiles sencillos para grandes producciones. Pero a través de innovadores sistemas de software el proceso productivo ha adquirido una mayor flexibilidad. Ahora podemos desarrollar perfiles de sección variable e incluso de sección cerrada (Fig. D2.20).

También podemos incorporar transformaciones secundarias como embuticiones, cortes y ensamblajes en la propia línea de producción obteniendo complejos perfiles que hasta hace poco solo se podían desarrollar mediante estampación (Fig. D2.21).

- **Precisión**

Gracias a la amplia automatización del proceso y la poca intervención de la mano de obra garantiza una producción de elevada precisión.

- **Longitud**

Gracias a la producción en continuo podemos garantizar las longitudes de perfil deseadas, independientemente de la repetición. El suministro de los semiproductos puede realizarse en longitudes iguales o cortados a medida según necesidad optimizando la cantidad de desperdicios realizados (Fig. D2.22).

- **Sección**

Como ya hemos visto la tecnología actual permite la obtención de prácticamente cualquier geometría de perfil acercándolo cada vez más a la capacidad productiva de la técnica de extrusión.



*Fig.D2.22. Perfiles conformados con 'Roll Forming' de longitudes variables de entre 8-12m.*

### **Limitaciones**

- **Elevada inversión**

Tanto la maquinaria utilizada, el software de soporte y la gestión de este representa una importante inversión inicial que muchas veces se ve frenada por la falta de una demanda sólida.

- **Series largas**

El sistema productivo está preparado para desarrollar sobretodo series largas. La importante inversión inicial en maquinaria y la adaptación de esta para cada perfil nuevo, demanda una producción elevada que muchas veces obliga a producir miles de metros de perfil.





Fig.D2.23. Instalaciones para la extrusión. Empresa Exal.



Fig.D2.24. Tochos de aluminio a la espera del proceso de extrusión. Empresa Exal.

## 2.4 Transformación volumétrica para la conformación de semiproductos lineales

### 2.4.1 La extrusión. Transformación volumétrica en continuo

El aluminio dispone de una menor capacidad a la maleabilidad que el acero y generalmente la modificación de láminas por plegado debilita mucho la zona plegada invalidando muchas veces su capacidad resistente.

Este hecho, añadido a un punto de fusión muy inferior al del acero (1.200°C vs 660°C) plantea una técnica distinta de transformación del metal para la obtención de semiproductos lineales, en este caso la extrusión.

El proceso de extrusión del aluminio requiere unas condiciones industriales muy específicas que obligan a una gran inversión inicial. Habitualmente, estas industrias dedican toda su actividad a la extrusión y casi nunca desarrollan transformaciones complementarias al elemento (Fig. D2.23).

Esta es una de las principales diferencias con la industria del perfilado del acero donde muchas veces en el propio proceso industrial se realiza transformaciones como el corte, la remonición, la embutición o incluso el ensamblaje.

- ***El proceso de extrusión en prensa, ya sea por el método directo o el inverso, es una conformación por deformación plástica de un cilindro de***

aluminio mediante presión con disco contra una matriz que definirá la geometría deseada<sup>3</sup> (Fig. D2.24).

### Extrusión por método directo e indirecto

En la extrusión por método directo la matriz permanece inmóvil esperando la presión ejercida por el vástago contra el tocho de aluminio mientras que en el método inverso matriz y vástago avanzan contra el obturador generando la presión deseada. En cualquier caso el semiproducto lineal obtenido es idéntico (Fig. D2.25).

El tocho de aluminio es la materia prima del proceso de extrusión. Puede suministrarse tanto de aluminio primario como aluminio reciclado, o secundario. El suministro del tocho no acostumbra a superar los 7 metros y los 500mm de diámetro, pero debe ser cortado a las dimensiones adecuadas a la prensa de extrusión en longitudes de 2 a 4 veces el diámetro.

### Pre calentamiento del tocho

Antes de iniciar las operaciones de extrusión el tocho se precalienta a unos 400°C o 500°C dependiendo del tipo de aleación, para conseguir la máxima plasticidad ante la matriz de extrusión sin alcanzar su punto de fusión.

El pre calentamiento se realiza en hornos lineales continuos donde se introduce el tocho inicial antes de cortar. Una vez calentado se corta a la longitud adecuada en función del diámetro y se inician los trabajos de extrusión (Fig. D2.26).

<sup>3</sup> 'Manual de producto. Fachadas ligeras' – ASEFAVE

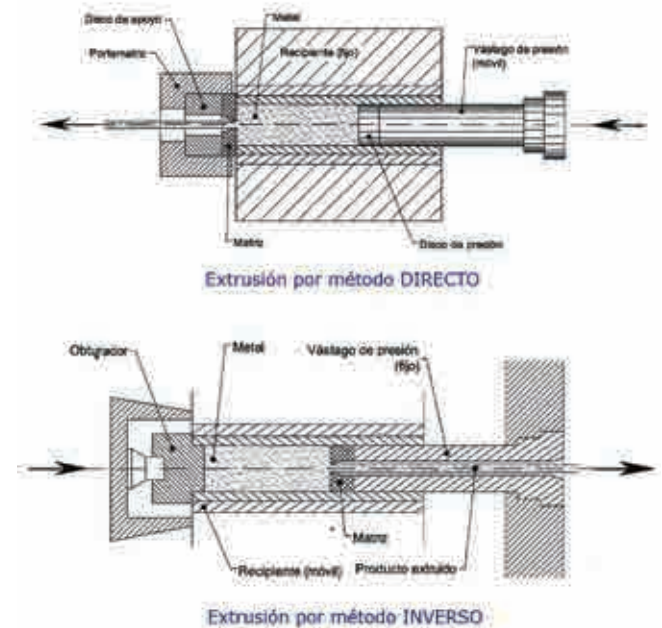


Fig.D2.25. Dos métodos para la extrusión: directo e indirecto. 'Manual de producto. Fachadas ligeras' de ASEFAVE



Fig.D2.26. Horno lineal para el pre calentamiento del tocho de aluminio a 400 o 500°C



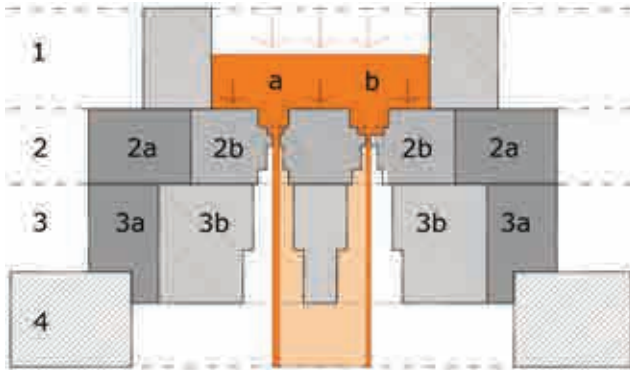


Fig.D2.27. Sección por los elementos necesarios para la extrusión:

1-Recipiente; 2-Matriz; 3-Bolster; 4-Puerta extrusión



Fig.D2.28. Matriz de extrusión para perfil de sección abierta.



Fig.D2.29. Matriz para extrusión de perfil de sección cerrada

### Principales elementos para la extrusión

Los dos principales elementos para poder realizar la extrusión y que deben cambiarse para cada perfil diferente son: el 'bolster' (3) y la matriz (2).

La matriz define la sección del perfil a extruir y es la que recibe toda la presión directa del tocho de aluminio. Para el diseño de la matriz no solo debe considerarse el dibujo de la sección final que queramos obtener, sino que debemos tener en cuenta la fricción del aluminio fluido con el acero y el equilibrio de presiones en la embocadura de la matriz.

Para una extrusión completamente perpendicular al plano de la extrusión debe de establecerse un el equilibrio entre ambos conceptos (presión y rozamiento) de tal forma que la velocidad de salida de aluminio (caudal) por la matriz sea la misma en todos los puntos del perfil final (Fig. D2.27. a y b).

La matriz está desarrollada mediante acero de alta resistencia y con un elevado punto de fusión, conformada con técnicas de fresado mediante sistemas de control numérico hasta conseguir la geometría deseada para el perfil.

Podemos diferenciar dos grandes grupos de matrices en función del perfil que queramos obtener:

-Si el perfil es de geometría abierta utilizaremos una matriz simple formada por un solo disco que define la sección del perfil (Fig. D2.28).

-Si el perfil es de geometría cerrada la matriz será más compleja y estará formada por dos discos que sumados definen la sección del perfil. El primer disco (rojo) recibe

la presión del tocho de aluminio y es el encargado de gestionar el flujo de aluminio antes de pasar por la intersección entre ambos discos que definirá la sección final del perfil (Fig. D2.29).

Para que la presión del aluminio no deforme el disco de la matriz y altere la sección del perfil a largo de los usos y kilómetros de extrusión, es necesario el uso del 'bolster' (Fig. D2.30).

El 'bolster' actúa como refuerzo a las tensiones del disco de la matriz. Tiene las mismas dimensiones y perforaciones parecidas a las de la matriz pero nunca contacta con el perfil extruido, este pasa a través de sus perforaciones que dibujan la envolvente del perfil, pero ayuda a contener la flexión que puede sufrir la matriz.

### **Aspectos comunes**

Para poder iniciar un correcto proceso de extrusión y evitar un choque térmico y en consecuencia una bajada brusca de la temperatura del aluminio en contacto con la matriz, esta también debe ser precalentada a la misma temperatura del tocho.

El uso de los collarines, tanto para matrices como para 'bolsters' permite utilizarlos en distintas máquinas de extrusión cuando las bocas de extrusión tienen diámetros distintos. El collarín asume la holgura y compatibiliza los usos diversos.

### **Proceso de extrusión**

El proceso de extrusión del aluminio se realiza mediante máquinas que activan una presión hidráulica en el pistos de entre 1.600 y 6.500 toneladas con una capacidad de producción en función de la complejidad de la matriz de entre 5 y 80 m/min.



*Fig.D2.30. Bolster para el soporte de presiones de la matriz*



*Fig.D2.31. Boca de salida. Enfriamiento progresivo del perfil mediante calor.*



Fig.D2.32. Bancada con mordazas para el estirado y rectificado de la curvatura de los perfiles después de la extrusión

La producción del perfil es en continuo y posteriormente se corta en función de la capacidad dimensional de la industria y las propias condiciones de producción. Debe tenerse en cuenta que muchas veces cuando la sección del perfil es asimétrica puede producirse una pequeña curvatura que se hace más evidente con el incremento de la longitud.

Una vez el perfil sale de la máquina de extrusión se enfría de forma progresiva mediante aire caliente para evitar el choque térmico con la temperatura ambiente (Fig. D2.31).

Posteriormente es dispuesto sobre una bancada para proceder a rectificar la pequeña curvatura de la extrusión mediante dos mordazas en los extremos aplicando una fuerza a tracción (Fig. D2.32).

Debemos tener en cuenta que la longitud de producción para un perfil de extrusión puede llegar hasta los 45m y que posteriormente, en función del proceso que queramos aplicar al perfil (templado, anodizado, mecanizado, curvado, etc...) lo cortaremos a la longitud necesaria (Fig. D2.33).

Llegados a este punto ya podemos considerar que hemos conformado un semiproducto lineal mediante el proceso de extrusión del aluminio. Ahora solo queda empaquetarlos y suministrarlos

Normalmente, todas las modificaciones que queramos realizar al semiproducto lineal se desarrollaran por otras industrias especializadas en la transformación y conformación de componentes (Fig. D2.34).

TABLA DE LONGITUDES DE PRODUCCIÓN DE UN SEMIPRODUCTO LINEAL DE ALUMINIO	
Proceso	Longitud máxima por unidad*
Extrusión	45.000 mm
Templado	28.000 mm
Anodizado	7.000 mm
Lacado	7.500 mm
Mecanizado	21.000 mm
Curvado	14.000 mm
Ensamblado (rotura puente térmico)	7.500 mm

\*Fuente: Exlabesa (empresa de extrusión del aluminio)

Fig.D2.33. Tabla de longitudes máximas de perfiles según el tratamiento superficial posterior.

### 2.4.2 Ventajas y limitaciones de la extrusión para la obtención de semiproductos lineales

Como sabemos, esta técnica de producción con el aluminio es la más utilizada para conformar los perfiles que después utilizaremos en los bastidores de fachada ligera.

#### Ventajas

- **Precisión**

Gracias a la elevada plasticidad del aluminio a altas temperaturas durante el proceso de extrusión permite obtener perfiles complejos de delgadas paredes. La precisión de la matriz es copiada con exactitud en toda la longitud del perfil.

- **Longitud**

El propio proceso de producción, prácticamente en continuo, es capaz de generar semiproductos lineales de hasta 45m de longitud.

- **Sección**

El proceso de extrusión permite obtener infinidad de secciones para un perfil.

#### Limitaciones

- **Proceso industrial poco flexible**

Durante el proceso de extrusión tan solo se define la sección del perfil. Todas las operaciones de transformación secundaria (remonición, corte, perforación, etc...) deben realizarse a posteriori, fuera de este proceso industrial.



Fig.D2.34. Acopio de perfiles preparados para el suministro a otras empresas de transformación

- **Series largas**

La cantidad mínima admisible para iniciar las operaciones de extrusión genera muchas veces miles de metros de perfil extruido.

- **Elevada inversión**

Las industrias dedicadas a la extrusión del aluminio necesitan de una importante inversión de capital.

### **DESARROLLO 3**

**La conformación de componentes planos de fachada mediante perfiles extruidos de aluminio. Sistema *Unitized* para fachada ligera**





### 3 La conformación de componentes planos de fachada mediante perfiles extruidos de aluminio. Sistema Unitized para fachada ligera

#### 3.1 Introducción

En este capítulo se analizarán los procesos de conformación de los módulos de fachada para componentes tipo *Unitized* de muro cortina basados en bastidores formados por perfiles de aluminio extruido (Fig. D3.1).

Antes de iniciar el análisis del proceso y las técnicas que permiten la conformación de dichos bastidores, cabe diferenciar los dos procesos industriales que lo hacen posible:

I. Proceso de transformación primaria de los perfiles. La extrusión.

Este proceso se desarrolla en industrias de transformación primaria de los materiales y es la encargada de conformar los semiproductos lineales o perfiles de aluminio. Las técnicas de conformación pueden encontrarse en el apartado '2.4. Transformación volumétrica para la conformación de semiproductos lineales' del 'Desarrollo 2'.

II. Proceso de conformación de los componentes planos para muro cortina.

Este es el proceso del presente desarrollo, que principalmente a través de las técnicas de corte y ensamblaje nos permitirá obtener los bastidores de fachada basados en los perfiles de aluminio previamente transformados.



*Fig.D3.1- Montaje de una fachada ligera mediante componentes Unitized. Porta Firal de Barcelona. Arq.Oscar Tusquets 2012*



*Fig.D3.2- Línea de montaje de Módulos de la empresa NBK Ceramic*

Estos dos procesos se desarrollan en industrias independientes. A diferencia de las industrias dedicadas a la conformación de bastidores de fachada basados en perfiles plegados de acero galvanizado, la inversión y especialización que supone el proceso de extrusión del aluminio ha llevado a una independencia industrial entre ambas actividades.

En efecto, las industrias encargadas de la extrusión de los perfiles de aluminio nunca dedican parte de su actividad a conformar componentes, puesto que su actividad económica está basada en la comercialización de toneladas de aluminio conformado. Semiproductos.

Por el contrario, las empresas que orientan su actividad a la conformación de componentes de fachada limitan su actividad a la transformación y ensamblaje de los semiproductos, y su mercado se centra en el desarrollo de elementos constructivos y sus prestaciones (Fig. D3.2).

Por lo tanto, para el desarrollo de este capítulo asumimos que la primera transformación del aluminio ya ha sido realizada e iniciamos los análisis de conformación a partir de la recepción de los perfiles extruidos.

### **3.2 Caracterización de los semiproductos lineales utilizados en los bastidores**

#### **3.2.1 Perfil de aluminio**

El tipo de aluminio considerado para la conformación de los bastidores es la aleación 6063 con magnesio silicio. Su facilidad para las operaciones de extrusión, el buen acabado para

posterior anodizado y la facilidad por ser soldado con gas inerte de tungsteno, le han convertido en la aleación más utilizada en este tipo de aplicaciones.

Como sabemos, para poder realizar el proceso de extrusión de un perfil será necesario el diseño y la conformación de una matriz. Su coste puede estar entre los 1.000 o 3.000€ en función de la complejidad de la sección del perfil. Como es razonable, este coste debe amortizarse durante la producción de los perfiles hasta el punto de poder despreciarlo.

Generalmente podemos considerar que a partir de los 4.000 o 5.000 m de extrusión dicho coste queda amortizado (Fig. D3.3). Aunque de entrada parezca una producción elevada, tenemos que considerar que las industrias de conformación de ventanas o en nuestro caso de componentes modulares para muro cortina, utilizan el mismo tipo de perfil en diversos proyectos, generando las Series o Gamas.

Teniendo en cuenta los costes del material en bruto y los costes de la matriz, podemos considerar que el coste de un perfil extruido de aluminio oscila entre los 2,8 i 3,5€/kg, dependiendo del cambio Dólar-Euro, de las variaciones del mercado de los metales y del precio del petróleo.

Estos precios aplicados a unos perfiles tipo A y B (Fig. D3.4) para un sistema Modular de muro cortina nos genera un coste aproximado de entre 6 y 10€/ml de perfil de aluminio sin tratar superficialmente.

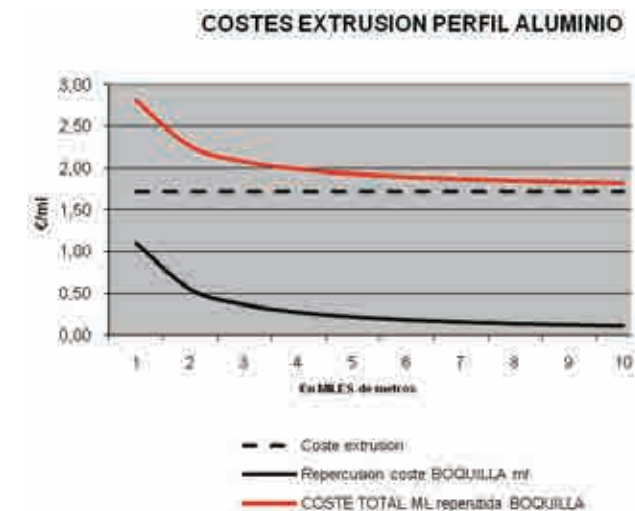


Fig.D3.3- Amortización del coste la matriz de extrusión de Aluminio

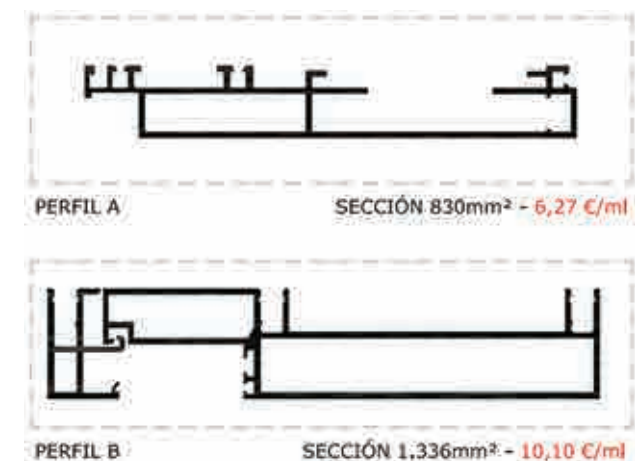


Fig.D3.4- Costes de perfiles extruidos por metro lineal

### 3.2.2 Tratamientos superficiales

En la fase de tratamientos de protección y acabado de los perfiles (Fig. D3.5) es donde encontramos una de las primeras limitaciones geométricas que pueden afectar al componente final. Por ejemplo, los sistemas de inmersión para anodizar y lacar los perfiles limitan la longitud máxima del perfil en 7 y 7,5m respectivamente.

Esto, condiciona la dimensión máxima para un componente con perfil continuo en 7m teniendo en cuenta las mermas por corte. Aunque existe la posibilidad de ensamblar perfiles mediante mechas para poder lograr longitudes mayores no es recomendable dado que puede afectar a la estanqueidad del sistema.

Los costes aproximados según tratamientos superficiales medidos en metros cuadrados de superficie de perfil pueden oscilar entre los 2,1€/m<sup>2</sup> para un anodizado natural de 15 micras y los 4€/m<sup>2</sup> para un anodizado negro. Para los lacados de color estándar el coste es de unos 2€/m<sup>2</sup> mientras que para los colores especiales es de 3€/m<sup>2</sup>.

### 3.2.3 Gomas de estanqueidad

La estanqueidad de los sistemas modulares de muro cortina se resuelve mediante gomas de EPDM o silicona colocadas en la 'cajas' de los perfiles debidamente diseñadas (Fig. D3.6). Una de las principales ventajas de la silicona es la posibilidad de colorearla, consiguiendo una mayor integración en el conjunto del sistema

TABLA DE LONGITUDES DE PRODUCCIÓN DE UN SEMIPRODUCTO LINEAL DE ALUMINIO	
Proceso	Longitud máxima por unidad*
Extrusión	45.000 mm
Templado	28.000 mm
Anodizado	7.000 mm
Lacado	7.500 mm
Mecanizado	21.000 mm
Curvado	14.000 mm
Ensamblado (rotura puente térmico)	7.500 mm

\*Fuente: Exlabesa (empresa de extrusión del aluminio)

Fig.D3.5- Tabla de longitudes máximas de perfil según tratamientos



Fig.D3.6- Junta de estanqueidad de los componentes Unitized. Sistema Reynaers CW65-SG

Los costes asociados al diseño y producción de las boquillas de extrusión giran en torno a los 300-500€ con un coste de producción de entre 0,20 y 0,40 €/ml en EPDM y silicona respectivamente.

Estas juntas de goma también se producen mediante extrusión y del mismo modo que sucede con los perfiles de aluminio, la matriz puede considerarse amortizada a partir de los 4.000 o 5.000ml de producción (Fig. D3.7a).

Una vez finalizada la conformación del componente de fachada se colocaran en las cajas de gomas. Dependerá de la estrategia del sistema modular que estas gomas garanticen la estanqueidad del sistema de fachada mediante el contacto entre las gomas del otro módulo (Gomas A) o por la inserción de estas en el otro perfil (Gomas B) (Fig. D3.7b).

En cualquiera de los dos casos es muy habitual que para garantizar dicha estanqueidad del sistema de fachada el perfil disponga de tres planos de estanqueidad, donde normalmente los dos más exteriores responden a la estanqueidad al agua, generando una cámara drenada, y el tercero al interior a la estanqueidad al aire.

Pero, finalmente la estanqueidad del sistema se consigue en obra enfrentando los perfiles perimetrales de cada uno de los módulos de la fachada sin necesidad de sellados 'in situ', donde la geometría de las gomas determinará las tolerancias del montaje y de los movimientos de la fachada en servicio.

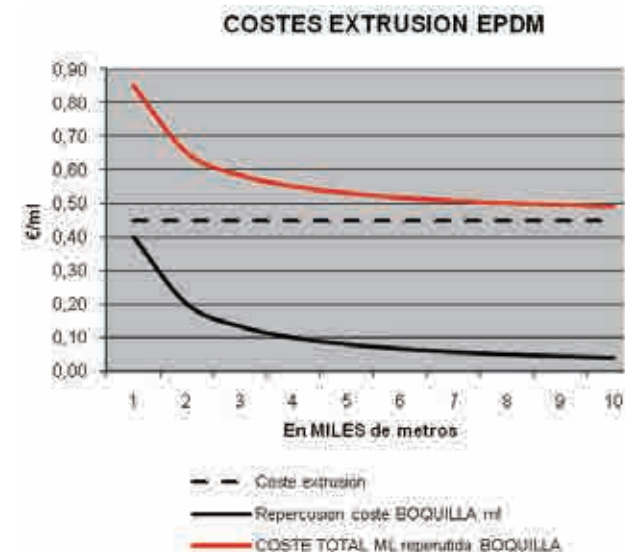


Fig. D3.7a- Amortización del coste la matriz de extrusión de

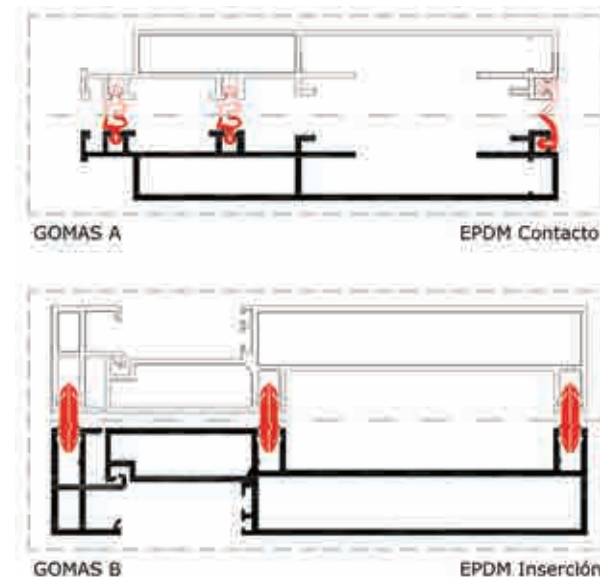


Fig.D3.7b- Ubicación de las gomas de EPDM en el perfil





Fig.D3.8- Industria de montaje de módulos para muro cortina.  
Empresa Technocladd

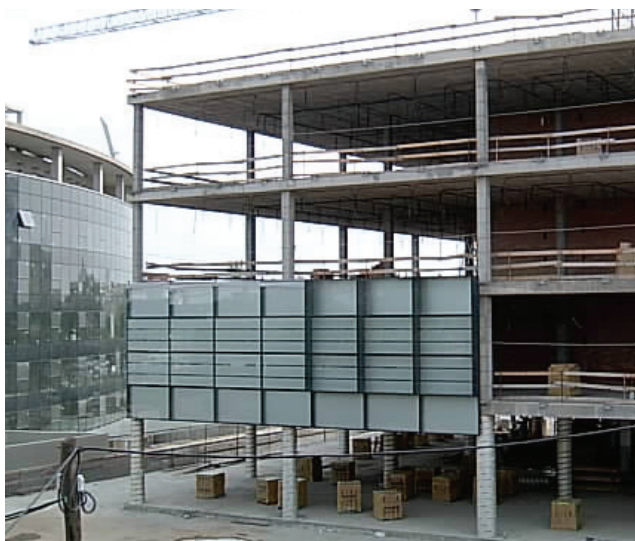


Fig.D3.9- Módulos de fachada con subdivisión de tres perfiles  
intermedios. Sede MRW Barcelona. Empresa Technocladd

### 3.3 El modelo industrial

Las industrias gamistas encargadas de desarrollar los componentes *Unitized* para muro cortina limitan su actividad a la transformación y ensamblaje de los semiproductos y/o componentes previamente transformados por otras industrias primarias. A diferencia de las industrias que desarrollan componentes de fachada basados en perfiles plegados de acero galvanizado, estas acostumbran a conformar componentes completos y acabados.

Como veremos estas industrias han desarrollado su propia tecnología basada en los sistemas de CNC – *Computer Numerical Control* – lo que les ha permitido obtener un proceso de producción ágil y ‘just-in-time’, con una elevada capacidad para conformar componentes para cortas series de producción (Fig. D3.8).

### 3.4 Conformación de componentes para fachada tipo Unitized

Del proceso de conformación de un componente de muro cortina prestaremos especial atención en la definición de la forma del componente, en la conformación del bastidor o esqueleto.

La estructura elemental de un modulo de estas características está formado por un marco perimetral cerrado, a base de perfiles de aluminio extruido y posteriormente plementado con semiproductos o componentes planos que garantizan las prestaciones del cerramiento y el acabado.

Generalmente, este modulo básico que hemos descrito puede subdividirse con perfiles intermedios dependiendo de los requerimientos mecánicos, funcionales o de composición

de la fachada del proyecto pero que en cualquier caso siempre se desarrollara bajo la misma técnica industrial (Fig. D3.9).

A continuación describimos cada una de las operaciones necesarias, las técnicas y los tiempos necesarios para la conformación de un componente *Unitized* de fachada.

### 3.4.1 Corte de los semiproductos lineales

Como hemos visto, las longitudes máximas de suministro de los semiproductos lineales de aluminio vendrán condicionadas por el *tratamiento aplicado*<sup>1</sup> (anodizado, lacado, templado, etc...), pero independientemente de la longitud siempre se inician los trabajos de conformación del bastidor por el corte de los semiproductos lineales (Fig.D3.10).

Las operaciones de corte, habitualmente se realizan con máquinas de doble cabezal controladas por sistemas de CNC donde el operario limita su trabajo a reponer los diferentes perfiles y a reprogramar en pantalla la longitud y el tipo de corte para cada serie de perfiles (Fig.D3.11 y D3.12).

Para estas operaciones, se estima un tiempo medio de 1 minuto por barra (2 cortes) independientemente del tamaño o el tipo de corte. Cabe destacar que para la manipulación de perfiles superiores a 5m es recomendable la ayuda de otro operario y que cada 20 o 30 barras deberá realizarse una reposición de material a pie de máquina.



Fig.D3.10- Recepción de los semiproductos lineales, extruidos y tratados superficialmente



Fig.D3.11- Máquina de CNC para el corte de los perfiles a la longitud deseada

---

<sup>1</sup> Desarrollo 2.- Técnicas para la obtención de simiproductos lineales de acero y aluminio para un bastidor de fachada





Fig.D3.12- Máquina de corte de doble cabeza

El rendimiento previsto de 1 minuto por barra ya computa el porcentaje de reposición del material repartiéndose finalmente en 0,8 y 0,2 min. por corte y reposición respectivamente.

Para los diferentes tipos de cortes o longitudes de barras, el operario necesita realizar la reprogramación de la máquina dedicando entre 1 y 2min.

- ***Las operaciones de corte definen las dimensiones de los bastidores que como hemos visto no necesita de ningún tipo de replanteo manual, la misma máquina coloca el perfil en la posición adecuada antes de realizar el corte automatizado. Este será un aspecto importante para la clientalización de la forma de los bastidores.***

### 3.4.2 Mecanizado de los perfiles

Una vez finalizadas las operaciones de corte iniciaremos las operaciones de mecanizado del perfil.

En esta fase de producción se pueden realizar todo tipo de mecanizados como rebabado, perforado-taladrado, torneado, fresado, punzonado, etc... según necesidades del perfil (Fig.D3.13). Para ello disponemos de dos alternativas productivas: el mecanizado con matriz o el mecanizado través de un centro de mecanizado.



Fig.D3.13- Perfiles de aluminio mecanizados. Folcrá

- I. El mecanizado por matriz limita la flexibilidad del sistema y obliga a desarrollar tantas matrices como tipos de mecanizado queramos. El diseño de una matriz específica para cada tipo de mecanizado tiene un coste de aproximadamente 1.000€ y se establece un tiempo aproximado de 1min por mecanizado completo de barra.

- II. Los centros de mecanizado (Fig. D3.14) funcionan por patrones que llamaremos 'macros'. Cada 'macro' representa un tipo de mecanizado o patrón y se programa antes de iniciar los trabajos. Habitualmente las 'macros' se repiten en diversos tipos de perfiles estableciendo 'macros tipo' y no es habitual tener que reprogramar una nueva dentro de una misma unidad de producción.

La conformación a través del centro de mecanizado conlleva la inversión en la maquinaria pero permite a largo plazo un mayor grado de automatización. Los centros de mecanizado pueden disponer de 3 a 7 ejes pero para perfiles del tipo que estamos analizando con 5 ejes puede ser suficiente.

La longitud máxima de una barra para un centro de mecanizado es de unos 12m, pero hay que tener en cuenta que pocas veces se trabaja con estas longitudes ya que como hemos visto los procesos de tratamiento de los perfiles lo limitan además antes de iniciar los trabajos de mecanizado de perfiles estos ya ha sido cortados a la longitud del moldulo y generalmente se trabaja con dimensiones muy inferiores.

El tiempo aproximado en las operaciones de mecanizado están alrededor de los 3min. por barra y su reprogramación para poder diversificar las operaciones es de unos 5min. El tiempo estimado de programación de una nueva macro es de unas 2 horas.

Es importante destacar que tanto las operaciones de corte como las de mecanizado del perfil que se realizan mediante sistemas CNC aportando una elevada precisión y flexibilidad al proceso de transformación del semiproducto.



Fig.D3.14- Máquina de mecanizado de perfiles. Folcrá



Fig.D3.15- Acopio de perfiles cortados y mecanizados



Como vemos la colocación de las escuadras se realiza de forma manual (Fig.17) pero gracias a las operaciones anteriores de mecanizado de los perfiles se puede realizar de forma ágil y repetitiva. Aquí el tiempo destinado a la colocación de las escuadras y el posterior ensamblaje de los perfiles será independiente a la longitud del perfil y en consecuencia a la forma del componente.

Para el montaje del perímetro exterior serán necesarios 2 operarios. Dichas operaciones llevarán alrededor de unos 30 ó 40 min. dependiendo del tipo de inglete, escuadra, perfil, unión y sellado.

Aunque actualmente dispongamos de maquinaria que puede desarrollar automáticamente el ensamblaje de los perfiles ejecutando el apriete final, el pre-ensamblaje y colocación sobre la maquina debe realizarse de forma manual (Fig. D3.18).

Una vez finalizadas las operaciones de ensamblaje ya habremos conformado el perímetro exterior del componente.

#### **3.4.4 Perfiles intermedios**

La inserción de los perfiles intermedios en un módulo es muy habitual, ya sea para la definición de un hueco interior, para facilitar el transporte o la manipulación del perímetro exterior o garantizar la estabilidad del conjunto.

Estos perfiles, colocados normalmente en sentido perpendicular a los perfiles verticales acostumbran a tener una sección más sencilla que los perfiles perimetrales (Fig. D3.19).



*Fig.D3.18- Centro de ensamblaje de Elumatec para bastidores rectangulares de las siguientes características: -Espesor de perfil: 100mm; -Dimensiones mínimas: 550x550mm;- Dimensiones máximas: 4000x2500mm*



*Fig.D3.19- Montaje de perfiles intermedios del módulo*



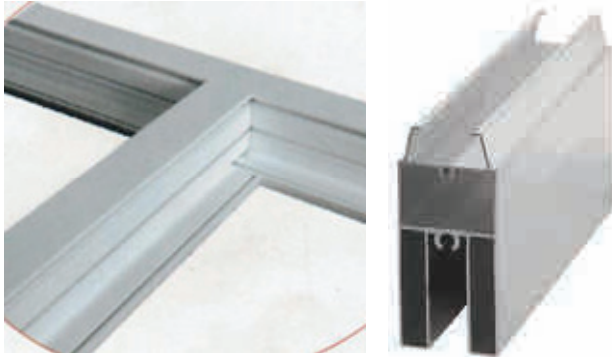


Fig.D3.20- Perfiles intermedios retestados para compatibilizar su ensamblaje

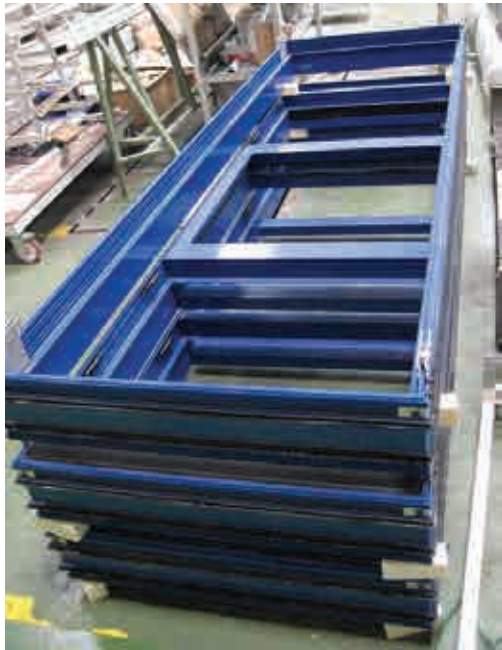


Fig.D3.21- Bastidor de fachada con incorporación de hueco interior

Para facilitar su ensamblaje debemos retestar las cabezas de los perfiles intermedios. Retestar el perfil intermedio significa modificar el corte de ambos extremos (cabezas) para ejecutar la intersección con el perfil perimetral (Fig. D3.20).

Estas operaciones pueden realizarse en el mismo centro de mecanizado dedicando unos 6min. por barra (2 cabezas) o en una máquina específica de retesteo, donde se dedicarían 4min. por barra (2 cabezas).

La unión con el perímetro exterior puede realizarse a través de una mecha prevista en los perfiles intermedios o mediante roscado directo desde el perfil exterior a través de las canales o gusanillos del perfil intermedio.

Los tiempos de ejecución son aproximadamente de 8min. para el sistema roscado y 10min. para el sistema de mecha.

### 3.4.5 Perímetro interior

En el caso que el componente lleve definido un perímetro interior como hueco de fachada (Fig. D3.21) podremos establecer dos estrategias de trabajo:

- I. Si entendemos el perímetro interior como una ventana, es habitual montar los marcos y herrajes necesarios para la colocación de dicha ventana siendo necesarias unas 4 o 5 horas por hueco. El marco de la ventana irá fijado a los perfiles intermedios. En cualquier caso también puede pedirse al suministrador la ventana ya montada, evitando el tiempo de montaje.

- II. Si entendemos el perímetro interior como un hueco, pero sin la necesidad de considerar que conformará una ventana, entonces deberemos repetir las operaciones desarrolladas para la conformación del perímetro exterior (unos 30min. aproximadamente)

En cualquier caso, es habitual el montaje de perímetro interior sobre los perfiles intermedios y en contadas ocasiones se considera el perfil intermedio como parte del perímetro interior.

El montaje del perímetro interior al conjunto nos llevará unos 15 min. dos operarios. Los trabajos se limitan, habitualmente a ensamblar el marco de perímetro interior a los perfiles intermedios.

#### **3.4.6 Colocación de las gomas de estanqueidad**

Una vez finalizado el ensamblaje de todos los perfiles que conformaran en esqueleto o bastidor del componente, se procede a la colocación de las gomas de estanqueidad en las 'cajas' de los perfiles.

El suministro de las gomas se realiza mediante bobinas continuas que son cortadas a la longitud deseada a modo de semiproductos (Fig. D3.22).

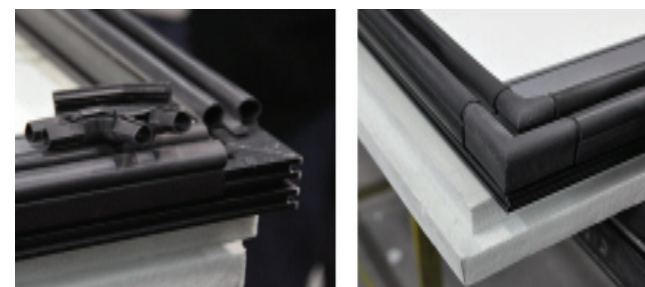
Estas operaciones se realizan de forma manual con la ayuda de utillajes de montaje ya que no se dispone de maquinaria automatizada per permita colocarlas correctamente. El tiempo destinado para la colocación de una junta de goma oscila entre 1 y 2 min por metro lineal, dependiendo del tipo de goma y su ubicación en el perfil perimetral (Fig. D3.23).



*Fig.D3.22- Suministro de gomas EPDM en bobinas*



*Fig.D3.23- Colocación manual de las goma de estanqueida*



*Fig.D3.24- Junta de EPDM moldeada para resolución de la esquina*



En los casos necesarios, la continuidad de las juntas en las esquinas del bastidor queda garantizada mediante gomas moldeadas que resuelven el giro y garantizan la estanqueidad en la arista. La colocación de estas gomas se realiza también de forma manual y podemos considerar 1 min. para las cuatro esquinas (Fig. D3.24).

### 3.4.7 Sellado de perfiles

Una vez finalizado el bastidor de aluminio, se procede al sellado de las uniones de los perfiles en las esquina. Estas operaciones son de vital importancia para completar la estanqueidad del bastidor y sus juntas.

Debido a la complejidad geométrica donde debe colocarse el material de sellado fruto de las intersecciones entre perfiles, el sellado se realiza de forma manual para poder garantizar la estanqueidad del componente (Fig. 3.25).

Estas operaciones pueden llevar entre 5 y 10 min. por esquina y 0,5 min por metro lineal en caso de sellado longitudinal.

Los controles de calidad de la estanqueidad de los componentes se realizan en el propio taller producción.

### 3.4.8 Plementado del bastidor

Después de realizar todas las operaciones de conformación del bastidor dejándolo geoméricamente definido, se inician las operaciones de plementado que caracterizaran y definen las propiedades del componente de fachada.



*Fig.D3.25- Sellado manual entre perfiles*



*Fig.D3.26- Plementado de los bastidores mediante*



Estas operaciones no inciden en la definición de la geometría del componente ya que es el bastidor el que la define.

El plementado de los bastidores normalmente se realiza mediante semiproductos planos como paneles sándwich, placas de aislamiento, chapas de revestimiento, etc... (Fig. D3.26). Estos semiproductos serán los responsables de definir las propiedades, higrotérmicas, acústicas, al fuego, etc... del componente, así como de definir los aspectos de acabado de la fachada.

Pero no solo se realiza el plementado mediante semiproductos sino que también intervienen componentes como por ejemplo los vidrios. Consideramos los vidrios componentes ya que no es en esta industria donde se conforman sino que llegan definidos geoméricamente de otra industria (Fig. D3.27).

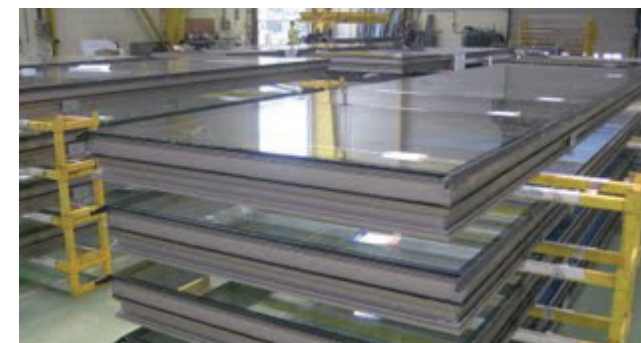
Esto puede plantear algún problema durante el proceso de producción, a diferencia de lo que sucede con los semiproductos estos no pueden ser modificados y en caso de errores geoméricos deben de ser devueltos a la industria de suministro retrasando el proceso de producción (Fig. D3.28).

Dado que el estudio se centra en la clientalización de la forma de los componentes planos de fachada y la elevada diversidad de posibilidades que disponemos para plementar los bastidores no entraremos en detalle en estos procesos de producción.

Los tiempos dedicados al plementado pueden oscilar entre 8 o 16 horas de trabajo para 1 o 2 operarios.



*Fig.D3.27- Plementado de los bastidores con componentes de*



*Fig.D3.28- Componentes finalizados*



Fig.D3.29- Componentes finalizados colocados en 'vallares'



Fig.D3.30- Colocación de un componente en fachada

### 3.4.9 Acopio, embalaje y transporte

Una vez finalizado el componente este se acopia sobre caballetes a la espera de ser embalado para el transporte. El embalaje puede ocupar unos 5 min. por 2 personas.

Debido a la elevada fragilidad de estos componentes después del embalaje debemos de considerar la colocación de los módulos en 'vallares', elementos de madera que limitan los movimientos de los módulos durante el transporte (Fig. D3.29).

El acondicionamiento del 'vallar' puede necesita de unos 15 min. por 1 persona.

### 3.4.10 Montaje

Una de las principales ventajas del sistema *Unitized* para muro cortina respecto a otros sistemas de fachada basado en paneles es su montaje en obra.

Desde un punto de vista de proceso de montaje y de los medios auxiliares necesarios no dista mucho de otros sistemas de paneles. La elevación del componente de pie de obra hasta su ubicación final se realiza mediante grúa.

Generalmente serán necesarios entre 3 y 5 operarios para gestionar esta operación, distribuidos entre el control de la grúa, la zona de acopio y la zona de colocación del componente en fachada (Fig. D3.30).

Gracias a la ligereza de estos componentes, muchas veces la zona de acopio se realiza en la propia planta del edificio facilitando el montaje desde el interior (Fig. D3.31)

Para el montaje de estos componentes se estiman los siguientes rendimientos:

- I. Rendimiento por unidades: 10-14 componentes por día (jornada de 8 horas)
- II. Rendimiento por m<sup>2</sup>: 50-70m<sup>2</sup>/día aproximadamente (depende del tamaño del componente)

Pero, la principal diferencia que caracteriza este tipo de componentes es la resolución de la estanqueidad del sistema. Como hemos visto, la propia geometría del perfil que define el bastidor del componente permite garantizar la estanqueidad al agua y al aire una vez colocado, sin necesidad de prever operaciones posteriores de sellado de juntas desde el exterior.

Además, el montaje de los módulos entre si no admite errores de colocación y las tolerancias de montaje se ven minimizadas gracias a la precisión geométrica de los perfiles del bastidor y a las gomas de estanqueidad de los componentes (Fig. D3.32).



*Fig.D3.31- Acopio en planta de los componentes Unitized. Porta Firal de Barcelona. Arq.Oscar Tusquets 2012*



*Fig.D3.32- Movimiento vertical de ensamble entre componentes previo engrasado de gomas*



## **DESARROLLO 4**

**Análisis del coste-variación dimensional para la conformación de un panel plano de hormigón en el contexto de un modelo de producción mixto**



## **4 Análisis del coste-variación dimensional para la conformación de un panel plano de hormigón en el contexto de un modelo de producción mixto**

### **4.1 Contexto del análisis**

Para el análisis del incremento de los costes relativos a la variabilidad de la forma de un componente se han considerado las siguientes operaciones necesarias para conformar y ejecutar un primer componente de una serie de producción:

- a. Definición geométrica del molde perimetral (apartado 4.2.1)*
- b. El replanteo de los moldes perimetrales sobre mesa de hormigonado (apartado 4.2.2)*
- c. Ensamblaje de los moldes perimetrales (apartado 4.2.3)*
- d. Fijación de los moldes perimetrales sobre la mesa de hormigonado (apartado 4.2.4)*
- e. Aplicación de los desencofrantes (apartado 4.2.5)*
- f. Armado interior del panel (apartado 4.2.6)*
- g. Amasado y vertido del hormigón (apartado 4.2.7)*
- h. Desmontaje de los moldes perimetrales (apartado 4.2.8)*
- i. Desmoldeo, elevación y acopio (4.2.9)*



Una vez conformado el primer componente, debemos de considerar aquellas operaciones que nos permitan desarrollar las múltiples repeticiones de la serie de producción, para así poder diferenciar un nuevo grupo de operaciones:

*j. Operaciones para la 1ª repetición de un panel (apartado 4.2.10)*

Los costes se han calculado en base a una única geometría de molde, ya que el interés del estudio es determinar y acotar el incremento de costes para la variabilidad de la forma que siempre están representados en las operaciones de montaje y desmontaje de cualquier molde perimetral, independientemente de su forma.

Como hemos visto en el análisis del proceso de conformación de los moldes perimetrales<sup>1</sup> el aumento de los costes de la variabilidad de la forma, viene dado por la cantidad de operaciones de montaje y desmontaje de los moldes.

#### **4.1.1 Objetivo**

Determinar la importancia del coste asociado a la variabilidad de la forma de los componentes dentro de una misma serie de producción.

- ***El análisis no pretende cuantificar los costes exactos de producción de un panel sino medir la variación porcentual entre series de producción caracterizadas por diferentes niveles de clientalización.***

---

<sup>1</sup> Desarrollo 1.- Análisis de las operaciones necesarias para la conformación de un componente plano de hormigón.

#### 4.1.2 Objetos analizados

Para determinar la importancia del coste asociado a la variabilidad de la forma de los componentes planos de hormigón se han definido las geometrías de dos componentes tipo:

- **La geometría del componente A:** un panel de hormigón macizo, que no incorpora el hueco, de 5x3 m y de 15 cm de espesor con un diseño de junta representado en la figura D4.1. o D6.8 del Desarrollo 6
- **La geometría del componente B:** un panel de hormigón macizo, que no incorpora el hueco, de 2x3 m y de 15 cm de espesor con un diseño de junta representado en la figura D4.1. o D6.8 del Desarrollo 6

#### 4.2 El modelo de producción y los costes de las operaciones analizadas

Para el análisis de los costes asociados a la clientalización de la forma de los paneles de hormigón se ha considerado un contexto de producción industrial mixto donde gran parte de las operaciones de conformación del molde se realizan de forma manual con ayudas informatizadas en las operaciones de replanteo mediante laser sobre una mesa de hormigonado continua de acero (Fig. D4.2). En este caso todos los moldes perimetrales o tabicas, están formadas por pasamanos y perfiles normalizados de acero negro laminado.

Los cálculos se han realizado en base a costes de mano de obra y material utilizados en empresas especializadas en prefabricados de hormigón, representando los COSTES DIRECTOS.

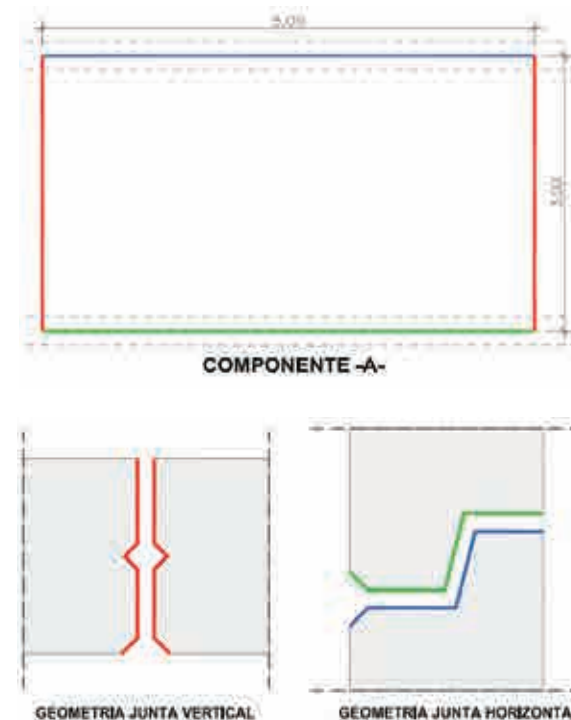


Fig.D4.1. Geometría del componente plano v tipo de junta o borde perimetral



Fig.D4.2. Mesa continua para producción de paneles planos de la empresa Weiler Precast

Los costes de la maquinaria necesaria para la ejecución de las operaciones de ejecución de un panel se han considerado como COSTES INDIRECTOS.

Para analizar el *coste*<sup>2</sup> de la clientalización de la forma se han considerado las siguientes operaciones:

#### 4.2.1 Definición geométrica del molde perimetral (1r molde)

Este primer grupo de operaciones son de capital importancia para la definición geométrica del molde se desarrollan de forma manual en el propio taller de empresa y comprenden desde la recepción de los planos desarrollados por el departamento técnico hasta la definición y ejecución de los perfiles del molde perimetral, tanto en longitud como en sección. Se han considerado las siguientes operaciones:

- Interpretación de los planos de taller*
- Medición i replanteo para determinar la longitud de los perfiles*
- Corte de los perfiles a la longitud deseada*
- Ensamblaje de perfiles y berenjenos para definir la sección de junta (incluye mecanizado y soldado de perfiles. Fig. D4.3)*

Con el siguiente resultado:

- <i>Coste de la mano de obra</i>	182,70 €
- <i>Coste del material</i>	313,56 €

---



Fig.D4.3. Definición del molde perimetral mediante perfiles laminados normalizados

<sup>2</sup> Los cálculos detallados pueden verse en el Anexo 1 y 2 del presente desarrollo 'Tablas de cálculo del panel de 5x3m y 2x3m' respectivamente

#### 4.2.2 Replanteo de los moldes perimetrales sobre mesa de hormigonado.

Incluye los costes de mano de obra y material utilizado para las operaciones de replanteo de la ubicación de los perfiles mediante sistema de posicionamiento laser.

Para contabilizar el coste de las operaciones de replanteo de los moldes perimetrales se ha contabilizado tanto el tiempo de la mano de obra de los operarios como el material utilizado. En este caso las operaciones de replanteo se realizan de forma manual con ayuda de un dispositivo laser que indica sobre la mesa de hormigonado la posición exacta de cada uno de los moldes perimetrales (Fig. D4.4).

Se han considerado el coste de las siguientes operaciones:

- Transporte de los molde perimetrales del taller a la zona de hormigonado
- Presentación de los perfiles sobre la mesa y comprobación de la correcta geometría

Con el siguiente resultado:

-Coste de la mano de obra	80,64 €
-Coste del material	0,32 €

#### 4.2.3 Ensamblaje de los moldes perimetrales

En este caso las operaciones de ensamblaje entre moldes perimetrales se realiza sobre la misma mesa de hormigonado (Fig.D4.5).

Una vez replanteados los perfiles se comprueba el correcto ensamblaje de las esquinas para garantizar la estanqueidad del molde perimetral. Estas operaciones pueden suponer nuevas



Fig.D4.4.Replanteo manual con ayuda laser para el posicionamiento



Fig. D4.5. Ensamblaje. Cara interior del molde



Fig.D4.6. Ensamblaje. Cara exterior del molde

rectificaciones de las cabezas de los perfiles que se realizaran en la propia mesa de hormigonado o en el taller (Fig. D4.6).

Incluye los costes de mano de obra y material utilizado para las operaciones de rectificación de las cabezas de los perfiles y su pre-ensamblaje.

Se han considerado el coste de las siguientes operaciones:

- Comprobación del ensamblaje y operaciones de pre-ensamblaje
- Rectificación en caso necesario

Con el siguiente resultado:

-Coste de la mano de obra	82,00 €
-Coste del material	14,00 €



Fig.D4.7. Sistema de fijación mixto mediante elementos imantados y fijaciones mecánicas.

#### 4.2.4 Fijación de los moldes perimetrales sobre la mesa de hormigonado.

Para el caso de análisis se ha seleccionado un sistema mixto de fijación de los perfiles perimetrales sobre la mesa de hormigonado que combina elementos de fijación mecánica y elementos de fijación magnética (Fig. D4.7).

Como sabemos la combinación de ambos sistemas permite garantizar la correcta colaboración entre ambos moldes minimizando la perforación de la mesa de hormigonado.

En este caso, primero se fijan las tabicas mecánicamente a la mesa y posteriormente se complementan con la fijaciones magnéticas garantizando una presión homogénea (aunque discontinua) de los perfiles laterales sobre la mesa de hormigonado.



También se han contabilizado los costes de mano de obra y material utilizado para las siguientes operaciones:

- Colocación de la cinta de sellado entre el perfil y la mesa
- Replanteo de los puntos de fijación mecánica sobre la mesa de hormigonado
- Perforación a la vez de los perfiles laterales y de la mesa (Fig. D4.8)
- Colocación de las fijaciones mecánicas
- Replanteo de los puntos de fijación magnética sobre los perfiles laterales
- Desarrollo de los elementos de unión perfil-imán (Fig. D4.9)
- Colocación de las fijaciones magnéticas

Con el siguiente resultado:

-Coste de la mano de obra	188,16 €
-Coste del material	18,00 €

#### 4.2.5 Aplicación de los desencofrantes

En este caso la aplicación del desencofrante sobre el molde se realiza mediante pistolas de proyección (Fig. D4.10) y es completada de forma manual con esponjas para garantizar la correcta distribución del líquido desencofrante en las esquinas del molde

Las operaciones analizadas son:

- Aplicación mediante pistola de proyectado
- Operaciones manuales de homogeneización en las esquinas del molde

Con el siguiente resultado:



Fig.D4.8. Perforación del perfil perimetral y de la mesa para fijaciones las mecánicas. Empresa Escofet



Fig.D4.9. Elemento de conexión entre el imán y el perfil lateral del molde. Empresa Escofet

-Coste de la mano de obra 13,02 €

-Coste del material 2,30 €



Fig.D4.10. Pistola para el proyectado del desencofrante

Una vez aplicado el desencofrante el molde queda preparado para el vertido del hormigón.

#### 4.2.6 Armado: conformación y colocación

Generalmente el taller de la propia empresa dispone de acopios de mallazo para paneles de fachada. El operario se encarga de replantear, cortar y ensamblar para conseguir la geometría deseada (Fig. D4.11).

Una vez finalizadas estas operaciones, los mallazos son acopiados a la espera de la finalización del molde, y posteriormente son colocados sobre este mediante separadores circulares de plástico.

Todas las operaciones consideradas se realizan de forma manual. El modelo industrial analizado no dispone de maquinaria automatizada para el corte y el plegado de las armaduras.

Las operaciones analizadas son:

-Interpretación de planos y replanteo

-Corte y ensamblaje mediante soldadura del armado

-Colocación sobre mesa de hormigonado mediante separadores

Con el siguiente resultado:

-Coste de la mano de obra 31,50 €

-Coste del material 30,00 €



Fig.D4.11. Conformación manual del armado del panel



#### 4.2.7 Amasado y vertido del hormigón

Para las operaciones de amasado se ha considerado una mezcladora de carga automática de una capacidad útil en seco de 750 litros y un peso máximo de agregados de 1.170Kg. Posteriormente el hormigón de la mezcladora se vierte sobre cubilote móvil que gracias al puente grúa permite verterlo sobre el molde (Fig. D4.12).

Las operaciones analizadas son:

- Preparación y amasado del hormigón
- Vertido del hormigón sobre el molde mediante cuba
- Vibrado a través de la propia mesa de hormigonado
- Limpieza de la cuba
- Operaciones de curado del hormigón

Con el siguiente resultado:

-Coste de la mano de obra	38,43 €
-Coste del material	155,25 €

#### 4.2.8 El desmontaje de los moldes perimetrales.

Como ya hemos visto las operaciones de desmontaje de los moldes perimetrales cada vez son más necesarias debido a las diferentes geometrías de junta que puede tener un panel plano de hormigón. Estas geometrías no permite extraer directamente el panel de la mesa de hormigonado obligando al desmontaje de al menos tres de los cuatro moldes perimetrales que en nuestro caso se realiza de forma manual (Fig. D4.13).



Fig.D4.12. Vertido del hormigón sobre el molde mediante cubilote móvil

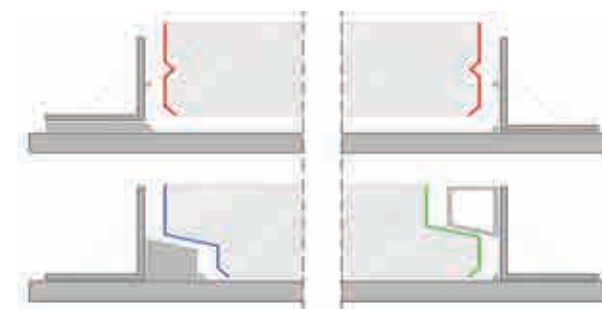


Fig.D4.13. Desmontaje de tres de los molde perimetrales para permitir el desmoldeo del panel de hormigón

En este caso se han contabilizado los costes principalmente de la mano de obra ya que el material utilizado en estas operaciones es mínimo, tan solo debe considerarse la reposición de elementos o piezas rotas durante el desmontaje:

Operaciones consideradas:

- Desactivación de los imanes de fijación
- Extracción de los elementos de fijación mecánica
- Desmontaje de tres moldes perimetrales
- Reserva y acopio del material y moldes perimetrales

Con el siguiente resultado:

-Coste de la mano de obra	24,36 €
-Coste del material	0 €



Fig.D4.14. Desmontaje de tres de los molde perimetrales para permitir el desmoldeo del panel de hormigón

#### 4.2.9 Desmoldeado, elevación y acopio del panel

Debido a las dimensiones del panel y la velocidad de producción de la serie, se ha considerado necesario trabajar con una mesa de hormigonado inclinable  $>45^\circ$ .

Una vez inclinada la mesa de hormigonado para minimizar esfuerzos a flexión del panel, este se eleva y se lleva a acopio en posición vertical mediante puente grúa móvil. El acopio se realiza también en posición vertical sobre bastidores de soporte (Fig. D4.14).

Las operaciones analizadas son:

- Inclinación de la mesa de hormigonado
- Sujeción y elevación del panel mediante puente grúa
- Transporte a zona de acopio mediante puente grúa
- Acopio del panel

Con el siguiente resultado:

-Coste de la mano de obra	25,20 €
-Coste del material	0 €

#### **4.2.10 Montaje del molde perimetral para la 1ª repetición**

Una vez analizados los costes asociados a la conformación de un panel de hormigón debemos de considerar que dicho panel formará parte de una serie de producción más o menos repetitiva.

En este caso analizamos los costes asociados a la producción de la 1ª repetición de panel, que como veremos muchas de las operaciones y materiales computados con anterioridad ahora inician su proceso de amortización.

Los costes de estas operaciones se centran principalmente en la mano de obra. Después de desmoldear el panel y de prepara la mesa para el siguiente proceso de hormigonado debe conformarse de nuevo el molde perimetral montando y fijando tres de las cuatro tabicas laterales.

En este caso prácticamente no se derivan costes asociados al uso de nuevos materiales ya prácticamente se pueden reutilizar todos los anteriores, tanto tabicas como fijaciones

magnéticas y mecánicas. En cualquier caso deberemos contemplar la reposición de los elementos de sellado y la aplicación de desencofrantes.

Las operaciones analizadas son:

- Replanteo y ensamblaje de los moldes perimetrales*
- Rectificación en caso necesario*
- Fijación sobre la mesa de hormigonado*
- Sellado del molde perimetral*
- Aplicación de desencofrantes*

Con el siguiente resultado:

- <i>Coste de la mano de obra</i>	<i>87,36 €</i>
- <i>Coste del material</i>	<i>3,04 €</i>

- ***Una vez finalizadas estas operaciones podemos considerar cerrado el análisis de los costes asociados a un panel de hormigón dentro de una serie de producción***

### **4.3 Resumen de costes**

#### **4.3.1 Costes asociados a la ejecución de un panel de hormigón**

En el análisis de los costes se han considerado todas las operaciones necesarias para la ejecución de un panel plano de hormigón armado.

Dado que el objetivo del presente desarrollo es analizar los costes asociados a la definición de la forma de un panel se han diferenciado dos grupos de operaciones:

- I. Las operaciones que están implicadas directamente en la DEFINICIÓN DE LA FORMA del molde y por lo tanto los costes asociados a su clientalización.

*2.2.1-Definición geométrica del molde*

*2.2.2-Replanteo de los moldes perimetrales sobre la mesa de hormigonado*

*2.2.3-Ensamblaje de los moldes perimetrales*

*2.2.4-Fijación de los moldes perimetrales sobre la mesa de hormigonado*

*2.2.8-Desmontaje de los moldes perimetrales*

- II. Las operaciones que permiten CONFORMAR UN PANEL de hormigón pero que no repercuten en la clientalización de su forma. Estos costes siempre formaran parte de la ejecución de un panel independientemente del nivel de clientalización de la serie de producción.

*2.2.6-Aplicación de los desencofrantes*

*2.2.5-Armado interior panel*

*2.2.7-Amasado y vertido del hormigón*

*2.2.9-Desmoldeo, elevación y acopio*

Como vemos, del coste global de la ejecución de un panel de hormigón prácticamente el 75% pertenece a las operaciones de definición del 1r molde y casi el 25% restante responde al material y la mano de obra necesaria para la ejecución del panel (Fig. D4.15).

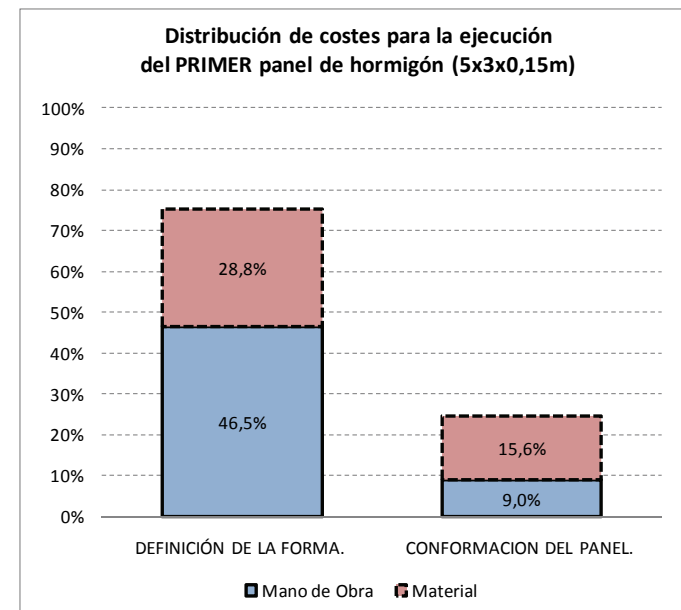


Fig.D4.15. Distribución de los costes según grupo de operaciones necesarias para la ejecución del PRIMER panel de hormigón

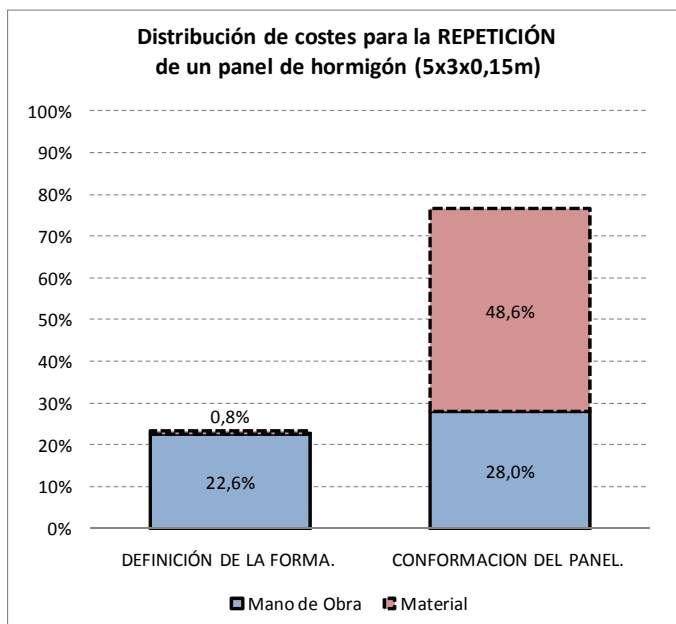


Fig.D4.16. Distribución de los costes según grupo de operaciones necesarias para la REPETICION de un panel de hormigón

Si ahora contabilizamos los costes de la repetición de paneles una vez el 1r molde ha sido completamente amortizado, observamos como el coste de la definición de la forma representa tan sólo el 25% del coste global y casi el 75% restante corresponde a las operaciones y materiales necesarios para la conformación del panel (Fig. D4.16).

- **Como vemos, el coste inicial para poder empezar una serie de producción se debe principalmente a la definición de la forma del primer panel. Este coste inicial debe amortizarse a lo largo de la producción repercutiéndolo en cada panel producido.**
- **Una vez el coste del primer molde ha sido amortizado vemos como los principales costes de producción caen sobre los materiales necesarios (hormigón y armados) y en las operaciones de montaje y desmontaje del molde. Hecho que justifica el modelo de producción actual.**

#### 4.3.2 Costes asociados a la definición de la forma del molde perimetral

Una vez analizada la importancia del coste del molde nos centraremos solamente en aquellas operaciones que intervienen en la definición geométrica del molde dentro de una serie de producción.

Para analizar dichos costes se han diferenciado dos grupos de operaciones que posteriormente nos permitirán plantear diferentes escenarios de clientalización.

- I. El primer grupo de operaciones responde a la conformación del primer molde (a, b, c, d, e) es decir, partimos de una situación inicial donde todavía no disponemos de ningún molde conformado para iniciar una serie de producción. Como vemos este

primer grupo de operaciones representa el coste más importante para el inicio de cualquier serie de producción (Tabla 1).

- II. El segundo grupo de operaciones responde a la repetición de paneles (c', d', e'), cuando ya hemos iniciado una serie de producción y limitamos las operaciones a montar y desmontar siempre el mismo molde después de cada ejecución de panel (Tabla 2)

Como se aprecia en los cuadros resumen de cada grupo, los costes asociados a la mano de obra son muy significativos y toman una especial importancia en el primer grupo de operaciones que es el principal responsable de la clientalización de la forma de los moldes.

Este primer grupo de operaciones representan los costes que debemos considerar cada vez que desarrollamos un molde distinto y por lo tanto representaran los principales costes en la clientalización del molde.

Una vez cuantificados los costes de los dos grupos de operaciones para la definición geométrica del molde iniciamos el cálculo de las diferentes SERIES DE CLIENTALIZACIÓN.

#### 4.4 Las series de clientalización analizadas

Para el análisis de los costes asociados a la variabilidad de la forma o clientalización del molde se han planteado cinco series distintas de producción diferenciadas por la repetitividad de los paneles con un mismo objetivo:

- **La producción de 100 paneles planos de hormigón**

	<b>OPERACIONES para la definición del 1r molde (5x3x0,15m)</b>	<b>M.O.</b>	<b>MAT.</b>	<b>TOTAL</b>
a-	Definición geométrica del molde perimetral	182,7 €	313,6 €	<b>496,3 €</b>
b-	Replanteo de los moldes perimetrales	80,6 €	0,3 €	<b>81,0 €</b>
c-	Ensamblaje de los moldes perimetrales	82,0 €	14,0 €	<b>96,0 €</b>
d-	Fijación de los moldes perimetrales	188,2 €	18,0 €	<b>206,2 €</b>
e-	Desmontaje de los moldes perimetrales	24,4 €	0,0 €	<b>24,4 €</b>
	<b>TOTAL</b>	<b>557,9 €</b>	<b>345,9 €</b>	<b>903,7 €</b>

-Tabla 1-

	<b>OPERACIONES para la repetición de los componentes (5x3x0,15m)</b>	<b>M.O.</b>	<b>MAT.</b>	<b>TOTAL</b>
c'-	Ensamblaje de los moldes perimetrales	25,2 €	1,6 €	26,8 €
d'-	Fijación de los moldes perimetrales	37,8 €	1,4 €	39,2 €
e'-	Desmontaje de los moldes perimetrales	24,4 €	0,0 €	24,4 €
	<b>TOTAL</b>	<b>87,4 €</b>	<b>3,0 €</b>	<b>90,3 €</b>

-Tabla 2-

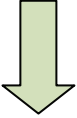


Puesto que la finalidad del análisis no es cuantificar con exactitud el coste real de las operaciones sino los incrementos porcentuales en función de la variabilidad de paneles dentro de una serie de producción, se ha definido un primer ESCENARIO BASE de cálculo sobre el cual mediremos los incrementos de los costes.

LA SERIES BASE se caracteriza por la máxima repetición de componentes en la serie.

- **Conformación de 1 molde para el desarrollo 100 paneles iguales.**

A partir de la series BASE-0 se han desarrollado el resto de series donde cada una de ellas describe un nivel distinto de clientalización resumidos en la siguiente tabla:

SERIES*	Conformación de moldes distintos	Número de paneles por molde	Clientalización
BASE-0	1 ud	100 uds	<b>BAJA</b>
1	5 uds	20 uds	
2	10 uds	10 uds	
3	20 uds	5 uds	
4	50 uds	2 uds	
5	100 uds	1 ud	

*\*NOTA SOBRE LAS SERIES: Para conseguir el objetivo común, los 100 paneles de hormigón, la primera serie plantea la conformación de 5 moldes distintos para la ejecución de 20 paneles por molde; la serie 2 desarrolla la conformación de 10 moldes distintos para la le ejecución de 10 paneles por molde, etc... hasta llegar al último caso, serie 5, que aunque no sea representativo de un caso real plantea*

*teóricamente la máxima clientalización en una serie de producción, donde cada molde es distinto al anterior.*

#### **4.4.1 Criterios de cálculo**

Para realizar los cálculos de las distintas series de clientalización se han tomado como valores de coste los resultados obtenidos en el apartado '4.2- *El modelo de producción y los costes de las operaciones analizadas*' del presente desarrollo.

Si bien es cierto que para un caso real el nivel de clientalización de una serie vendría determinado por el número de paneles geoméricamente distintos, en nuestro caso la geometría del panel utilizado como base de cálculo siempre es la misma puesto que no es de interés para el estudio el incremento de coste entre un panel u otro debido a su geometría, si no a los diferentes recursos utilizados (mano de obra y material) para cada modificación del molde. Dos consideraciones:

- I. Entendemos que para un panel de 2x3m utilizaremos menos recursos materiales que para un panel de 5x3m, siendo este segundo un poco más costoso. Pero el incremento de costes por material utilizado es prácticamente insignificante y el número de operaciones y sus costes son prácticamente los mismos para el panel de 3m que para el de 5m.
- II. Puesto que serían infinitas las posibilidades geométricas de los paneles y sus combinaciones, y que el interés del estudio es conocer cuánto le cuesta al modelo de producción actual cambiar de molde se han realizado los cálculos en base a dos

moldes para unos paneles de 5x3x0,15 m y de 2x3x0,15 m. Los costes de las operaciones de cambio de molde se han calculado en base al mismo molde (p.ej. se sustituye el molde de 5x3x0,15 m por otro de igual)

#### 4.4.2 Resultados

A continuación se presentan los resultados obtenidos en los análisis de las distintas series de clientalización. Como veremos se ha planteado un único objetivo para todos los escenarios, la producción de 100 paneles de hormigón, con las dos geometrías de referencia (5x3x0,15m y 2x3x0,15m)

*NOTA: Utilizaremos la serie BASE para explicar la metodología utilizada en el cálculo que se aplicará al resto de series.*

#### SERIES BASE

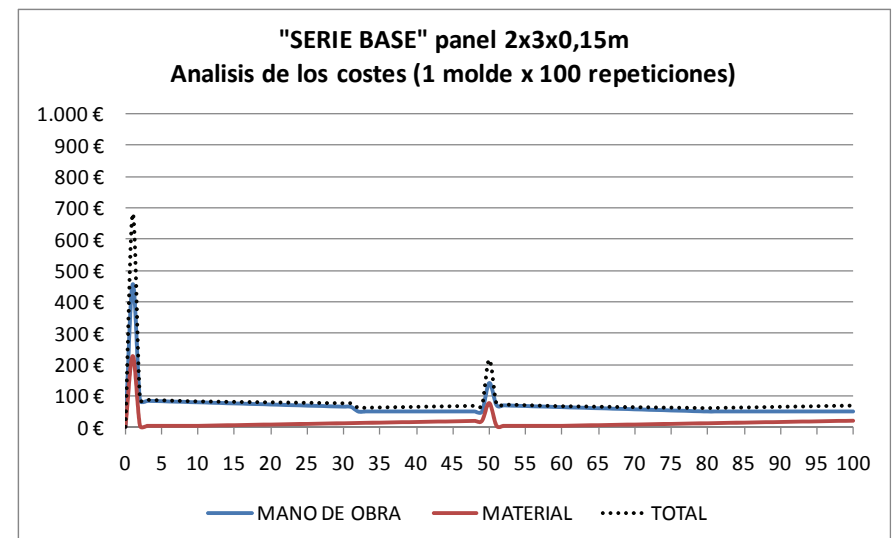
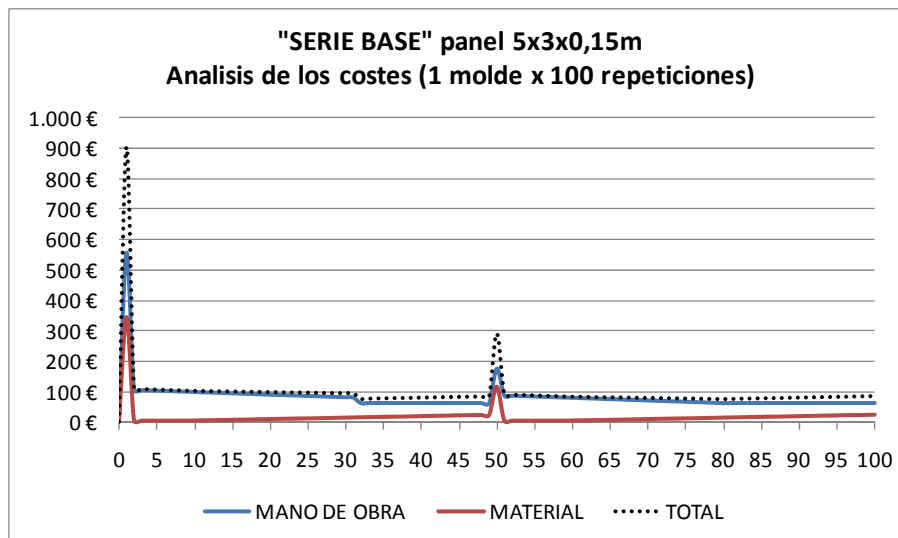
---

La **SERIE BASE** representa una serie de producción con 100 repeticiones de panel.

- **COSTE INICIAL:** Observamos un primer coste inicial común en todas las series que responde a la producción del primer molde de la serie (operaciones a,b,c,d,e).
- **ESTABILIZACIÓN DEL COSTE:** Posteriormente hay una estabilización progresiva de los costes debido a la amortización del molde por la producción de paneles iguales (operaciones f,e).
- **EVOLUCIÓN MANO DE OBRA:** A partir de la 1ª repetición el coste de la mano de obra descende progresivamente debido a la repetitividad de las operaciones,

considerando que el operario mejora sus rendimientos hasta alcanzar 10 repeticiones donde se estabiliza.

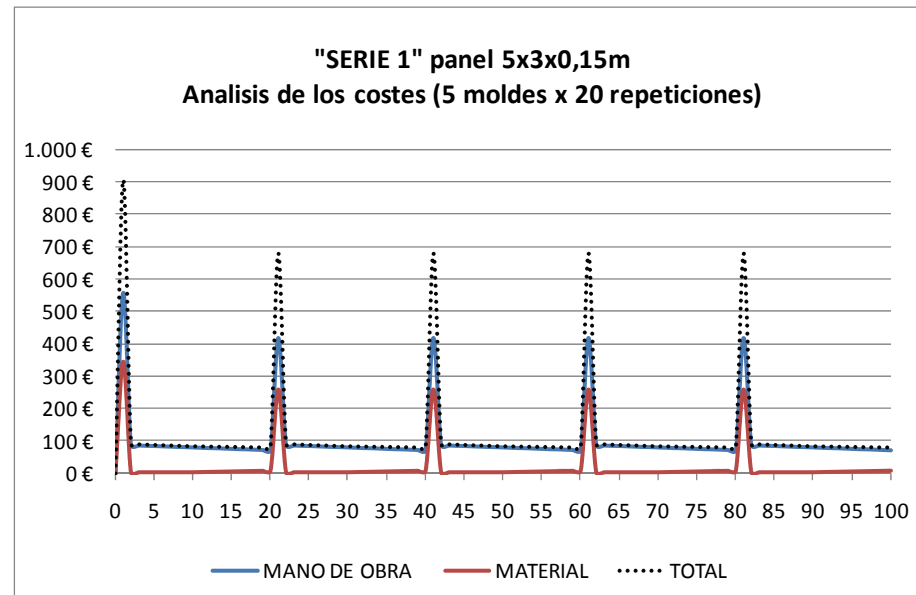
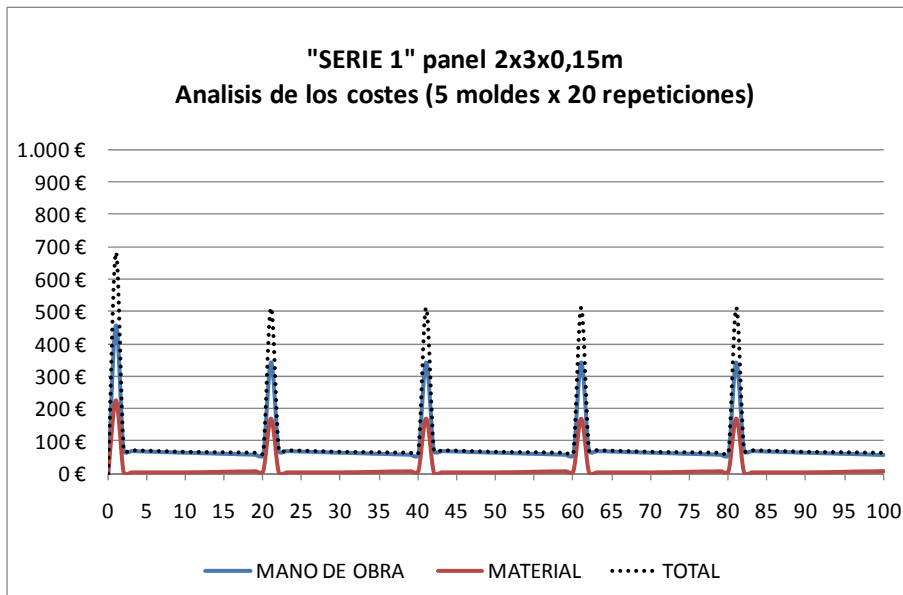
- **EVOLUCION COSTE MATERIAL:** Observamos cómo a partir de la 1ª repetición el coste del material se mantiene constante hasta la repetición 25 a partir de la cual el molde empieza a necesitar pequeñas reparaciones por desgaste y uso.
- **REPOSICIÓN DEL MOLDE:** El pico que aparece en la repetición número 50 representa las operaciones de mantenimiento del molde. A partir de aquí los costes se repiten nuevamente hasta el último panel.



## SERIE 1

El **SERIE 1** representa una serie de producción con 20 repeticiones por panel. Límite para la amortización.

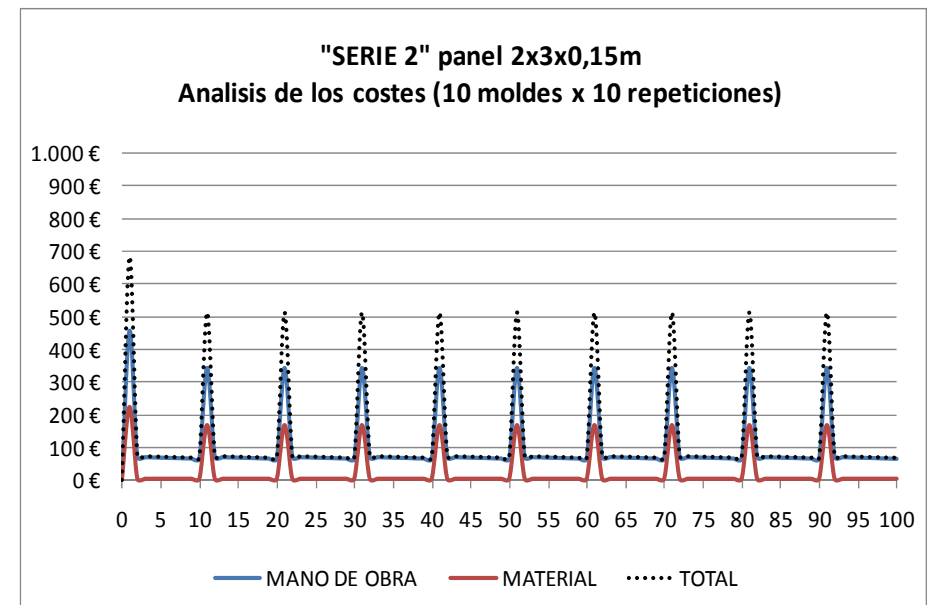
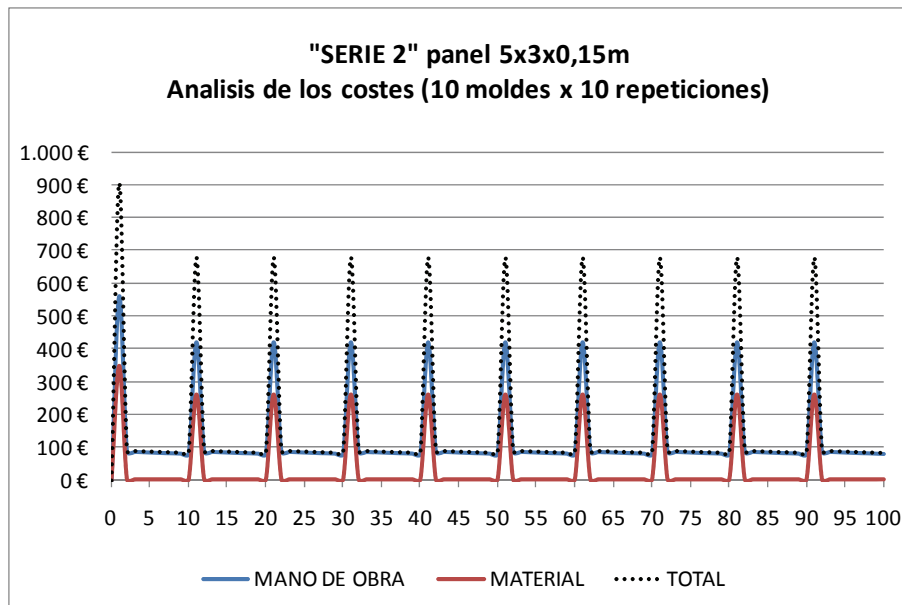
- Para los modelos de producción actual, esta serie representa un nivel de clientalización aceptable ya que se realizan las repeticiones necesarias para garantizar la amortización del molde.
- Cada 'pico' que aparece en los costes responde a la ejecución de un nuevo molde de geometría distinta al anterior, considerando un aprovechamiento de una parte del molde primero de la serie, con un coste sensiblemente inferior a este.



## SERIE 2

La **SERIE 2** representa una serie de producción con 10 repeticiones por panel.

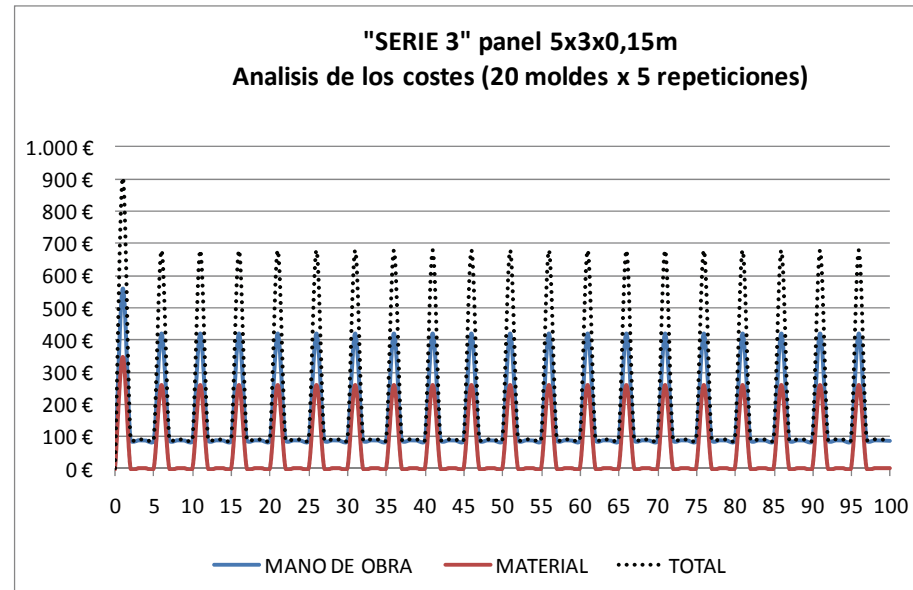
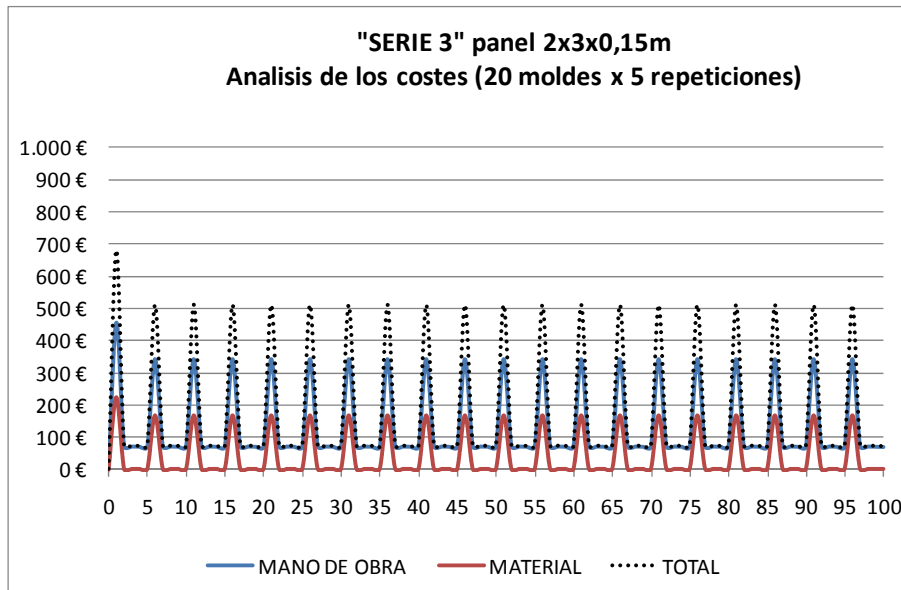
- Para los modelos de producción actual esta serie representa el límite de la clientalización ya que se interrumpe la amortización del molde.



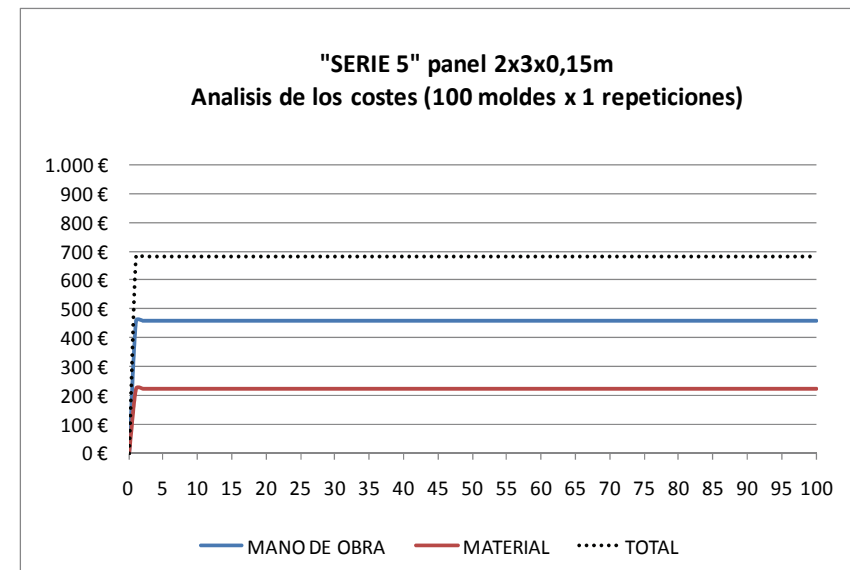
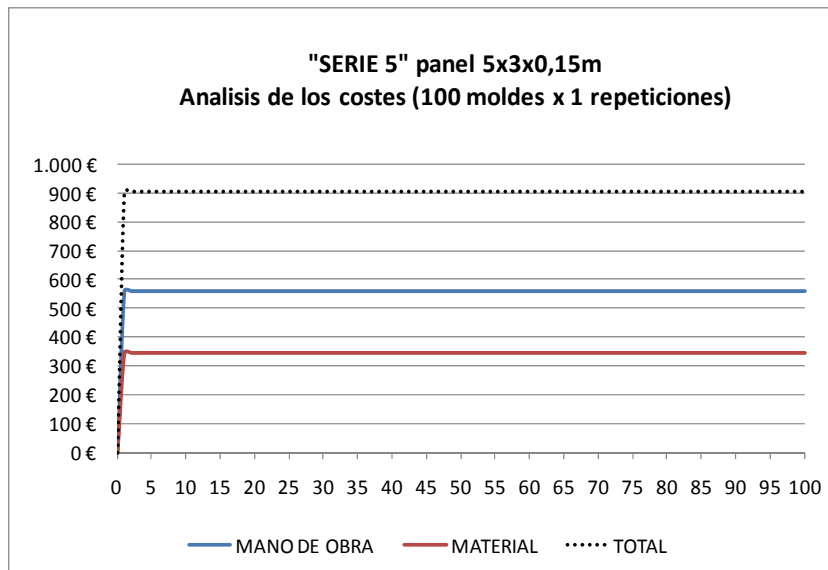
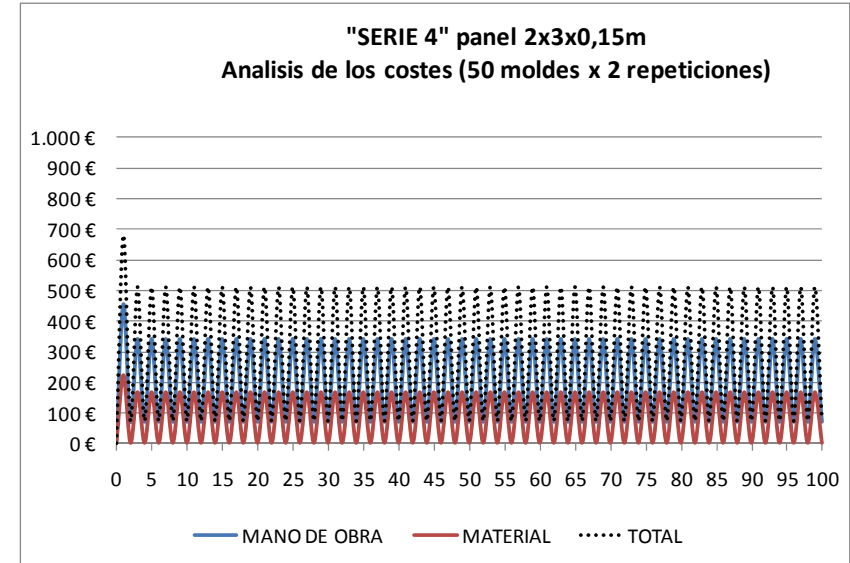
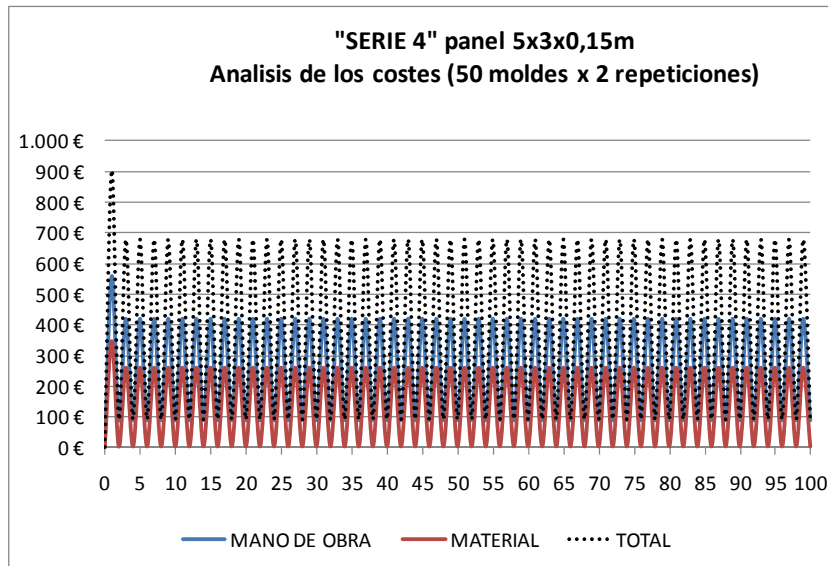
## SERIE 3, 4 y 5

Las **SERIE 3, 4 y 5** representan series de producción de elevados niveles de clientalización.

- Estas tres series representan series teóricas de producción. Difícilmente la industria actual sería capaz de realizarlas garantizando un incremento razonable del coste.









**ANEXO 1- Tablas de cálculo del PANEL de 5x3m**



## Tabla de los costes de producción de un molde y un panel de 5x3x0,15m

### Distribución de los costes para el 1r PANEL

#### DEFINICIÓN GEOMETRICA DEL MOLDE PERIMETRAL (apartado 4.2.1)

<b>Mano de Obra</b>						
Reparación superficie mesa encofrado	15,00 m2	5,00 min/m²	0,42 €/min	31,50 €	75 min	
<b>Perimetro exterior</b> <i>*Nota: los perfiles se sirven en barras 6ml</i>						
Molde exterior    Tipo A						
Corte+soldar Pasamano plano calibrado 8mm visel	2,00 ud	35,00 min/ud	0,42 €/min	29,40 €	70 min	
Corte+soldar Pasamano plano calibrado 8mm vertical	2,00 ud	25,00 min/ud	0,42 €/min	21,00 €		
Corte+soldar Perfil L70 acero negro	2,00 ud	15,00 min/ud	0,42 €/min	12,60 €	30 min	
Corte+soldar Berenjeno 15x15mm	2,00 ud	15,00 min/ud	0,42 €/min	12,60 €	30 min	
Molde exterior    Tipo B						
Corte+soldar Pasamano plano calibrado 8mm visel	1,00 ud	35,00 min/ud	0,42 €/min	14,70 €	35 min	
Corte+soldar Pasamano plano calibrado 8mm vertical	1,00 ud	25,00 min/ud	0,42 €/min	10,50 €		
Corte+soldar Perfil L70 acero negro	1,00 ud	15,00 min/ud	0,42 €/min	6,30 €	15 min	
Corte+soldar Tubular 60x60x4mm	1,00 ud	15,00 min/ud	0,42 €/min	6,30 €	15 min	
Molde exterior    Tipo C						
Corte+soldar Pasamano plano calibrado 8mm visel	1,00 ud	35,00 min/ud	0,42 €/min	14,70 €	35 min	
Corte+soldar Pasamano plano calibrado 8mm vertical	1,00 ud	25,00 min/ud	0,42 €/min	10,50 €		
Corte+soldar Perfil L70 acero negro	1,00 ud	15,00 min/ud	0,42 €/min	6,30 €	15 min	
Corte+soldar Tubular 60x60x4mm	1,00 ud	15,00 min/ud	0,42 €/min	6,30 €	15 min	
<b>Perimetro interior</b>						
Corte+soldar Perfil Interior	0,00 ud	15,00 min/ud	0,42 €/min	0,00 €	0 min	
Corte+soldar Perfil Plano calibrado interior	0,00 ud	15,00 min/ud	0,42 €/min	0,00 €		
Corte+soldar Berenjeno interior	0,00 ud	10,00 min/ud	0,42 €/min	0,00 €	0 min	
<b>TOTAL</b>				<b>182,70 €</b>	<b>335,00 min</b>	

<b>Material</b>						
Reparación superficie mesa encofrado	15,00 m2	-	Kg/ml	0,30 €/m2	4,50 €	
<b>Perimetro exterior</b> <i>*Nota: los perfiles se sirven en barras 6ml</i>						
Molde exterior    Tipo A						
Pasamano plano calibrado 8mm visel	2,00 ud	3,00 ml	4,15 €/ml	24,90 €		
Pasamano plano calibrado 8mm vertical	2,00 ud	3,00 ml	6,23 €/ml	37,38 €		
Perfil L70 acero negro	2,00 ud	3,00 ml	4,53 €/ml	27,18 €		
Berenjeno 15x15mm	2,00 ud	3,00 ml	4,20 €/ml	25,20 €		
Molde exterior    Tipo B						
Pasamano plano calibrado 8mm visel	1,00 ud	5,00 ml	4,15 €/ml	20,75 €		
Pasamano plano calibrado 8mm vertical	1,00 ud	5,00 ml	6,23 €/ml	31,15 €		
Perfil L70 acero negro	1,00 ud	5,00 ml	4,53 €/ml	22,65 €		
Tubular 60x60x4mm	1,00 ud	5,00 ml	4,53 €/ml	22,65 €		

Molde exterior Tipo C					
Pasamano plano calibrado 8mm visel	1,00 ud	5,00 ml	4,15 €/ml	20,75 €	
Pasamano plano calibrado 8mm vertical	1,00 ud	5,00 ml	6,23 €/ml	31,15 €	
Perfil L70 acero negro	1,00 ud	5,00 ml	4,53 €/ml	22,65 €	
Tubular 60x60x4mm	1,00 ud	5,00 ml	4,53 €/ml	22,65 €	
<b>Perimetro interior</b>					
Perfil Interior	0,00 ud	0,00 ml	0,00 €/ml	0,00 €	
Perfil Plano calibrado interior	0,00 ud	0,00 ml	0,00 €/ml	0,00 €	
Berenjeno interior	0,00 ud	0,00 ml	0,00 €/ml	0,00 €	
<b>TOTAL</b>				<b>313,56 €</b>	

#### REPLANTEO DE LOS MOLDES PERIMETRALES SOBRE LA MESA DE HORMIGONADO (apartado 4.2.2)

##### Mano de Obra

<b>Perimetro exterior</b>					
Replanteo Perimetro exterior	16,00 ml	12,00 min/m	0,42 €/min	80,64 €	192 min
<b>Perimetro interior</b>					
Replanteo Perimetro interior	0,00 ml	12,00 min/m	0,42 €/min	0,00 €	0 min
<b>TOTAL</b>				<b>80,64 €</b>	<b>192,00 min</b>

##### Material

<b>Perimetro exterior</b>					
Replanteo Perimetro exterior	16,00 ud	1,00 ud/m	0,02 €/ud	0,32 €	
<b>Perimetro interior</b>					
Replanteo Perimetro interior	0,00 ud	1,00 ud/m	0,02 €/ud	0,00 €	
<b>TOTAL</b>				<b>0,32 €</b>	

#### ENSAMBLAJE DE LOS MOLDES PERIMETRALES (apartado 2.2.3)

##### Mano de Obra

<b>Perimetro exterior</b>					
Ensamblaje Perimetro exterior	4,00 ud	50,00 min/ud	0,41 €/min	82,00 €	200 min
<b>Perimetro interior</b>					
Ensamblaje Perimetro interior	0,00 ud	35,00 min/ud	0,41 €/min	0,00 €	0 min
<b>TOTAL</b>				<b>82,00 €</b>	<b>200 min</b>

##### Material

<b>Perimetro exterior</b>					
Ensamblaje Perimetro exterior	4,00 ud		3,50 €/ud	14,00 €	
<b>Perimetro interior</b>					
Ensamblaje Perimetro interior	0,00 ud		3,50 €/ud	0,00 €	
<b>TOTAL</b>				<b>14,00 €</b>	

**FIJACIÓN DE LOS MOLDES PERIMETRALES SOBRE LA MESA (apartado 4.2.4)****Mano de Obra****Perimetro exterior**

Fijación mecanica Perimetro exterior	8,00 ud	35,00 min/ud	0,42 €/min	117,60 €	280 min
Fijación magnetica Perimetro exterior	8,00 ud	20,00 min/ud	0,42 €/min	67,20 €	160 min
Sellado perfiles	16,00 ml	0,50 min/m	0,42 €/min	3,36 €	8 min

**Perimetro interior**

Fijación mecanica Perimetro interior	0,00 ud	35,00 min/ud	0,42 €/min	0,00 €	0 min
Fijación magnetica Perimetro interior	0,00 ud	11,00 min/ud	0,42 €/min	0,00 €	0 min
Sellado perfiles	0,00 ml	0,50 min/m	0,42 €/min	0,00 €	0 min

**TOTAL****188,16 € 448 min****Material****Perimetro exterior**

Fijación mecanica Perimetro exterior	8,00 ud	0,35 €/ud	2,80 €
Fijación magnetica Perimetro exterior	8,00 ud	1,80 €/ud	14,40 €
Cinta de sellado	16,00 ml	0,05 €/m	0,80 €

**Perimetro interior**

Fijación mecanica Perimetro interior	0,00 ud	0,35 €/ud	0,00 €
Fijación magnetica Perimetro interior	0,00 ud	1,80 €/ud	0,00 €
Cinta de sellado	0,00 ml	0,05 €/m	0,00 €

**TOTAL****18,00 €****PRODUCCIÓN****APLICACIÓN DE LOS DESENCOFRANTES (apartado 4.2.5)****Mano de Obra**

Mesa de hormigonado	15,00 m2	1,00 min/m <sup>2</sup>	0,42 €/min	6,30 €	15 min
---------------------	----------	-------------------------	------------	--------	--------

**Perimetro exterior**

Desencofrante	16,00 ml	1,00 min/m	0,42 €/min	6,72 €	16 min
---------------	----------	------------	------------	--------	--------

**Perimetro interior**

Desencofrante	0,00 ml	1,00 min/m	0,42 €/min	0,00 €	0 min
---------------	---------	------------	------------	--------	-------

**TOTAL****13,02 € 31 min****Material**

Mesa de hormigonado	15,00 m2	0,10 €/m <sup>2</sup>	1,50 €
---------------------	----------	-----------------------	--------

**Perimetro exterior**

Desencofrante	16,00 ml	0,05 €/m	0,80 €
---------------	----------	----------	--------

**Perimetro interior**

Desencofrante	0,00 ml	0,05 €/m	0,00 €
---------------	---------	----------	--------

**TOTAL****2,30 €**



**ARMADO INTERIOR PANEL (apartado 4.2.6)****Mano de Obra**

Armado	15,00 m <sup>2</sup>	5,00 min/m <sup>2</sup>	0,42 €/min	31,50 €	75 min
<b>TOTAL</b>				<b>31,50 €</b>	<b>137 min</b>

**Material**

Armado	15,00 m <sup>2</sup>	2,00 kg/m <sup>2</sup>	1,00 €/kg	30,00	
<b>TOTAL</b>				<b>30,00 €</b>	

**AMASADO Y VERTIDO (apartado 2.2.7)****Mano de Obra**

<b>Amasado</b>					
Hormigón	2,25 m <sup>3</sup>	15,00 min/m <sup>3</sup>	0,84 €/min	28,35 €	33,75 min
<b>Vertido</b>					
Hormigón	15,00 m <sup>2</sup>	0,40 min/m <sup>2</sup>	1,68 €/min	10,08 €	6 min
<b>TOTAL</b>				<b>38,43 €</b>	<b>39,75 min</b>

**Material**

<b>Amasado</b>					
Hormigón	2,25 m <sup>3</sup>	2,30 T/m <sup>3</sup>	30,00 €/T	155,25 €	
<b>TOTAL</b>				<b>155,25 €</b>	

**DESMONTAJE DE LOS MOLDES PERIMETRALES (apartado 4.2.8)****Mano de Obra**

<b>Perimetro exterior</b>					
Extracción Fijación mecanica Perimetro exterior	10,00 ud	2,00 min/ud	0,42 €/min	8,40 €	20 min
Extracción Fijación magnetica Perimetro exterior	8,00 ud	1,00 min/ud	0,42 €/min	3,36 €	8 min
Desmontaje 3 molde Perimetral Exterior	3,00 ud	5,00 min/ud	0,84 €/min	12,60 €	15 min
<b>Perimetro interior</b>					
Extracción Fijación mecanica Perimetro interior	0,00 ud	2,00 min/ud	0,42 €/min	0,00 €	0 min
Extracción Fijación magnetica Perimetro interior	0,00 ud	1,00 min/ud	0,42 €/min	0,00 €	0 min
Desmontaje molde Perimetral Exterior	0,00 ud	5,00 min/ud	0,84 €/min	0,00 €	0 min
<b>TOTAL</b>				<b>24,36 €</b>	<b>43 min</b>

**DESMOLDEO, ELEVACIÓN Y ACOPIO (apartado 4.2.9)****Mano de Obra**

<b>Desmoldeo</b>					
Panel	1,00 ud	10,00 min/ud	1,26 €/min	12,60 €	10 min
<b>Elevación</b>					
Panel	1,00 ud	5,00 min/ud	1,26 €/min	6,30 €	5 min
<b>Acopio</b>					
Panel	1,00 ud	5,00 min/ud	1,26 €/min	6,30 €	5 min
<b>TOTAL</b>				<b>25,20 €</b>	<b>15 min</b>

## Distribución de los costes para la REPETICIÓN DE UN PANEL

### OPERACIONES para 1a REPETICIÓN (apartado 4.2.10)

#### ENSAMBLAJE DE LOS MOLDES PERIMETRALES SOBRE LA MESA

##### Mano de Obra

###### Perimetro exterior

Ensamblaje Perimetro exterior	4,00 ud	15,00 min/ud	0,42 €/min	25,20 €	60 min
-------------------------------	---------	--------------	------------	---------	--------

###### Perimetro interior

Ensamblaje Perimetro exterior	0,00 ud	10,00 min/ud	0,42 €/min	0,00 €	0 min
-------------------------------	---------	--------------	------------	--------	-------

<b>TOTAL</b>				<b>25,20 €</b>	<b>60 min</b>
--------------	--	--	--	----------------	---------------

##### Material

###### Perimetro exterior

Ensamblaje Perimetro exterior	4,00 ud		0,40 €/ud	1,60 €	
-------------------------------	---------	--	-----------	--------	--

###### Perimetro interior

Ensamblaje Perimetro exterior	0,00 ud		0,40 €/ud	0,00 €	
-------------------------------	---------	--	-----------	--------	--

<b>TOTAL</b>				<b>1,60 €</b>	
--------------	--	--	--	---------------	--

#### FIJACIÓN DE LOS MOLDES PERIMETRALES SOBRE LA MESA

##### Mano de Obra

###### Perimetro exterior

Fijación mecanica Perimetro exterior	10,00 ud	5,00 min/ud	0,42 €/min	21,00 €	50 min
--------------------------------------	----------	-------------	------------	---------	--------

Fijación magnetica Perimetro exterior	8,00 ud	4,00 min/ud	0,42 €/min	13,44 €	32 min
---------------------------------------	---------	-------------	------------	---------	--------

Sellado perfiles	16,00 ml	0,50 min/m	0,42 €/min	3,36 €	8 min
------------------	----------	------------	------------	--------	-------

###### Perimetro interior

Fijación mecanica Perimetro interior	0,00 ud	5,00 min/ud	0,42 €/min	0,00 €	0 min
--------------------------------------	---------	-------------	------------	--------	-------

Fijación magnetica Perimetro interior	0,00 ud	4,00 min/ud	0,42 €/min	0,00 €	0 min
---------------------------------------	---------	-------------	------------	--------	-------

Sellado perfiles	0,00 ml	0,35 min/m	0,42 €/min	0,00 €	0 min
------------------	---------	------------	------------	--------	-------

<b>TOTAL</b>				<b>37,80 €</b>	<b>90 min</b>
--------------	--	--	--	----------------	---------------

##### Material

###### Perimetro exterior

Fijación mecanica Perimetro exterior	10,00 ud		0,04 €/ud	0,40 €	
--------------------------------------	----------	--	-----------	--------	--

Fijación magnetica Perimetro exterior	8,00 ud		0,04 €/ud	0,32 €	
---------------------------------------	---------	--	-----------	--------	--

Cinta de sellado	16,00 ml		0,05 €/m	0,72 €	
------------------	----------	--	----------	--------	--

###### Perimetro interior

Fijación mecanica Perimetro interior	0,00 ud		0,04 €/ud	0,00 €	
--------------------------------------	---------	--	-----------	--------	--

Fijación magnetica Perimetro interior	0,00 ud		0,04 €/ud	0,00 €	
---------------------------------------	---------	--	-----------	--------	--

Cinta de sellado	0,00 ml		0,05 €/m	0,00 €	
------------------	---------	--	----------	--------	--

<b>TOTAL</b>				<b>1,44 €</b>	
--------------	--	--	--	---------------	--

**DESMONTAJE DE LOS MOLDES PERIMETRALES****Mano de Obra****Perimetro exterior**

Extracción Fijación mecanica Perimetro exterior	10,00 ud	2,00 min/ud	0,42 €/min	8,40 €	20 min
Extracción Fijación magnetica Perimetro exterior	8,00 ud	1,00 min/ud	0,42 €/min	3,36 €	8 min
Desmontaje 3 molde Perimetral Exterior	3,00 ud	5,00 min/ud	0,84 €/min	12,60 €	15 min

**Perimetro interior**

Extracción Fijación mecanica Perimetro interior	0,00 ud	2,00 min/ud	0,42 €/min	0,00 €	0 min
Extracción Fijación magnetica Perimetro interior	0,00 ud	1,00 min/ud	0,42 €/min	0,00 €	0 min
Desmontaje molde Perimetral Exterior	0,00 ud	5,00 min/ud	0,84 €/min	0,00 €	0 min

**TOTAL****24,36 € 43 min**

## RESUMEN de la distribución de los costes (5x3x0,15m)

### RESUMEN DE COSTES 1r PANEL

Mano de Obra		666,01 €
Material		533,43 €
<b>TOTAL COSTES DIRECTOS</b>		<b>1.199,44 €</b>
<b>COSTES INDIRECTOS 30-40%</b>	30%	359,83 €
<b>COSTE FINAL</b>		<b>1.559,27 €</b>
Repercusión		103,95 €/m <sup>2</sup>

### DEFINICIÓN DE LA FORMA. Coste M.O. y Mat. 903,74 € 75,35%

1- Definición geométrica del molde perimetral				
2- Replanteo de los moldes perimetrales				
3- Ensamblaje de los moldes perimetrales				
4- Fijación de los moldes perimetrales				
5- Desmontaje de los moldes perimetrales			Parcial	Global
	<i>Mano de Obra</i>	<b>557,86 €</b>	61,7%	46,5%
	<i>Material</i>	<b>345,88 €</b>	38,3%	28,8%

### CONFORMACION DEL PANEL. Coste M.O. y Mat. 295,70 € 24,65%

1- Aplicación de los desencofrantes				
2- Armado interior panel				
3- Amasado y vertido				
4- Desmoldeo, elevación y acopio			Parcial	Global
	<i>Mano de Obra</i>	<b>108,15 €</b>	36,6%	9,0%
	<i>Material</i>	<b>187,55 €</b>	63,4%	15,6%

### RESUMEN DE COSTES REPETICIÓN PANEL

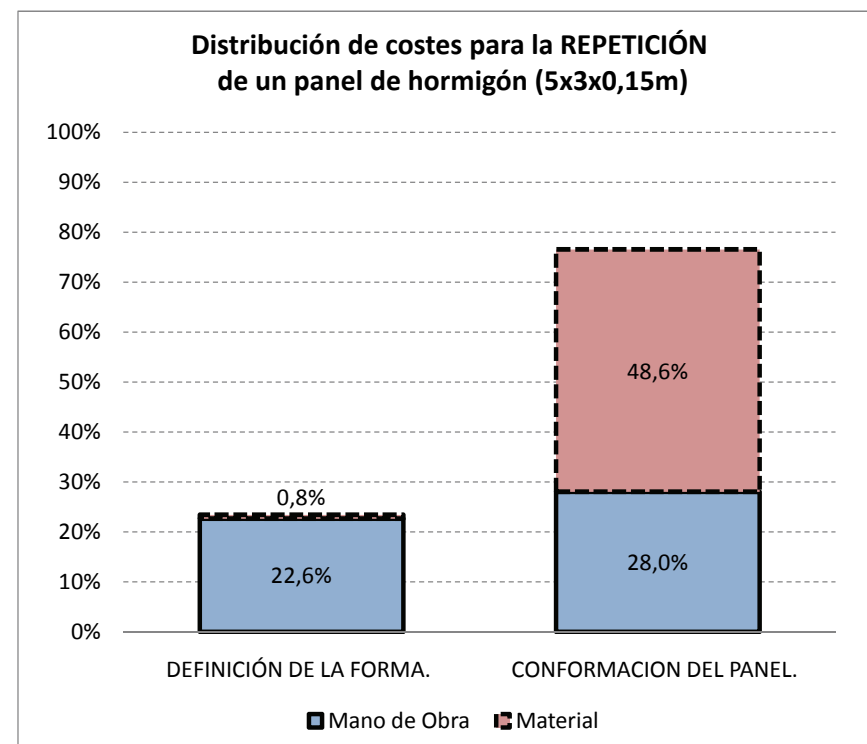
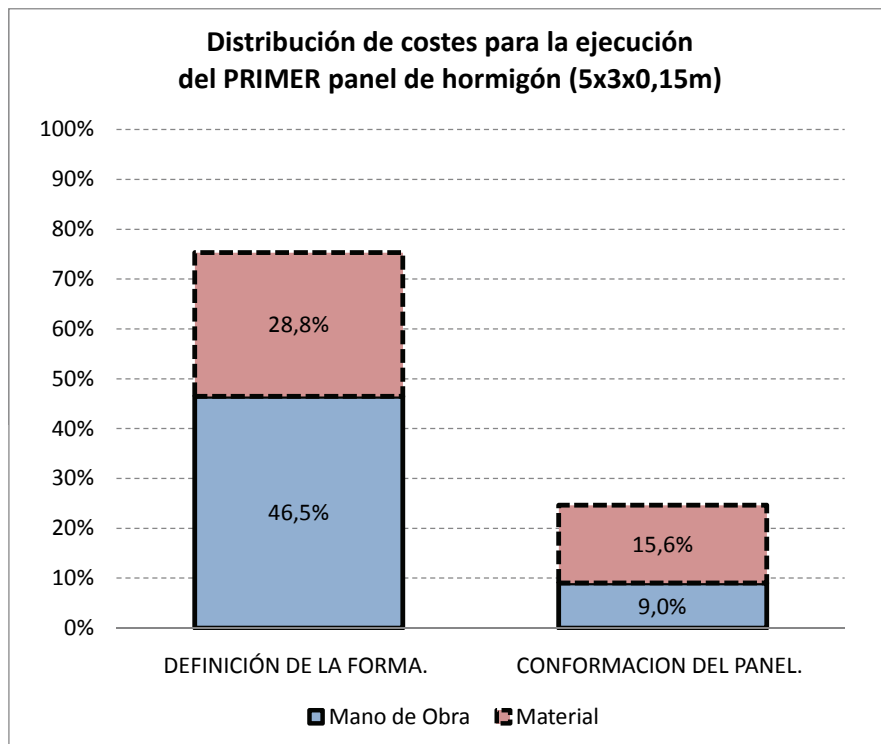
Mano de Obra		195,51 €
Material		190,59 €
<b>TOTAL COSTES DIRECTOS</b>		<b>386,10 €</b>
<b>COSTES INDIRECTOS 30-40%</b>	30%	115,83 €
<b>COSTE FINAL</b>		<b>501,93 €</b>
Repercusión		33,46 €/m <sup>2</sup>

### DEFINICIÓN DE LA FORMA. Coste M.O. y Mat. 90,40 € 23,41%

3- Ensamblaje de los moldes perimetrales				
4- Fijación de los moldes perimetrales				
5- Desmontaje de los moldes perimetrales			Parcial	Global
	<i>Mano de Obra</i>	<b>87,36 €</b>	96,6%	22,6%
	<i>Material</i>	<b>3,04 €</b>	3,4%	0,8%

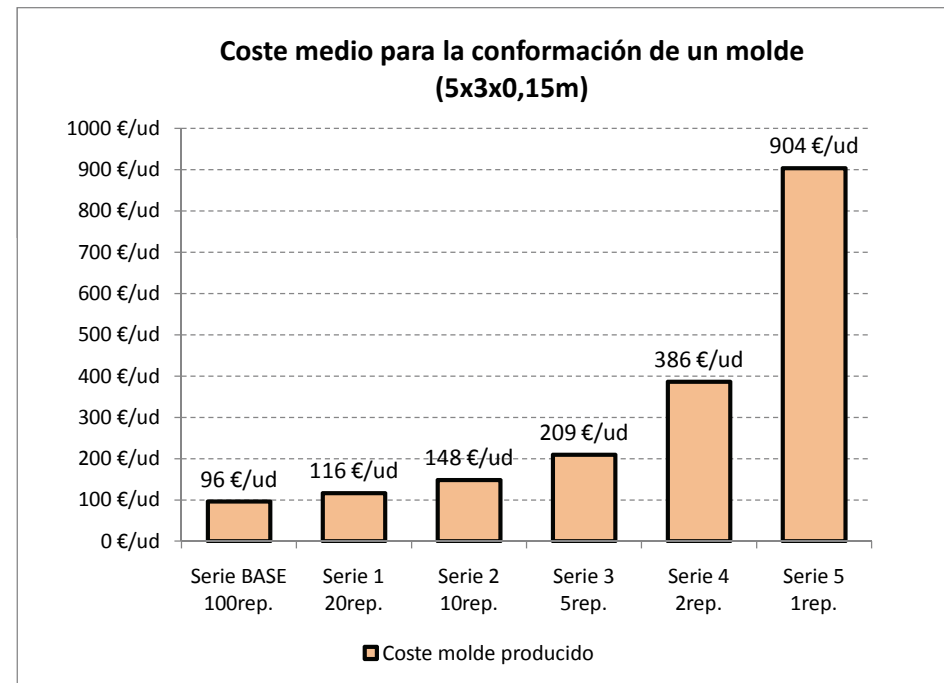
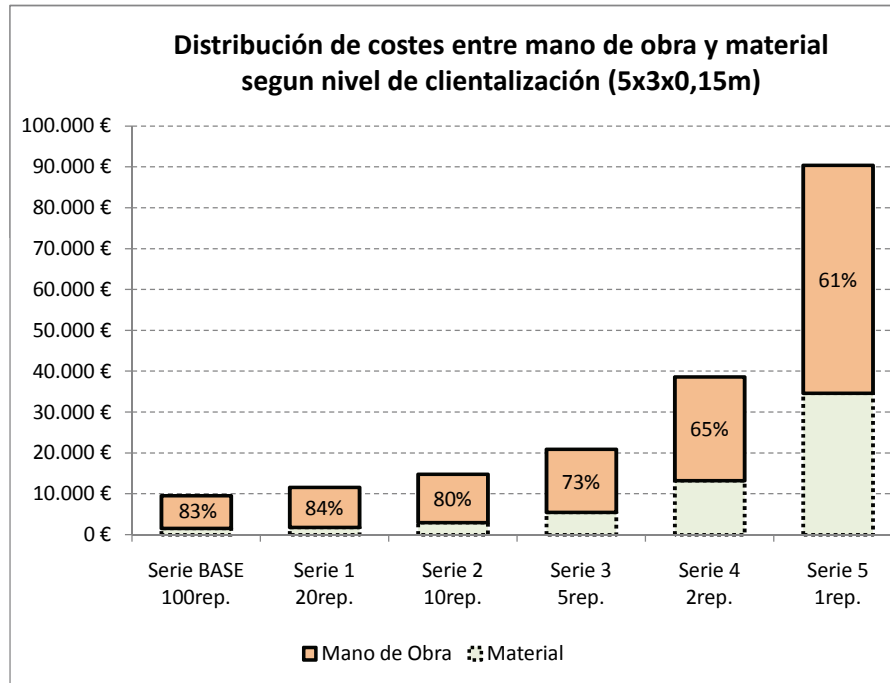
### CONFORMACION DEL PANEL. Coste M.O. y Mat. 295,70 € 76,59%

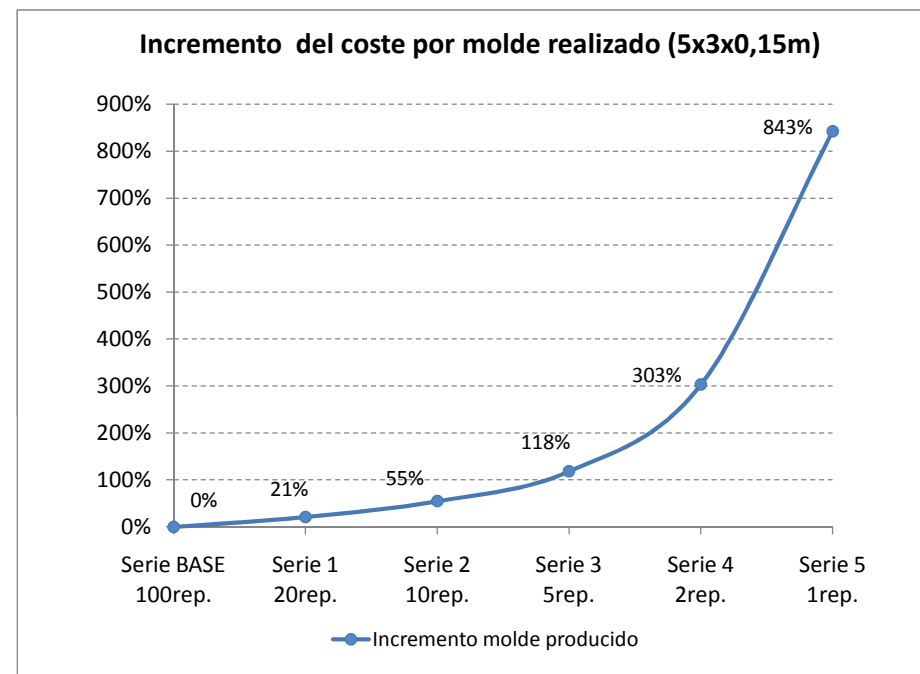
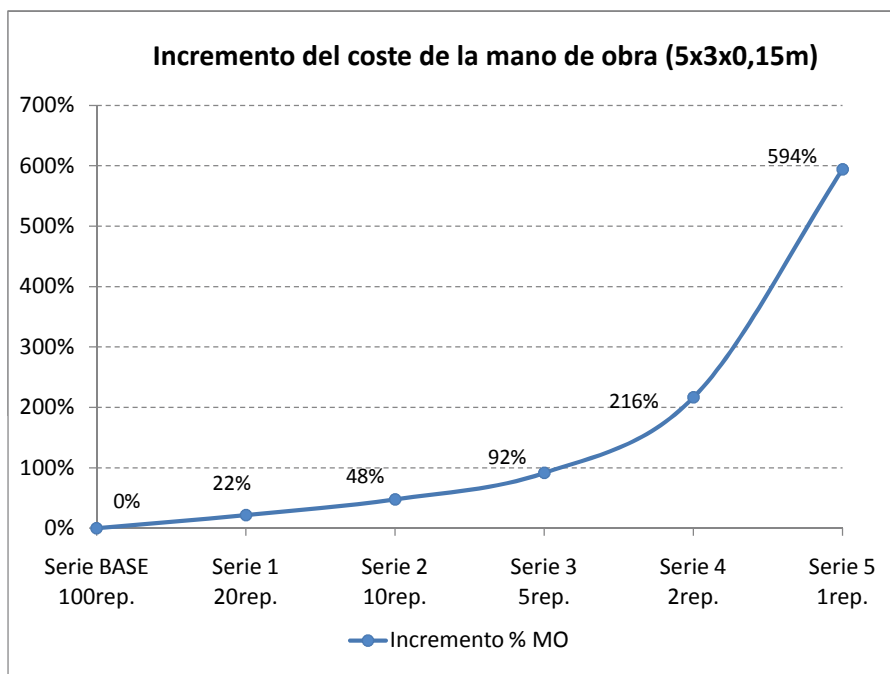
1- Aplicación de los desencofrantes				
2- Armado interior panel				
3- Amasado y vertido				
4- Desmoldeo, elevación y acopio			Parcial	Global
	<i>Mano de Obra</i>	<b>108,15 €</b>	36,6%	28,0%
	<i>Material</i>	<b>187,55 €</b>	63,4%	48,6%



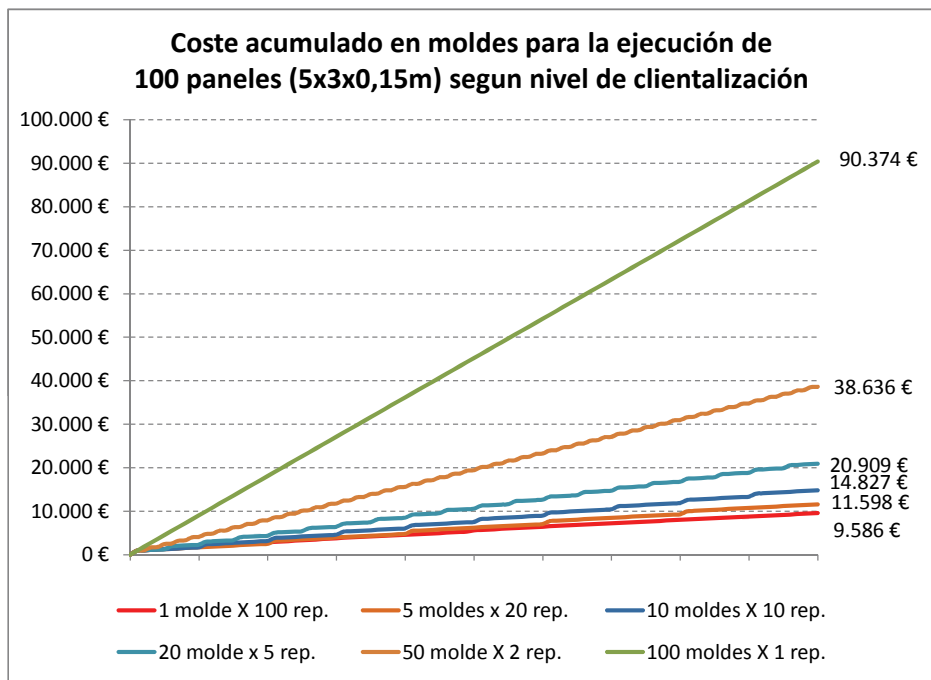
## Resumen de costes de producción de un molde y un panel de 5x3x0,15m

	Serie BASE	Serie 1	Serie 2	Serie 3	Serie 4	Serie 5
<b>Mano de Obra</b>	83,83%	84,36%	80,07%	73,61%	65,81%	61,73%
<b>Material</b>	16,17%	15,64%	19,93%	26,39%	34,19%	38,27%
<b>Coste total</b>	9.586 €	11.598 €	14.827 €	20.909 €	38.636 €	90.374 €
<b>Mano de Obra</b>	8.036 €	9.784 €	11.871 €	15.391 €	25.427 €	55.786 €
<b>Material</b>	1.550 €	1.814 €	2.956 €	5.518 €	13.209 €	34.588 €
<b>Incremento % MO</b>	0,00%	21,75%	47,73%	91,53%	216,42%	594,21%
<b>Incremento % MA</b>	0,00%	17,09%	90,73%	256,07%	752,39%	2131,99%
<b>Coste molde producido</b>	96 €/ud	116 €/ud	148 €/ud	209 €/ud	386 €/ud	904 €/ud
<b>Incremento molde producido</b>	0,00%	21,00%	54,68%	118,13%	303,07%	842,82%











**ANEXO 2- Documentación grafica del molde del PANEL de 5x3m**



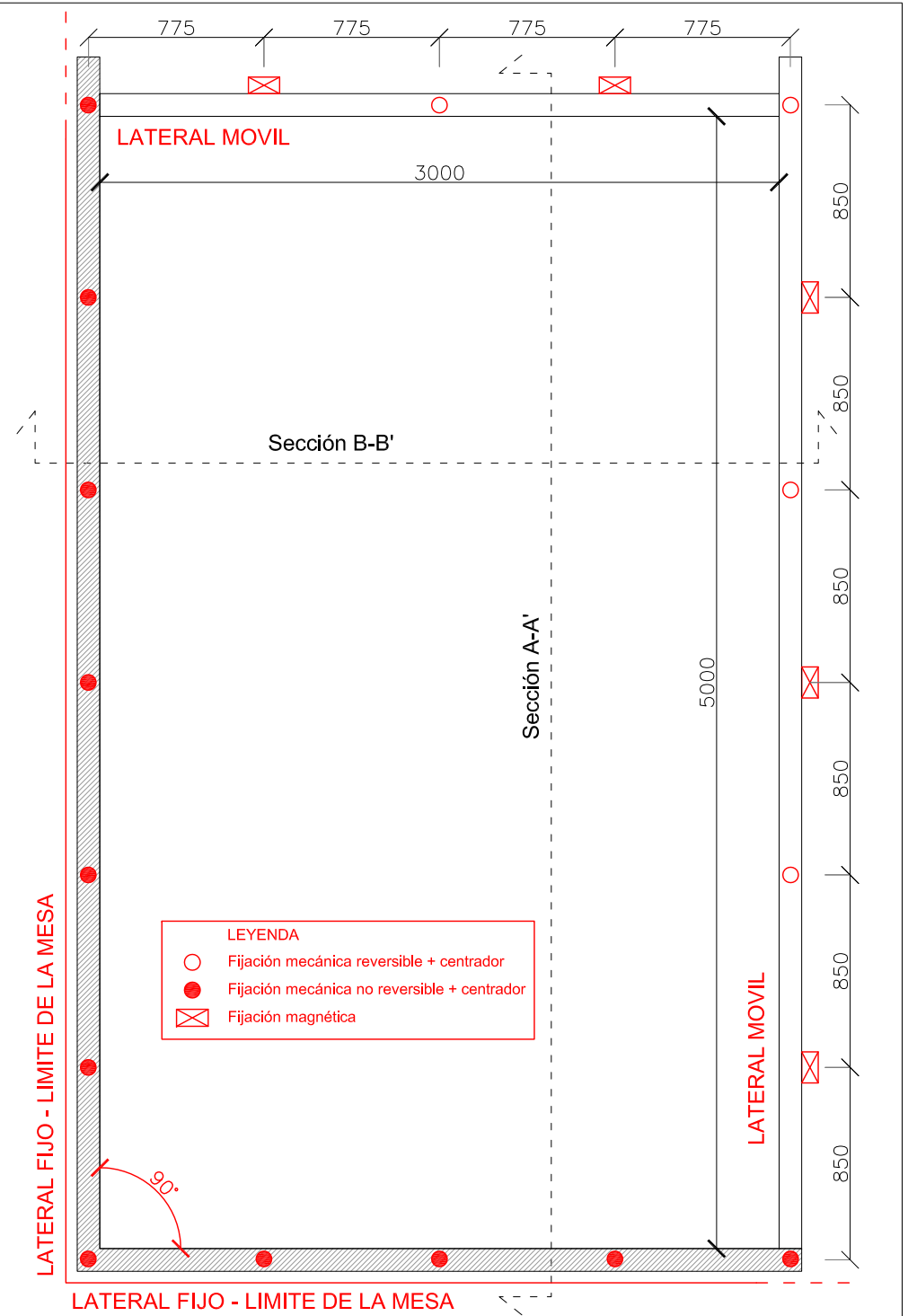
'La clientalización de la forma de los sistemas industrializados de fachada'

Panel 5x3x0,15m

DIN A4 e: 1/30

Plano de fabricación del molde perimetral

1a





LATERAL FIJO (A)

Pasamano calibrado 120.8mm

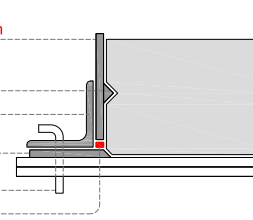
Berenjeno acero 15X15mm

Perfil L70.7mm

Pasamano calibrado 80.8mm

Centrador Ø12

Cinta de sellado



SECCIÓN A-A'

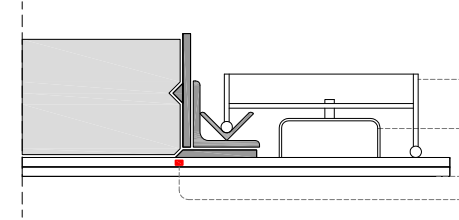
LATERAL MOVIL (A')

Soporte para iman

Iman

Mesa acero 12+12mm

Cinta de sellado



Fijación iman

LATERAL FIJO (A)

Pasamano calibrado 120.8mm

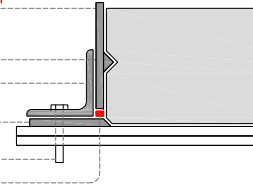
Berenjeno acero 15X15mm

Perfil L70.7mm

Pasamano calibrado 80.8mm

Tornillo M16

Cinta de sellado



SECCIÓN A-A'

LATERAL MOVIL (A')

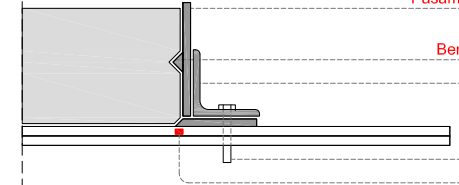
Pasamano calibrado 120.8mm

Berenjeno acero 15x15mm

Perfil L70.7mm

Tornillo M16

Cinta de sellado



Fijación mecánica

LATERAL FIJO (B)

Pasamano calibrado 120.8mm

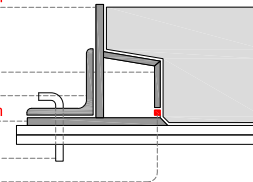
Triple perfil calibrado 6mm

Perfil L70.7mm

Pasamano calibrado 150.8mm

Centrador Ø12

Cinta de sellado



SECCIÓN B-B'

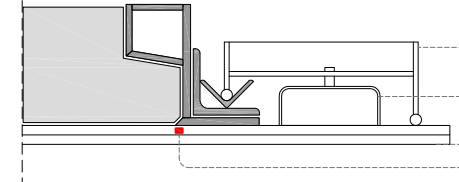
LATERAL MOVIL (B')

Soporte para iman

Iman

Mesa acero 12+12mm

Cinta de sellado



Fijación iman

LATERAL FIJO (B)

Pasamano calibrado 120.8mm

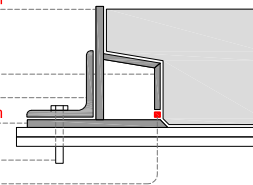
Triple perfil calibrado 6mm

Perfil L70.7mm

Pasamano calibrado 150.8mm

Tornillo M16

Cinta de sellado



SECCIÓN B-B'

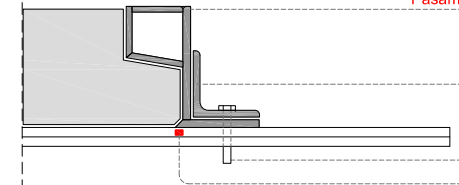
LATERAL MOVIL (B')

Pasamano calibrado 120.8mm

Perfil L70.7mm

Tornillo M16

Cinta de sellado



Fijación mecánica

'La dientalización de la forma de los sistemas industrializados de fachada'

Panel 5x3x0,15m

Plano de fabricación del molde perimetral

1b







**ANEXO 3- Tablas de cálculo del PANEL de 2x3m**



## Tabla de los costes de producción de un molde y un panel de 2x3x0,15m

### Distribución de los costes para el 1r PANEL

#### DEFINICIÓN GEOMETRICA DEL MOLDE PERIMETRAL (apartado 4.2.1)

##### Mano de Obra

Reparación superficie mesa encofrado	6,00 m2	5,00 min/m²	0,42 €/min	12,60 €	30 min
<b>Perimetro exterior</b> *Nota: los perfiles se sirven en barras 6ml					
Molde exterior Tipo A					
Corte+soldar Pasamano plano calibrado 8mm visel	2,00 ud	35,00 min/ud	0,42 €/min	29,40 €	70 min
Corte+soldar Pasamano plano calibrado 8mm vertical	2,00 ud	25,00 min/ud	0,42 €/min	21,00	
Corte+soldar Perfil L70 acero negro	2,00 ud	15,00 min/ud	0,42 €/min	12,60 €	30 min
Corte+soldar Berenjeno 15x15mm	2,00 ud	15,00 min/ud	0,42 €/min	12,60 €	30 min
<b>Molde exterior Tipo B</b>					
Corte+soldar Pasamano plano calibrado 8mm visel	1,00 ud	35,00 min/ud	0,42 €/min	14,70 €	35 min
Corte+soldar Pasamano plano calibrado 8mm vertical	1,00 ud	25,00 min/ud	0,42 €/min	10,50	
Corte+soldar Perfil L70 acero negro	1,00 ud	15,00 min/ud	0,42 €/min	6,30 €	15 min
Corte+soldar Tubular 60x60x4mm	1,00 ud	15,00 min/ud	0,42 €/min	6,30 €	15 min
<b>Molde exterior Tipo C</b>					
Corte+soldar Pasamano plano calibrado 8mm visel	1,00 ud	35,00 min/ud	0,42 €/min	14,70 €	35 min
Corte+soldar Pasamano plano calibrado 8mm vertical	1,00 ud	25,00 min/ud	0,42 €/min	10,50	
Corte+soldar Perfil L70 acero negro	1,00 ud	15,00 min/ud	0,42 €/min	6,30 €	15 min
Corte+soldar Tubular 60x60x4mm	1,00 ud	15,00 min/ud	0,42 €/min	6,30 €	15 min
<b>Perimetro interior</b>					
Corte+soldar Perfil Interior	0,00 ud	15,00 min/ud	0,42 €/min	0,00 €	0 min
Corte+soldar Perfil Plano calibrado interior	0,00 ud	15,00 min/ud	0,42 €/min	0,00	
Corte+soldar Berenjeno interior	0,00 ud	10,00 min/ud	0,42 €/min	0,00 €	0 min
<b>TOTAL</b>				<b>163,80 €</b>	<b>290,00 min</b>

##### Material

Reparación superficie mesa encofrado	15,00 m2	-	Kg/ml	0,30 €/m2	4,50 €
<b>Perimetro exterior</b> *Nota: los perfiles se sirven en barras 6ml					
Molde exterior Tipo A					
Pasamano plano calibrado 8mm visel	2,00 ud	3,00 ml	4,15 €/ml	24,90 €	
Pasamano plano calibrado 8mm vertical	2,00 ud	3,00 ml	6,23 €/ml	37,38 €	
Perfil L70 acero negro	2,00 ud	3,00 ml	4,53 €/ml	27,18 €	
Berenjeno 15x15mm	2,00 ud	3,00 ml	4,20 €/ml	25,20 €	
<b>Molde exterior Tipo B</b>					
Pasamano plano calibrado 8mm visel	1,00 ud	2,00 ml	4,15 €/ml	8,30 €	
Pasamano plano calibrado 8mm vertical	1,00 ud	2,00 ml	6,23 €/ml	12,46 €	
Perfil L70 acero negro	1,00 ud	2,00 ml	4,53 €/ml	9,06 €	
Tubular 60x60x4mm	1,00 ud	2,00 ml	4,53 €/ml	9,06 €	

Molde exterior Tipo C					
Pasamano plano calibrado 8mm visel	1,00 ud	2,00 ml	4,15 €/ml	8,30 €	
Pasamano plano calibrado 8mm vertical	1,00 ud	2,00 ml	6,23 €/ml	12,46 €	
Perfil L70 acero negro	1,00 ud	2,00 ml	4,53 €/ml	9,06 €	
Tubular 60x60x4mm	1,00 ud	2,00 ml	4,53 €/ml	9,06 €	
<b>Perimetro interior</b>					
Perfil Interior	0,00 ud	0,00 ml	0,00 €/ml	0,00 €	
Perfil Plano calibrado interior	0,00 ud	0,00 ml	0,00 €/ml	0,00 €	
Berenjeno interior	0,00 ud	0,00 ml	0,00 €/ml	0,00 €	
<b>TOTAL</b>				<b>196,92 €</b>	

#### REPLANTEO DE LOS MOLDES PERIMETRALES SOBRE LA MESA DE HORMIGONADO (apartado 4.2.2)

<b>Mano de Obra</b>						
<b>Perimetro exterior</b>						
Replanteo Perimetro exterior	10,00 ml	12,00 min/m	0,42 €/min	50,40 €	120 min	
<b>Perimetro interior</b>						
Replanteo Perimetro interior	0,00 ml	12,00 min/m	0,42 €/min	0,00 €	0 min	
<b>TOTAL</b>				<b>50,40 €</b>	<b>120,00 min</b>	

<b>Material</b>						
<b>Perimetro exterior</b>						
Replanteo Perimetro exterior	10,00 ud	1,00 ud/m	0,02 €/ud	0,20 €		
<b>Perimetro interior</b>						
Replanteo Perimetro interior	0,00 ud	1,00 ud/m	0,02 €/ud	0,00 €		
<b>TOTAL</b>				<b>0,20 €</b>		

#### ENSAMBLAJE DE LOS MOLDES PERIMETRALES (apartado 4.2.3)

<b>Mano de Obra</b>						
<b>Perimetro exterior</b>						
Ensamblaje Perimetro exterior	4,00 ud	50,00 min/ud	0,41 €/min	82,00 €	200 min	
<b>Perimetro interior</b>						
Ensamblaje Perimetro interior	0,00 ud	35,00 min/ud	0,41 €/min	0,00 €	0 min	
<b>TOTAL</b>				<b>82,00 €</b>	<b>200 min</b>	

<b>Material</b>						
<b>Perimetro exterior</b>						
Ensamblaje Perimetro exterior	4,00 ud		3,50 €/ud	14,00 €		
<b>Perimetro interior</b>						
Ensamblaje Perimetro interior	0,00 ud		3,50 €/ud	0,00 €		
<b>TOTAL</b>				<b>14,00 €</b>		

#### FIJACIÓN DE LOS MOLDES PERIMETRALES SOBRE LA MESA (apartado 4.2.4)

##### Mano de Obra

###### Perimetro exterior

Fijación mecanica Perimetro exterior	6,00 ud	35,00 min/ud	0,42 €/min	88,20 €	210 min
Fijación magnetica Perimetro exterior	6,00 ud	20,00 min/ud	0,42 €/min	50,40 €	120 min
Sellado perfiles	10,00 ml	0,50 min/m	0,42 €/min	2,10 €	5 min

###### Perimetro interior

Fijación mecanica Perimetro interior	0,00 ud	35,00 min/ud	0,42 €/min	0,00 €	0 min
Fijación magnetica Perimetro interior	0,00 ud	11,00 min/ud	0,42 €/min	0,00 €	0 min
Sellado perfiles	0,00 ml	0,50 min/m	0,42 €/min	0,00 €	0 min

**TOTAL** **140,70 €** **335 min**

##### Material

###### Perimetro exterior

Fijación mecanica Perimetro exterior	6,00 ud	0,35 €/ud	2,10 €
Fijación magnetica Perimetro exterior	6,00 ud	1,80 €/ud	10,80 €
Cinta de sellado	10,00 ml	0,05 €/m	0,50 €

###### Perimetro interior

Fijación mecanica Perimetro interior	0,00 ud	0,35 €/ud	0,00 €
Fijación magnetica Perimetro interior	0,00 ud	1,80 €/ud	0,00 €
Cinta de sellado	0,00 ml	0,05 €/m	0,00 €

**TOTAL** **13,40 €**

#### PRODUCCIÓN

#### APLICACIÓN DE LOS DESENCOFRANTES (apartado 4.2.5)

##### Mano de Obra

Mesa de hormigonado	6,00 m2	1,00 min/m <sup>2</sup>	0,42 €/min	2,52 €	6 min
---------------------	---------	-------------------------	------------	--------	-------

###### Perimetro exterior

Desencofrante	10,00 ml	1,00 min/m	0,42 €/min	4,20 €	10 min
---------------	----------	------------	------------	--------	--------

###### Perimetro interior

Desencofrante	0,00 ml	1,00 min/m	0,42 €/min	0,00 €	0 min
---------------	---------	------------	------------	--------	-------

**TOTAL** **6,72 €** **16 min**

##### Material

Mesa de hormigonado	6,00 m2	0,10 €/m <sup>2</sup>	0,60 €
---------------------	---------	-----------------------	--------

###### Perimetro exterior

Desencofrante	10,00 ml	0,05 €/m	0,50 €
---------------	----------	----------	--------

###### Perimetro interior

Desencofrante	0,00 ml	0,05 €/m	0,00 €
---------------	---------	----------	--------

**TOTAL** **1,10 €**

**ARMADO INTERIOR PANEL (apartado 4.2.6)****Mano de Obra**

Armado	6,00 m <sup>2</sup>	5,00 min/m <sup>2</sup>	0,42 €/min	12,60 €	30 min
<b>TOTAL</b>				<b>12,60 €</b>	<b>62 min</b>

**Material**

Armado	6,00 m <sup>2</sup>	2,00 kg/m <sup>2</sup>	1,00 €/kg	12,00	
<b>TOTAL</b>				<b>12,00 €</b>	

**AMASADO Y VERTIDO (apartado 2.2.7)****Mano de Obra**

<b>Amasado</b>					
Hormigón	0,90 m <sup>3</sup>	15,00 min/m <sup>3</sup>	0,84 €/min	11,34 €	13,5 min
<b>Vertido</b>					
Hormigón	15,00 m <sup>2</sup>	0,40 min/m <sup>2</sup>	1,68 €/min	10,08 €	6 min
<b>TOTAL</b>				<b>21,42 €</b>	<b>19,5 min</b>

**Material**

<b>Amasado</b>					
Hormigón	0,90 m <sup>3</sup>	2,30 T/m <sup>3</sup>	30,00 €/T	62,10 €	
<b>TOTAL</b>				<b>62,10 €</b>	

**DESMONTAJE DE LOS MOLDES PERIMETRALES (apartado 4.2.8)****Mano de Obra**

<b>Perimetro exterior</b>					
Extracción Fijación mecanica Perimetro exterior	6,00 ud	2,00 min/ud	0,42 €/min	5,04 €	12 min
Extracción Fijación magnetica Perimetro exterior	6,00 ud	1,00 min/ud	0,42 €/min	2,52 €	6 min
Desmontaje 3 molde Perimetral Exterior	3,00 ud	5,00 min/ud	0,84 €/min	12,60 €	15 min
<b>Perimetro interior</b>					
Extracción Fijación mecanica Perimetro interior	0,00 ud	2,00 min/ud	0,42 €/min	0,00 €	0 min
Extracción Fijación magnetica Perimetro interior	0,00 ud	1,00 min/ud	0,42 €/min	0,00 €	0 min
Desmontaje molde Perimetral Exterior	0,00 ud	5,00 min/ud	0,84 €/min	0,00 €	0 min
<b>TOTAL</b>				<b>20,16 €</b>	<b>33 min</b>

**DESMOLDEO, ELEVACIÓN Y ACOPIO (apartado 4.2.9)****Mano de Obra**

<b>Desmoldeo</b>					
Panel	1,00 ud	10,00 min/ud	1,26 €/min	12,60 €	10 min
<b>Elevación</b>					
Panel	1,00 ud	5,00 min/ud	1,26 €/min	6,30 €	5 min
<b>Acopio</b>					
Panel	1,00 ud	5,00 min/ud	1,26 €/min	6,30 €	5 min
<b>TOTAL</b>				<b>25,20 €</b>	<b>15 min</b>



## Distribución de los costes para la REPETICIÓN DE UN PANEL

### OPERACIONES para 1a REPETICIÓN (apartado 4.2.10)

#### ENSAMBLAJE DE LOS MOLDES PERIMETRALES SOBRE LA MESA

##### Mano de Obra

##### Perimetro exterior

Ensamblaje Perimetro exterior	4,00 ud	15,00 min/ud	0,42 €/min	25,20 €	60 min
-------------------------------	---------	--------------	------------	---------	--------

##### Perimetro interior

Ensamblaje Perimetro exterior	0,00 ud	10,00 min/ud	0,42 €/min	0,00 €	0 min
-------------------------------	---------	--------------	------------	--------	-------

##### TOTAL

				<b>25,20 €</b>	<b>60 min</b>
--	--	--	--	----------------	---------------

##### Material

##### Perimetro exterior

Ensamblaje Perimetro exterior	4,00 ud		0,40 €/ud	1,60 €	
-------------------------------	---------	--	-----------	--------	--

##### Perimetro interior

Ensamblaje Perimetro exterior	0,00 ud		0,40 €/ud	0,00 €	
-------------------------------	---------	--	-----------	--------	--

##### TOTAL

				<b>1,60 €</b>	
--	--	--	--	---------------	--

#### FIJACIÓN DE LOS MOLDES PERIMETRALES SOBRE LA MESA

##### Mano de Obra

##### Perimetro exterior

Fijación mecanica Perimetro exterior	6,00 ud	5,00 min/ud	0,42 €/min	12,60 €	30 min
--------------------------------------	---------	-------------	------------	---------	--------

Fijación magnetica Perimetro exterior	6,00 ud	4,00 min/ud	0,42 €/min	10,08 €	24 min
---------------------------------------	---------	-------------	------------	---------	--------

Sellado perfiles	10,00 ml	0,50 min/m	0,42 €/min	2,10 €	5 min
------------------	----------	------------	------------	--------	-------

##### Perimetro interior

Fijación mecanica Perimetro interior	0,00 ud	5,00 min/ud	0,42 €/min	0,00 €	0 min
--------------------------------------	---------	-------------	------------	--------	-------

Fijación magnetica Perimetro interior	0,00 ud	4,00 min/ud	0,42 €/min	0,00 €	0 min
---------------------------------------	---------	-------------	------------	--------	-------

Sellado perfiles	0,00 ml	0,35 min/m	0,42 €/min	0,00 €	0 min
------------------	---------	------------	------------	--------	-------

##### TOTAL

				<b>24,78 €</b>	<b>59 min</b>
--	--	--	--	----------------	---------------

##### Material

##### Perimetro exterior

Fijación mecanica Perimetro exterior	6,00 ud		0,04 €/ud	0,24 €	
--------------------------------------	---------	--	-----------	--------	--

Fijación magnetica Perimetro exterior	6,00 ud		0,04 €/ud	0,24 €	
---------------------------------------	---------	--	-----------	--------	--

Cinta de sellado	10,00 ml		0,05 €/m	0,45 €	
------------------	----------	--	----------	--------	--

##### Perimetro interior

Fijación mecanica Perimetro interior	0,00 ud		0,04 €/ud	0,00 €	
--------------------------------------	---------	--	-----------	--------	--

Fijación magnetica Perimetro interior	0,00 ud		0,04 €/ud	0,00 €	
---------------------------------------	---------	--	-----------	--------	--

Cinta de sellado	0,00 ml		0,05 €/m	0,00 €	
------------------	---------	--	----------	--------	--

##### TOTAL

				<b>0,93 €</b>	
--	--	--	--	---------------	--

**DESMONTAJE DE LOS MOLDES PERIMETRALES****Mano de Obra****Perimetro exterior**

Extracción Fijación mecanica Perimetro exterior	6,00 ud	2,00 min/ud	0,42 €/min	5,04 €	12 min
Extracción Fijación magnetica Perimetro exterior	6,00 ud	1,00 min/ud	0,42 €/min	2,52 €	6 min
Desmontaje 3 molde Perimetral Exterior	3,00 ud	5,00 min/ud	0,84 €/min	12,60 €	15 min

**Perimetro interior**

Extracción Fijación mecanica Perimetro interior	0,00 ud	2,00 min/ud	0,42 €/min	0,00 €	0 min
Extracción Fijación magnetica Perimetro interior	0,00 ud	1,00 min/ud	0,42 €/min	0,00 €	0 min
Desmontaje molde Perimetral Exterior	0,00 ud	5,00 min/ud	0,84 €/min	0,00 €	0 min

**TOTAL****20,16 € 33 min**

## RESUMEN de la distribución de los costes (2x3x0,15m)

### RESUMEN DE COSTES 1r PANEL

Mano de Obra		523,00 €
Material		299,72 €
<b>TOTAL COSTES DIRECTOS</b>		<b>822,72 €</b>
<b>COSTES INDIRECTOS 30-40%</b>	30%	246,82 €
<b>COSTE FINAL</b>		<b>1.069,54 €</b>
Repercusión		71,30 €/m <sup>2</sup>

### DEFINICIÓN DE LA FORMA. Coste M.O. y Mat. 681,58 € 82,84%

1- Definición geométrica del molde perimetral				
2- Replanteo de los moldes perimetrales				
3- Ensamblaje de los moldes perimetrales				
4- Fijación de los moldes perimetrales				
5- Desmontaje de los moldes perimetrales			Parcial	Global
	<i>Mano de Obra</i>	<b>457,06 €</b>	67,1%	55,6%
	<i>Material</i>	<b>224,52 €</b>	32,9%	27,3%

### CONFORMACION DEL PANEL. Coste M.O. y Mat. 141,14 € 17,16%

1- Aplicación de los desencofrantes				
2- Armado interior panel				
3- Amasado y vertido				
4- Desmoldeo, elevación y acopio			Parcial	Global
	<i>Mano de Obra</i>	<b>65,94 €</b>	46,7%	8,0%
	<i>Material</i>	<b>75,20 €</b>	53,3%	9,1%

### RESUMEN DE COSTES REPETICIÓN PANEL

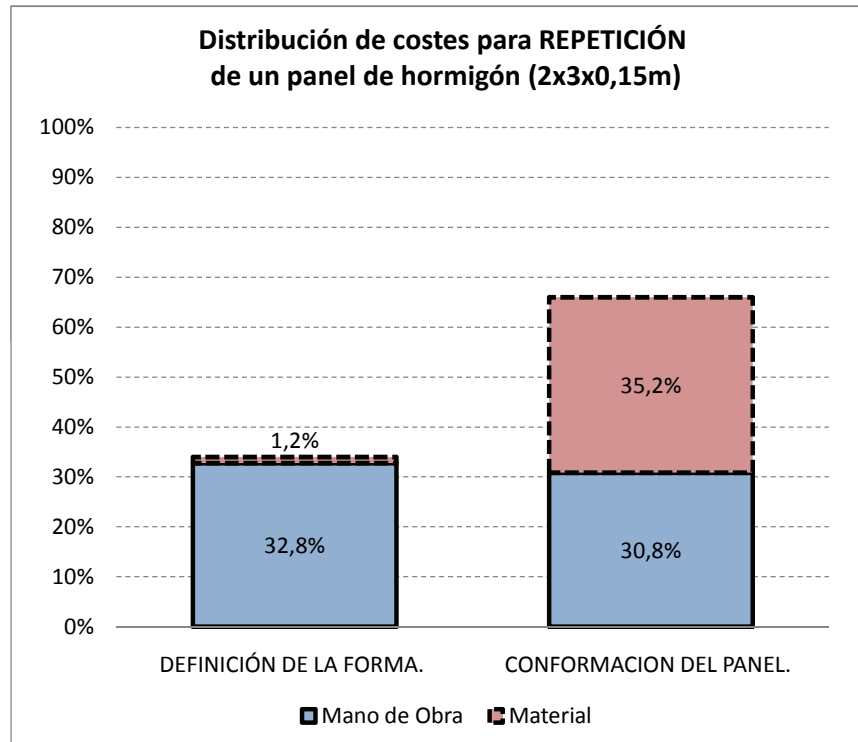
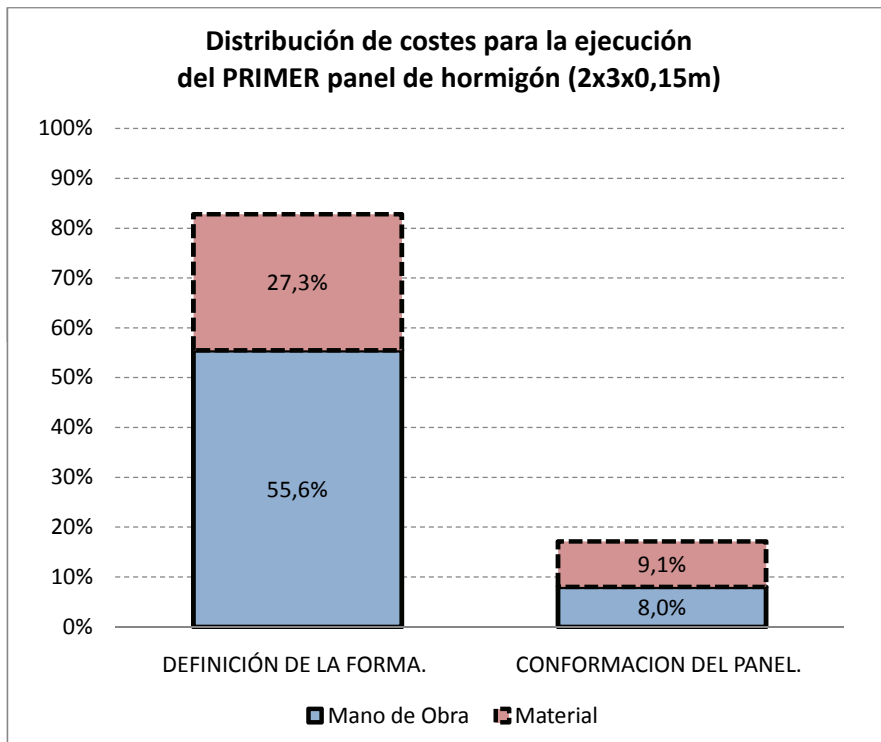
Mano de Obra		136,08 €
Material		77,73 €
<b>TOTAL COSTES DIRECTOS</b>		<b>213,81 €</b>
<b>COSTES INDIRECTOS 30-40%</b>	30%	64,14 €
<b>COSTE FINAL</b>		<b>277,95 €</b>
Repercusión		18,53 €/m <sup>2</sup>

### DEFINICIÓN DE LA FORMA. Coste M.O. y Mat. 72,67 € 33,99%

3- Ensamblaje de los moldes perimetrales				
4- Fijación de los moldes perimetrales				
5- Desmontaje de los moldes perimetrales			Parcial	Global
	<i>Mano de Obra</i>	<b>70,14 €</b>	96,5%	32,8%
	<i>Material</i>	<b>2,53 €</b>	3,5%	1,2%

### CONFORMACION DEL PANEL. Coste M.O. y Mat. 141,14 € 66,01%

1- Aplicación de los desencofrantes				
2- Armado interior panel				
3- Amasado y vertido				
4- Desmoldeo, elevación y acopio			Parcial	Global
	<i>Mano de Obra</i>	<b>65,94 €</b>	46,7%	30,8%
	<i>Material</i>	<b>75,20 €</b>	53,3%	35,2%



## Resumen de costes de producción de un molde y un panel de 2x3x0,15m

	Serie BASE	Serie 1	Serie 2	Serie 3	Serie 4	Serie 5
<b>Mano de Obra</b>	84,28%	86,26%	82,98%	77,51%	70,70%	67,06%
<b>Material</b>	15,72%	13,74%	17,02%	22,49%	29,30%	32,94%

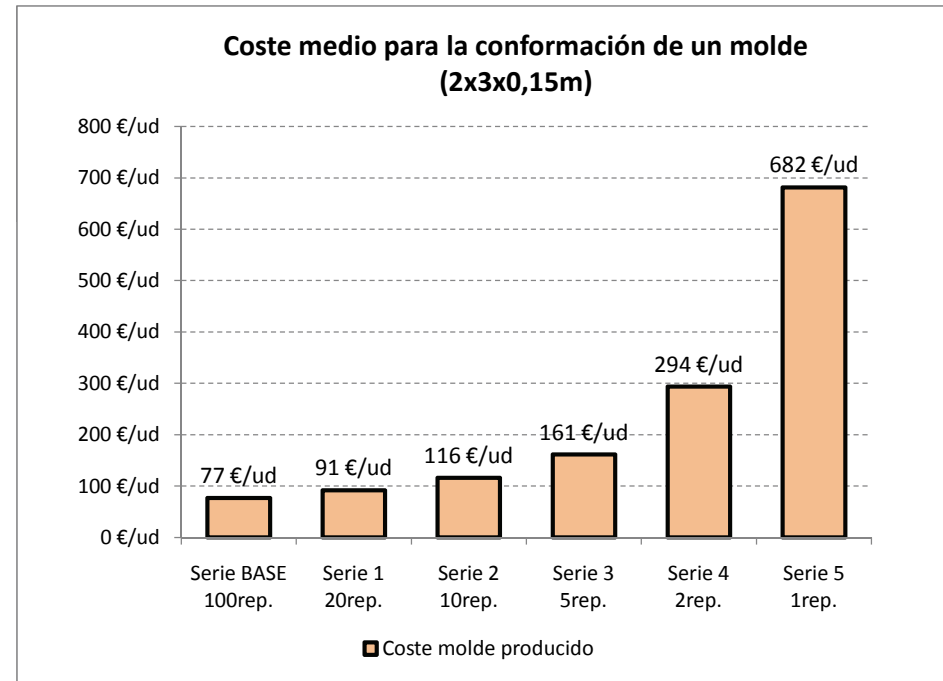
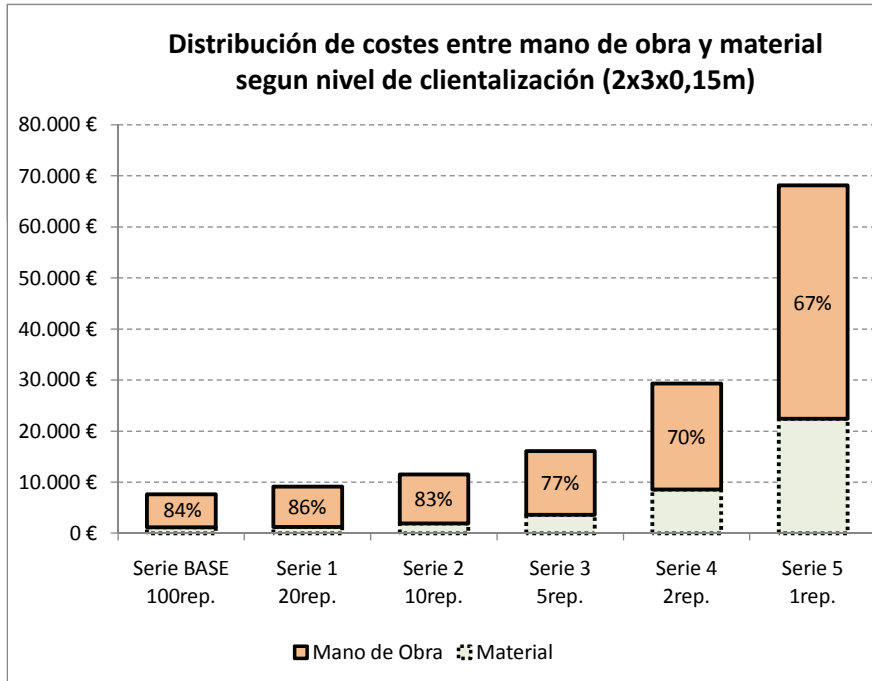
	Serie BASE 100rep.	Serie 1 20rep.	Serie 2 10rep.	Serie 3 5rep.	Serie 4 2rep.	Serie 5 1rep.
<b>Coste total</b>	7.666 €	9.149 €	11.571 €	16.124 €	29.363 €	68.158 €
<b>Mano de Obra</b>	6.461 €	7.892 €	9.602 €	12.497 €	20.761 €	45.706 €
<b>Material</b>	1.205 €	1.257 €	1.969 €	3.626 €	8.602 €	22.452 €

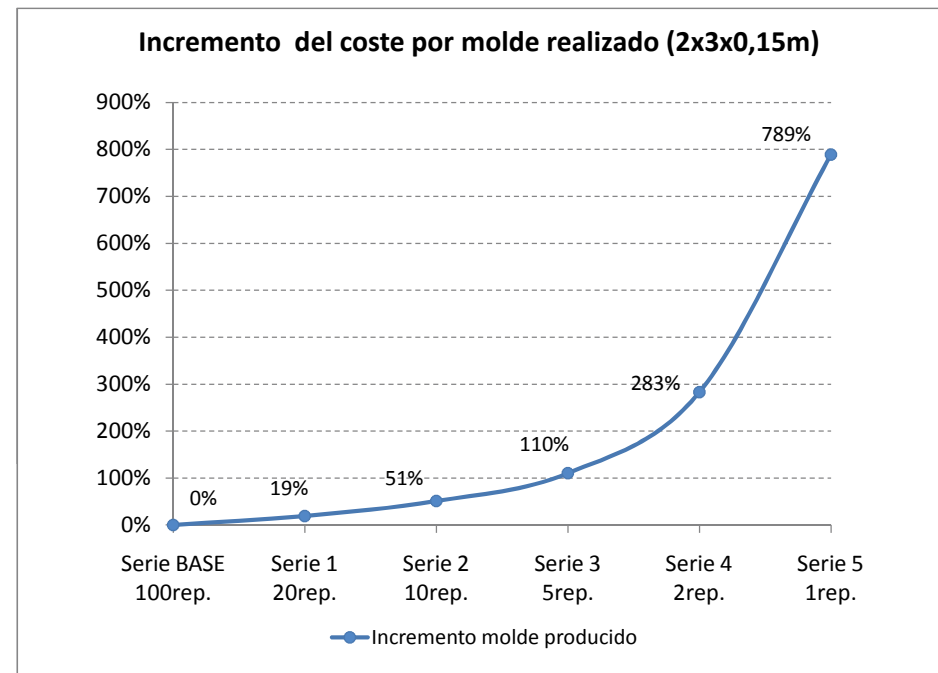
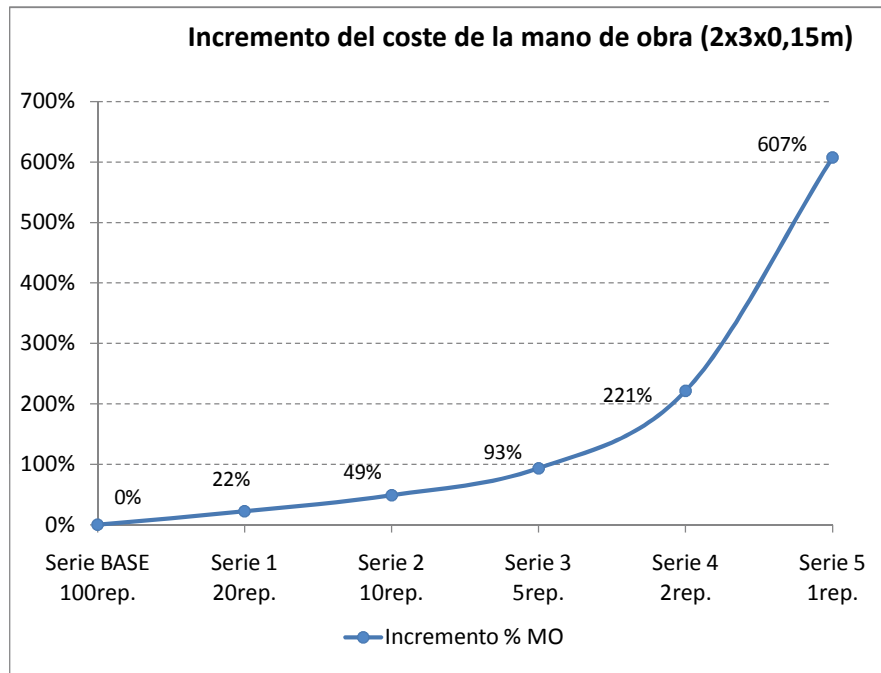
  

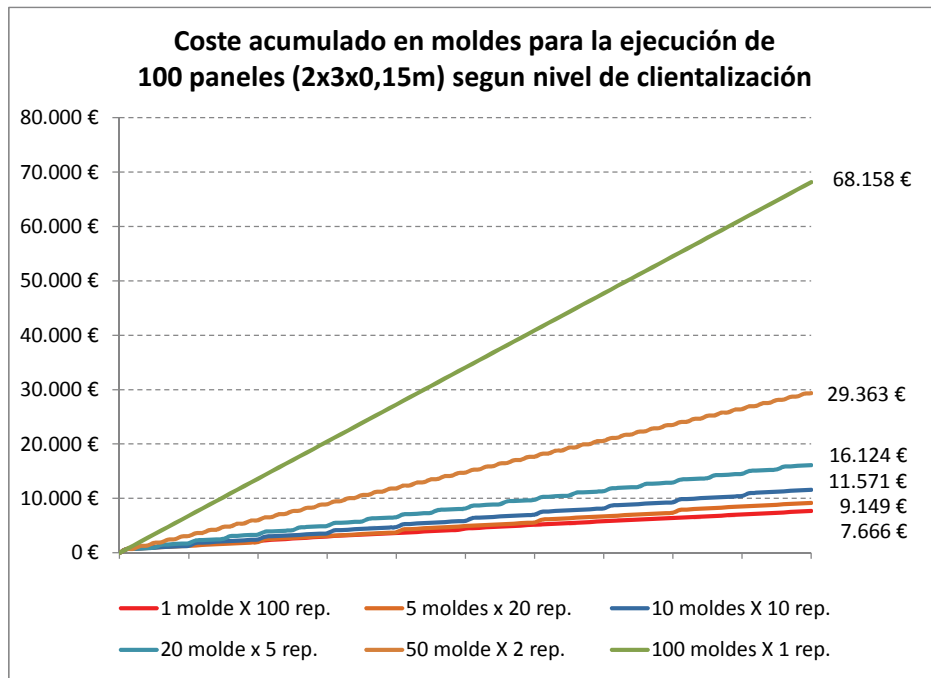
<b>Incremento % MO</b>	0,00%	22,15%	48,62%	93,42%	221,33%	607,41%
<b>Incremento % MA</b>	0,00%	4,27%	63,37%	200,88%	613,74%	1762,89%

<b>Coste molde producido</b>	77 €/ud	91 €/ud	116 €/ud	161 €/ud	294 €/ud	682 €/ud
<b>Incremento molde producido</b>	0,00%	19,34%	50,94%	110,32%	283,02%	789,06%











**ANEXO 4- Documentación grafica del molde del PANEL de 2x3m**



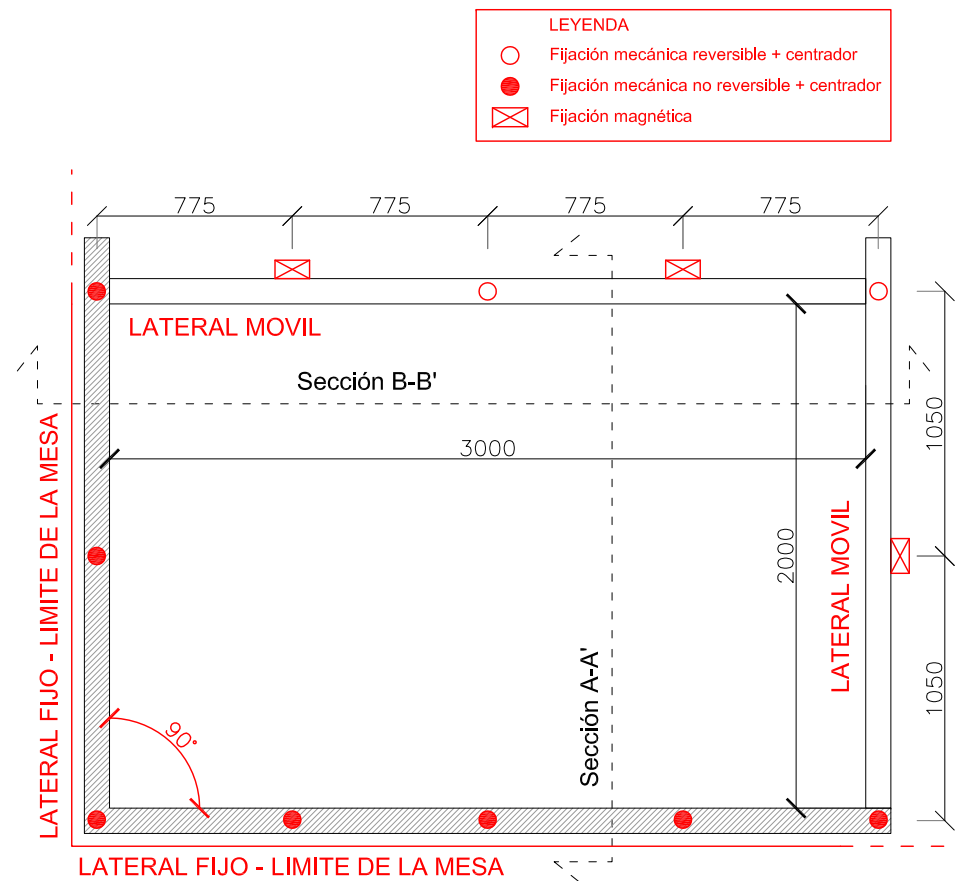
'La clientalización de la forma de los sistemas industrializados de fachada'

Panel 2x3x0,15m

DIN A4 e: 1/30

Plano de fabricación del molde perimetral

2a





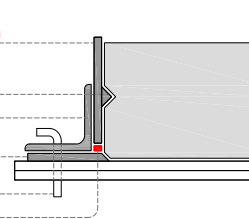
LATERAL FIJO (A)

Pasamano calibrado 120.8mm

Berenjeno acero 15X15mm  
Perfil L70.7mm

Pasamano calibrado 80.8mm

Centrador Ø12  
Cinta de sellado



SECCIÓN A-A'

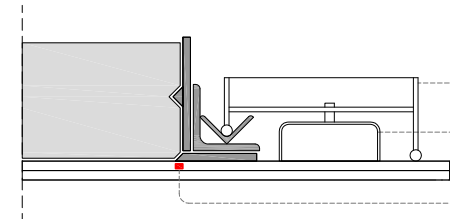
LATERAL MOVIL (A)

Soporte para iman

Iman

Mesa acero 12+12mm

Cinta de sellado



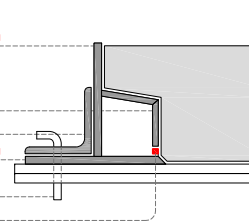
Fijación iman

LATERAL FIJO (B)

Pasamano calibrado 120.8mm

Triple perfil calibrado 6mm  
Perfil L70.7mm  
Pasamano calibrado 150.8mm

Centrador Ø12  
Cinta de sellado



SECCIÓN B-B'

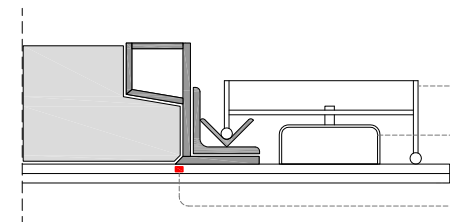
LATERAL MOVIL (B)

Soporte para iman

Iman

Mesa acero 12+12mm

Cinta de sellado



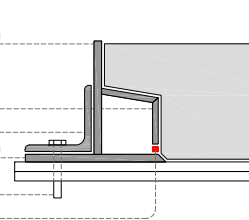
Fijación iman

LATERAL FIJO (B)

Pasamano calibrado 120.8mm

Triple perfil calibrado 6mm  
Perfil L70.7mm  
Pasamano calibrado 150.8mm

Tornillo M16  
Cinta de sellado



SECCIÓN B-B'

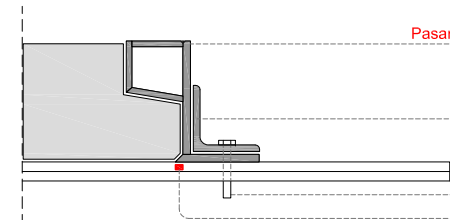
LATERAL MOVIL (B)

Pasamano calibrado 120.8mm

Perfil L70.7mm

Tornillo M16

Cinta de sellado



Fijación mecánica

'La centialización de la forma de los sistemas industrializados de fachada'

Panel 2x3x0,15m

DIN A4 Esc. Graf.

2b

Plano de fabricación del molde perimetral





## **DESARROLLO 5**

**Análisis del coste-variación dimensional para la conformación del bastidor de un componente tipo *Unitized* para fachada ligera**





## 5 Análisis del coste-variación dimensional para la conformación de un bastidor para un componente Unitized de fachada ligera

### 5.1 Contexto del análisis

Para el análisis del incremento de los costes relativos a la variabilidad de la forma de un componente *Unitized* de fachada ligera se han considerado las siguientes operaciones necesarias para conformar el bastidor principal:

- a. *Corte de los semiproductos lineales a la longitud deseada*
- b. *Mecanizado de los perfiles*
- c. *Retestado de perfiles*
- d. *Ensamblaje de los perfiles*
- e. *Sellado de las esquinas*

Una vez conformado el primer componente, debemos de considerar aquellas operaciones que nos permitan desarrollar las múltiples repeticiones de la serie de producción.

A diferencia de lo que sucede con la producción de los componentes de hormigón la conformación del bastidor no será amortizado como lo sería el molde perimetral y por lo tanto no tiene sentido pensar en un grupo de operaciones para la repetición de los elementos de la serie. En este caso, todos los bastidores serán utilizados para conformar componentes.



Fig.D5.1. Geometría del bastidor analizado. Ver detalles Anexo 6.

### 5.1.1 Objetivo

Determinar la importancia del coste asociado a la variabilidad de la forma de los bastidores principales para conformar componentes *Unitized* dentro de una misma serie de producción.

- *El análisis no pretende cuantificar los costes exactos de producción de un bastidor sino medir la variación porcentual entre series de producción caracterizadas por diferentes niveles de clientalización.*

### 5.1.2 Objeto analizado

Los cálculos realizados para determinar la importancia del coste asociado a la variabilidad de la forma de los bastidores planos se han basado en las siguientes geometrías:

- **La geometría del componente:** marco perimetral de 3x1,5 m de perfiles de aluminio con dos perfiles intermedios de 1,5 m unidos a los perfiles de 3 m, según geometría indicada en la figura D5.1 (ver detalles en el Anexo 6)

## 5.2 El modelo de producción y las operaciones analizadas

Para el análisis de los costes asociados a la clientalización de la forma de los bastidores se ha considerado un contexto de producción industrial actual que utiliza sistemas de gestión CAD-CAM en las operaciones de corte, mecanizado y retestado de los perfiles.

Los cálculos se han realizado en base a costes de mano de obra y material utilizados en empresas especializadas en la conformación de sistemas para fachada ligera tipo *Unitized*, representando los COSTES DIRECTOS.

Los costes de la maquinaria necesaria para la ejecución de las operaciones de ejecución de un panel se han considerado como COSTES INDIRECTOS.

Para analizar el *coste*<sup>1</sup> de la clientalización de la forma se han considerado las siguientes operaciones:

### 5.2.1 Corte de los semiproductos lineales a la longitud deseada

Incluye los costes de mano de obra y material utilizado para las operaciones del corte de los perfiles de aluminio a la longitud deseada.

Para realizar estas operaciones se ha considerado una maquina de corte por CNC (Fig.D5.2 y D5.3) de doble cabezal y un solo operario, con las siguientes operaciones:

- Programación de la máquina de corte según longitud de perfil y tipo de corte  
(La programación de la máquina de corte se realiza tan solo una vez por serie de corte. Todos perfiles de igual longitud se cortaran de forma seguida).
- Colocación del perfil sobre la máquina
- Tiempo de corte

---

<sup>1</sup> Los cálculos detallados pueden verse en el Anexo 5 del presente desarrollo 'Tablas de cálculo del bastidor de 1.500x3.000mm



Fig.D5.2. Máquina de corte de doble cabeza. Empresa Folcrá



Fig.D5.3. Máquina de corte de doble cabeza. Empresa Folcrá

*-Colocación del perfil en banco de acopio*

Con el siguiente resultado:

<i>-Coste de la mano de obra</i>	<i>4,95 €</i>
<i>-Coste del material</i>	<i>128,10 €</i>

### **5.2.2 Mecanizado de los perfiles**

El mecanizado de los perfiles se realizará en un centro de mecanizado (Fig.D5.4). Como sabemos estas operaciones son de vital importancia para facilitar las operaciones de ensamblaje de los perfiles.

Se han considerado las siguientes operaciones:

*-Programación del centro de mecanizado.*

(Del mismo modo que sucedía con la programación de la máquina de corte, esta se realiza tan solo una vez por serie de mecanizado. Todos perfiles de igual mecanizado se realizan de forma seguida.

*-Colocación del perfil sobre la máquina*

*-Tiempo de mecanizado*

*-Colocación del perfil en banco de acopio*

Con el siguiente resultado:

<i>-Coste de la mano de obra</i>	<i>10,89 €</i>
<i>-Coste del material</i>	<i>0 €</i>



Fig.D5.4. Máquina de corte de doble cabeza. Empresa Folcrá

### 5.2.3 Retestado de perfiles

El retestado de los perfiles intermedios del bastidor analizado se realizará también en un centro de retestado por CNC (Fig. D5.5).

Considerando las siguientes operaciones:

- Programación del centro de retestado.  
(De igual modo en las anteriores operaciones)
- Colocación del perfil sobre la máquina
- Tiempo de retestado
- Colocación del perfil en banco de acopio

Con el siguiente resultado:

- Coste de la mano de obra                      4,29 €
- Coste del material                                0 €

### 5.2.4 Ensamblaje de los perfiles

Una vez los perfiles han sido cortados, mecanizados y retestados, se replantean sobre los bancos de montaje y se inician las operaciones de pre-ensamblaje y ensamblaje del bastidor.

Puesto que en nuestro caso el ensamblaje se realizará de forma manual (que como ya hemos visto en el capítulo 4 permite una mayor flexibilidad geométrica del bastidor) las operaciones de pre-ensamblaje y ensamblaje no las vamos a diferenciar.

En este grupo de operaciones se incorporan las escuadras y la tornillería necesaria (Fig.D5.6).



Fig.D5.5. Máquina de corte de doble cabeza. Empresa Folcrá

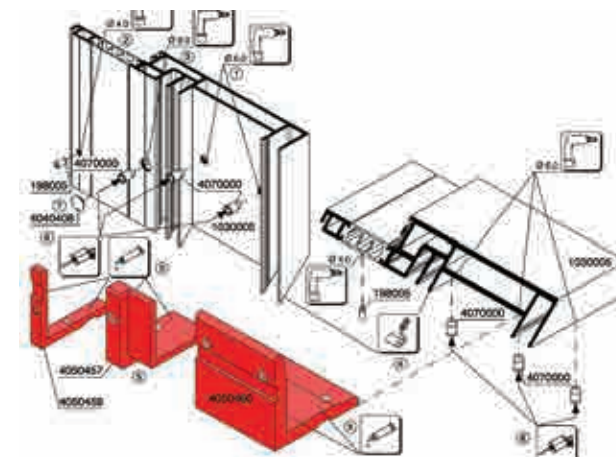


Fig.D5.6. Escuadras para el ensamblaje de perfiles.  
Wicona Mod. WITEC EL60



Fig.D5.7. Identificación de perfiles mediante numeración

Se han considerado las siguientes operaciones:

- Colocación y replanteo de los perfiles sobre el banco de montaje (D5.7)
- Montaje de las escuadras y tornillería
- Ensamblaje del bastidor
- Colocación del bastidor a banco de acopio

Con el siguiente resultado:

-Coste de la mano de obra	31,35 €
-Coste del material	2,44 €

### 5.2.5 Sellado de los encuentros entre perfiles del bastidor

Estas operaciones se realizan de forma manual debido a la elevada dificultad de colocar correctamente el material de sellado en la intersección de los perfiles (Fig. D5.8).

Se han considerado las siguientes operaciones:

- Sellado manual de todas las uniones entre perfiles
- Colocación del bastidor a banco de acopio

Con el siguiente resultado:

-Coste de la mano de obra	13,20 €
-Coste del material	0,80 €



Fig.D5.8. Sellado manual de las esquinas del bastidor.

### 5.2.6 Colocación de las gomas de estanqueidad

Tanto las operaciones de colocación como las propias gomas para la estanqueidad (Fig.D5.9) no se han considerado en este cálculo ya que es un elemento común en cualquier serie de producción y no influye en el coste de la variabilidad de la forma del bastidor.

NOTA: como puede verse en el *Capítulo 6* donde se analiza el '*El coste de la clientalización*' si que se han considerado ya que caracteriza el sistema de la propuesta presentándose como alternativa a los sistemas convencionales de sellado de los paneles de hormigón.

### 5.3 Los escenarios de clientalización analizados

Para el análisis de los costes asociados a la variabilidad de la forma o clientalización de un bastidor se han planteado cuatro escenarios distintos de producción diferenciados por la repetitividad de los paneles con un mismo objetivo:

- ***La producción de 100 bastidores de aluminio<sup>2</sup>***

Puesto que la finalidad del análisis no es cuantificar con exactitud el coste real de las operaciones sino los incrementos porcentuales en función de la variabilidad de los bastidores dentro de una serie de producción, se ha definido un primer escenario llamado SERIE BASE de cálculo sobre el cual mediremos los incrementos de los costes.

La SERIE BASE se caracteriza por la máxima repetición de los bastidores en la serie.

---

<sup>2</sup> La geometría del panel queda descrita en el apartado '2.1.2- Objeto analizo' del presente desarrollo



*Fig.D5.9. Sellado manual de las esquinas del bastidor.  
Empresa Folcrá*



A partir de la SERIE BASE se han desarrollado el resto de series donde cada una describe un nivel distinto de clientalización resumidos en la siguiente tabla:

<b>Conformación de bastidores planos del sistema Unitized</b>			
<b>SERIES</b>	<b>Bastidores distintos</b>	<b>Repeticiones</b>	<b>Clientalización</b>
Serie BASE-0	1 ud	100 uds	BAJA
Serie 1	5 uds	20 uds	 <b>ALTA</b>
Serie 2	10 uds	10 uds	
Serie 3	100 uds	1 ud	

*\*NOTA SOBRE LAS SERIES: Para conseguir el objetivo común, los 100 bastidores de aluminio, la primera plantea la conformación de 5 bastidores distintos repetidos 20 veces; la serie 2 desarrolla la conformación de 10 bastidores distintos repetidos 10 veces, etc... hasta llegar al último caso, serie 3, que aunque no sea representativa de un caso real plantea teóricamente la máxima clientalización en una serie de producción, donde cada bastidor es distinto al anterior.*

### **5.3.1 Criterios de cálculo**

Para realizar los cálculos de las distintas series de producción se ha tomado como valores de referencia los costes obtenidos en el apartado '5.2.-El modelo de producción y las operaciones analizadas' del presente desarrollo como costes para la producción de 1 bastidor.

Consideraciones:



- I. Puesto que serian infinitas las posibilidades geométricas de los bastidores para incluirlas en las distintas series de clientalización, se ha tomado la decisión de trabajar siempre con el mismo bastidor tipo (*Anexo 6.- Documentación grafica del bastidor de 1.500x3.000mm*).
- II. Por otro lado es evidente que los costes de fabricación de un bastidor de mayor dimensiones supondría un coste mayor pero estos valores son serian útiles para el objetivo del presente estudio ya que este analiza el aumento del coste en función de la variabilidad.

Así pues teniendo en cuenta ambas consideraciones tomaremos los valores obtenidos en los cálculos como valores relativos para determinar el aumento de coste entre las distintas series de clientalización.

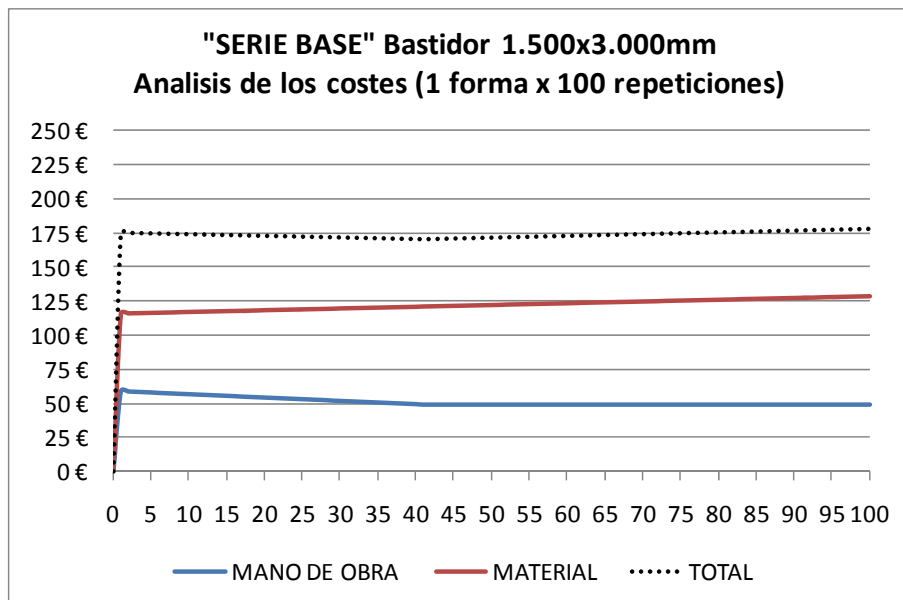
### **5.3.2 Resultados**

A continuación se presentan los resultados obtenidos en los análisis de los diferentes escenarios de clientalización.

Del mismo modo que se ha realizado en el *Desarrollo 4*, utilizaremos la SERIE BASE para analizar los resultados obtenidos.

## SERIE BASE

La **SERIE BASE** representa una serie de producción con 100 bastidores todos de la misma geometría.



- **COSTE INICIAL:** Observamos un primer coste inicial común en todos los escenarios que responde a la producción del primer bastidor de la serie.
- **EVOLUCIÓN DEL COSTE DE LA MANO DE OBRA:** Posteriormente hay una estabilización progresiva de los costes de mano de obra debido a la repetitividad de las operaciones, como por ejemplo a las de replanteo. Un mayor conocimiento del bastidor que se va a montar permite una optimización del tiempo dedicado a estas operaciones hasta alcanzar la estabilización del coste.
- **EVOLUCIÓN COSTE DEL MATERIAL:** Del mismo modo que sucede con la mano de obra, el coste del material no se considera constante. Desde las primeras repeticiones se ha contabilizado unas mermas constantes de material que generan un incremento del coste constante durante toda la producción de la serie.

## SERIE 1

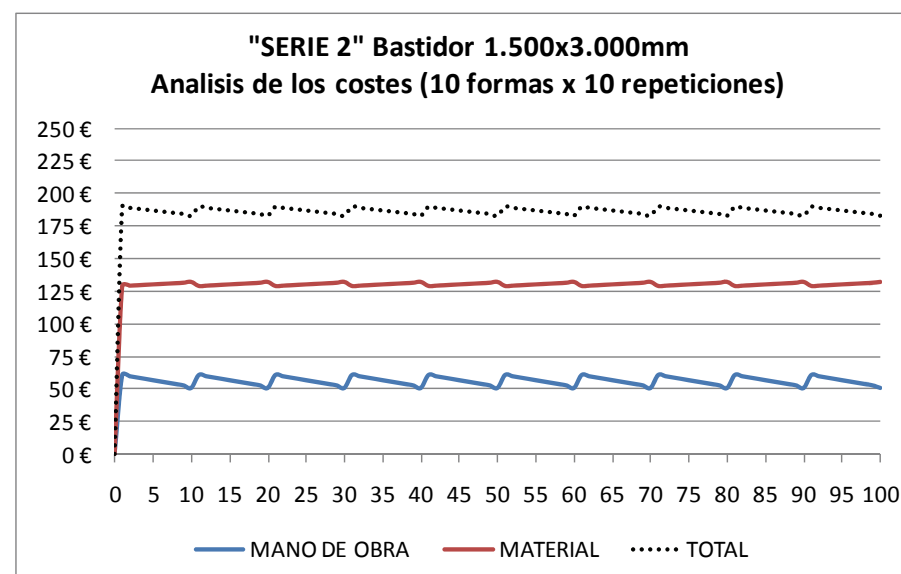
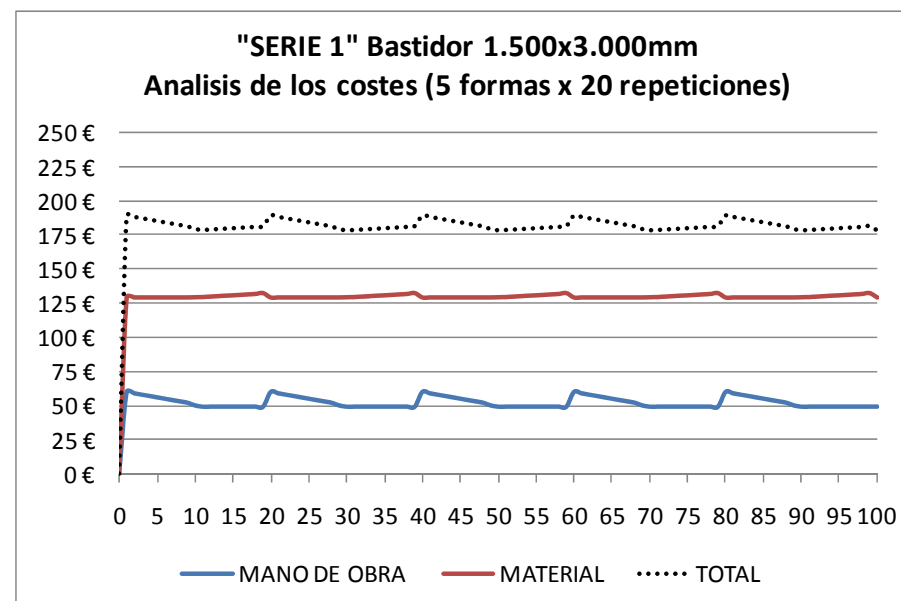
La **SERIE 1** representa una serie de producción con 5 tipos de bastidores repetidos 20 veces cada uno.

- Cada 'pico' que aparece en los costes responde a la ejecución de un nuevo bastidor de geometría distinta al anterior.
- Durante la ejecución de estas series cortas de 20 bastidores el coste de mano de obra se va optimizando y el coste de material crece debido a las mermas de producción.

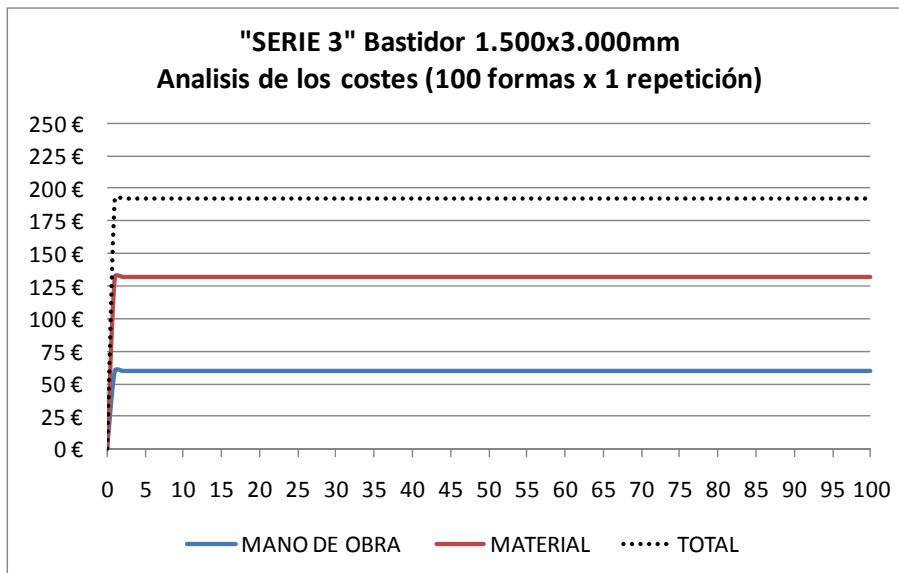
## SERIE 2

La **SERIE 2** representa una serie de producción con 10 tipos de bastidores repetidos 10 veces cada uno.

- Aquí también aparecen los 'picos' en los costes cada 10 bastidores representando la ejecución de un nuevo bastidor de geometría distinta a la anterior.
- Los costes de mano de obra también se van optimizando en cada repetición y los costes del material aumentan debido a las mermas de producción.



### SERIE 3



La **SERIE 3** representan una serie de producción con la máxima variabilidad de bastidores, 100 de 100. Cada bastidor es diferente al anterior.

Aunque esta serie de producción sea completamente teórica debía ser calculada para analizar el incremento de costes que supone la máxima clientalización de una serie de producción y poderla comprar con series de producción más habituales.

En este caso los costes se mantienen constantes en toda la serie de producción puesto que cada bastidor es distinto al anterior y por lo tanto no existe optimización de coste de la mano de obra.

**ANEXO 5- Tablas de cálculo del BASTIDOR de 1.500x3.000mm**



## Tabla de costes de producción de un bastidor de aluminio de 1.500x3.000mm

NOTA sobre los costes asociados a la conformación de las matrices de extrusión

CONFORMACIÓN MATRIZ		€/ud	
Aluminio	Boquilla extrusión	1.000-3.000*	
EPDM	Boquilla extrusión	300-500*	
Silicona	Boquilla extrusión	300-500*	*(amortización del coste a partir de 3.500ml)

### CORTE DE LOS SEMIPRODUCTOS LINEALES A LA LONGITUD DESEADA (apartado 4.3.1)

#### Mano de Obra

	ud cort.	t (min)	€/min	
<b>Perimetro exterior</b>				
Operaciones de corte	4	1	0,33	1,32 €
Reprogramación máquina	2	3	0,33	1,98 €
<b>Perimetro interior</b>				
Operaciones de corte	2	1	0,33	0,66 €
Reprogramación máquina	1	3	0,33	0,99 €
<b>TOTAL</b>				<b>4,95 €</b>

#### Material

	mm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	€/kg	€/ml
Coste perfil	1336	0,001336	2,8	10,10
<b>Perimetro exterior</b>	€/kg	€/ml	ml	
Extrusión P.Exterior Aluminio Coste material	2,80	10,10	9	90,9014
Extrusión P.Exterior EPDM Coste material	-	0,20	18	3,6
Extrusión P.Exterior Silicona Coste material	-	0,40	-	-
	€/m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> int.	m <sup>2</sup> ext.	
Lacado P.Exterior color estándar	2,00	8,73		17,46
Lacado P.Exterior color especial	3,00	-		
Anodizado P.Exterior natural 15micras	2,10	-		
Anodizado P.Exterior negro/acero 15micras	4,00	-		
<b>Perimetro intermedio</b>	€/kg	€/ml	ml	
Extrusión P.Intermedios Aluminio Coste material	3,00	5,02	3	15,06

Lacado P.Intermedios	color estándar	€/m2	m² int.	m² ext.	
Lacado P.Intermedios	color especial	2,00	0,54		1,08
Anodizado P.Exterior	natural 15micras	3,00	-		
Anodizado P.Exterior	negro/acero 15micras	2,10	-		
		4,00	-		
<b>Perimetro interior</b>		€/kg	€/ml	ml	
Extrusión P.Interior Aluminio	Coste material	3,00	0,00	0	0
		€/m2	m² int.	m² ext.	
Lacado P.Interior	color estándar	2,00	0		0
Lacado P.Interior	color especial	3,00	-		
Anodizado P.Exterior	natural 15micras	2,10	-		
Anodizado P.Exterior	negro/acero 15micras	4,00	-		
<b>TOTAL</b>					<b>128,10 €</b>

#### MECANIZADO DE LOS PERFILES (apartado 4.3.2)

##### Mano de Obra

<b>Perimetro exterior</b>	ud cort.	t (min)	€/min	
Mecanizado P.Exterior	4	3	0,33	3,96 €
Reprogramación máquina	2	5	0,33	3,30 €
<b>Perimetro intermedio</b>	ud cort.	t (min)	€/min	
Mecanizado P.Intermedio	2	3	0,33	1,98 €
Reprogramación máquina	1	5	0,33	1,65 €
<b>Perimetro interior</b>	ud cort.	t (min)	€/min	
Mecanizado P.Interior (ventana)	0	3	0,33	0,00 €
Reprogramación máquina	0	5	0,33	0,00 €
<b>TOTAL</b>				<b>10,89 €</b>

#### RETESTADO DE PERFILES (apartado 4.3.3)

##### Mano de Obra

<b>Perimetro exterior</b>	ud cort.	t (min)	€/min	
Retesteo P.Exterior	0	3	0,33	0,00 €
Reprogramación máquina	0	1	0,33	0,00 €
<b>Perimetro intermedio</b>	ud cort.	t (min)	€/min	
Retesteo P.Intermedio	2	6	0,33	3,96 €
Reprogramación máquina	1	1	0,33	0,33 €



<b>Perimetro interior</b>	ud cort.	t (min)	€/min	
Retesteo P.Interior (ventana)	0	3	0,33	0,00 €
Reprogramación máquina	0	1	0,33	0,00 €
<b>TOTAL</b>				<b>4,29 €</b>

#### ENSAMBLAJE DE LOS PERFILES (apartado 4.3.4)

##### Mano de Obra

<b>Perimetro exterior</b>	ud cort.	t (min)	€/min	
Ensamblaje P.Exterior	2	40	0,33	26,40 €
Reprogramación máquina	0	5	0,33	0,00 €
<b>Perimetro intermedio</b>	ud cort.	t (min)	€/min	
Ensamblaje P.Intermedio	2	5	0,33	3,30 €
Reprogramación máquina	1	5	0,33	1,65 €
<b>Perimetro interior</b>	ud cort.	t (min)	€/min	
Ensamblaje P.Interior (ventana)	0	40	0,33	0,00 €
Unión con perfiles intermedios	0	15	0,33	0,00 €
Reprogramación máquina	0	5	0,33	0,00 €
<b>TOTAL</b>				<b>31,35 €</b>

##### Material

<b>Perimetro exterior</b>		€/ud	Ensamblaje	uds	
Escuadras P.Exterior Aluminio	Tipo 1	0,11	4,00	1	0,44
Tornillería	Tipo 1	0,05	8,00	1	0,4
<b>Perimetro intermedio</b>		€/ud	Ensamblaje	uds	
Escuadras P.Interior Aluminio	Tipo 2	0,09	4,00	1	0,36
Tornillería	Tipo 2	0,05	8,00	1	0,4
<b>Perimetro interior</b>		€/ud	Ensamblaje	uds	
Escuadras P.Exterior Aluminio	Tipo 1	0,11	4,00	1	0,44
Tornillería	Tipo 1	0,05	8,00	1	0,4
<b>TOTAL</b>					<b>2,44 €</b>

**SELLADO DE UNIONES (apartado 4.3.5)****Mano de Obra**

	ud cort.	t (min)	€/min	
<b>Perimetro exterior</b>				
Sellado P.Exterior	4	5	0,33	6,60 €
<b>Perimetro intermedio</b>				
Sellado P.Intermedio	4	5	0,33	6,60 €
<b>Perimetro interior</b>				
Sellado P.Interior (ventana)	0	5	0,33	0,00 €
Sellado con perfiles intermedios	0	5	0,33	0,00 €
<b>TOTAL</b>				<b>13,20 €</b>

**Material**

	€/ud	Ensamblaje	uds	
<b>Perimetro exterior</b>				
Sellado P.Exterior	0,1	4	1,00	0,40 €
<b>Perimetro intermedio</b>				
Sellado P.Intermedio	0,1	4	1,00	0,40 €
<b>Perimetro interior</b>				
Sellado P.Interior (ventana)	0,1	0	1,00	0,00 €
Sellado con perfiles intermedios	0,1	0	1,00	0,00 €
<b>TOTAL</b>				<b>0,80 €</b>

## RESUMEN de la distribución de los costes (1.500x3.000mm)

### RESUMEN DE COSTES 1r BASTIDOR

Mano de Obra		64,68 €
Material		131,34 €
<b>TOTAL COSTES DIRECTOS</b>		<b>196,02 €</b>
<b>COSTES INDIRECTOS 30-40%</b>	30%	58,81 €
<b>COSTE FINAL</b>		<b>254,83 €</b>
Repercusión		16,99 €/m <sup>2</sup>

### DEFINICIÓN GEOMETRICA DEL BASTIDOR

Coste M.O. y Mat.

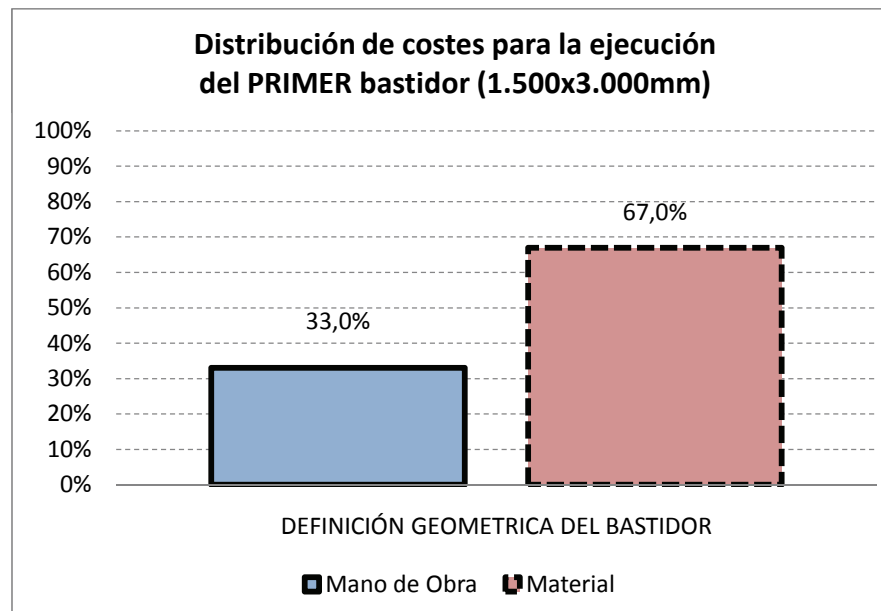
196,02 €

100,00%

- 1- Definición geométrica del molde perimetral
- 2- Replanteo de los moldes perimetrales
- 3- Ensamblaje de los moldes perimetrales
- 4- Fijación de los moldes perimetrales
- 5- Desmontaje de los moldes perimetrales

Mano de Obra	64,68 €
Material	131,34 €

Parcial	Global
33,0%	33,0%
67,0%	67,0%



## Resumen de costes de producción de un bastidor de aluminio de 1.500x3.000mm

	Serie BASE	Serie A	Serie B	Serie C
<b>Mano de Obra</b>	27,90%	28,91%	30,00%	31,39%
<b>Material</b>	72,10%	71,09%	70,00%	68,61%

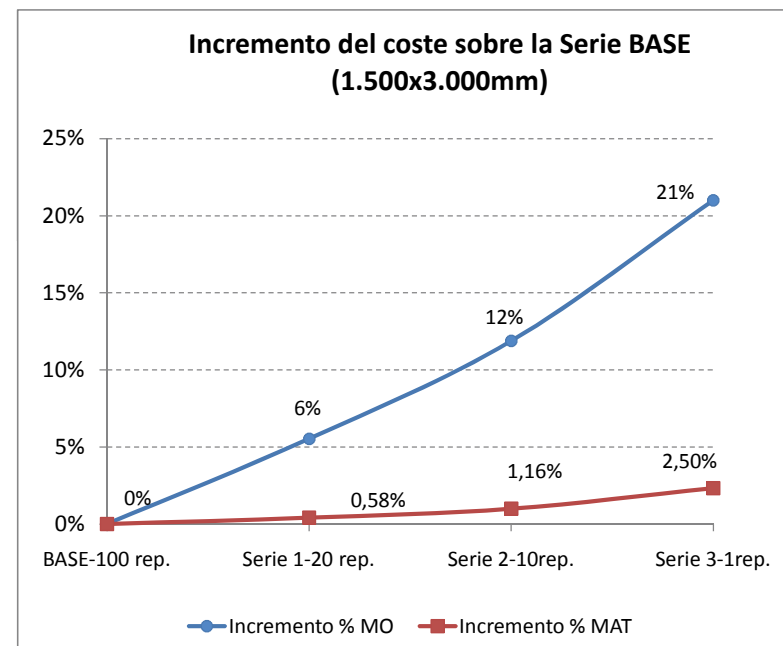
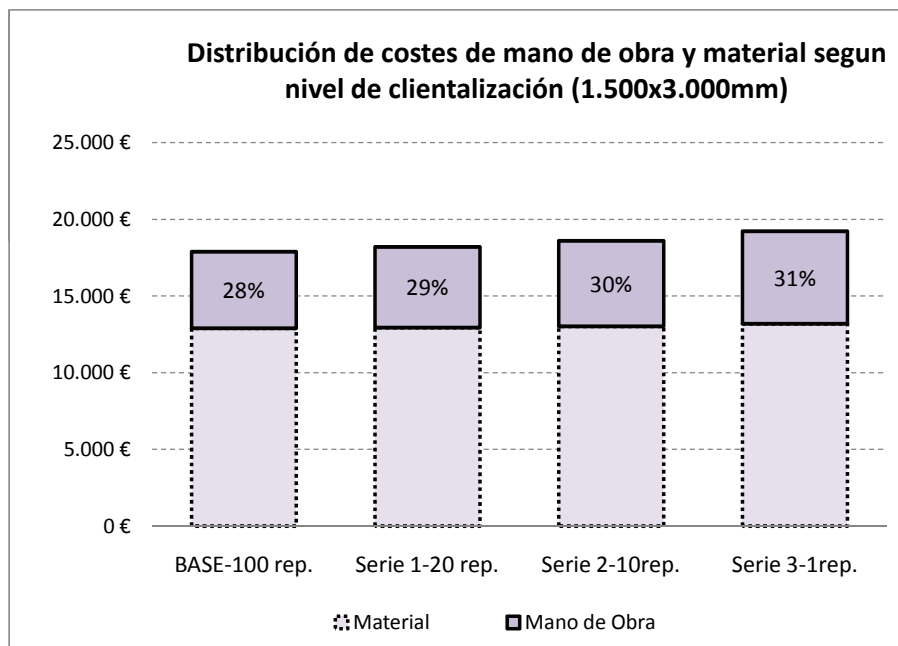
	BASE-100 rep.	Serie 1-20 rep.	Serie 2-10rep.	Serie 3-1rep.
<b>Coste total</b>	17.888 €	18.217 €	18.609 €	19.237 €
<b>Mano de Obra</b>	4.991 €	5.267 €	5.584 €	6.039 €
<b>Material</b>	12.897 €	12.951 €	13.025 €	13.198 €

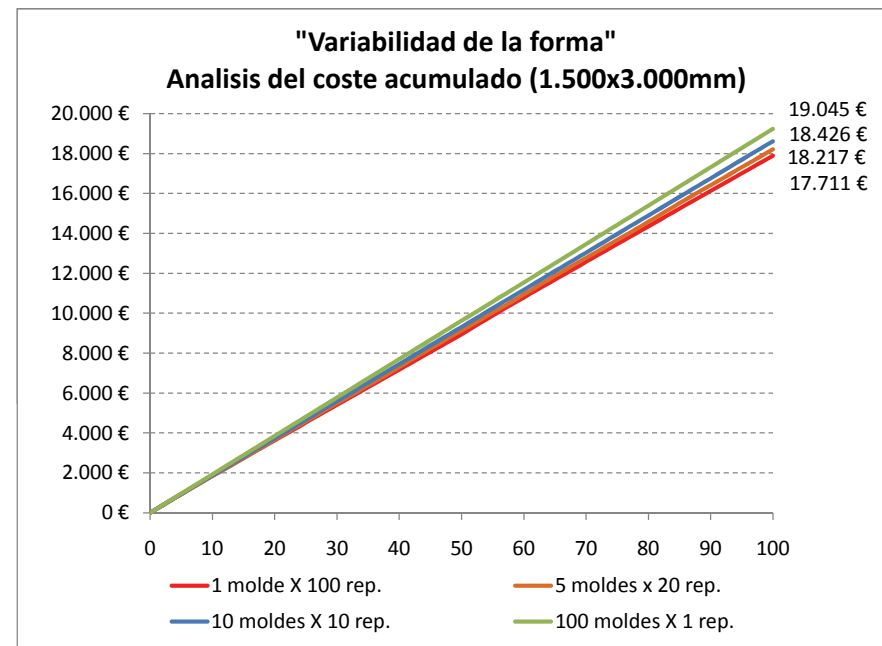
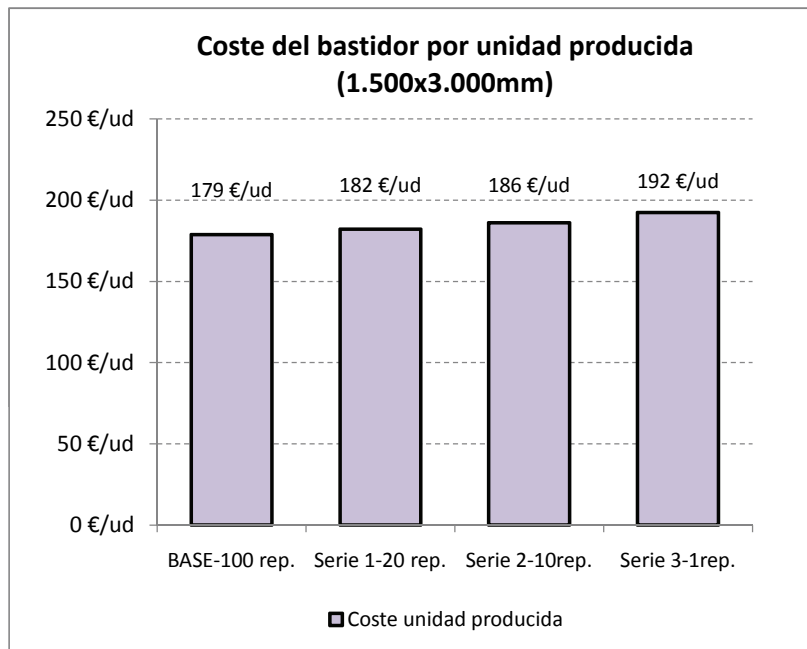
  

<b>Incremento % MO</b>	0,00%	5,53%	11,88%	21,01%
<b>Incremento % MAT</b>	0,00%	0,41%	0,99%	2,33%

<b>Coste unidad producida</b>	179 €/ud	182 €/ud	186 €/ud	192 €/ud
-------------------------------	----------	----------	----------	----------



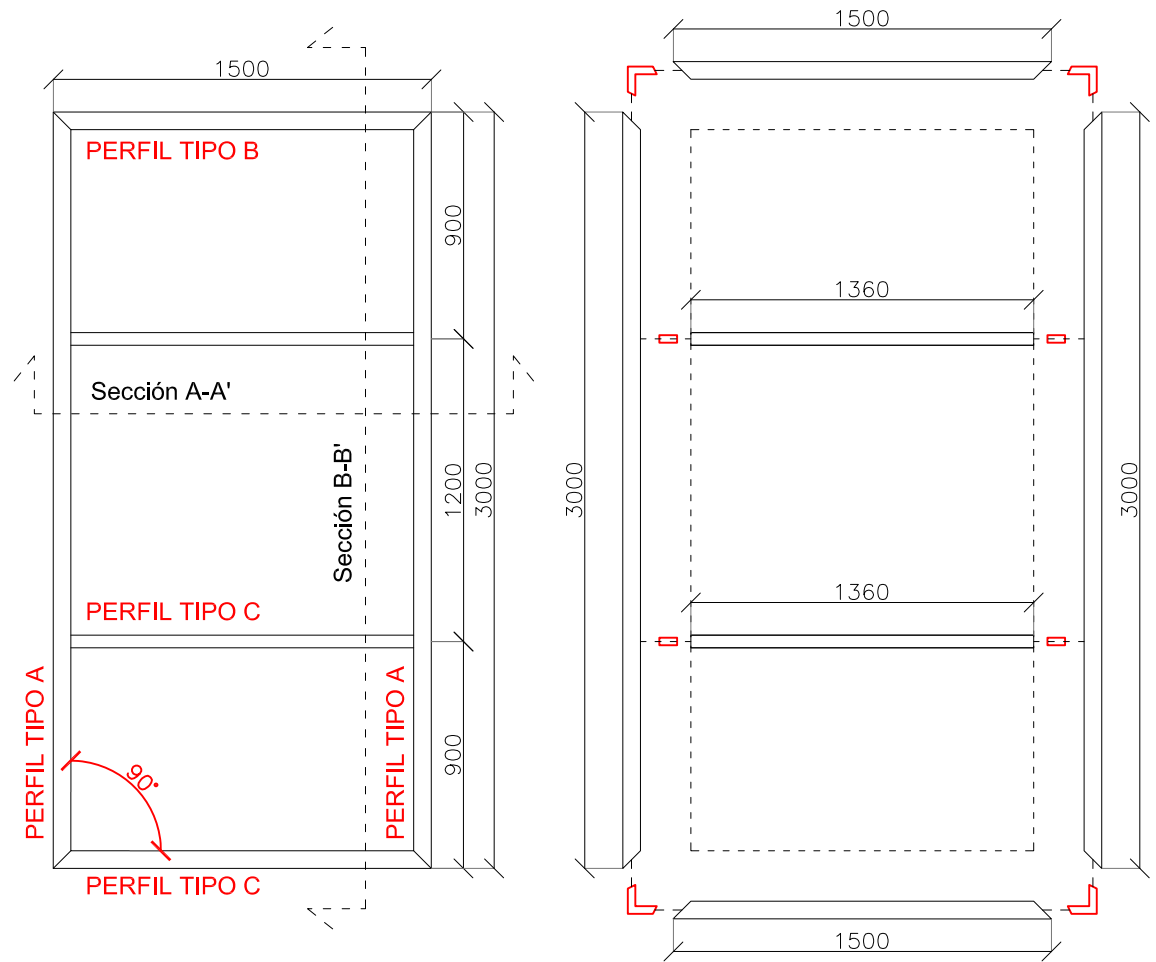




**ANEXO 6- Documentación grafica del BASTIDOR de 1.500x3.000mm**







**'La clientalización de la forma de los sistemas industrializados de fachada'**

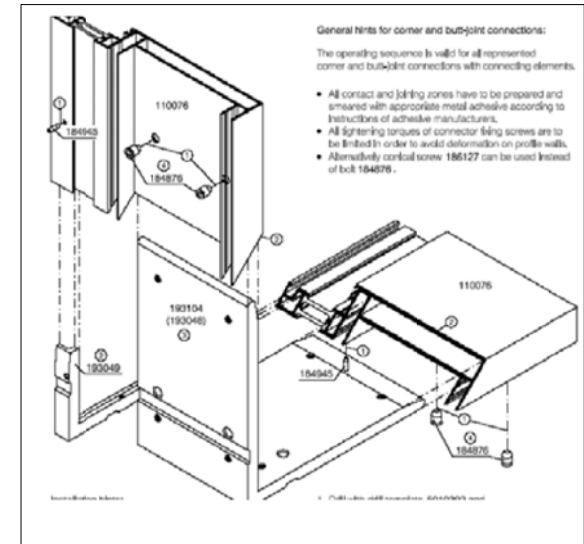
Bastidor 1.500 x 3.000mm

DIN A4 e: 1/30

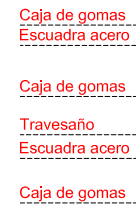
Plano de fabricación del bastidor

**3a**



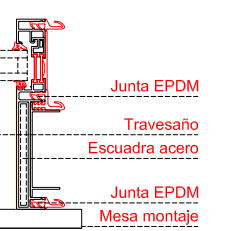


PERFIL TIPO B - superior

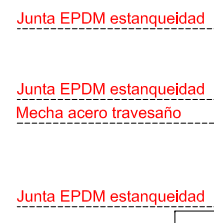


SECCIÓN B-B'

PERFIL TIPO C - inferior

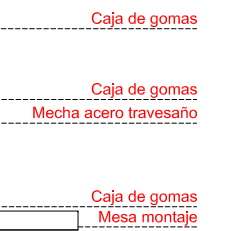


PERFIL TIPO A - vertical



SECCIÓN A-A'

PERFIL TIPO A - vertical

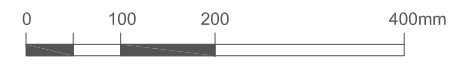


'La cionalización de la forma de los sistemas industrializados de fachada'

Bastidor 1.500 x 3.000mm DIN A4 Esc. Graf.

Plano de fabricación del bastidor

3b





## **DESARROLLO 6**

**Análisis del coste-variación dimensional de la propuesta**



## 6 Análisis del coste-variación dimensional de la propuesta

### 6.1 Contexto del análisis

En el presente desarrollo se calcularán los costes del modelo de producción de la propuesta cuya estrategia está basada en el uso de los bastidores de aluminio como molde perdido para la conformación de los paneles planos de hormigón.

Para realizar un análisis que permita comparar los dos sistemas de producción ya analizados en el *Desarrollo 4 y 5 (Análisis del coste-variación dimensional para la conformación de un panel plano de hormigón y un componente Unitized, respectivamente)* se ha tomado una consideración importante que define la unidad de fabricación comparable:

- ***Se contabilizarán para cada modelo de producción los costes de las operaciones necesarias para poder disponer de un molde acabado sobre la mesa de hormigonado, siendo esta la UNIDAD FUNCIONAL COMPARABLE<sup>1</sup>.***

#### 6.1.1 Las operaciones analizadas

En este sentido para el modelo de producción convencional de un panel de hormigón se han contabilizado los costes asociados a las siguientes operaciones:

- a. Definición geométrica del molde*

---

<sup>1</sup> *Unidad funcional comparable. Ver terminología*

- b. Replanteo de los moldes perimetrales*
- c. Ensamblaje de los moldes perimetrales*
- d. Fijación de los moldes perimetrales*
- e. Desmontaje de los moldes perimetrales*

Puesto que queremos contabilizar los costes para una serie de producción deberemos tener en cuenta también las operaciones necesarias para la repetición:

- f. Ensamblaje de los molde perimetrales*
- g. Fijación y sellado de los moldes perimetrales*
- h. Desmontaje de los moldes perimetrales*

Para el modelo de producción de los bastidores de fachada se han contabilizado las siguientes operaciones:

- i. Corte de los semiproductos lineales a la longitud deseada*
- ii. Mecanizado de los perfiles*
- iii. Retestado de perfiles*
- iv. Ensamblaje de los perfiles*
- v. Sellado de uniones*
- vi. Fijación y sellado de los bastidores sobre la mesa*

En este caso para realizar las repeticiones de la serie las operaciones serán las mismas.



### 6.1.2 Objetivo

Determinar el nivel de competitividad económica de la propuesta frente a los modelos de producción actuales:

- *El análisis pretende comparar el modelo de producción mixto actual con el modelo de producción de la propuesta para analizar su nivel de competitividad económica y determinar la viabilidad de la propuesta.*
- *Los costes y operaciones que se analizarán para los dos sistemas de producción serán solamente aquellas necesarias para disponer de un molde preparado encima de la mesa para ser hormigonado, cuyo coste será denominado: **COSTE DE DISPONIBILIDAD DEL MOLDE**<sup>2</sup>.*

### 6.1.3 Objetos analizados

Para ello se han tomado las dos geometrías de panel analizadas en el *Desarrollo 4*:

- **La geometría del componente A:** un panel de hormigón macizo, que no incorpora el hueco, de 5x3 m y de 15 cm de espesor con un diseño de junta representado en la figura D6.1.

---

<sup>2</sup> Coste de disponibilidad del molde. Ver terminología

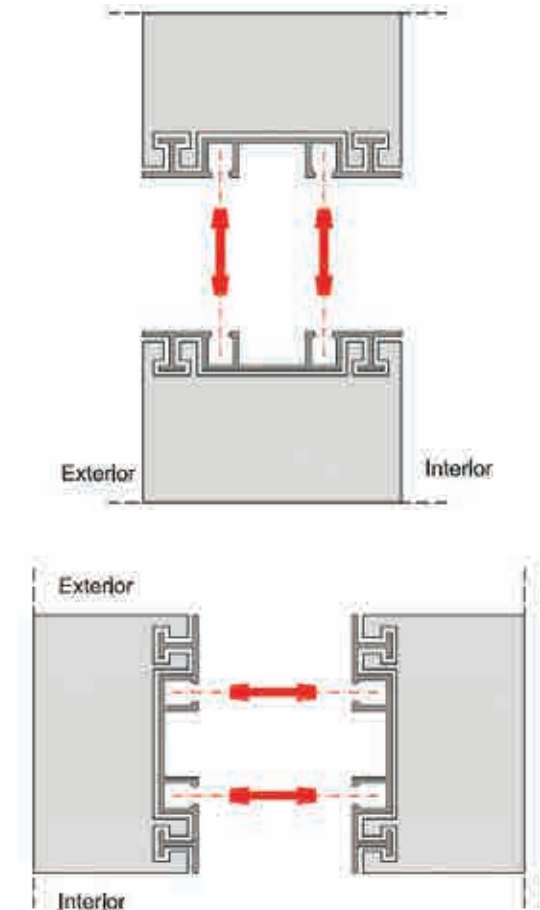


Fig.D6.1. Perfil perimetral. Conformación de junta entre componentes

- **La geometría del componente B:** un panel de hormigón macizo, que no incorpora el hueco, de 2x3 m y de 15 cm de espesor con un diseño de junta representado en la figura D6.1.

Puesto que las geometrías de los paneles son las mismas que las analizadas en el *Desarrollo 4*, se han tomado los mismos resultados económicos para ponerlos en comparación con el sistema de la propuesta.

## **6.2 El modelo de producción de la propuesta y los costes de las operaciones analizadas**

Como sabemos la propuesta propone un sistema de producción que utiliza los bastidores como moldes perdidos de los paneles.

A nivel de producción industrial esto implica que para el sistema de la propuesta tan solo necesitaremos una mesa de hormigonado sobre la que colocar los bastidores de aluminio ya finalizados, fijarlos y sellar las juntas de contacto entre la mesa y el bastidor.

Esto supone que podríamos desarrollar la propuesta en una industria actual de prefabricados planos de hormigón ya que las necesidades de producción serán las mismas exceptuando todas aquellas referentes a la conformación del molde, puesto que se realizarían en una industria de conformación de bastidores.

Los cálculos se han realizado en base a costes de mano de obra y material utilizados en empresas especializadas tanto en la conformación de bastidores de aluminio como en la fabricación de elementos prefabricados de hormigón, representando los COSTES DIRECTOS.

Los costes de la maquinaria necesaria para la ejecución de las operaciones de ejecución de un panel se han considerado como COSTES INDIRECTOS y los valores son los utilizados en el *Desarrollo 4*.

Para analizar el *coste*<sup>3</sup> de la clientalización de la forma se han considerado las siguientes operaciones diferencias según los modelos de producción industrial:

- I. **Producción del bastidor**
  
- II. **Producción del componente de hormigón**

### **6.3 Producción del bastidor. Definición geométrica del molde perimetral**

Para el análisis de los costes asociados a la clientalización de la forma de los bastidores se ha considerado un contexto de producción industrial actual que utiliza sistemas de gestión CAD-CAM en las operaciones de corte, mecanizado y retestado de los perfiles.

NOTA: Los costes considerados en este primer grupo de operaciones están referenciados a los valores obtenidos en el *Desarrollo 5*

---

<sup>3</sup> *Los cálculos detallados pueden verse en el Anexo 7 y 8 del presente desarrollo 'Tablas de cálculo del sistema de producción de la propuesta 5x3m y 2x3m, respectivamente*

### 6.3.1 Corte de los semiproductos lineales a la longitud deseada

Incluye los costes de mano de obra y material utilizado para las operaciones del corte de los perfiles de aluminio a la longitud deseada.

*-Programación de la máquina de corte según longitud de perfil y tipo de corte*

*-Colocación del perfil sobre la máquina*

*-Tiempo de corte*

*-Colocación del perfil en banco de acopio*

Para el bastidor de 5x3m:

*-Coste de la mano de obra* 4,95 €

*-Coste del material* 48,58 €

Para el bastidor de 2x3m:

*-Coste de la mano de obra* 4,95 €

*-Coste del material* 30,24 €

### 6.3.2 Mecanizado de los perfiles

El mecanizado de los perfiles se realizará en un centro de mecanizado.

Se han considerado las siguientes operaciones:

*-Programación del centro de mecanizado.*

*-Colocación del perfil sobre la máquina*

*-Tiempo de mecanizado*

*-Colocación del perfil en banco de acopio*

Para el bastidor de 5x3m:

-Coste de la mano de obra 5,61 €

-Coste del material 0 €

Para el bastidor de 2x3m:

-Coste de la mano de obra 5,61 €

-Coste del material 0 €

### **6.3.3 Retestado de perfiles**

Puesto que el bastidor está formado por un solo marco perimetral exterior sin perfiles intermedios, no serán necesarias las operaciones de retestado de perfiles.

### **6.3.4 Ensamblaje de los perfiles**

El ensamblaje del bastidor se realizará de forma manual.

En este grupo de operaciones se incorporan las escuadras y la tornillería necesaria.

Se han considerado las siguientes operaciones:

-Colocación y replanteo de los perfiles sobre el banco de montaje

-Montaje de las escuadras y tornillería

-Ensamblaje del bastidor

-Colocación del bastidor a banco de acopio

Para el bastidor de 5x3m:

*-Coste de la mano de obra* 26,40 €

*-Coste del material* 0,84 €

Para el bastidor de 2x3m:

*-Coste de la mano de obra* 26,40 €

*-Coste del material* 0,84 €

### **6.3.5 Sellado de los encuentros entre perfiles del bastidor**

Estas operaciones se realizan de forma manual debido a la elevada dificultad por colocar correctamente el material de sellado y la necesidad de garantía final.

Se han considerado las siguientes operaciones:

*-Sellado manual de todas las uniones entre perfiles*

*-Colocación del bastidor a banco de acopio*

Para el bastidor de 5x3m:

*-Coste de la mano de obra* 13,20 €

*-Coste del material* 0,40 €

Para el bastidor de 2x3m:

*-Coste de la mano de obra* 13,20 €

*-Coste del material* 0,40 €

## 6.4 Producción del componente de hormigón

En este segundo grupo de operaciones se contemplan las operaciones necesarias, en un entorno industrial de prefabricados de hormigón, para dejar preparado el molde plano (bastidor) para que pueda ser hormigonado.

El resto de operaciones como la colocación del armado, el vertido del hormigón, el curado, desmoldeo, etc... no se han contemplado puesto que representan un coste común para cualquier serie de producción independientemente del nivel de clientalización que esta tenga.

### 6.4.1 Fijación de los bastidores sobre la mesa de hormigonado

La principal diferencia respecto a los sistemas habituales de fijación de moldes perimetrales a la mesa de hormigonado está en el propio elemento de fijación diseñado especialmente para poder unirse al perfil del bastidor por la parte exterior impidiendo su movimiento. El resto de mecanismos de fijación sobre la mesa de hormigonado son los mismos, mecánicos y magnéticas (Fig. D6.2 y D6.3).

En nuestro caso, primero se fija el bastidor mecánicamente a la mesa y posteriormente se complementa con la fijaciones magnéticas garantizando una presión homogénea (aunque discontinua) del bastidor sobre la mesa de hormigonado.

Se han contabilizado las siguientes operaciones:

- Colocación de la cinta de sellado entre el perfil y la mesa de hormigonado
- Replanteo de los puntos de fijación mecánica sobre la mesa

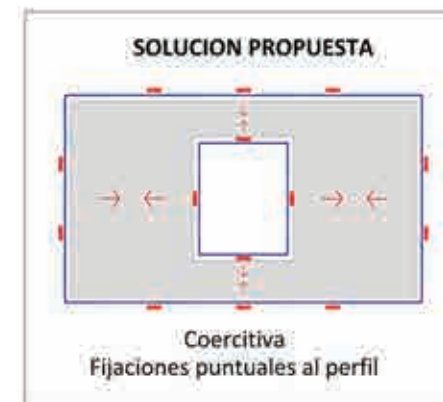


Fig.D6.2. Fijación discontinua del perfil perimetral con la mesa de hormigonado

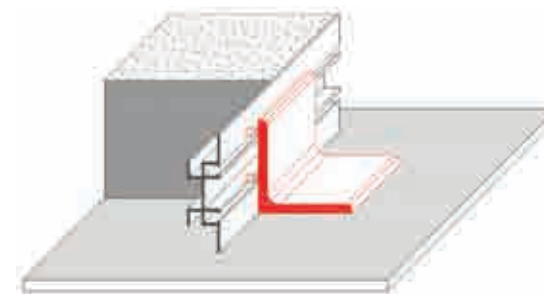


Fig.D6.3. Elementos de fijación del perfil perimetral a la mesa de hormigonado

- Perforación a la vez de los perfiles laterales y de la mesa
- Colocación de las fijaciones mecánicas
- Colocación de las fijaciones magnética

Para el bastidor de 5x3m:

- Coste de la mano de obra 45,36 €
- Coste del material 4,30 €

Para el bastidor de 2x3m:

- Coste de la mano de obra 35,70 €
- Coste del material 3,30 €

## **6.5 Criterios para la comparación entre modelos de producción**

Como ya hemos comentado en los objetivos del presente desarrollo, para poder realizar la comparación entre los dos modelos de producción y determinar el nivel de competitividad de la propuesta se pondrán en relación tan solo los COSTES ASOCIADOS A LA DISPONIBILIDAD DE LOS MOLDES para hormigonar.

Para el modelo de producción mixto se han considerado los costes calculados en el *Desarrollo 4* asociados a:

### **Primer molde:**

- Definición geométrica del molde
- Replanteo de los moldes perimetrales sobre la mesa de hormigonado
- Ensamblaje de los moldes perimetrales



*-Fijación de los moldes perimetrales sobre la mesa de hormigonado*

*-Desmontaje de los moldes perimetrales*

#### **Inicio de las repeticiones**

*-Ensamblaje de los moldes perimetrales*

*-Fijación de los moldes perimetrales sobre la mesa de hormigonado*

*-Desmontaje de los moldes perimetrales*

Y para el modelo de producción de la propuesta, se han considerado las siguientes operaciones, teniendo en cuenta que estas serán las mismas tanto para la ejecución del primer molde como para las posibles repeticiones:

*-Corte de los semiproductos lineales a la longitud deseada*

*-Corte de los semiproductos lineales a la longitud deseada*

*-Mecanizado de los perfiles*

*-Ensamblaje de los perfiles*

*-Sellado de los encuentros entre perfiles del bastidor*

*-Fijación de los bastidores sobre la mesa de hormigonado*

Así pues, las operaciones de ejecución de un panel de hormigón que no repercuten en la clientalización de su forma no han sido contabilizadas:

*-Aplicación de los desencofrantes*

*-Armado interior panel*

*-Amasado y vertido del hormigón*

*-Desmoldeo, elevación y acopio*

### 6.5.1 Criterios de cálculo

Para realizar los cálculos de las distintas series de clientalización se han tomado como valores de coste los resultados obtenidos en el apartado '6.3- Producción del bastidor. Definición geométrica del molde perimetral' del presente desarrollo. Los criterios generales de cálculo se han tomado los mismos de los *Desarrollos 4 y 5* para poder establecer una mejor comparación entre sistemas de producción.

Como ya hemos comentado en el apartado anterior se han contabilizado los COSTES DE DISPONIBILIDAD DEL MOLDE<sup>4</sup> para cada una de las series de clientalización, entendida como la 'UNIDAD FUNCIONAL COMPARABLE'<sup>5</sup>.

El coste de disponibilidad de un molde lo hemos separado en dos costes claramente diferenciados:

#### I. Zócalo de disponibilidad

#### II. Coste del molde

Los costes asociados al 'Zócalo de disponibilidad' del molde son prácticamente constantes en cualquiera de las series de producción ya que responden tan solo a aquellas operaciones que permiten disponer sobre la mesa de hormigonado de un molde preparado para hormigonar, sin tener en cuenta los costes propios del molde.

<sup>4</sup> Costes de la disponibilidad de moldes. Ver Terminología

<sup>5</sup> 'Unidad funcional Comparable'. Ver Terminología

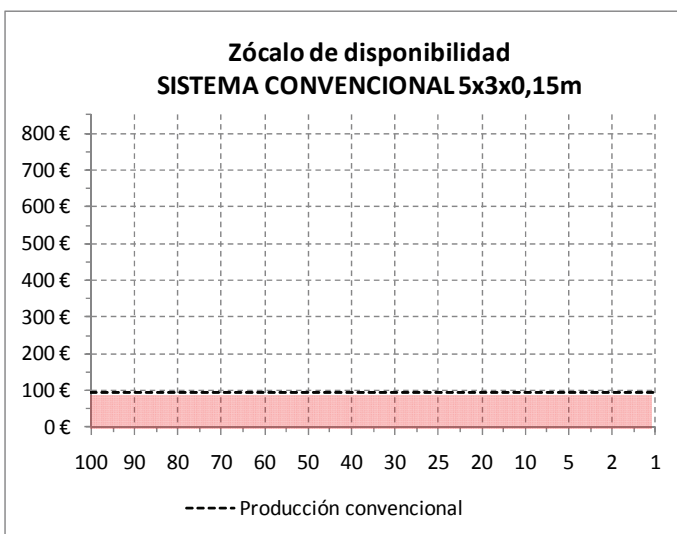


Fig.D6.4. Zócalo de disponibilidad de un molde para el sistema convencional de producción

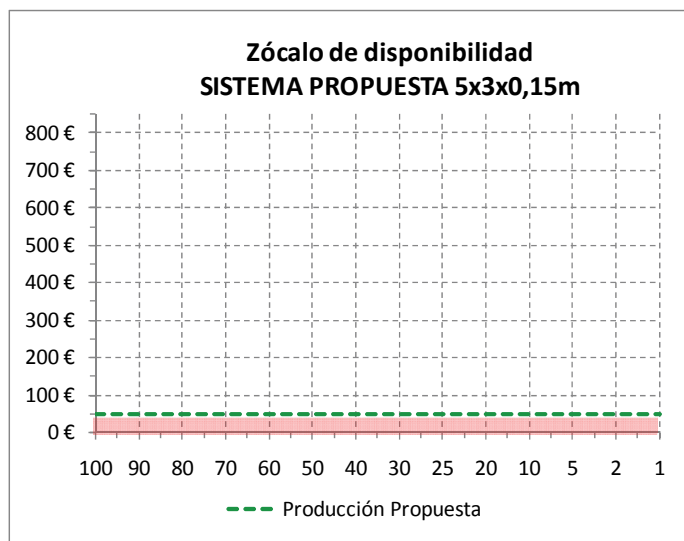


Fig.D6.5. Zócalo de disponibilidad de un molde para el sistema de la propuesta

Así pues para el sistema de producción convencional contempla los costes de las operaciones de montaje y desmontaje de los moldes con todas las sub-operaciones que esto conlleva (Fig. D6.4 ).

Para el sistema de la propuesta tan solo tendremos en cuenta las operaciones de montaje del bastidor sobre la mesa de hormigonada ya que el molde quedará como ‘elemento perdido’ en el componente (Fig. D6.5 ).

A esta parte del ‘Zócalo de disponibilidad del molde’ le añadiremos posteriormente el ‘Coste del molde’ que en función del modelo de producción tendremos en cuenta o no la amortización del coste inicial. (Fig. D6.6 y D6.7)

Si pues, una vez añadido el ‘Coste del molde’ para cada uno de los modelos de producción obtenemos los valores totales del ‘Coste de la disponibilidad de los moldes’ para ser comparados bajo la misma ‘unidad funcional’.

### 6.5.2 Las series de clientalización analizadas

Del mismo modo que se ha realizado en los *Desarrollos 4 y 5*, para el análisis de los costes asociados a la variabilidad de la forma o clientalización del molde se han planteado diversos escenarios de clientalización con un mismo objetivo:

- **La producción de 100 paneles planos de hormigón**

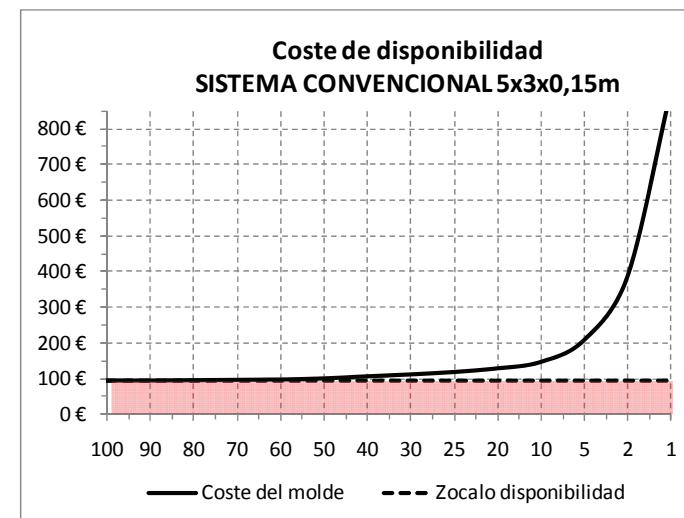


Fig.D6.6. Coste de disponibilidad de un molde para el sistema convencional de producción

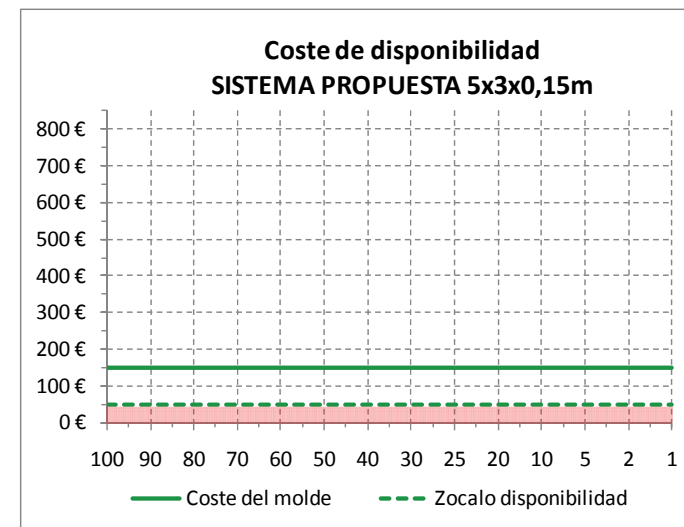
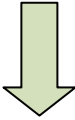


Fig.D6.7. Zócalo de disponibilidad de un molde para el sistema de la propuesta

Con las siguientes series de producción:

SERIES*	Conformación de moldes distintos	Número de paneles por molde	Cientalización
BASE-0	1 ud	100 uds	BAJA
1	2 uds	50 uds	
2	5 uds	20 uds	
3	10 uds	10 uds	
4	20 uds	5 uds	
5	33 uds	3 uds	
6	50 uds	2 uds	
7	100 uds	1 ud	

*\*NOTA SOBRE LAS SERIES: En este caso se ha tomado un mayor número de Series de Cientalización (7) para poder precisar más en los resultados de para la competitividad económica de la propuesta.*

## 6.6 Resultados

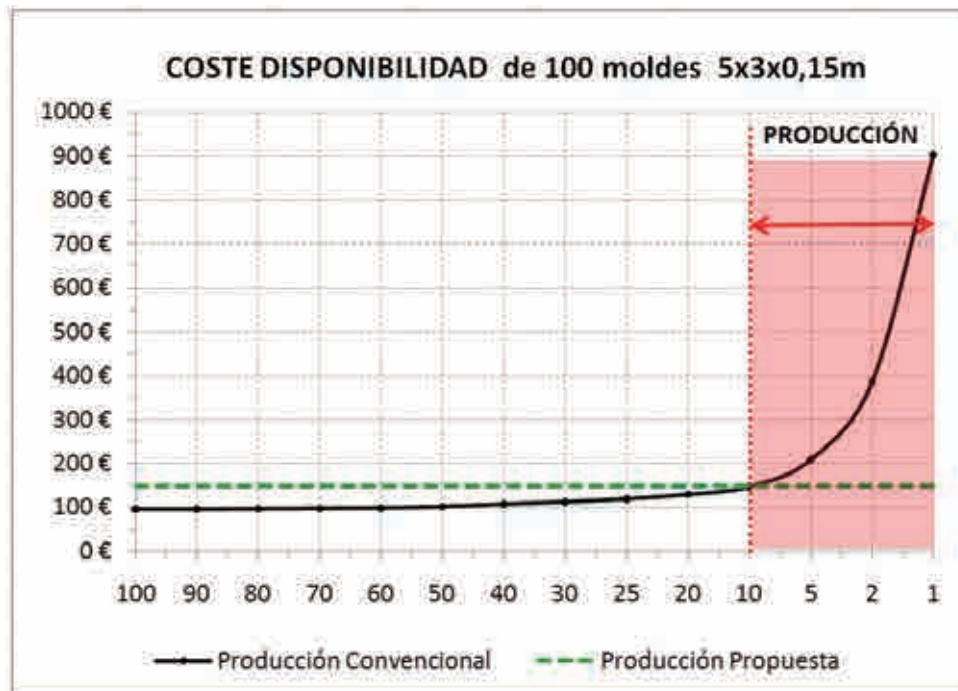
A continuación se presentan los resultados comparativos entre ambos sistemas de producción donde podrá verse en nivel de competitividad de la propuesta.

Los resultados se ha separado según dos criterios diferenciados:

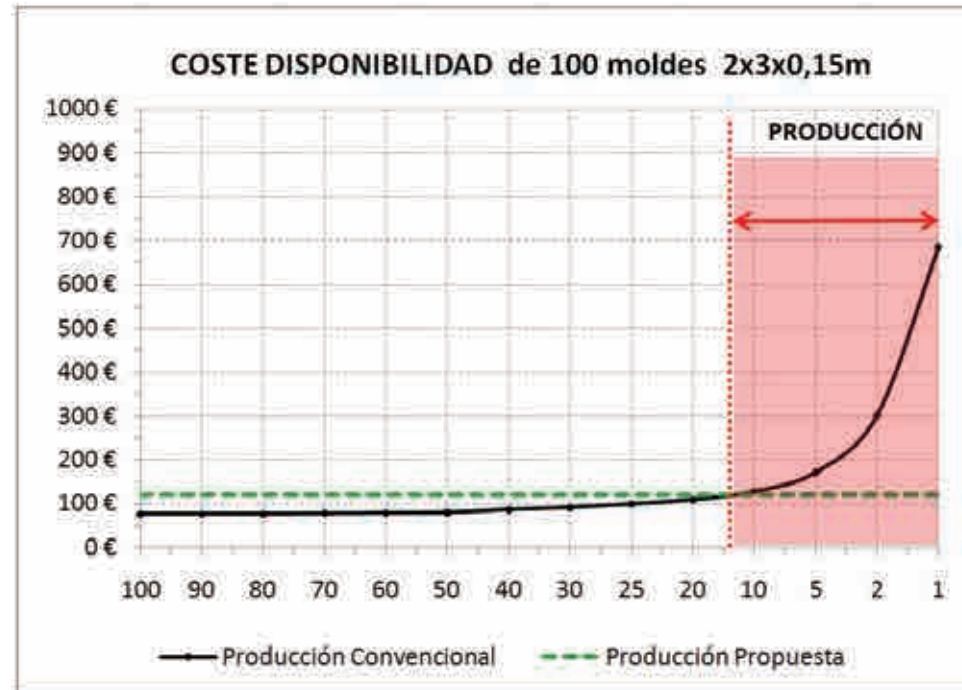
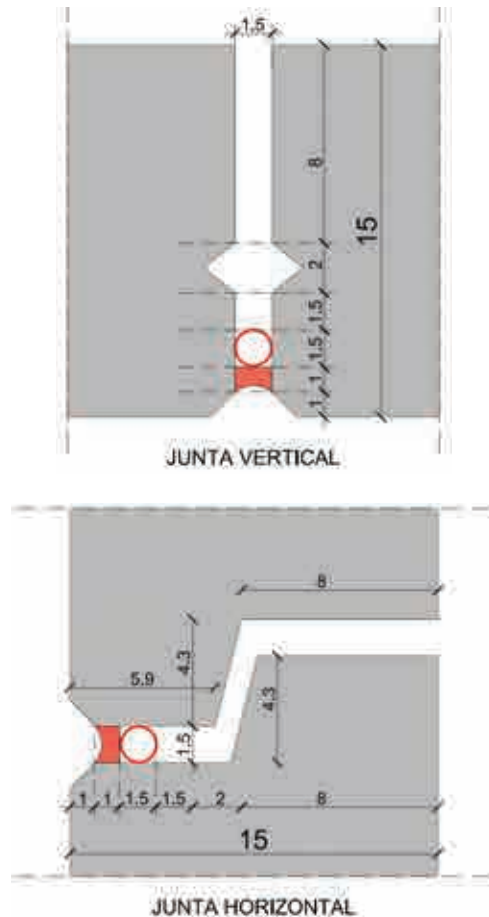
- I. **Competitividad según producción**
- II. **Competitividad según producción y estanqueidad**

En el primer caso se han comparado los resultados de los modelos atendiendo solamente a los aspectos de producción.

Como vemos para un componente de 5x3m el modelo de producción de la propuesta empieza a ser competitiva frente a un modelo de producción convencional a partir de una serie de producción que realiza como máximo 10 repeticiones por componente. En este caso, la propuesta dejaría de ser competitiva económicamente para series de producción con mayores repeticiones.



Para un componente más pequeño (2x3m) la propuesta limitaría su competitividad a partir de una serie de producción de unas 15 repeticiones por componente.



Pero como sabemos, la propuesta utiliza otras estrategias que mejoran los sistemas convencionales de hormigón y que no se reflejan directamente en los aspectos de producción.

Estos aspectos son todos aquellos que mejoran tecnológicamente al componente y que en muchos casos pueden suponer una mejora de la competitividad económica del sistema. Uno de estos aspectos es la estanqueidad entre los componentes (Fig. D6.8).

Fig.D6.8. Análisis del coste de la estanqueidad. Convencional vs propuesta

En efecto, si tenemos en cuenta el coste de la estanqueidad de los componentes de hormigón vemos como estos pueden alrededor de los 8€/ml incluyendo mano de obra, material y medios auxiliares (Fig. D6.9).

En cambio el sistema de la propuesta aprovecha el molde perimetral como elemento capaz de resolver parcialmente la estanqueidad mediante las gomas una vez montado en obra, sin necesidad de medios auxiliares para el sellado exterior (Fig. D6.9).

Así pues si consideramos los costes de la estanqueidad entre ambos sistemas y los introducimos en las graficas anteriores vemos como aumenta la competitividad económica de la propuesta.

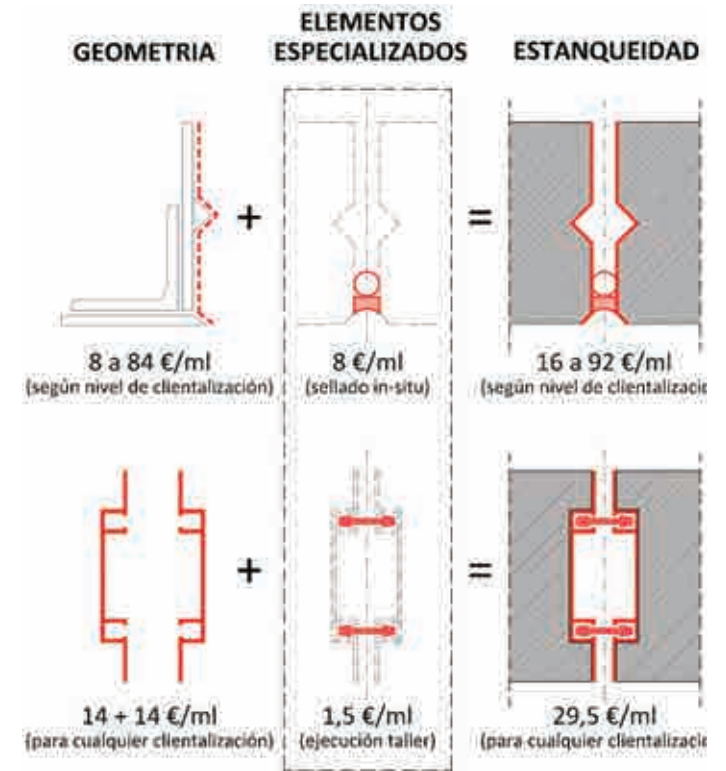
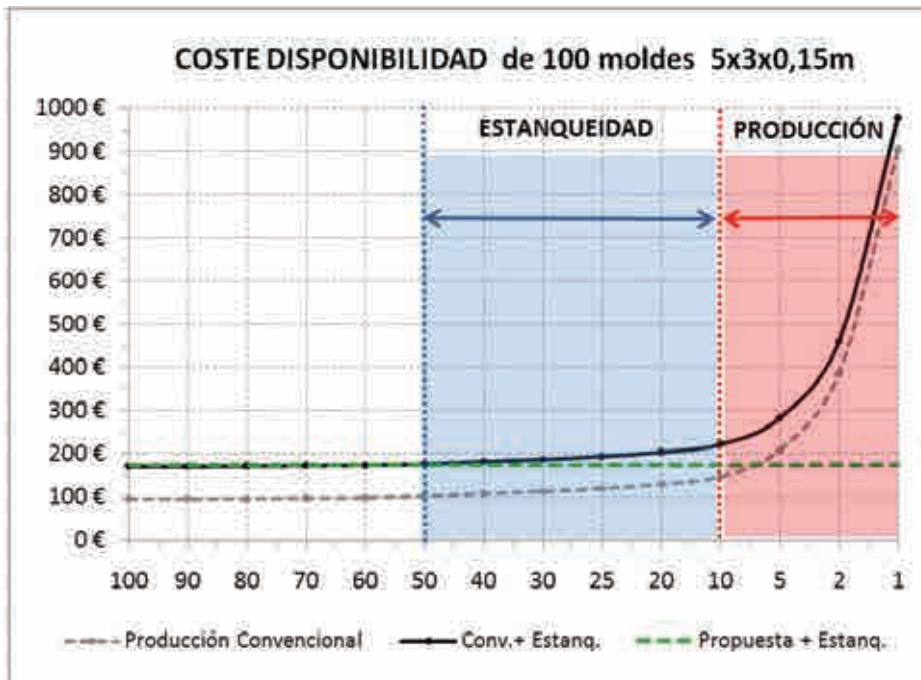
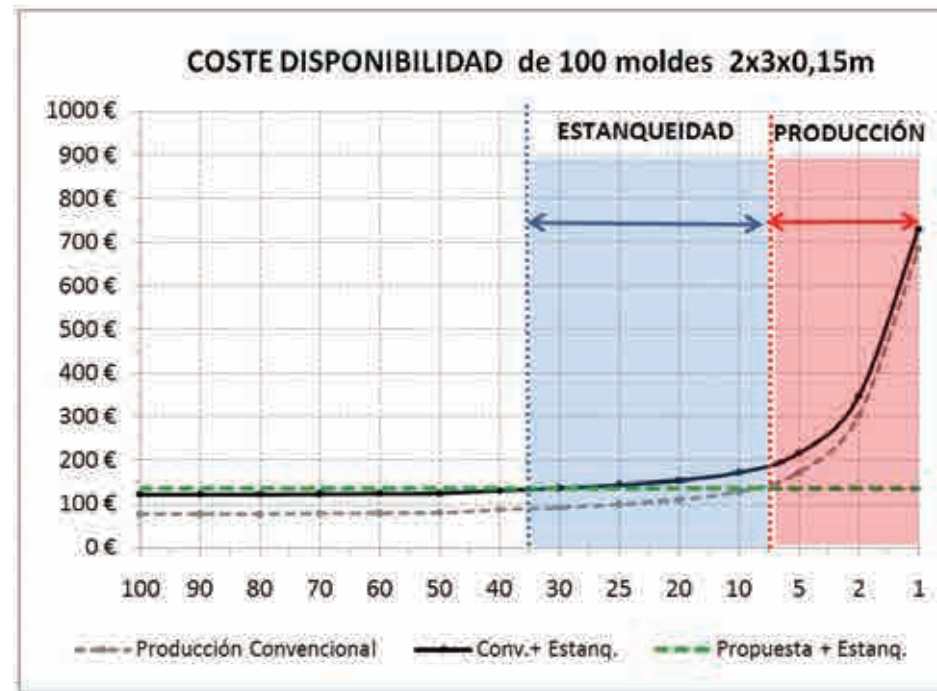


Fig.D6.9. Análisis del coste de la estanqueidad. Convencional vs propuesta



Contabilizar la estanqueidad del sistema de la propuesta permite aumentar su competitividad hasta niveles muy bajos de clentalización situados entre las 30 y las 50 repeticiones.

- ***La mejora en la resolución de la estanqueidad de los sistemas convencionales de los paneles de hormigón permite garantizar una mayor competitividad económica de la propuesta.***



**ANEXO 7- Tablas de cálculo del sistema de producción de la PROPUESTA 5x3x0,15m**



## PROPUESTA - Tabla de los costes de producción de un molde de 5x3x0,15m

NOTA sobre los costes asociados a la conformación de las matrices de extrusión

CONFORMACIÓN MATRIZ		€/ud	
Aluminio	Boquilla extrusión	1.000-3.000*	
EPDM	Boquilla extrusión	300-500*	
Silicona	Boquilla extrusión	300-500*	*(amortización del coste aparatir de 3.500ml)

### CORTE DE LOS SEMIPRODUCTOS LINEALES A LA LONGITUD DESEADA (apartado 6.3.1)

#### Mano de Obra

	ud cort.	t (min)	€/min			
<b>Perimetro exterior</b>						
Operaciones de corte	4	1	0,33	1,32 €		
Reprogramación máquina	2	3	0,33	1,98 €		
	ml	t (min) /ml	€/min			
Colocación de gomas estanqueidad	1	0,3	0,33		0,1	€/ml
<b>Perimetro interior</b>	ud cort.	t (min)	€/min			
Operaciones de corte	2	1	0,33	0,66 €		
Reprogramación máquina	1	3	0,33	0,99 €		
<b>TOTAL</b>				<b>4,95 €</b>		

#### Material

		mm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	€/kg	€/ml	kg/ml	
Coste perfil		400	0,000400	2,8	3,02	1,08	
<b>Perimetro exterior</b>		€/kg	€/ml	ml			
Extrusión P.Exterior Aluminio	Coste material	2,80	3,02	16	48,384		
Extrusión P.Exterior EPDM	Coste material	-	0,20	1	0,2	0,2	€/ml
							double goma estanqueidad
Extrusión P.Exterior Silicona	Coste material	-	0,40	-	-	0,40	€/ml
		€/m2	m <sup>2</sup> int.	m <sup>2</sup> ext.			
Lacado P.Exterior	color estándar	2,00	0		0		
Lacado P.Exterior	color especial	3,00	-				
Anodizado P.Exterior	natural 15micras	2,10	-				
Anodizado P.Exterior	negro/acero 15micras	4,00	-				

<b>Perimetro intermedio</b>		€/kg	€/ml	ml	
Extrusión P.Intermedios Aluminio	Coste material	3,00	5,02	0	0
		€/m2	m² int.	m² ext.	
Lacado P.Intermedios	color estándar	2,00	0		0
Lacado P.Intermedios	color especial	3,00	-		
Anodizado P.Exterior	natural 15micras	2,10	-		
Anodizado P.Exterior	negro/acero 15micras	4,00	-		
<b>Perimetro interior</b>		€/kg	€/ml	ml	
Extrusión P.Interior Aluminio	Coste material	3,00	0,00	0	0
		€/m2	m² int.	m² ext.	
Lacado P.Interior	color estándar	2,00	0		0
Lacado P.Interior	color especial	3,00	-		
Anodizado P.Exterior	natural 15micras	2,10	-		
Anodizado P.Exterior	negro/acero 15micras	4,00	-		
<b>TOTAL</b>					<b>48,58 €</b>

#### MECANIZADO DE LOS PERFILES (apartado 6.3.2)

##### Mano de Obra

<b>Perimetro exterior</b>		ud cort.	t (min)	€/min	
Mecanizado P.Exterior		4	3	0,33	3,96 €
Reprogramación máquina		1	5	0,33	1,65 €
<b>Perimetro intermedio</b>		ud cort.	t (min)	€/min	
Mecanizado P.Intermedio		0	3	0,33	0,00 €
Reprogramación máquina		0	5	0,33	0,00 €
<b>Perimetro interior</b>		ud cort.	t (min)	€/min	
Mecanizado P.Interior (ventana)		0	3	0,33	0,00 €
Reprogramación máquina		0	5	0,33	0,00 €
<b>TOTAL</b>					<b>5,61 €</b>

#### RETESTADO DE PERFILES (apartado 6.3.3)

##### Mano de Obra

<b>Perimetro exterior</b>		ud cort.	t (min)	€/min	
Retesteo P.Exterior		0	3	0,33	0,00 €
Reprogramación máquina		0	1	0,33	0,00 €

<b>Perimetro intermedio</b>	ud cort.	t (min)	€/min	
Retesteo P.Intermedio	0	6	0,33	0,00 €
Reprogramación máquina	0	1	0,33	0,00 €
<b>Perimetro interior</b>	ud cort.	t (min)	€/min	
Retesteo P.Interior (ventana)	0	3	0,33	0,00 €
Reprogramación máquina	0	1	0,33	0,00 €
<b>TOTAL</b>				<b>0,00 €</b>

### ENSAMBLAJE DE LOS PERFILES (apartado 6.3.4)

#### Mano de Obra

<b>Perimetro exterior</b>	ud cort.	t (min)	€/min	
Ensamblaje P.Exterior	2	40	0,33	26,40 €
Reprogramación máquina	0	5	0,33	0,00 €
<b>Perimetro intermedio</b>	ud cort.	t (min)	€/min	
Ensamblaje P.Intermedio	0	5	0,33	0,00 €
Reprogramación máquina	0	5	0,33	0,00 €
<b>Perimetro interior</b>	ud cort.	t (min)	€/min	
Ensamblaje P.Interior (ventana)	0	40	0,33	0,00 €
Unión con perfiles intermedios	0	15	0,33	0,00 €
Reprogramación máquina	0	5	0,33	0,00 €
<b>TOTAL</b>				<b>26,40 €</b>

#### Material

<b>Perimetro exterior</b>	€/ud	Ensamblaje	uds	
Escuadras P.Exterior Aluminio Tipo 1	0,11	4,00	1	0,44
Tornillería Tipo 1	0,05	8,00	1	0,4
<b>Perimetro intermedio</b>	€/ud	Ensamblaje	uds	
Escuadras P.Interior Aluminio Tipo 2	0,00	4,00	1	0
Tornillería Tipo 2	0	8,00	1	0
<b>Perimetro interior</b>	€/ud	Ensamblaje	uds	
Escuadras P.Exterior Aluminio Tipo 1	0,00	4,00	1	0
Tornillería Tipo 1	0	8,00	1	0
<b>TOTAL</b>				<b>0,84 €</b>

**SELLADO DE UNIONES (apartado 6.3.5)****Mano de Obra**

	ud cort.	t (min)	€/min	
<b>Perimetro exterior</b>				
Sellado P.Exterior	4	5	0,33	6,60 €
<b>Perimetro intermedio</b>				
Sellado P.Intermedio	4	5	0,33	6,60 €
<b>Perimetro interior</b>				
Sellado P.Interior (ventana)	0	5	0,33	0,00 €
Sellado con perfiles intermedios	0	5	0,33	0,00 €
<b>TOTAL</b>				<b>13,20 €</b>

**Material**

	€/ud	Ensamblaje	uds	
<b>Perimetro exterior</b>				
Sellado P.Exterior	0,1	4	1,00	0,40 €
<b>Perimetro intermedio</b>				
Sellado P.Intermedio	0,1	0	1,00	0,00 €
<b>Perimetro interior</b>				
Sellado P.Interior (ventana)	0,1	0	1,00	0,00 €
Sellado con perfiles intermedios	0,1	0	1,00	0,00 €
<b>TOTAL</b>				<b>0,40 €</b>

### FIJACIÓN Y SELLADO DE LOS MOLDES PERIMETRALES SOBRE LA MESA (apartado 6.4.1)

#### Mano de Obra

	ud	min/ud	€/min	
<b>Perimetro exterior</b>				
Fijación mecanica Perimetro exterior	10,00	10,00	0,42	42,00
Fijación magnetica Perimetro exterior	0,00	20,00	0,42	0,00
	ml	min/m		
Sellado perfiles	16,00	0,50	0,42	3,36
<b>Perimetro interior</b>	ud	min/ud		
Fijación mecanica Perimetro interior	0,00	35,00	0,42	0,00
Fijación magnetica Perimetro interior	0,00	11,00	0,42	0,00
	ml	min/m		
Sellado perfiles	0,00	0,50	0,42	0,00
<b>TOTAL</b>				<b>45,36</b>

#### Material

	ud	€/ud	
<b>Perimetro exterior</b>			
Fijación mecanica Perimetro exterior	10,00	0,35	3,50
Fijación magnetica Perimetro exterior	0,00	1,80	0,00
	ml	€/m	
Cinta de sellado	16,00	0,05	0,80
<b>Perimetro interior</b>	ud	€/ud	
Fijación mecanica Perimetro interior	0,00	0,35	0,00
Fijación magnetica Perimetro interior	0,00	1,80	0,00
	ml	€/m	
Cinta de sellado	0,00	0,05	0,00
<b>TOTAL</b>			<b>4,30</b>

## RESUMEN de la distribución de los costes (5x3x0,15m)

### RESUMEN DE COSTES 1r BASTIDOR y REPETICION

Mano de Obra		95,52 €
Material		54,12 €
<b>TOTAL COSTES DIRECTOS</b>		<b>149,64 €</b>
COSTES INDIRECTOS 30-40%	30%	44,89 €
<b>COSTE FINAL</b>		<b>194,54 €</b>
Repercusión		12,97 €/m <sup>2</sup>

### EJECUCIÓN DEL MOLDE PERIMETRAL CLIENTALIZADO Coste M.O. y Mat. 149,64 € 100,00%

1- Corte SL longitud				
2- Mecanizado SL				
3- Retestado SL				
4- Ensamblaje SL				
5- Sellado esquinas Bastidor				
6- Fijación y sellado del bastidor sobre la mesa			Parcial	Global
	<i>Mano de Obra</i>	<b>95,52 €</b>	63,8%	63,8%
	<i>Material</i>	<b>54,12 €</b>	36,2%	36,2%

### ZÓCALO DE DISPONIBILIDAD DEL MOLDE Coste M.O. y Mat. 49,66 € #¡VALOR!

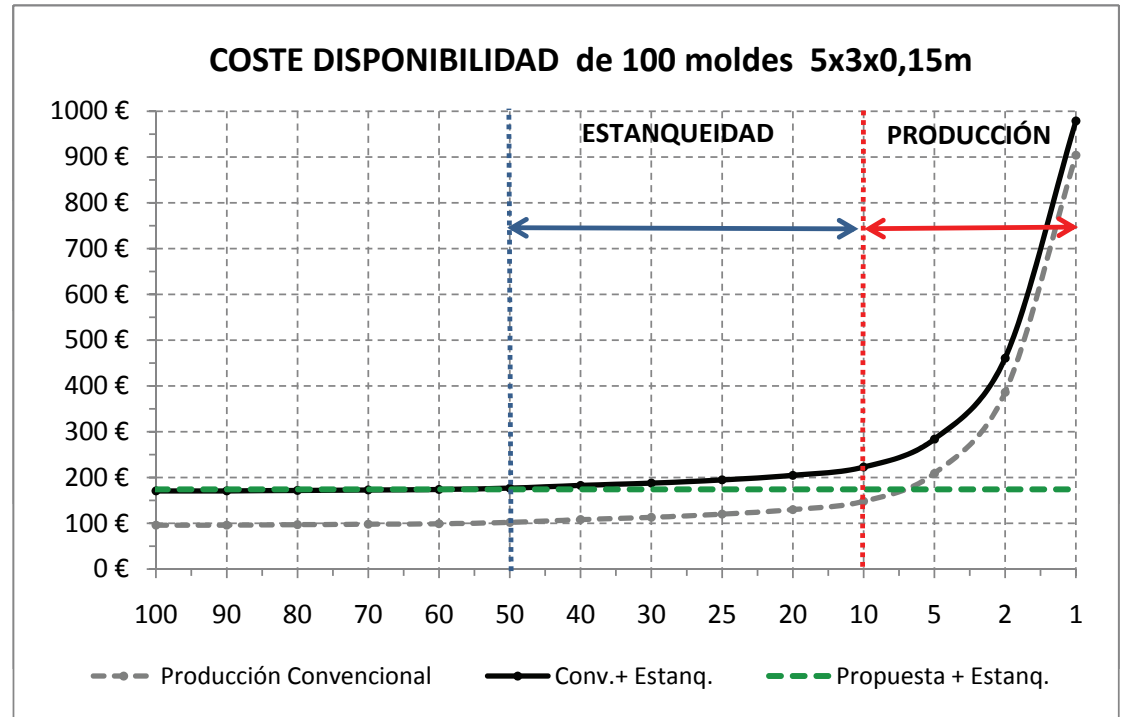
6- Fijación y sellado del bastidor sobre la mesa			Parcial	Global
	<i>Mano de Obra</i>	<b>45,36 €</b>	91,3%	30,3%
	<i>Material</i>	<b>4,30 €</b>	8,7%	2,9%



**PROPUESTA - Analisis del coste de disponibilidad de un molde según niveles de clientalización (5x3x0,15)**

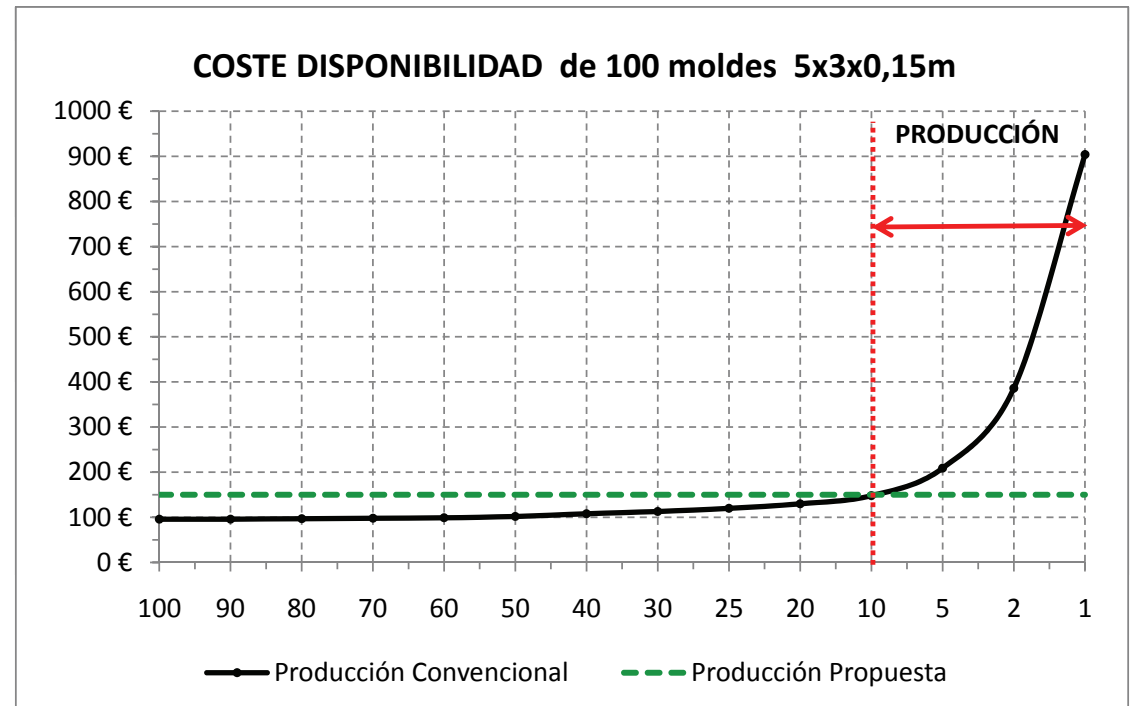
PANEL 5x3x0,15m				
Repeticiones	SIN ESTANQUEIDAD		CON ESTANQUEIDAD	
	Producción Convencional	Producción Propuesta	Conv. + Estanq.	Propuesta + Estanq.
100	96 €	150 €	171 €	174 €
90	96 €	150 €	171 €	174 €
80	97 €	150 €	172 €	174 €
70	98 €	150 €	173 €	174 €
60	99 €	150 €	174 €	174 €
50	102 €	150 €	177 €	174 €
40	108 €	150 €	183 €	174 €
30	113 €	150 €	188 €	174 €
25	120 €	150 €	195 €	174 €
20	130 €	150 €	205 €	174 €
10	148 €	150 €	223 €	174 €
5	209 €	150 €	284 €	174 €
2	386 €	150 €	461 €	174 €
1	904 €	150 €	979 €	174 €

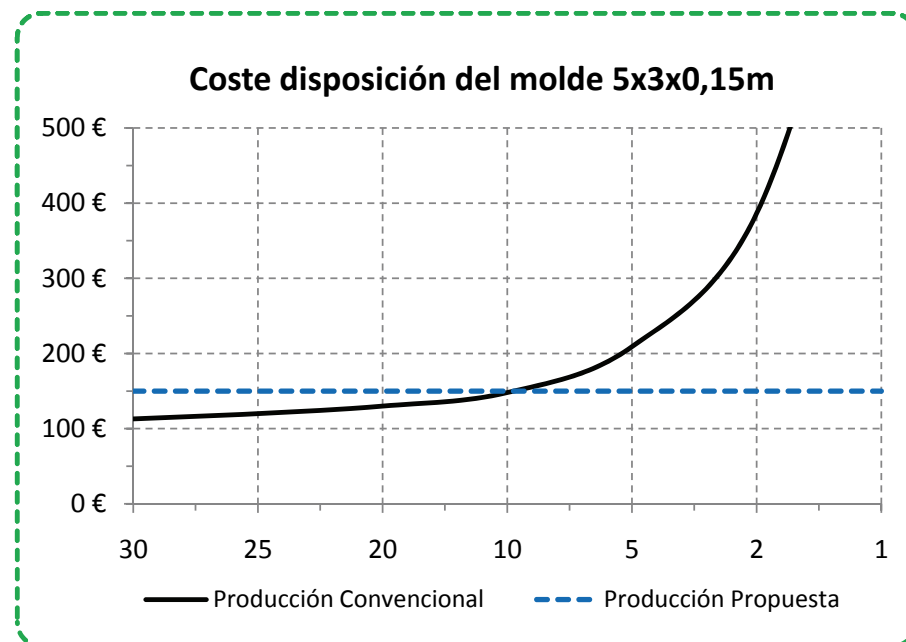
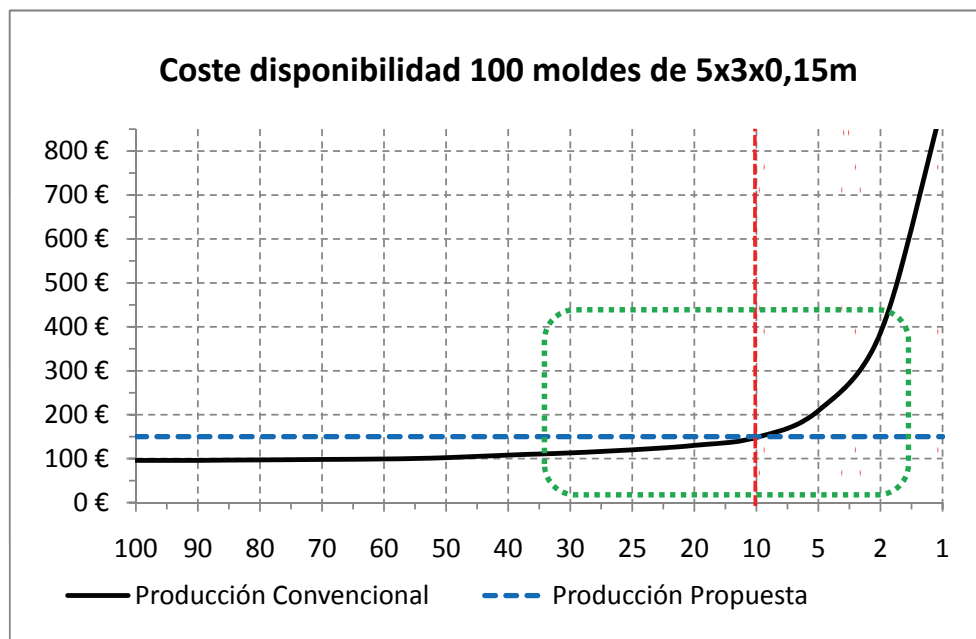
8,20 €/ml *coste de sellado junta entre paneles incluido mano de obra, material y medios auxiliares*  
 1,50 €/ml *Coste gomas de estanqueidad incluido mano de obra y material*

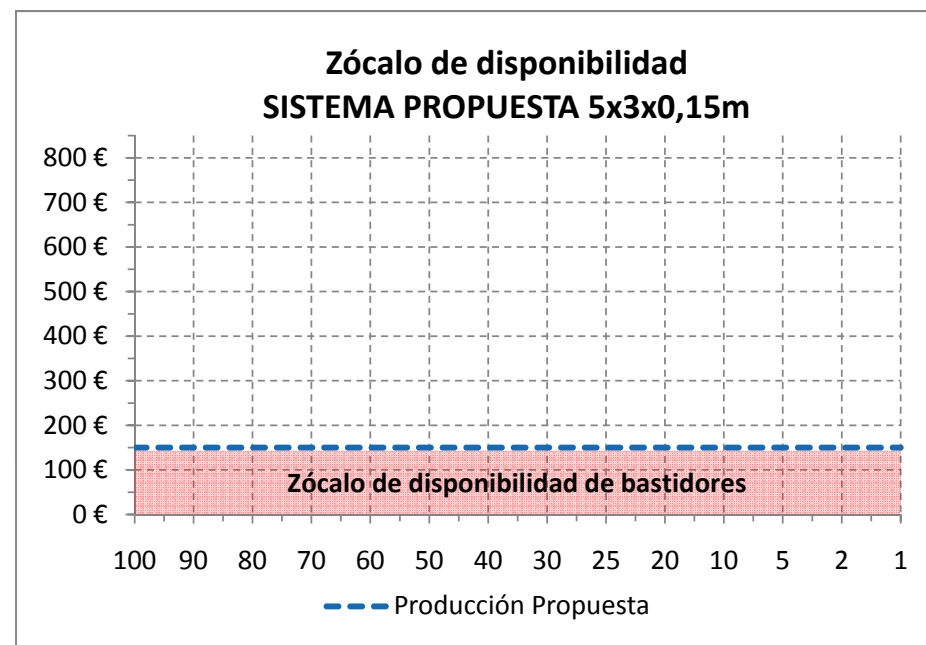
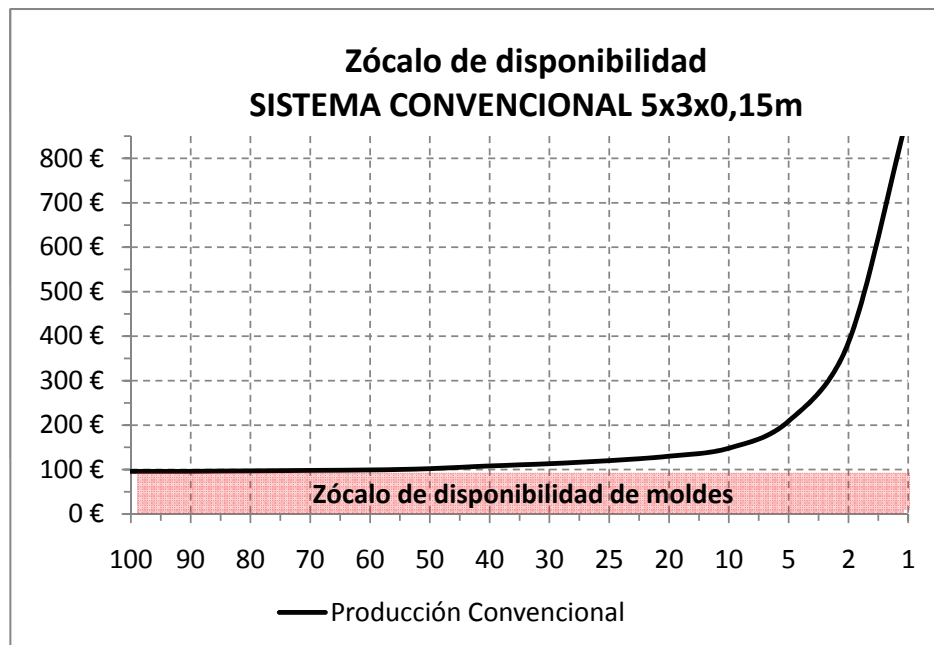


PANEL 5x3x0,15m				
Repeticiones	SIN ESTANQUEIDAD		CON ESTANQUEIDAD	
	Producción Convencional	Producción Propuesta	Conv. + Estanq.	Propuesta + Estanq.
100	96 €	150 €	171 €	174 €
90	96 €	150 €	171 €	174 €
80	97 €	150 €	172 €	174 €
70	98 €	150 €	173 €	174 €
60	99 €	150 €	174 €	174 €
50	102 €	150 €	177 €	174 €
40	108 €	150 €	183 €	174 €
30	113 €	150 €	188 €	174 €
25	120 €	150 €	195 €	174 €
20	130 €	150 €	205 €	174 €
10	148 €	150 €	223 €	174 €
5	209 €	150 €	284 €	174 €
2	386 €	150 €	461 €	174 €
1	904 €	150 €	979 €	174 €

8,20 €/ml *coste de sellado junta entre paneles incluido mano de obra, material y medios auxiliares*  
1,50 €/ml *Coste gomas de estanqueidad incluido mano de obra y material*







**ANEXO 8- Tablas de cálculo del sistema de producción de la PROPUESTA 2x3x0,15m**



## PROPUESTA - Tabla de los costes de producción de un molde de 2x3x0,15m

NOTA sobre los costes asociados a la conformación de las matrices de extrusión

CONFORMACIÓN MATRIZ		€/ud	
Aluminio	Boquilla extrusión	1.000-3.000*	
EPDM	Boquilla extrusión	300-500*	
Silicona	Boquilla extrusión	300-500*	* (amortización del coste apartir de 3.500ml)

### CORTE DE LOS SEMIPRODUCTOS LINEALES A LA LONGITUD DESEADA (apartado 6.3.1)

#### Mano de Obra

	ud cort.	t (min)	€/min		
<b>Perimetro exterior</b>					
Operaciones de corte	4	1	0,33	1,32 €	
Reprogramación máquina	2	3	0,33	1,98 €	
	ml	t (min) /ml	€/min		
Colocación de gomas estanqueidad	1	0,3	0,33	0,1	€/ml
<b>Perimetro interior</b>	ud cort.	t (min)	€/min		
Operaciones de corte	2	1	0,33	0,66 €	
Reprogramación máquina	1	3	0,33	0,99 €	
<b>TOTAL</b>				<b>4,95 €</b>	

#### Material

		mm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	€/kg	€/ml	
Coste perfil		400	0,000400	2,8	3,02	
<b>Perimetro exterior</b>		€/kg	€/ml	ml		
Extrusión P.Exterior Aluminio	Coste material	2,80	3,02	10	30,24	
Extrusión P.Exterior EPDM	Coste material	-	0,20	1	0,2	€/ml
			doble goma estanqueidad		0,40	€/ml
Extrusión P.Exterior Silicona	Coste material	-	0,40	-	-	
		€/m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> int.	m <sup>2</sup> ext.		
Lacado P.Exterior	color estándar	2,00	0		0	
Lacado P.Exterior	color especial	3,00	-			
Anodizado P.Exterior	natural 15micras	2,10	-			
Anodizado P.Exterior	negro/acero 15micras	4,00	-			

<b>Perimetro intermedio</b>		€/kg	€/ml	ml	
Extrusión P.Intermedios Aluminio Coste material		3,00	5,02	0	0
		€/m2	m² int.	m² ext.	
Lacado P.Intermedios	color estándar	2,00	0		0
Lacado P.Intermedios	color especial	3,00	-		
Anodizado P.Exterior	natural 15micras	2,10	-		
Anodizado P.Exterior	negro/acero 15micras	4,00	-		
<b>Perimetro interior</b>		€/kg	€/ml	ml	
Extrusión P.Interior Aluminio Coste material		3,00	0,00	0	0
		€/m2	m² int.	m² ext.	
Lacado P.Interior	color estándar	2,00	0		0
Lacado P.Interior	color especial	3,00	-		
Anodizado P.Exterior	natural 15micras	2,10	-		
Anodizado P.Exterior	negro/acero 15micras	4,00	-		
<b>TOTAL</b>				<b>30,24 €</b>	

### MECANIZADO DE LOS PERFILES (apartado 6.3.2)

#### Mano de Obra

<b>Perimetro exterior</b>		ud cort.	t (min)	€/min	
Mecanizado P.Exterior		4	3	0,33	3,96 €
Reprogramación máquina		1	5	0,33	1,65 €
<b>Perimetro intermedio</b>		ud cort.	t (min)	€/min	
Mecanizado P.Intermedio		0	3	0,33	0,00 €
Reprogramación máquina		0	5	0,33	0,00 €
<b>Perimetro interior</b>		ud cort.	t (min)	€/min	
Mecanizado P.Interior (ventana)		0	3	0,33	0,00 €
Reprogramación máquina		0	5	0,33	0,00 €
<b>TOTAL</b>				<b>5,61 €</b>	

### RETESTADO DE PERFILES (apartado 6.3.3)

#### Mano de Obra

<b>Perimetro exterior</b>		ud cort.	t (min)	€/min	
Retesteo P.Exterior		0	3	0,33	0,00 €
Reprogramación máquina		0	1	0,33	0,00 €



<b>Perimetro intermedio</b>	ud cort.	t (min)	€/min	
Retesteo P.Intermedio	0	6	0,33	0,00 €
Reprogramación máquina	0	1	0,33	0,00 €
<b>Perimetro interior</b>	ud cort.	t (min)	€/min	
Retesteo P.Interior (ventana)	0	3	0,33	0,00 €
Reprogramación máquina	0	1	0,33	0,00 €
<b>TOTAL</b>				<b>0,00 €</b>

### ENSAMBLAJE DE LOS PERFILES (apartado 6.3.4)

#### Mano de Obra

<b>Perimetro exterior</b>	ud cort.	t (min)	€/min	
Ensamblaje P.Exterior	2	40	0,33	26,40 €
Reprogramación máquina	0	5	0,33	0,00 €
<b>Perimetro intermedio</b>	ud cort.	t (min)	€/min	
Ensamblaje P.Intermedio	0	5	0,33	0,00 €
Reprogramación máquina	0	5	0,33	0,00 €
<b>Perimetro interior</b>	ud cort.	t (min)	€/min	
Ensamblaje P.Interior (ventana)	0	40	0,33	0,00 €
Unión con perfiles intermedios	0	15	0,33	0,00 €
Reprogramación máquina	0	5	0,33	0,00 €
<b>TOTAL</b>				<b>26,40 €</b>

#### Material

<b>Perimetro exterior</b>	€/ud	Ensamblaje	uds	
Escuadras P.Exterior Aluminio Tipo 1	0,11	4,00	1	0,44
Tornillería Tipo 1	0,05	8,00	1	0,4
<b>Perimetro intermedio</b>	€/ud	Ensamblaje	uds	
Escuadras P.Interior Aluminio Tipo 2	0,00	4,00	1	0
Tornillería Tipo 2	0	8,00	1	0
<b>Perimetro interior</b>	€/ud	Ensamblaje	uds	
Escuadras P.Exterior Aluminio Tipo 1	0,00	4,00	1	0
Tornillería Tipo 1	0	8,00	1	0
<b>TOTAL</b>				<b>0,84 €</b>

**SELLADO DE UNIONES (apartado 6.3.5)****Mano de Obra**

	ud cort.	t (min)	€/min	
<b>Perimetro exterior</b>				
Sellado P.Exterior	4	5	0,33	6,60 €
<b>Perimetro intermedio</b>				
Sellado P.Intermedio	4	5	0,33	6,60 €
<b>Perimetro interior</b>				
Sellado P.Interior (ventana)	0	5	0,33	0,00 €
Sellado con perfiles intermedios	0	5	0,33	0,00 €
<b>TOTAL</b>				<b>13,20 €</b>

**Material**

	€/ud	Ensamblaje	uds	
<b>Perimetro exterior</b>				
Sellado P.Exterior	0,1	4	1,00	0,40 €
<b>Perimetro intermedio</b>				
Sellado P.Intermedio	0,1	0	1,00	0,00 €
<b>Perimetro interior</b>				
Sellado P.Interior (ventana)	0,1	0	1,00	0,00 €
Sellado con perfiles intermedios	0,1	0	1,00	0,00 €
<b>TOTAL</b>				<b>0,40 €</b>

### FIJACIÓN Y SELLADO DE LOS MOLDES PERIMETRALES SOBRE LA MESA (apartado 6.4.1)

#### Mano de Obra

Perimetro exterior		ud	min/ud	€/min	
Fijación mecanica	Perimetro exterior	8,00	10,00	0,42	33,60
Fijación magnetica	Perimetro exterior	0,00	20,00	0,42	0,00
		ml	min/m		
Sellado	perfiles	10,00	0,50	0,42	2,10
Perimetro interior		ud	min/ud		
Fijación mecanica	Perimetro interior	0,00	35,00	0,42	0,00
Fijación magnetica	Perimetro interior	0,00	11,00	0,42	0,00
		ml	min/m		
Sellado	perfiles	0,00	0,50	0,42	0,00
<b>TOTAL</b>					<b>35,70</b>

#### Material

Perimetro exterior		ud	€/ud	
Fijación mecanica	Perimetro exterior	8,00	0,35	2,80
Fijación magnetica	Perimetro exterior	0,00	1,80	0,00
		ml	€/m	
Cinta de sellado		10,00	0,05	0,50
Perimetro interior		ud	€/ud	
Fijación mecanica	Perimetro interior	0,00	0,35	0,00
Fijación magnetica	Perimetro interior	0,00	1,80	0,00
		ml	€/m	
Cinta de sellado		0,00	0,05	0,00
<b>TOTAL</b>				<b>3,30</b>

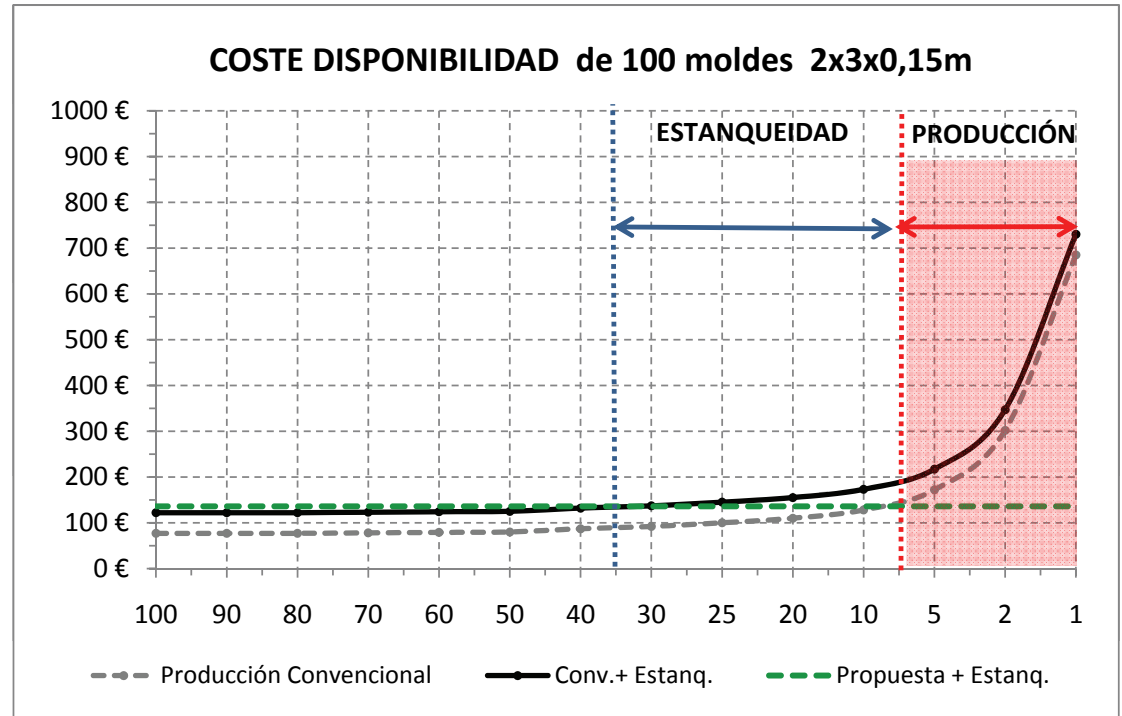
## RESUMEN de la distribución de los costes (2x3x0,15m)

RESUMEN DE COSTES 1r BASTIDOR y REPETICION				
Mano de Obra		85,86 €		
Material		34,78 €		
<b>TOTAL COSTES DIRECTOS</b>		<b>120,64 €</b>		
COSTES INDIRECTOS 30-40%	30%	36,19 €		
<b>COSTE FINAL</b>		<b>156,83 €</b>		
Repercusión		10,46 €/m <sup>2</sup>		
EJECUCIÓN DEL MOLDE PERIMETRAL CLIENTALIZADO		Coste M.O. y Mat.	120,64 €	100,00%
1- Corte SL longitud				
2- Mecanizado SL				
3- Retestado SL				
4- Ensamblaje SL				
5- Sellado esquinas Bastidor				
6- Fijación del bastidor sobre la mesa				
			Parcial	Global
	Mano de Obra	85,86 €	71,2%	71,2%
	Material	34,78 €	28,8%	28,8%
ZÓCALO DE DISPONIBILIDAD DEL MOLDE		Coste M.O. y Mat.	39,00 €	#¡VALOR!
6- Fijación y sellado del bastidor sobre la mesa				
			Parcial	Global
	Mano de Obra	35,70 €	91,5%	29,6%
	Material	3,30 €	8,5%	2,7%

**PROPUESTA - Analisis del coste de disponibilidad de un molde según niveles de clientalización (2x3x0,15)**

PANEL 2x3x0,15m				
Repeticiones	SIN ESTANQUEIDAD		CON ESTANQUEIDAD	
	Producción Convencional	Producción Propuesta	Conv. + Estanq.	Propuesta + Estanq.
100	77 €	121 €	122 €	136 €
90	77 €	121 €	122 €	136 €
80	77 €	121 €	122 €	136 €
70	78 €	121 €	123 €	136 €
60	79 €	121 €	124 €	136 €
50	80 €	121 €	125 €	136 €
40	87 €	121 €	132 €	136 €
30	92 €	121 €	137 €	136 €
25	100 €	121 €	145 €	136 €
20	110 €	121 €	155 €	136 €
10	128 €	121 €	173 €	136 €
5	172 €	121 €	217 €	136 €
2	302 €	121 €	347 €	136 €
1	685 €	121 €	730 €	136 €

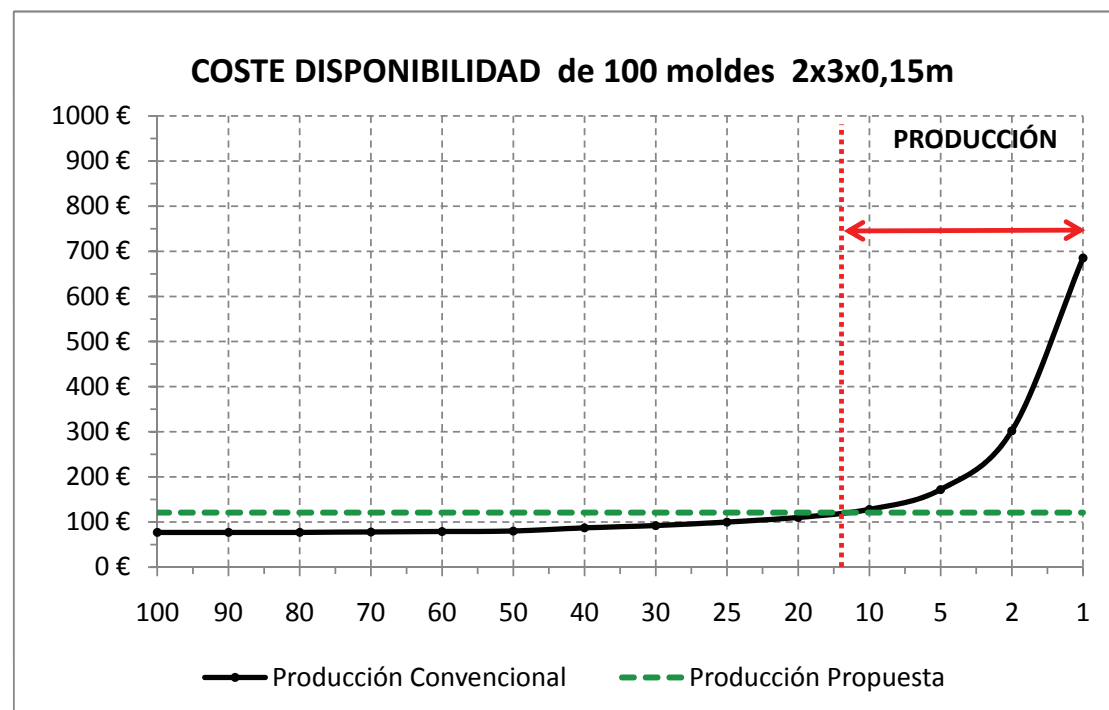
8,20 €/ml *coste de sellado junta entre paneles incluido mano de obra, material y medios auxiliares*  
 1,50 €/ml *Coste gomas de estanqueidad incluido mano de obra y material*

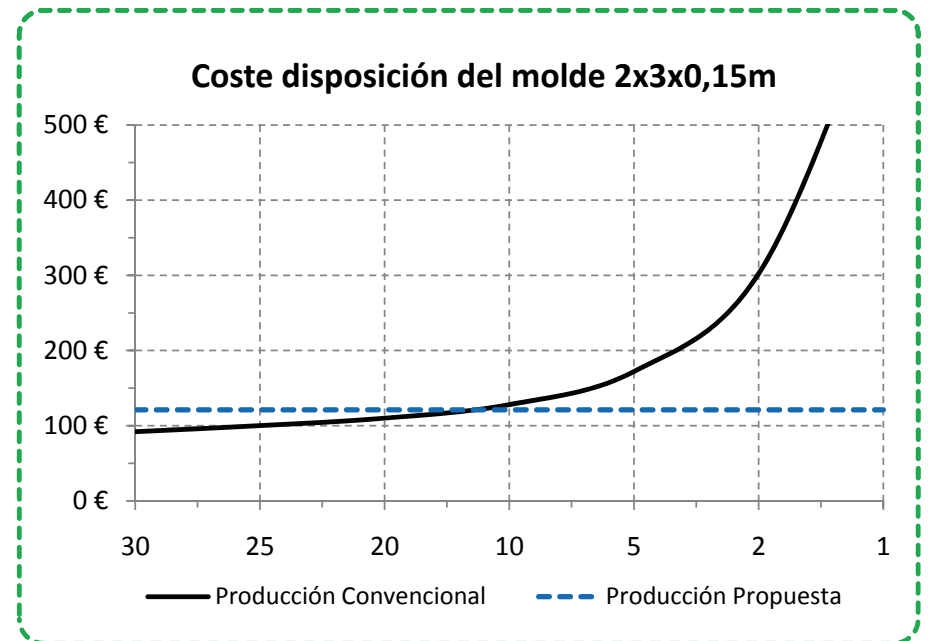
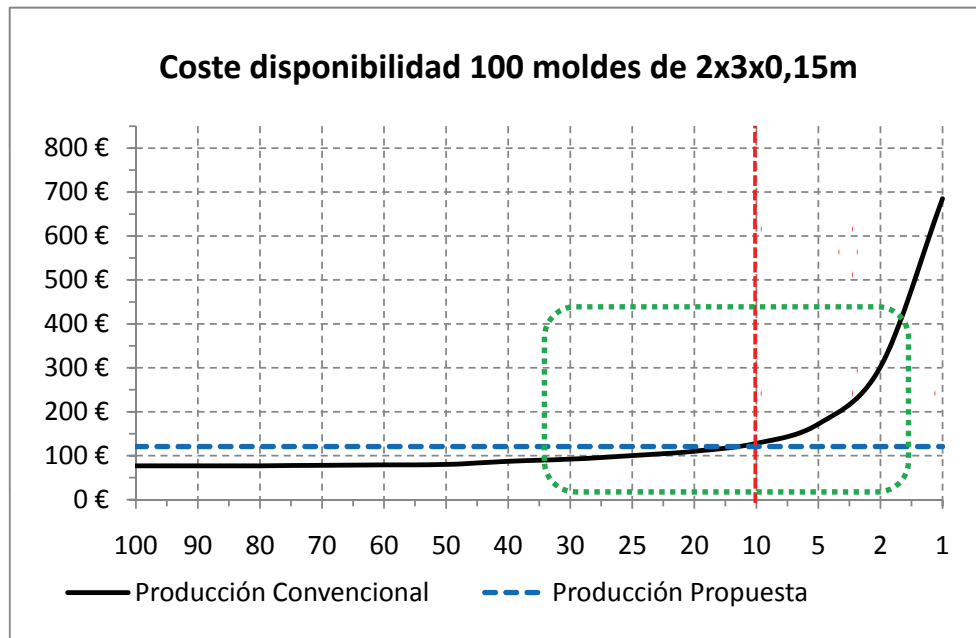


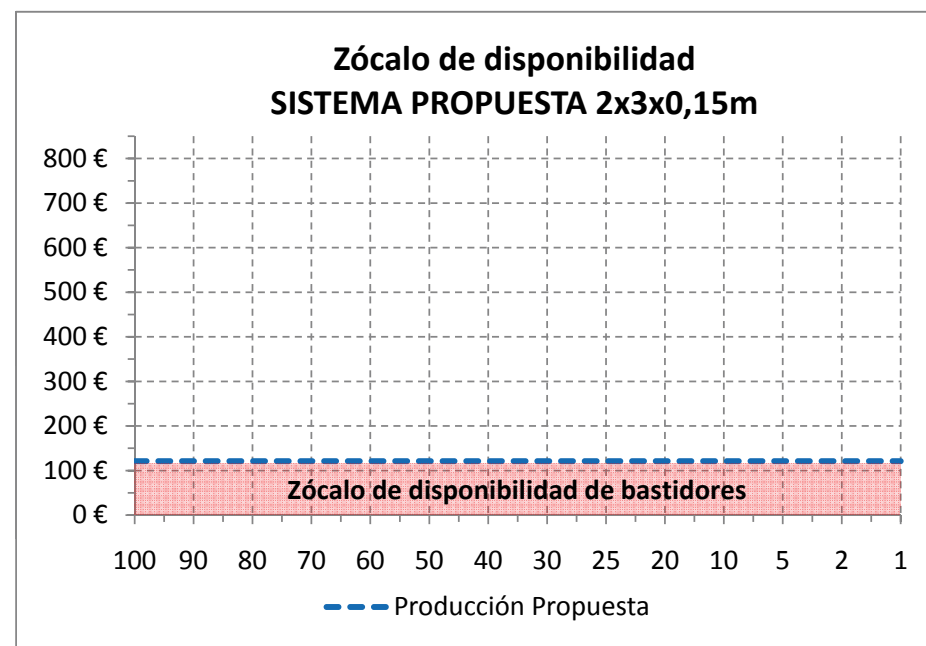
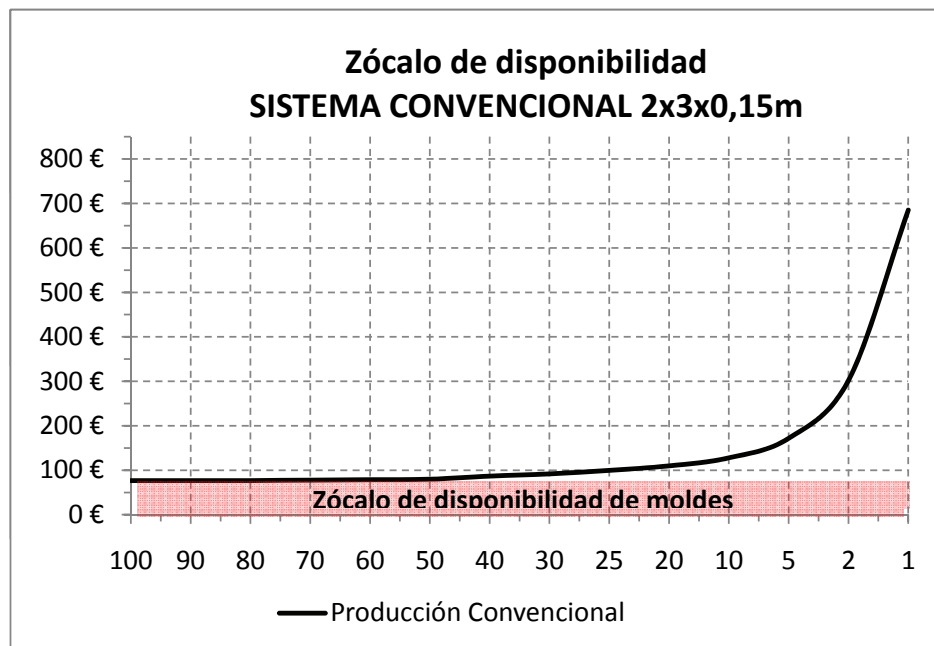
PANEL 2x3x0,15m				
Repeticiones	SIN ESTANQUEIDAD		CON ESTANQUEIDAD	
	Producción Convencional	Producción Propuesta	Conv. + Estanq.	Propuesta + Estanq.
100	77 €	121 €	122 €	136 €
90	77 €	121 €	122 €	136 €
80	77 €	121 €	122 €	136 €
70	78 €	121 €	123 €	136 €
60	79 €	121 €	124 €	136 €
50	80 €	121 €	125 €	136 €
40	87 €	121 €	132 €	136 €
30	92 €	121 €	137 €	136 €
25	100 €	121 €	145 €	136 €
20	110 €	121 €	155 €	136 €
10	128 €	121 €	173 €	136 €
5	172 €	121 €	217 €	136 €
2	302 €	121 €	347 €	136 €
1	685 €	121 €	730 €	136 €

8,20 €/ml *coste de sellado junta entre paneles incluido mano de obra, material y medios auxiliares*

1,50 €/ml *Coste gomas de estanqueidad incluido mano de obra y material*









**ANEXO 9- Tablas de cálculo para el análisis de la repercusión de la JUNTA**



## Analisis de los costes de sellado de 100 paneles planos de hormigón

### COSTES ASOCIADOS A LAS OPERACIONES DE SELLADO DE 100 PANELES DE 5x3x0,15r CASO A

#### REPERCUSIÓN ml de JUNTA POR PANEL

		nº juntas	long ml	ml
<b>Juntas verticales</b>				
	Juntas verticales	21	15	315,00
<b>Juntas horizontales</b>				
	Juntas horizontales	6	100	600,00
<b>TOTAL</b>				<b>915,00 ml</b>
<b>Longitud junta del panel</b>				
	nº paneles	alto (ml)	ancho (ml)	ml teórica
	100	3	5	<b>1.600,00</b>

**REPERCUSION JUNTA 0,57 ml/ml**

#### COSTE DE LA JUNTA

<b>Rendimiento del sellado</b>	Redimiento	ml junta	ml/dia	dias
	Rendimiento	50-100 ml/dia	915,00 ml	75
<b>Medios auxiliares</b>	Desplazamiento	€/dia	dias	€ total
	Coste Alquiler plataforma	305 €	138	12,20
		€ total	ml junta	€/ml
	Repercusión ml	1.988,60	915	<b>2,17</b>
<b>Coste del sellado</b>	€/ml			€/ml
	Mano de obra + material	5,8		<b>5,8</b>
<b>TOTAL</b>				<b>7,97 €/ml</b>

**COSTES ASOCIADOS A LAS OPERACIONES DE SELLADO DE 100 PANELES DE 2x3x0,15m CASO B**

**REPERCUSIÓN ml de JUNTA POR PANEL**

Juntas verticales		nº juntas	long ml	ml	
Juntas verticales		21	15	315,00	
Juntas horizontales		nº juntas	long ml	ml	
Juntas horizontales		6	40	240,00	
<b>TOTAL</b>				<b>555,00 ml</b>	
Longitud junta del panel		nº paneles	alto (ml)	ancho (ml)	ml teórica
Longitud junta del panel		100	3	2	<b>1.000,00</b>

**REPERCUSION JUNTA 0,555 ml/ml**

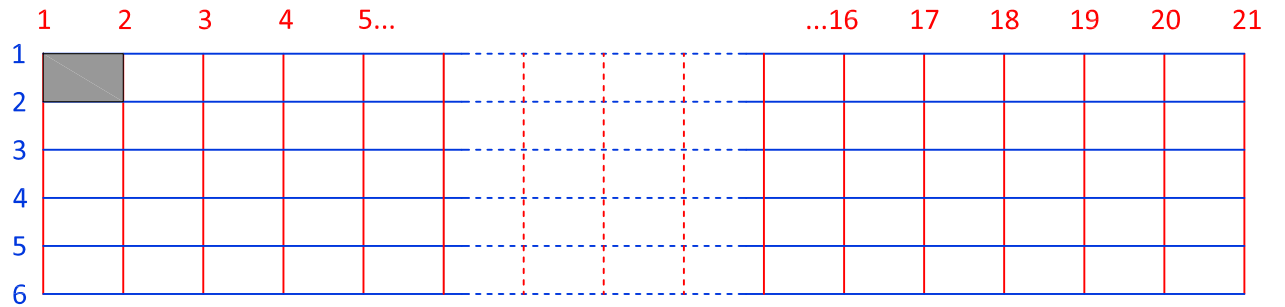
**COSTE DE LA JUNTA**

Rendimiento del sellado		Redimiento	ml junta	ml/dia	dias
Rendimiento		50-100 ml/dia	555,00 ml	75	7,40
Medios auxiliares		Desplazamiento	€/dia	dias	€ total
Coste Alquiler plataforma		305 €	138	7,40	1.326,20
Repercusión ml			€ total	ml junta	€/ml
Repercusión ml			1.326,20	555	<b>2,39</b>
Coste del sellado		€/ml			€/ml
Limpieza Junta + Mano de obra + material		5,8			<b>5,8</b>
<b>TOTAL</b>					<b>8,19 €/ml</b>

**ANEXO 10- Documentación grafica de la repercusión de la JUNTA**



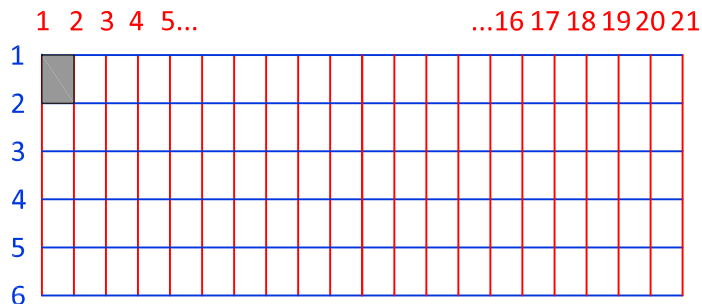
**CASO A - Juntas de 100 paneles (3x5x0.15m)**



Juntas verticales 21 x 15ml = 315 ml  
 Juntas horizontales 6 x 100ml = 600 ml  
 TOTAL = 915 ml /100 paneles = 9,15 ml/panel  
 Teorico panel: 16 ml

**Repercusión junta panel = 0,57 ml/ml**

**CASO B - Juntas de 100 paneles (3x2x0.15m)**

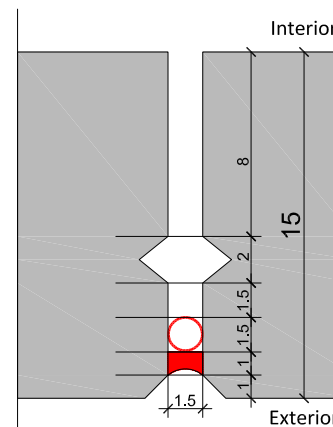


Juntas verticales 21 x 15ml = 315 ml  
 Juntas horizontales 6 x 40ml = 240 ml  
 TOTAL = 555 ml /100 paneles = 5,55 ml/panel  
 Teorico panel: 10 ml

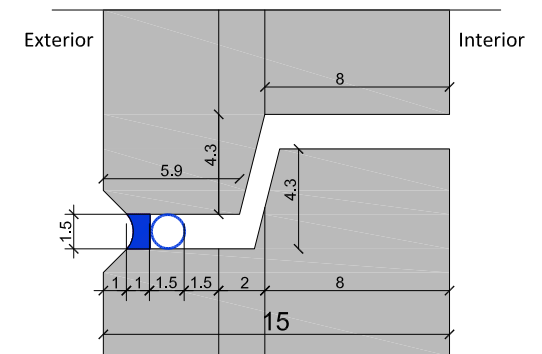
**Repercusión junta panel = 0,55 ml/ml**

**JUNTA PARA PANEL DE HORMIGÓN DE 15cm de espesor**

Fondo de junta (cordon celular) + Sellado (silicona neutra)



**JUNTA VERTICAL**



**JUNTA HORIZONTAL**

'La clientalización de la forma de los sistemas industrializados de fachada'

Cálculo de la repercusión por ml de junta entre 100 paneles

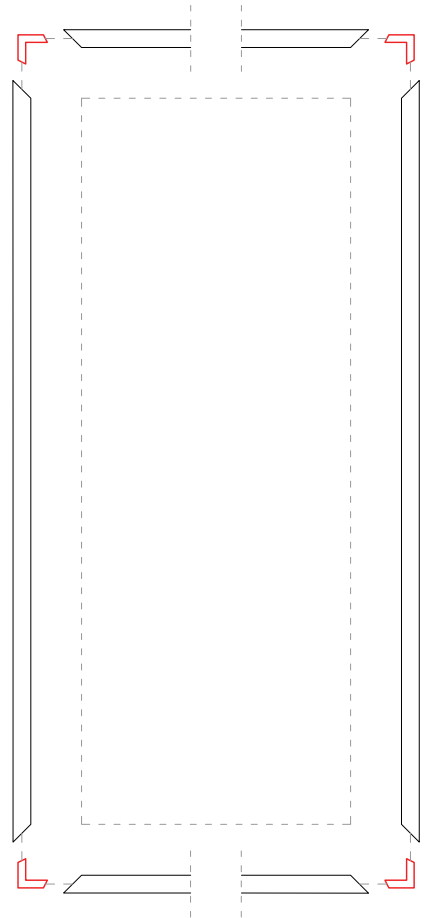
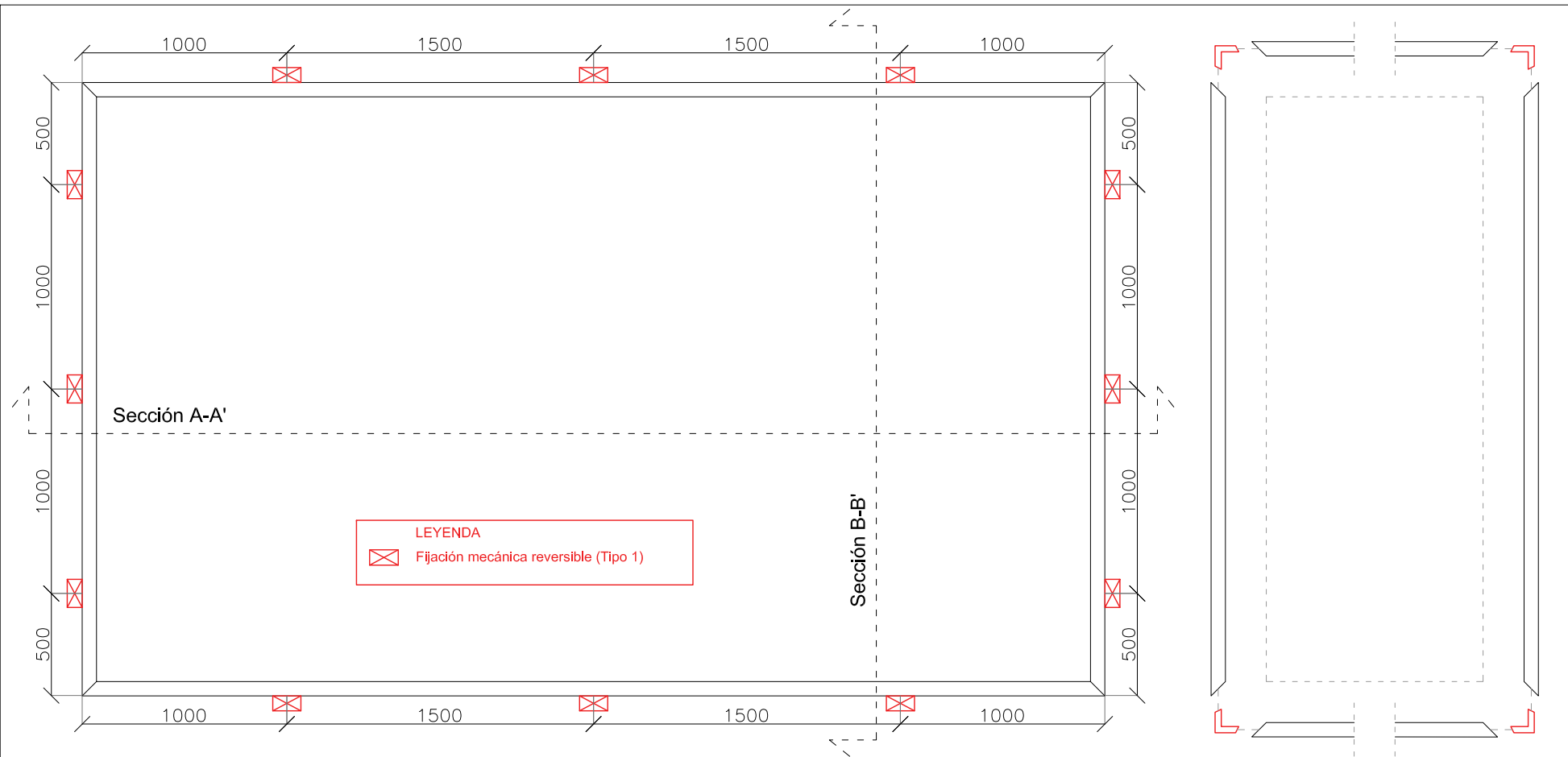
Descripcion del tipo de junta analizada



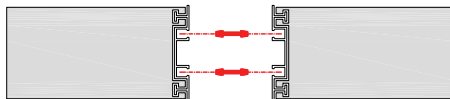


**ANEXO 11- Documentación grafica del panel PROPUESTA de 5x3x0,15m**

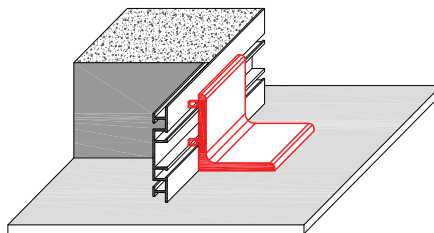




PERFIL TIPO A - Sección vertical y horizontal



JUNTA DEL COMPONENTE



Perfil aluminio bastidor

Fijación puntual perfil

Caja de gomas

Fijación puntual Perfil L80

Mesa montaje

SECCIÓN A-A'

Perfil aluminio bastidor

Fijación puntual perfil

Caja de gomas

Perfil L80

Mesa montaje

SECCIÓN B-B'

Perfil aluminio bastidor

Fijación puntual perfil

Caja de gomas

Fijación puntual Perfil L80

Mesa montaje

Perfil aluminio bastidor

Fijación puntual perfil

Caja de gomas

Perfil L80

Mesa montaje

'La racionalización de la forma de los sistemas industrializados de fachada'

PROPUESTA Panel 5x3x0,15m

Plano de fabricación

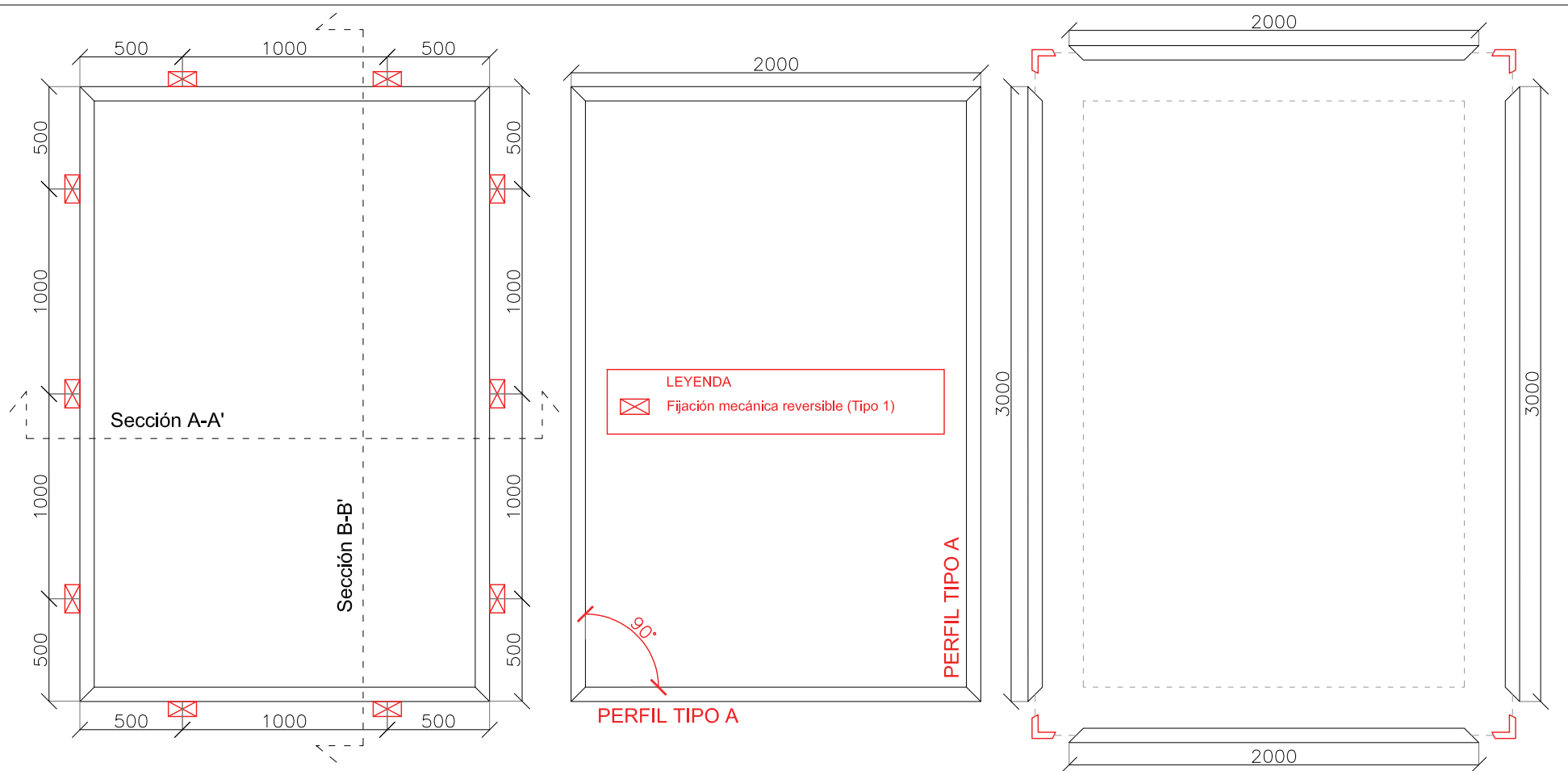
5a



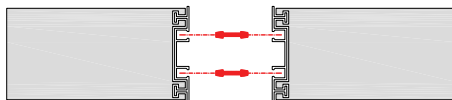


**ANEXO 12- Documentación grafica del panel PROPUESTA de 2x3x0,15m**

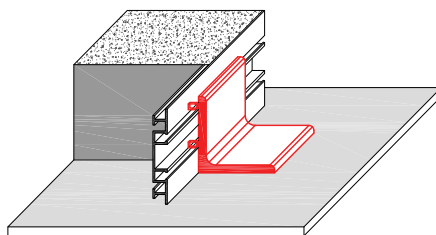




PERFIL TIPO A - Sección vertical y horizontal



JUNTA DEL COMPONENTE



Perfil aluminio bastidor

Fijación puntual perfil

Caja de gomas

Fijación puntual Perfil L80

Mesa montaje

SECCIÓN A-A'

Perfil aluminio bastidor

Fijación puntual perfil

Caja de gomas

Perfil L80

Mesa montaje

SECCIÓN B-B'

Perfil aluminio bastidor

Fijación puntual perfil

Caja de gomas

Fijación puntual Perfil L80

Mesa montaje

Perfil aluminio bastidor

Fijación puntual perfil

Caja de gomas

Perfil L80

Mesa montaje

'La racionalización de la forma de los sistemas industrializados de fachada'

PROPUESTA Panel 2x3x0,15m

Plano de fabricación

5b







## LA CLIENTALIZACION DE LOS SISTEMAS INDUSTRIALIZADOS DE FACHADA

Una estrategia de producción para la 'clientalización' de la forma de los componentes planos de hormigón

# DOCUMENTOS DE DESARROLLO

## DESARROLLO 1

*Análisis de las operaciones necesarias para la conformación de un componente de hormigón en un modelo de producción mixto*

## DESARROLLO 2

*Técnicas para la obtención de semiproductos lineales de acero y aluminio para un bastidor de fachada*

## DESARROLLO 3

*La conformación de componentes planos de fachada mediante perfiles extruidos de aluminio. Sistema Unitized para fachada ligera*

## DESARROLLO 4

*Análisis del coste-variación dimensional para la conformación de un panel plano de hormigón en el contexto de un modelo de producción mixto*

## DESARROLLO 5

*Análisis del coste-variación dimensional para la conformación del bastidor de un componente tipo Unitized para fachada ligera*

## DESARROLLO 6

*Análisis del coste-variación dimensional de la propuesta*



## **DESARROLLO 1**

**Análisis de las operaciones necesarias para la conformación de un componente de hormigón en un modelo de producción mixto**



## 1 Análisis de las operaciones necesarias para la conformación de un componente plano de hormigón

En el presente desarrollo se analizan todas las operaciones necesarias para la conformación de un panel plano de hormigón realizado sobre una mesa de hormigonado de 2,8m por 12m de largo (Fig. D1.1).

Como veremos a lo largo del desarrollo cada una de las operaciones se puede realizar de distintas maneras dependiendo del sistema de producción que principalmente podemos diferenciamos entre sistemas manuales y sistemas automatizados o robotizados.

Como sabemos esta diferenciación es poco útil para el objetivo del estudio ya que muchos de los sistemas actuales de producción están a caballo entre los sistemas manuales y los automatizados.

Así pues aquí analizaremos de forma independiente las distintas maneras de realizar cada una de las operaciones para poder evaluar posteriormente la influencia que tienen en los costes asociados a la variabilidad de la forma de los componentes finales dentro de una serie larga de producción.



Fig.D1.1. Mesa de hormigonado.

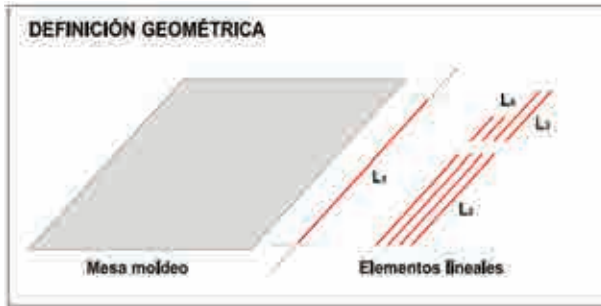


Fig.D1.2.



Fig.D1.3. Perfiles de borde con semiproductos lineales de acero y madera

## 1.1 Operaciones que intervienen en la ejecución de un componente plano de hormigón

### 1.1.1 Limpieza y preparación de la mesa de hormigonado

Antes de iniciar las operaciones de preparación del molde debemos garantizar que la superficie de la mesa de hormigonado este completamente plana, lisa (libre de perforaciones) y limpia de residuos de hormigón, siliconas de sellado o plásticos.

Estas operaciones de limpieza y reparación generalmente se realizan de forma manual.

### 1.1.2 Definición geométrica del molde perimetral (1r molde)

Como hemos visto, para definir la forma de un componente plano son necesarios los moldes perimetrales formados por elementos lineales que caracterizaran el espesor y el tipo de junta del componente (Fig.D1.2). Para ello la industria actual utiliza dos sistemas:

- I. El primer sistema utiliza semiproductos lineales, habitualmente perfiles laminados de acero y/o a veces llantas de madera (Fig. D1.3).

Estos perfiles normalizados de acero son cortados de forma manual a la longitud deseada. Posteriormente son transformados y ensamblados con otros perfiles y berenjenos hasta conseguir la sección deseada para las juntas entre paneles.

Generalmente estas operaciones de transformación y manipulación de los semiproductos se realizan en el propio taller de la fábrica de forma manual con

sencillas herramientas de corte. Este sistema de conformación de los molde perimetrales genera residuos y necesita prever zonas de acopio.

- ***El uso de semiproductos lineales cortados de forma manual permite conseguir una elevada variedad de longitudes y secciones para el molde perimetral pero a cambio de elevados costes en mano de obra (Fig. D1.4). El material se determina principalmente por la durabilidad del molde, pero también pueden considerarse aspectos de acabado.***

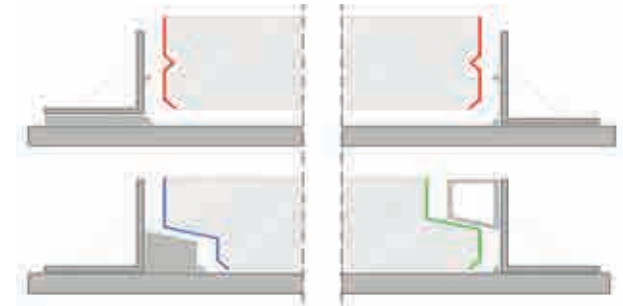


Fig.D1.4. Perfiles de borde con semiproductos lineales

- II. El segundo sistema utiliza perfiles de sección conformada (Fig. D1.5).

Actualmente la industria dispone de catálogos de perfiles destinados exclusivamente para el uso en moldes perimetrales. Estos catálogos incluyen varios tipos de perfiles, secciones y longitudes que permiten definir los moldes.

Para poder garantizar una elevada variabilidad de la forma, el espesor y el tipo de junta de los paneles debemos de disponer de un importante almacén de perfiles.

Lógicamente estos catálogos son limitados y no pueden dar respuesta a cualquier perfil de borde que necesitemos. Dependerá de la empresa de suministro y de sus modelos disponibles que en menor o mayor medida tengamos que adaptar los paneles de hormigón a sus limitaciones. Cabe destacar que estos perfiles no pueden ser transformados. A estos los consideramos ‘componentes lineales’.



Fig.D1.5. Perfiles de borde conformados de Weckenmann

- ***El uso de perfiles conformados de catálogos, obliga a ‘almacenar’ una elevada cantidad de unidades cuanto mayor sea el grado de clientalización que queramos conseguir.***

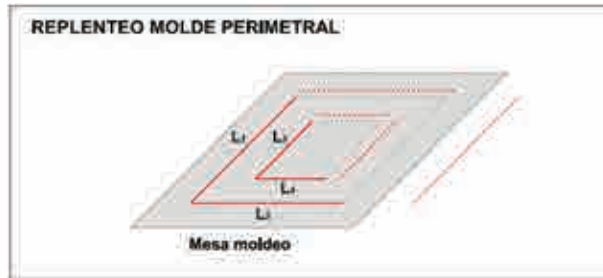


Fig.D1.6.

### 1.1.3 Replanteo del molde perimetral sobre la mesa de hormigonado

Las operaciones de replanteo definen la posición de los moldes perimetrales y de todos los elementos necesarios sobre la mesa de hormigonado. Una vez realizado el replanteo debemos realizar operaciones de comprobación ya que un error en el replanteo puede significar errores en toda una serie de producción.

Para realizar estas operaciones disponemos principalmente de tres sistemas:

- I. El sistema manual de replanteo es aquel que realizan los operarios sobre la misma mesa de hormigonado marcando la posición de cada una de las tabicas o moldes perimetrales según plano de taller.

Habitualmente los medios para realizarlo son muy básicos y fácilmente pueden inducir a errores que son asumidos en las tolerancias de fabricación y posteriormente durante los procesos de montaje.

- ***Este sistema puede inducir a errores en el primer replanteo y que si no son detectados a tiempo pueden invalidar toda una serie producción.***



- II. El segundo sistema de replanteo está basado en los sistemas de software CAD-CAM. Las operaciones de trazado que antes desarrollaban los operarios de forma manual ahora las realiza un plotter sobre la mesa de hormigonado (Fig. D1.7).

Los sistemas actuales robotizados y automatizados por control numérico permiten convertir los planos desarrollados en oficina en sencillas plantillas geométricas que son trazadas sobre la mesa de hormigonado.

El principal problema que plantea este sistema es la dificultad de trazar sobre la mesa de encofrado cuando se han aplicado desencofrantes a lo largo del día. Después de cada ejecución de un panel debe realizarse un nuevo trazado con plotter.

- ***Este sistema de replanteo no permite comprobar la correcta posición de los elementos una vez colocado. Las marcas quedan tapadas o borradas por los propios elementos replanteados y obliga a una comprobación manual.***

- III. El tercer sistema también está basado en los sistemas de software CAD-CAM. Un proyector laser situado en la parte superior de la nave proyecta sobre la mesa de hormigonado la geometría del componente así como todos los accesorios necesarios (cajetas de conexión eléctrica, paso de instalaciones, fijaciones para la extracción, etc...).

El sistema puede calibrarse para tener en cuenta las diferentes alturas de los elementos a encofrar y así poder revisar la correcta colocación de cada uno de ellos una vez situados sobre la mesa de hormigonado.



Fig.D1.7. Sistema de replanteo mediante plotter de Weckenmann

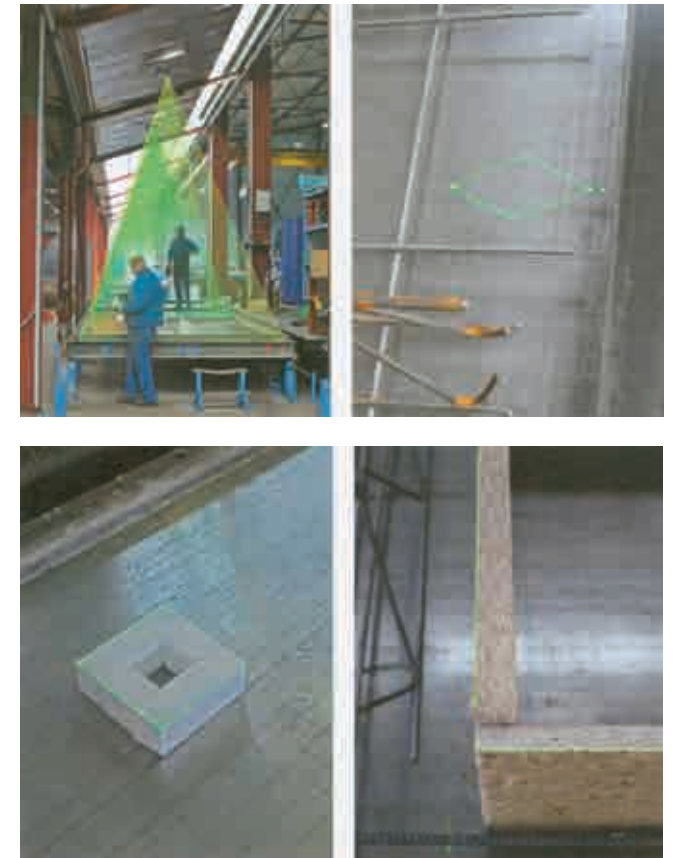


Fig.D1.8. Sistema de replanteo mediante proyección laser

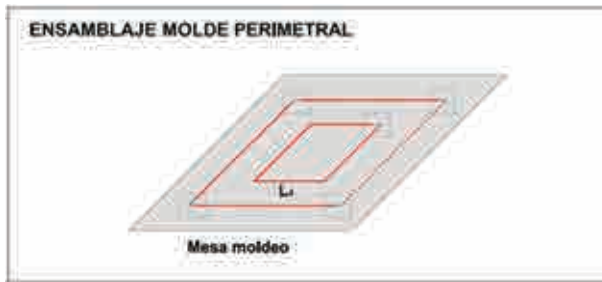


Fig.D1.9.



Fig.D1.10. Resolución manual para esquina de molde



Fig.D1.11. Cabezas especiales de perfiles para resolución de esquina de la empresa Weckenmann

- **El sistema de replanteo por laser permite la comprobación constante de la correcta ubicación de todos los elementos sobre la mesa de hormigonado. (Fig. D1.8)**

#### 1.1.4 Ensamblaje de los perfiles para el molde perimetral

Una vez definidos los perfiles con la geometría y longitud deseada se inician las operaciones de ensamblaje. Estas operaciones son de vital importancia para garantizar parcialmente la estanquidad del molde y para ello es necesario establecer un sistema de compatibilidad entre perfiles perimetrales.

- I. Para los sistemas que utilizan los semiproductos lineales como perfiles de borde, la resolución de las esquinas se realiza de forma manual cortando y transformando de forma adecuada las cabezas de los perfiles de la misma manera que hemos conformando los perfiles y de tal forma que permita garantizar el encaje perfecto entre ellos. (Fig. D1.10)

- **Este sistema de compatibilidad entre perfiles garantiza la mayor clientalización posible pero a cambio de desarrollar soluciones únicas para cada serie.**

- II. Para los sistema que utilizan perfiles de catalogo de sección transversal conformada (componentes lineales) existen dos posibles alternativas:

-Disponer de piezas especiales colocadas en las cabezas de los perfiles y adaptables a distintas intersecciones permitiendo una mayor intercambiabilidad de perfiles (Fig. D1.11)

-Disponer de perfiles de sección transversal conformada con las cabezas también conformadas que limitan la compatibilidad entre perfiles de un mismo sistema (Fig. D1.12)

- ***Ambas soluciones permiten ciertas combinatorias entre perfiles pero la clientalización del sistema queda limitada a la inversión en perfiles distintos.***

### 1.1.5 Fijación del molde perimetral sobre la mesa de hormigonado

Para las operaciones de colocación y fijación de los molde laterales sobre la mesa de encofrado disponemos principalmente de dos sistemas:

- I. Un primer sistema manual donde los operarios colocan sobre las marcas del replanteo las tabicas o moldes perimetrales.

Para poder fijar los moldes a la mesa de hormigonado disponen de dos sistemas claramente diferenciados por su reversibilidad:

-Fijar los moldes perimetrales mediante fijaciones mecánicas básicamente con tornillos y pernos de fijación (Fig. D1.14).

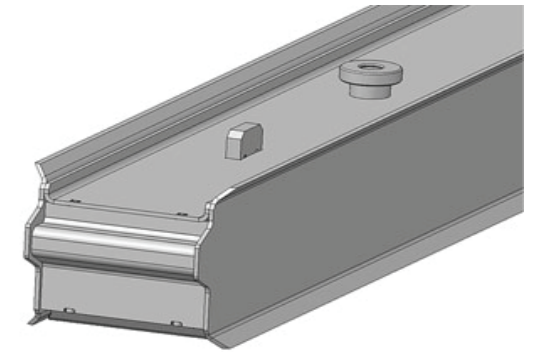


Fig.D1.12. Perfiles con las cabezas conformadas de la empresa Weckenmann

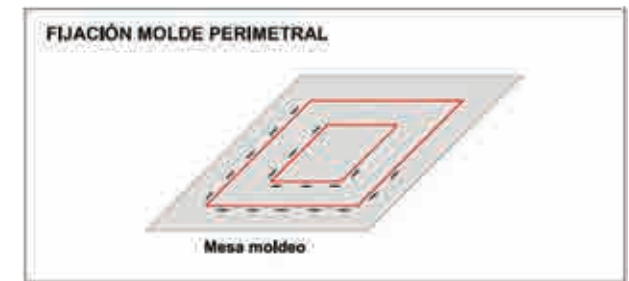


Fig.D1.13.



Fig.D1.14. Fijaciones mecánicas para las tabicas laterales

- ***Este sistema obliga a perforar las mesas de hormigonado reduciendo la durabilidad y obligando a desarrollar un mayor mantenimiento. A cambio el sistema goza de una gran fiabilidad geométrica del molde a lo largo de una serie de producción.***



Fig.D1.15- Fijación de tabicas laterales con imanes

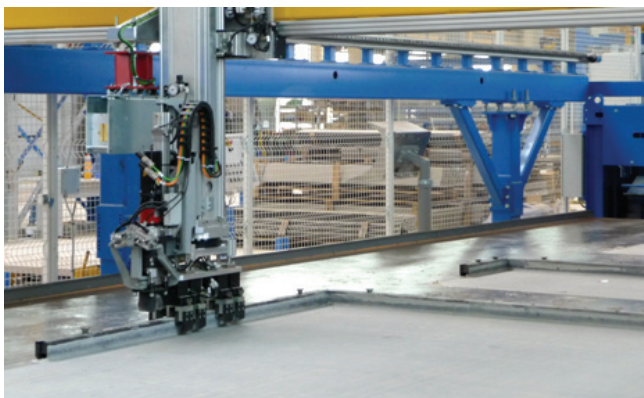


Fig.D1.16. Colocación robotizada del molde perimetral de EBAWE

-Fijar los moldes mediante elementos imantados que inmovilizan las tabicas a la mesa de hormigonado impidiendo su movimiento. (Fig. D1.15)

Los principales problemas que se pueden presentar con el uso de los sistemas magnéticos son el desplazamiento del imán ya sea en el momento de la activación del campo magnético como durante el vibrado si se realizan en mesa.

Muchas veces la discontinuidad en la presión de las tabicas sobre la mesa de hormigonado puede provocar imprecisiones en los bordes perimetrales del componente. Esto puede ser determinante en componentes que necesitan un mayor grado de precisión y sobre todo con hormigones autocompactantes.

- ***A menudo, para minimizar estos problemas se combinan ambos sistemas de fijación: mecánico y magnético.***

- II. El segundo sistema de colocación y fijación se realiza mediante robots controlados por sistema de software CAD-CAM. El robot coge de un amplio acopio de perfiles ya conformados y los coloca sobre la mesa fijándolos con sistemas de imán. (Fig. D1.16)

El sistema está totalmente automatizado y permite minimizar la intervención de la mano de obra. Como ya hemos visto, los perfiles conformados que utilizamos en



este sistema deben ser totalmente compatibles entre ellos sin necesidad de transformación.

- ***Debe tenerse en cuenta los enormes costes de inversión de un sistema automatizado de estas características que pueden ascender entre 2 y 20 millones de euros según el nivel de automatización.***

### **1.1.6 Sellado de juntas entre la mesa de hormigonado y los moldes perimetrales**

Antes de las operaciones de fijación de los molde perimetrales es recomendable colocar una espuma entre estos y la mesa de hormigonado puesto que con el desgaste de los usos tanto el perfil como la mesa pierden planimetría.

Con la colocación de esta espuma entre ambos elementos garantizamos parcialmente la estanqueidad del molde (Fig. D1.17).

Una vez fijados los perfiles se procede al sellado de todas las uniones e intersecciones de perfiles con una silicona neutra que acaba garantizando la estanqueidad del molde.

Estas operaciones son de vital importancia si queremos garantizar una cierta calidad de acabado en los componentes de hormigón más aun si se trabaja con hormigones de elevada trabajabilidad (autocompactantes).

- ***Las operaciones de sellado se realizan de forma manual pero no intervienen en los costes asociados a la clientalización de la forma de los componentes de hormigón***



Fig.D1.14. Arriba: espuma adhesiva colocada entre perfiles y la mesa de hormigonado.

Abajo: sellado con silicona neutra del marco perimetral del molde.



Fig.D1.18a. Bomba para el proyectado del desencofrante

### 1.1.7 Aplicación de los desencofrantes

Para facilitar el desmoldeo de los paneles de hormigón es necesaria la aplicación de materiales desencofrantes. Estos acostumbran a ser derivados de aceites vegetales y se aplican sobre toda superficie en la que esté contacto el hormigón.

Dependiendo del sistema de instalación de la industria, este se puede aplicar de dos maneras:

#### I. Aplicación manual

Acostumbra a ser la manera más habitual de aplicar el desencofrante. Se realiza mediante un trapo empapado con el desencofrante o con una pistola de proyectado. La elección del sistema dependerá de las dimensiones del molde (Fig.D1.18a).

#### II. Aplicación robotizada

Este sistema tan solo se utiliza en aquellas instalaciones en las que prácticamente todas las operaciones de conformación del molde se realizan de forma automatizada o robotizada (Fig.D1.18b).

- ***Los costes de aplicación de desencofrante no interfieren en los costes de clientalización de la forma de los componentes.***

### 1.1.8 Armado interior del panel

Las operaciones de corte, conformado y soldado de los elementos de armado de un panel habitualmente se realizan en el propio taller de la industria (Fig. D1.19).



Fig.D1.18b. Bomba para el proyectado del desencofrante



Fig.D1.19. Conformación del armado del panel

Estas operaciones habitualmente se realizan de forma manual y en contadas ocasiones encontramos empresas que tengan maquinaria automatizada de corte y conformado de los elementos de armado.

Aunque el corte de las barras corrugadas de acero tenga que realizarse a medida según la geometría del panel, estas operaciones no suponen un coste importante sobre el coste global.

- ***Las operaciones de armado de los componentes de hormigón no condicionaran los costes de la clientización de la forma.***

### **1.1.9 Amasado y vertido del hormigón**

Las operaciones de amasado y vertido del hormigón dependen principalmente del tipo de amasadora. Aunque no sea este el único parámetro, generalmente se establece una relación directa entre el tamaño de la amasadora y la capacidad de producción de una industria. Normalmente la capacidad de amasado de una mezcladora industrial oscila entre 1 y 2m<sup>3</sup>.

Para las operaciones de vertido se pueden utilizar desde sencillos cubilotes (Fig. D1.21) hasta complejos sistemas de transporte y elevación mediante tornillos sinfín (Fig. D1.22).

Habitualmente el transporte del cubilote se realiza mediante el puente grúa de la industria mientras que el transporte con elementos de tornillos sinfín se realiza por suelo. Este segundo sistema permite tener libre el puente grúa para otros trabajos.

También dependerá del tipo de hormigón a verter que sea más adecuado un u otro sistema.



*Fig.D1.21. Vertido del hormigón mediante cubilote. Empresa Escofet*



*Fig.D1.22. Vertido del hormigón mediante tornillo sinfín. Empresa Tecnyconta*

Normalmente serán necesarios entre 2 y 3 operarios para gestionar las operaciones de amasado, transporte y vertido del hormigón dentro de la fábrica.

- **Las operaciones de amasado, transporte y vertido del hormigón no condicionaran los costes asociados a la clientalización de la forma de los componentes.**

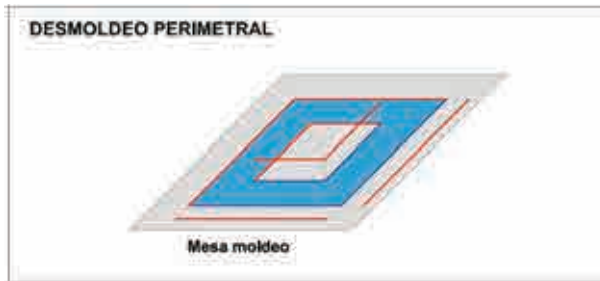


Fig.D1.23.

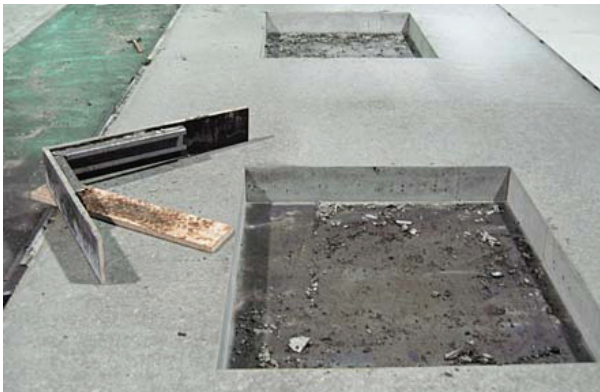


Fig.D1.24. Desmoldeo manual del molde perimetral

### 1.1.10 Desmontaje de los moldes perimetrales

Las operaciones de desmontaje de los moldes perimetrales son cada vez mas importantes. Las actuales exigencias de estanqueidad en las juntas de los componentes de fachada plantean la necesidad de desarrollar geometrías en el encofrado que dificultan las operaciones de desmoldeo.

Por otro lado, la necesidad de recuperar los encofrados perimetrales que exige el modelo productivo actual nos obliga a contabilizar dichas operaciones y repercutir su coste al coste final del componente.

Sea cual sea el sistema de fijación de hayamos desarrollado la geometría de los moldes perimetrales obligará a como mínimo desmontar dos de los cuatro lados del molde y en caso de existencia de hueco este debe ser totalmente desmontado.

Los sistemas que utilizaremos para el desmontaje de los moldes perimetrales dependerá de los sistemas utilizados para la fijación sistemas manuales o automatizados.



- I. El desmontaje de los molde perimetrales se realizará de forma manual cuando los sistemas de fijación a la mesa de hormigonado sean mecánicos o con elementos puntuales imantados (Fig. D1.24).
- II. Por el contrario el desmontaje se realizará de forma automatizada cuando el sistema de colocación y fijación se haya realizado mediante robots controlados por CAD-CAM (Fig. D1.25).

➤ ***La necesidad de recuperar los moldes perimetrales en el modelo de producción actual es una de las operaciones a tener en cuenta para la clientalización de la forma de los componentes.***

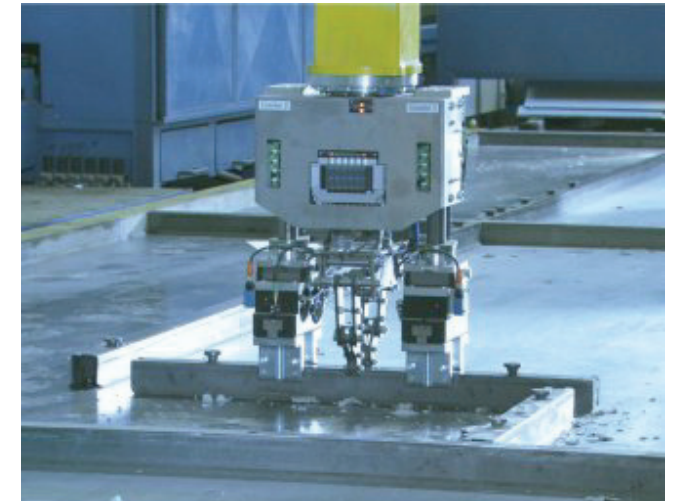


Fig.D1.25. Sistema de desmoldeo robotizado por la empresa Sommer

### 1.1.11 Desmoldeado, elevación y acopio del panel

Las operaciones de desmoldeo de un panel plano de hormigón puede desarrollarse con la mesa horizontal, en la misma posición que el proceso de hormigonado, o con una mesa basculante que minimiza los esfuerzos a flexión al que el panel está sometido durante el desmoldeo (Fig. D1.26).

Para ambas situaciones la elevación de los paneles se realiza con una grúa puente instalada en el nave de fabricación que lo transporta hasta el lugar de acopio.

El acopio de los paneles se realiza de forma vertical sobre unos bastidores o estabilizados por los laterales de los paneles mediante un sistema de ‘peine’ (Fig. D1.27 y D1.28).



Fig.D1.26. Mesa basculante para facilitar el desmoldeo de paneles. Empresa Weckenmann



*Fig.D1.27. Acopio de paneles finalizados sobre bastidor de soporte. Empresa Escofet*



*Fig.D1.27. Acopio de paneles finalizados estabilizados mediante sistema de 'peine'. Empresa Tecnyconta*

- *Estas operaciones no intervienen en el coste de la clientalización de los paneles. La repetitividad de la geometría de la serie es independiente al coste de estas operaciones.*

## **DESARROLLO 2**

**Técnicas para la obtención de semiproductos lineales de acero y aluminio para un bastidor de fachada**



## **2 Técnicas para la obtención de semiproductos lineales de acero y aluminio para un bastidor de fachada**

### **2.1 Introducción**

De todos los semiproductos lineales utilizados para la conformación de bastidores planos de fachada nos centraremos en el análisis de los de acero y aluminio. El interés por estos semiproductos viene condicionado por el análisis de las técnicas de transformación que permiten conformar bastidores de fachada (Desarrollo 4)

Estas técnicas de transformación de los semiproductos lineales pertenecen al grupo de transformaciones primarias del material. Muchas veces estas transformaciones las damos por asumidas cuando iniciamos los análisis de los elementos constructivos pero en nuestro caso toma un especial interés analizar estas transformaciones primarias ya que de estas dependerá por ejemplo el volumen de producción, las posibilidades geométricas del perfil, y la adecuación al coste según su aplicación.

### **2.2 Técnicas de conformación de los semiproductos lineales de acero y aluminio**

Como veremos la industria dispone de varias técnicas para la producción de los semiproductos lineales. De todas estas técnicas son de especial interés las que permiten obtener perfiles de longitud y sección adecuada para su uso en bastidores de fachada.



Fig.D2.1. Tochos de aluminio

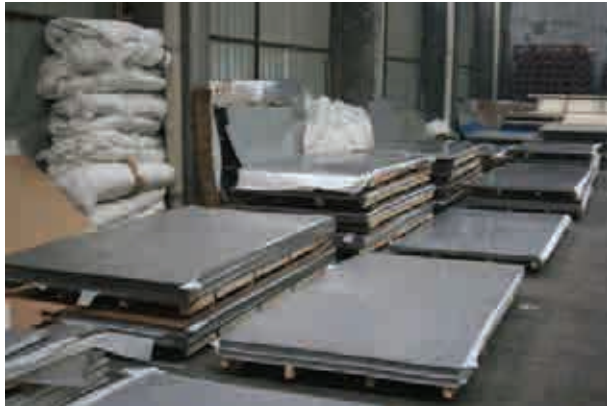


Fig.D2.2. Planchas de acero

Estas técnicas de transformación se han clasificado según dos parámetros que pueden condicionar los usos finales de los semiproductos:

1) El primer parámetro está relacionado con la forma del material antes de iniciar el proceso de transformación: volumétrica o plana.

- Entendemos por transformación volumétrica al proceso de transformación que parte de un volumen de material (tocho) y lo conforma en elementos lineales de sección delgada (Fig.D2.1).
- Entendemos por transformación plana al proceso de transformación que parte de láminas delgadas de material y lo conforma en elementos lineales de sección delgada (Fig.D2.2).

2) El segundo parámetro está relacionado con el propio proceso de transformación y su capacidad de producción: continuo o por unidades

- La producción en continuo se caracteriza en que la longitud del elemento producido no responde a la longitud del elemento en el uso.
- La producción por unidad se caracteriza en que la longitud del elemento producido, generalmente, coincide con la longitud en el uso.

Bajo esto dos parámetros de forma y de proceso de producción podemos clasificar las distintas técnicas de transformación industrial según la tabla siguiente:

		PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN	
		<i>Producción en continuo</i>	<i>Producción por unidad</i>
<b>FORMA DEL MATERIAL</b>	<i>Transformación Plana</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Perfilado</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Plegado</b></li> </ul>
	<i>Transformación Volumétrica</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Extrusión</b></li> <li>• <i>Laminado</i></li> <li>• <i>Estirado</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Forjado</i></li> <li>• <i>Colado</i></li> </ul>
<b>Transformaciones complementarias</b>		<i>Corte / Estampado / Remonición / Ensamblaje</i>	

De todas las técnicas de transformación primaria de los semiproductos lineales se analizarán la extrusión, el perfilado y el plegado, ya que son las que nos permiten obtener los semiproductos lineales para la conformación de componentes planos de fachada.

### 2.3 Transformación plana para la conformación de semiproductos lineales

El uso generalizado del acero en los procesos de transformación planos es debido a su elevada maleabilidad y facilidad para ser transformado mediante operaciones de plegado sin que este pierda excesiva capacidad resistente en las zonas debilitadas.

La industria siderúrgica suministra el acero en forma de láminas planas individuales (Fig.D2.3) o en bobinas de láminas continuas de acero (Fig. D2.4) que en cualquier caso pueden ser de diversos espesores en función del uso final.

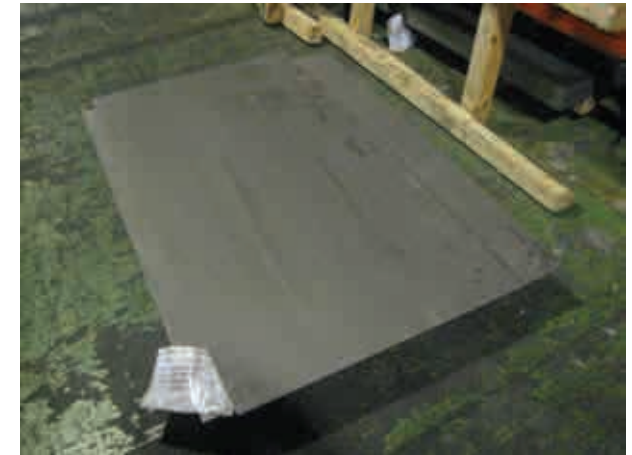


Fig.D2.3. Planchas individuales de acero negro sin tratar



Fig.D2.4. Bobinas de acero para el perfilado

El interés por un suministro en forma de laminas o bobinas dependerá de la técnica de transformación que queramos desarrollar, generalmente utilizaremos laminas individuales para el plegado y bobinas continuas para el perfilado.

Aunque estas técnicas de transformación del acero reciben nombres distintos debido al proceso industrial, en los dos casos partimos de una lamina plana que mediante operaciones de plegado, ya sean por unidades o en continuo, obtenemos perfiles de más o menos complejidad geométrica.

Actualmente la industria del transformado de láminas de acero ha desarrollado dos técnicas:

- 1) Mediante plegadoras donde se obtienen una producción por unidades.
- 2) Mediante líneas de plegado (rollforming) donde se obtiene una producción continua.



Fig.D2.5. Plegadora hidráulica para láminas individuales

### **2.3.1 El plegado. Transformación plana por unidades**

Actualmente la industria dispone con facilidad de maquinas de plegado para chapas de entre 1.250mm a 6.100mm de longitud (Fig. D2.5). Para lograr el plegado de elementos mayores muchas veces se disponen 2 máquinas en serie para conseguir plegar el doble de la longitud.

El punzón y la matriz son los dos principales utillajes a diseñar para la obtención del perfil plegado. Siempre existe una relación entre ambos porque a través de estos conseguimos el ángulo de plegado y la sección final.



En muchos casos la matriz puede ser invariable y es el diseño del punzón el que nos permitirá conseguir una sección plegada más o menos compleja. Si utilizamos punzones lineales conseguiremos secciones abiertas, perfiles en forma de 'V', y para el diseño de perfiles en forma de 'C' podemos utilizar los punzones plegados (Fig. D2.6).

- **Una de las principales restricciones del doblado de chapas mediante plegadoras es la imposibilidad de conseguir perfiles de sección cerrada. El propio proceso lo imposibilita.**

Durante todo proceso de plegado de una chapa debe considerarse el 'spring-back' que actúa como 'efecto memoria' del material. Debido a la elevada elasticidad del material este tiende a recuperar la forma inicial de antes del plegado siempre y cuando no se haya alcanzado el límite elástico de la chapa durante el proceso.

En la zona de plegado de una chapa la parte interior quedará comprimida y la cara exterior traccionada. Normalmente la resistencia a compresión será mayor que la resistencia a tracción, la cara exterior quedará permanentemente deformada si supera el límite elástico, mientras que la cara interior no lo habrá alcanzado y tenderá a recuperar la forma inicial generando el 'spring-back' o retorno elástico (Fig. D2.7).

Este efecto se puede minimizar en función del tipo de plegado:

### **Plegado parcial o al aire**

El proceso de plegado de la chapa se realiza mediante 3 puntos de contacto, uno en el punzón y dos en la matriz (Fig. D2.8).

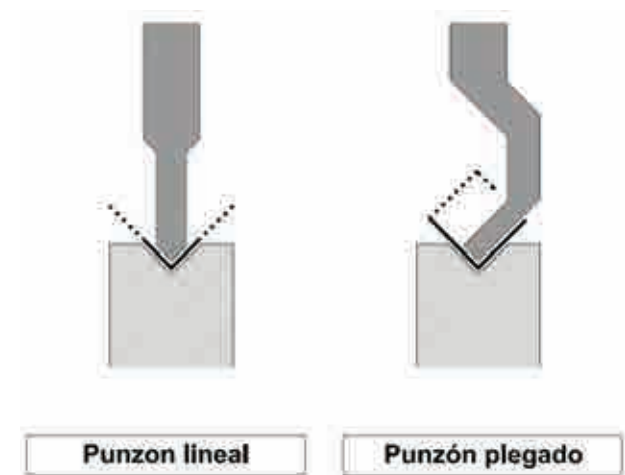


Fig.D2.6. Punzones de plegado.

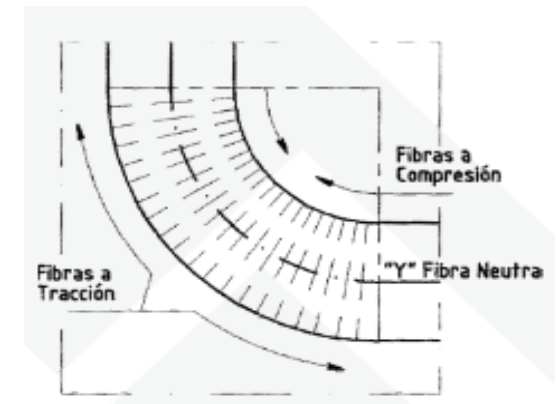


Fig.D2.7. Detalle de las fibras de un doblado

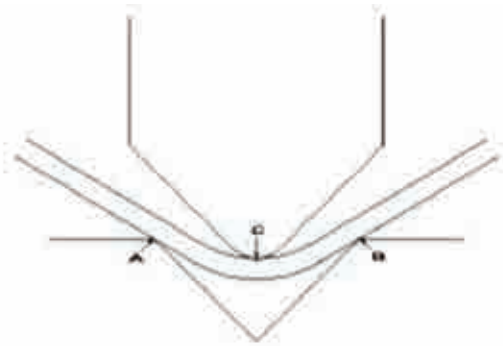


Fig.D2.8. Plegado parcial o al aire

Con este tipo de plegado podemos conseguir gran variedad de ángulos sin tener que cambiar los utillajes tan solo controlando la penetración del punzón en la matriz. Con un punzón y una matriz de  $40^\circ$ , podemos conseguir todos los ángulos de plegado desde los  $180^\circ$  de la chapa plana hasta los  $40^\circ$  de la matriz.

Durante el proceso de plegado la fuerza ejercida por la maquina es relativamente pequeña y permite utilizar plegadoras de bajo tonelaje, pero deben basarse en sistemas de CNC para el control preciso de los dos aspectos más importantes durante el plegado: la profundidad de penetración del punzón y el efecto 'spring-back' de la chapa.

### Plegado a fondo

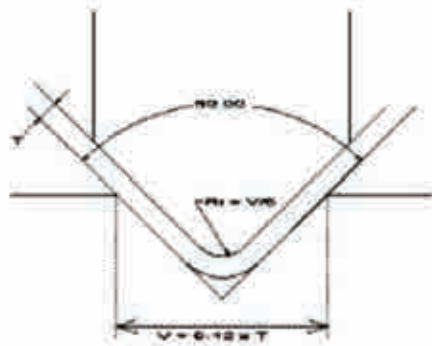


Fig.D2.9. Plegado a fondo

El sistema de plegado a fondo necesita de utillajes específicos para cada tipo de plegado. El ángulo de plegado dependerá del punzón y la matriz utilizados (Fig. D2.9).

El radio interior de la chapa es  $1/6$  de la anchura de V y esta varía entre 6 y 12 veces el espesor de la chapa. El radio interior de plegado será igual al espesor de la chapa para chapas finas y el doble para chapas gruesas.

En este sistema de plegado también es importante el efecto 'spring-back', por este motivo se disponen de diversos utillajes con pequeñas variaciones en los ángulos para poder compensar el efecto sin tener que recurrir a maquinarias con sistemas de CNC.

### **Acuñado o estampado**

Es sistema de acuñado o estampado precisa también de utillajes específicos para cada tipo de plegado y una maquinaria de 5 a 8 veces más tonelaje que las del plegado a fondo pero las ventajas respecto a este sistema es la mayor precisión, la reducción del ángulo de plegado y la minimización del efecto 'spring-back' (Fig. D2.10).

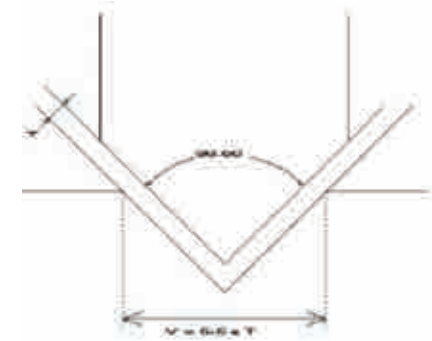


Fig.D2.10. Acuñado o estampado

### **2.3.2 Ventajas y limitaciones del plegado para la obtención de semiproductos lineales**

A continuación se citan los aspectos más importantes que pueden influir en la elección de esta técnica de transformación geométrica para la obtención de semiproductos lineales como perfiles de los bastidores de fachada:

#### **Ventajas**

- **Proceso industrial flexible**

Una de las principales ventajas de las industrias que desarrollan el plegado es su flexibilidad. Gracias a la simplicidad del proceso, la maquinaria y una importante intervención de la mano de obra, permite introducir modificaciones con cierta facilidad a la línea de producción (Fig. D2.11).



Fig.D2.11. Intervención de la mano de obra durante el proceso de plegado



Fig.D2.12. Plegado de elemento de chapa de 2,5m de longitud.  
Empresa Folcrá



Fig.D2.13. Chapas plegadas de sección abierta. Empresa CMC

- **Series cortas**

Posiblemente este sea un sistema muy adecuado para las series cortas sin que estas se vean penalizadas económicamente. Los costes iniciales de desarrollos de matriz o punzones rápidamente pueden verse amortizados con la repetitividad del producto.

En cambio para las series largas esta técnica pierde competitividad frente a las de producción continua. La elevada intervención de la mano de obra en el proceso encarece excesivamente la producción.

#### Limitaciones

- **Precisión**

Debido a una importante intervención manual durante el proceso de plegado, pueden acumularse algunos errores durante la ejecución, minimizando las garantías y aumentando las tolerancias de producción.

- **Longitud**

Considerando nuestro interés por los semiproductos lineales esta técnica encuentra una de sus principales limitaciones en la propia máquina de plegado para la que la longitud máxima está alrededor de los 6 metros (Fig. D2.12).

- **Sección**

La propia técnica de plegado impide la ejecución de perfiles de sección compleja y cerrada (Fig. D2.13). Limitando la capacidad de diversificar la producción de semiproductos lineales.

### 2.3.3 El perfilado. Transformación plana en continuo

El doblado por producción continua no deja de ser una técnica específica del plegado llamada perfilado. Se desarrolla en líneas de perfilado, máquinas previstas de rodillos que definen la secuencia de plegado que irá transformando el perfil hasta conseguir la sección final deseada (Fig. D2.14).

Los espesores de la chapa se sitúan entre 0,5 y 2mm y el suministro se realiza en bobinas, esto permite plegado continuo de perfiles de distintas longitudes a través del corte con una velocidad de producción de entre 5-15m/min.

Para el desarrollo del plegado continuo es necesario el diseño de la 'flor'. La 'flor' define el número y ángulo de plegado de las distintas estaciones o rodillos (Fig. D2.15<sup>1</sup>). Normalmente la distancia entre estaciones de plegado es de 50 a 100 cm y los ángulos entre 5 y 15°. Pero finalmente el diseño de la 'flor' es específico para cada perfil en función del espesor de la chapa y la sección definitiva.

#### Estudio de la sección

Es de interés para el presente estudio centrarse en las posibilidades del perfilado para la obtención de diversas secciones de los semiproductos lineales.



Fig.D2.14. Máquina de perfilado. Tecnalia-Roll Forming.

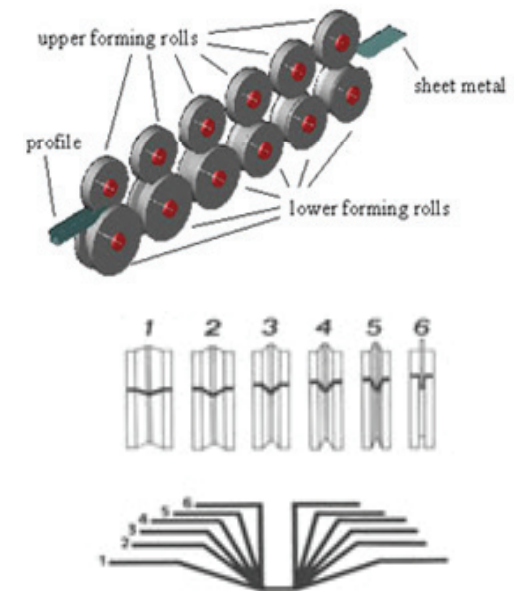


Fig.D2.15. Estudio de la 'flor' para el perfilado de una sección 'omega'. Tecnalia

<sup>1</sup> Fig.15. '1st International Congress on Roll Forming' - 2009

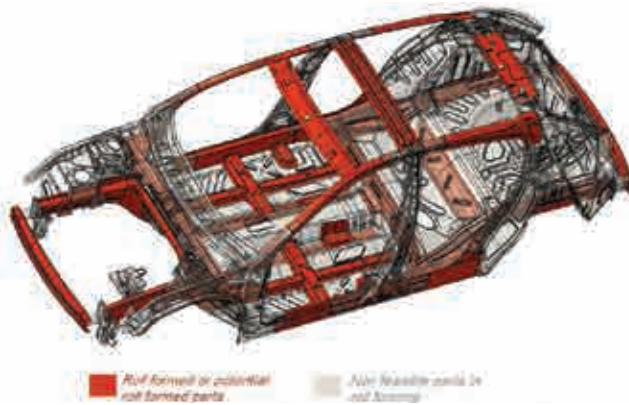


Fig.D2.16. En rojo: perfiles potenciales para desarrollarse mediante la técnica del 'Rollforming'. Tecnalia



Fig.D2.17. Desarrollo de la sección para perfil de sección cerrada mediante la técnica del 'Rollforming'. Tecnalia

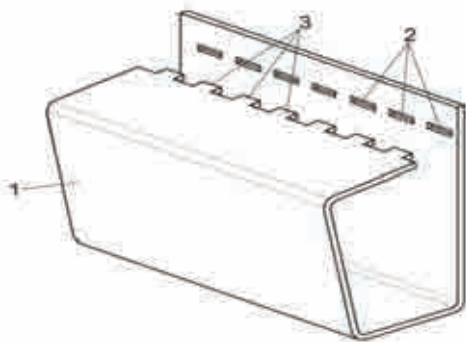


Fig.D2.18. Desarrollo de perfil de sección cerrada con sistema de fijación. Tecnalia

Actualmente la industria del automóvil está desarrollando sistemas de perfilado que permitan la obtención de perfiles más complejos y que contemplan el desarrollo de las secciones cerradas. Muchos de los perfiles producidos por estampación que conforman el bastidor de un automóvil están siendo substituidos por mejores procesos de perfilado que consiguen una mayor producción y un abaratamiento de los costes (Fig. D2.16<sup>2</sup>)

La evolución en este sector nos permitirá el desarrollo de perfiles mucho más complejos para el sector de la construcción.

### Perfiles de sección abierta y cerrada

Las secciones más habituales obtenidas a través del perfilado continuo han sido secciones abiertas. Los perfiles utilizados en trasdosados, tabiquerías interiores y cielos rasos son generalmente obtenidos a través de la mecanización por perfilado continuo.

Estos semiproductos lineales, generalmente han dado respuesta a requerimientos mecánicos y de montaje de un sistema, que con sencillas secciones generalmente abiertas han sido suficiente.

Actualmente sofisticados sistema de perfilado están permitiendo contemplar las múltiples posibilidades en la obtención de perfiles cerrados que en algunos casos contemplan mecanismos de fijación (Fig. D2.17<sup>2</sup> y D2.18<sup>2</sup>).

<sup>2</sup> Fig. 16, 17 y 18. Imágenes del '1st International Congress on Roll Forming' - 2009



### Perfiles de ancho y alto variable

La disponibilidad de la tecnología CNC en los procesos de perfilado continuo está llevando a cabo una importante evolución en la obtención de los perfiles. Si hasta ahora los perfiles obtenidos se diferenciaban por su sección constante, abierta o cerrada, ahora ya podemos introducir dos variables más, el ancho y el alto.

Para conseguir perfiles de sección variable debemos iniciar la manipulación de la chapa antes de la secuencia de perfilado modificando su geometría. Gracias a la tecnología disponible, podemos introducir el corte por laser al inicio y a la misma velocidad de producción de la máquina de perfilado, para obtener diversos tipos de perfil (Fig. D2.19):

- I. *La obtención de un perfil de altura variable se consigue mediante un proceso de perfilado constante en base a una chapa de geometría variable (1).*
- II. *La obtención de un perfil de ancho variable se consigue mediante un proceso de perfilado variable paralelo a los límites de la chapa (2).*
- III. *La combinación de ambos sistemas permite la obtención de perfiles variable en altura y anchura simultáneamente.*

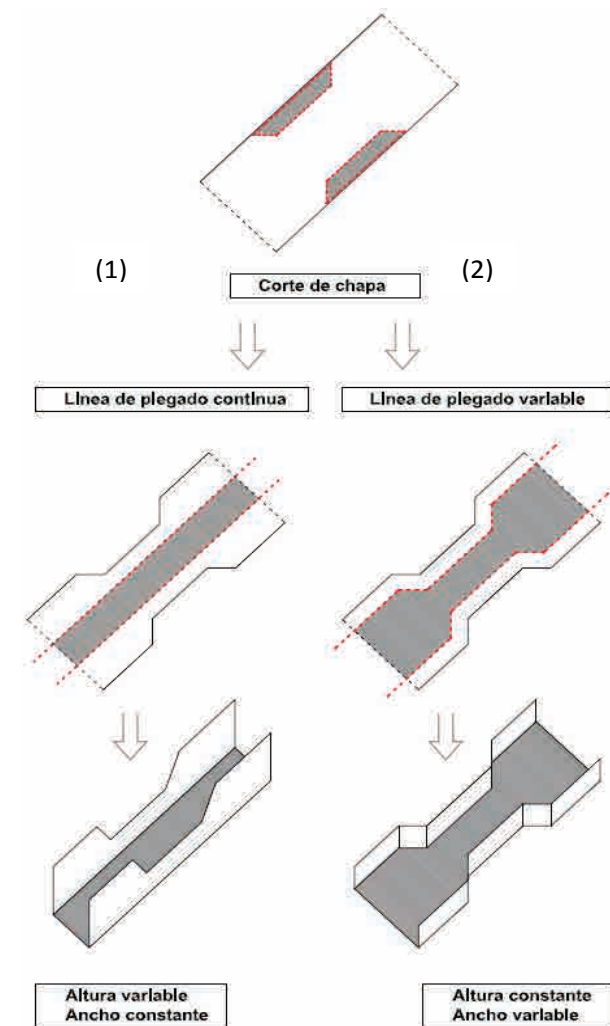


Fig.D2.19

- (1) *Proceso de perfilado constante para la obtención de perfil de altura variable.*
- (2) *Proceso de perfilado variable para la obtención de perfil de altura constante.*



Fig.D2.20. Perfiles de sección variable. Rollforming en Tecnalia



Fig.D2.21. Simulación de perfiles propuestos por la empresa Welsper Profile

### 2.3.4 Ventajas y limitaciones del perfilado para la obtención de semiproductos lineales

Una vez conocidas las posibilidades de la técnica del perfilado ahora podemos analizar las en función de nuestras necesidades para el desarrollo de un bastidor de fachada.

#### Ventajas

- **Proceso industrial flexible**

La flexibilidad del proceso industrial se consigue gracias a los sistemas CNC permitiendo una eficiente manipulación de la maquinaria.

Tradicionalmente los sistemas de perfilado en continuo eran poco flexibles obligando a ejecutar perfiles sencillos para grandes producciones. Pero a través de innovadores sistemas de software el proceso productivo ha adquirido una mayor flexibilidad. Ahora podemos desarrollar perfiles de sección variable e incluso de sección cerrada (Fig. D2.20).

También podemos incorporar transformaciones secundarias como embuticiones, cortes y ensamblajes en la propia línea de producción obteniendo complejos perfiles que hasta hace poco solo se podían desarrollar mediante estampación (Fig. D2.21).

- **Precisión**

Gracias a la amplia automatización del proceso y la poca intervención de la mano de obra garantiza una producción de elevada precisión.



- **Longitud**

Gracias a la producción en continuo podemos garantizar las longitudes de perfil deseadas, independientemente de la repetición. El suministro de los semiproductos puede realizarse en longitudes iguales o cortados a medida según necesidad optimizando la cantidad de desperdicios realizados (Fig. D2.22).

- **Sección**

Como ya hemos visto la tecnología actual permite la obtención de prácticamente cualquier geometría de perfil acercándolo cada vez más a la capacidad productiva de la técnica de extrusión.



*Fig.D2.22. Perfiles conformados con 'Roll Forming' de longitudes variables de entre 8-12m.*

### **Limitaciones**

- **Elevada inversión**

Tanto la maquinaria utilizada, el software de soporte y la gestión de este representa una importante inversión inicial que muchas veces se ve frenada por la falta de una demanda sólida.

- **Series largas**

El sistema productivo está preparado para desarrollar sobretodo series largas. La importante inversión inicial en maquinaria y la adaptación de esta para cada perfil nuevo, demanda una producción elevada que muchas veces obliga a producir miles de metros de perfil.



Fig.D2.23. Instalaciones para la extrusión. Empresa Exal.



Fig.D2.24. Tochos de aluminio a la espera del proceso de extrusión. Empresa Exal.

## 2.4 Transformación volumétrica para la conformación de semiproductos lineales

### 2.4.1 La extrusión. Transformación volumétrica en continuo

El aluminio dispone de una menor capacidad a la maleabilidad que el acero y generalmente la modificación de láminas por plegado debilita mucho la zona plegada invalidando muchas veces su capacidad resistente.

Este hecho, añadido a un punto de fusión muy inferior al del acero (1.200°C vs 660°C) plantea una técnica distinta de transformación del metal para la obtención de semiproductos lineales, en este caso la extrusión.

El proceso de extrusión del aluminio requiere unas condiciones industriales muy específicas que obligan a una gran inversión inicial. Habitualmente, estas industrias dedican toda su actividad a la extrusión y casi nunca desarrollan transformaciones complementarias al elemento (Fig. D2.23).

Esta es una de las principales diferencias con la industria del perfilado del acero donde muchas veces en el propio proceso industrial se realiza transformaciones como el corte, la remonición, la embutición o incluso el ensamblaje.

- ***El proceso de extrusión en prensa, ya sea por el método directo o el inverso, es una conformación por deformación plástica de un cilindro de***

aluminio mediante presión con disco contra una matriz que definirá la geometría deseada<sup>3</sup> (Fig. D2.24).

### Extrusión por método directo e indirecto

En la extrusión por método directo la matriz permanece inmóvil esperando la presión ejercida por el vástago contra el tocho de aluminio mientras que en el método inverso matriz y vástago avanzan contra el obturador generando la presión deseada. En cualquier caso el semiproducto lineal obtenido es idéntico (Fig. D2.25).

El tocho de aluminio es la materia prima del proceso de extrusión. Puede suministrarse tanto de aluminio primario como aluminio reciclado, o secundario. El suministro del tocho no acostumbra a superar los 7 metros y los 500mm de diámetro, pero debe ser cortado a las dimensiones adecuadas a la prensa de extrusión en longitudes de 2 a 4 veces el diámetro.

### Pre calentamiento del tocho

Antes de iniciar las operaciones de extrusión el tocho se precalienta a unos 400°C o 500°C dependiendo del tipo de aleación, para conseguir la máxima plasticidad ante la matriz de extrusión sin alcanzar su punto de fusión.

El pre calentamiento se realiza en hornos lineales continuos donde se introduce el tocho inicial antes de cortar. Una vez calentado se corta a la longitud adecuada en función del diámetro y se inician los trabajos de extrusión (Fig. D2.26).

<sup>3</sup> 'Manual de producto. Fachadas ligeras' – ASEFAVE

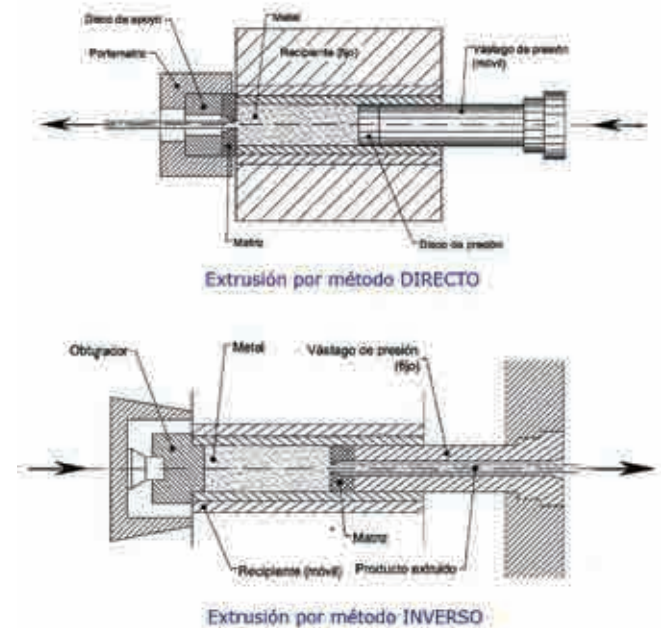


Fig.D2.25. Dos métodos para la extrusión: directo e indirecto. 'Manual de producto. Fachadas ligeras' de ASEFAVE



Fig.D2.26. Horno lineal para el pre calentamiento del tocho de aluminio a 400 o 500°C

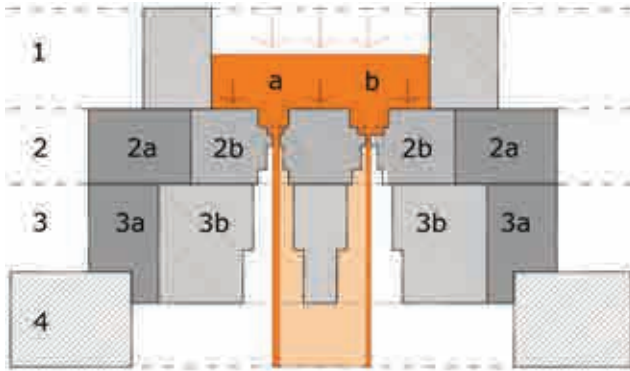


Fig.D2.27. Sección por los elementos necesarios para la extrusión:

1-Recipiente; 2-Matriz; 3-Bolster; 4-Puerta extrusión



Fig.D2.28. Matriz de extrusión para perfil de sección abierta.



Fig.D2.29. Matriz para extrusión de perfil de sección cerrada

### Principales elementos para la extrusión

Los dos principales elementos para poder realizar la extrusión y que deben cambiarse para cada perfil diferente son: el 'bolster' (3) y la matriz (2).

La matriz define la sección del perfil a extruir y es la que recibe toda la presión directa del tocho de aluminio. Para el diseño de la matriz no solo debe considerarse el dibujo de la sección final que queramos obtener, sino que debemos tener en cuenta la fricción del aluminio fluido con el acero y el equilibrio de presiones en la embocadura de la matriz.

Para una extrusión completamente perpendicular al plano de la extrusión debe de establecerse un el equilibrio entre ambos conceptos (presión y rozamiento) de tal forma que la velocidad de salida de aluminio (caudal) por la matriz sea la misma en todos los puntos del perfil final (Fig. D2.27. a y b).

La matriz está desarrollada mediante acero de alta resistencia y con un elevado punto de fusión, conformada con técnicas de fresado mediante sistemas de control numérico hasta conseguir la geometría deseada para el perfil.

Podemos diferenciar dos grandes grupos de matrices en función del perfil que queramos obtener:

- Si el perfil es de geometría abierta utilizaremos una matriz simple formada por un solo disco que define la sección del perfil (Fig. D2.28).

- Si el perfil es de geometría cerrada la matriz será más compleja y estará formada por dos discos que sumados definen la sección del perfil. El primer disco (rojo) recibe



la presión del tocho de aluminio y es el encargado de gestionar el flujo de aluminio antes de pasar por la intersección entre ambos discos que definirá la sección final del perfil (Fig. D2.29).

Para que la presión del aluminio no deforme el disco de la matriz y altere la sección del perfil a largo de los usos y kilómetros de extrusión, es necesario el uso del 'bolster' (Fig. D2.30).

El 'bolster' actúa como refuerzo a las tensiones del disco de la matriz. Tiene las mismas dimensiones y perforaciones parecidas a las de la matriz pero nunca contacta con el perfil extruido, este pasa a través de sus perforaciones que dibujan la envolvente del perfil, pero ayuda a contener la flexión que puede sufrir la matriz.

### **Aspectos comunes**

Para poder iniciar un correcto proceso de extrusión y evitar un choque térmico y en consecuencia una bajada brusca de la temperatura del aluminio en contacto con la matriz, esta también debe ser precalentada a la misma temperatura del tocho.

El uso de los collarines, tanto para matrices como para 'bolsters' permite utilizarlos en distintas máquinas de extrusión cuando las bocas de extrusión tienen diámetros distintos. El collarín asume la holgura y compatibiliza los usos diversos.

### **Proceso de extrusión**

El proceso de extrusión del aluminio se realiza mediante máquinas que activan una presión hidráulica en el pistos de entre 1.600 y 6.500 toneladas con una capacidad de producción en función de la complejidad de la matriz de entre 5 y 80 m/min.



*Fig.D2.30. Bolster para el soporte de presiones de la matriz*



*Fig.D2.31. Boca de salida. Enfriamiento progresivo del perfil mediante calor.*



Fig.D2.32. Bancada con mordazas para el estirado y rectificado de la curvatura de los perfiles después de la extrusión

La producción del perfil es en continuo y posteriormente se corta en función de la capacidad dimensional de la industria y las propias condiciones de producción. Debe tenerse en cuenta que muchas veces cuando la sección del perfil es asimétrica puede producirse una pequeña curvatura que se hace más evidente con el incremento de la longitud.

Una vez el perfil sale de la máquina de extrusión se enfría de forma progresiva mediante aire caliente para evitar el choque térmico con la temperatura ambiente (Fig. D2.31).

Posteriormente es dispuesto sobre una bancada para proceder a rectificar la pequeña curvatura de la extrusión mediante dos mordazas en los extremos aplicando una fuerza a tracción (Fig. D2.32).

Debemos tener en cuenta que la longitud de producción para un perfil de extrusión puede llegar hasta los 45m y que posteriormente, en función del proceso que queramos aplicar al perfil (templado, anodizado, mecanizado, curvado, etc...) lo cortaremos a la longitud necesaria (Fig. D2.33).

Llegados a este punto ya podemos considerar que hemos conformado un semiproducto lineal mediante el proceso de extrusión del aluminio. Ahora solo queda empaquetarlos y suministrarlos

Normalmente, todas las modificaciones que queramos realizar al semiproducto lineal se desarrollaran por otras industrias especializadas en la transformación y conformación de componentes (Fig. D2.34).

TABLA DE LONGITUDES DE PRODUCCIÓN DE UN SEMIPRODUCTO LINEAL DE ALUMINIO	
Proceso	Longitud máxima por unidad*
Extrusión	45.000 mm
Templado	28.000 mm
Anodizado	7.000 mm
Lacado	7.500 mm
Mecanizado	21.000 mm
Curvado	14.000 mm
Ensamblado (rotura puente térmico)	7.500 mm

\*Fuente: Exlabesa (empresa de extrusión del aluminio)

Fig.D2.33. Tabla de longitudes máximas de perfiles según el tratamiento superficial posterior.

### 2.4.2 Ventajas y limitaciones de la extrusión para la obtención de semiproductos lineales

Como sabemos, esta técnica de producción con el aluminio es la más utilizada para conformar los perfiles que después utilizaremos en los bastidores de fachada ligera.

#### Ventajas

- **Precisión**

Gracias a la elevada plasticidad del aluminio a altas temperaturas durante el proceso de extrusión permite obtener perfiles complejos de delgadas paredes. La precisión de la matriz es copiada con exactitud en toda la longitud del perfil.

- **Longitud**

El propio proceso de producción, prácticamente en continuo, es capaz de generar semiproductos lineales de hasta 45m de longitud.

- **Sección**

El proceso de extrusión permite obtener infinidad de secciones para un perfil.

#### Limitaciones

- **Proceso industrial poco flexible**

Durante el proceso de extrusión tan solo se define la sección del perfil. Todas las operaciones de transformación secundaria (remonición, corte, perforación, etc...) deben realizarse a posteriori, fuera de este proceso industrial.



Fig.D2.34. Acopio de perfiles preparados para el suministro a otras empresas de transformación

- **Series largas**

La cantidad mínima admisible para iniciar las operaciones de extrusión genera muchas veces miles de metros de perfil extruido.

- **Elevada inversión**

Las industrias dedicadas a la extrusión del aluminio necesitan de una importante inversión de capital.



### **DESARROLLO 3**

**La conformación de componentes planos de fachada mediante perfiles extruidos de aluminio. Sistema *Unitized* para fachada ligera**



### 3 La conformación de componentes planos de fachada mediante perfiles extruidos de aluminio. Sistema Unitized para fachada ligera

#### 3.1 Introducción

En este capítulo se analizarán los procesos de conformación de los módulos de fachada para componentes tipo *Unitized* de muro cortina basados en bastidores formados por perfiles de aluminio extruido (Fig. D3.1).

Antes de iniciar el análisis del proceso y las técnicas que permiten la conformación de dichos bastidores, cabe diferenciar los dos procesos industriales que lo hacen posible:

I. Proceso de transformación primaria de los perfiles. La extrusión.

Este proceso se desarrolla en industrias de transformación primaria de los materiales y es la encargada de conformar los semiproductos lineales o perfiles de aluminio. Las técnicas de conformación pueden encontrarse en el apartado '2.4. Transformación volumétrica para la conformación de semiproductos lineales' del 'Desarrollo 2'.

II. Proceso de conformación de los componentes planos para muro cortina.

Este es el proceso del presente desarrollo, que principalmente a través de las técnicas de corte y ensamblaje nos permitirá obtener los bastidores de fachada basados en los perfiles de aluminio previamente transformados.



*Fig.D3.1- Montaje de una fachada ligera mediante componentes Unitized. Porta Firal de Barcelona. Arq.Oscar Tusquets 2012*



*Fig.D3.2- Línea de montaje de Módulos de la empresa NBK Ceramic*

Estos dos procesos se desarrollan en industrias independientes. A diferencia de las industrias dedicadas a la conformación de bastidores de fachada basados en perfiles plegados de acero galvanizado, la inversión y especialización que supone el proceso de extrusión del aluminio ha llevado a una independencia industrial entre ambas actividades.

En efecto, las industrias encargadas de la extrusión de los perfiles de aluminio nunca dedican parte de su actividad a conformar componentes, puesto que su actividad económica está basada en la comercialización de toneladas de aluminio conformado. Semiproductos.

Por el contrario, las empresas que orientan su actividad a la conformación de componentes de fachada limitan su actividad a la transformación y ensamblaje de los semiproductos, y su mercado se centra en el desarrollo de elementos constructivos y sus prestaciones (Fig. D3.2).

Por lo tanto, para el desarrollo de este capítulo asumimos que la primera transformación del aluminio ya ha sido realizada e iniciamos los análisis de conformación a partir de la recepción de los perfiles extruidos.

### **3.2 Caracterización de los semiproductos lineales utilizados en los bastidores**

#### **3.2.1 Perfil de aluminio**

El tipo de aluminio considerado para la conformación de los bastidores es la aleación 6063 con magnesio silicio. Su facilidad para las operaciones de extrusión, el buen acabado para

posterior anodizado y la facilidad por ser soldado con gas inerte de tungsteno, le han convertido en la aleación más utilizada en este tipo de aplicaciones.

Como sabemos, para poder realizar el proceso de extrusión de un perfil será necesario el diseño y la conformación de una matriz. Su coste puede estar entre los 1.000 o 3.000€ en función de la complejidad de la sección del perfil. Como es razonable, este coste debe amortizarse durante la producción de los perfiles hasta el punto de poder despreciarlo.

Generalmente podemos considerar que a partir de los 4.000 o 5.000 m de extrusión dicho coste queda amortizado (Fig. D3.3). Aunque de entrada parezca una producción elevada, tenemos que considerar que las industrias de conformación de ventanas o en nuestro caso de componentes modulares para muro cortina, utilizan el mismo tipo de perfil en diversos proyectos, generando las Series o Gamas.

Teniendo en cuenta los costes del material en bruto y los costes de la matriz, podemos considerar que el coste de un perfil extruido de aluminio oscila entre los 2,8 i 3,5€/kg, dependiendo del cambio Dólar-Euro, de las variaciones del mercado de los metales y del precio del petróleo.

Estos precios aplicados a unos perfiles tipo A y B (Fig. D3.4) para un sistema Modular de muro cortina nos genera un coste aproximado de entre 6 y 10€/ml de perfil de aluminio sin tratar superficialmente.

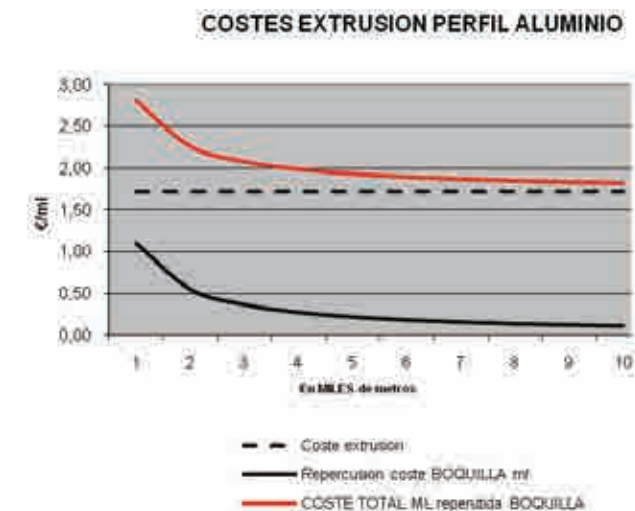


Fig.D3.3- Amortización del coste la matriz de extrusión de Aluminio

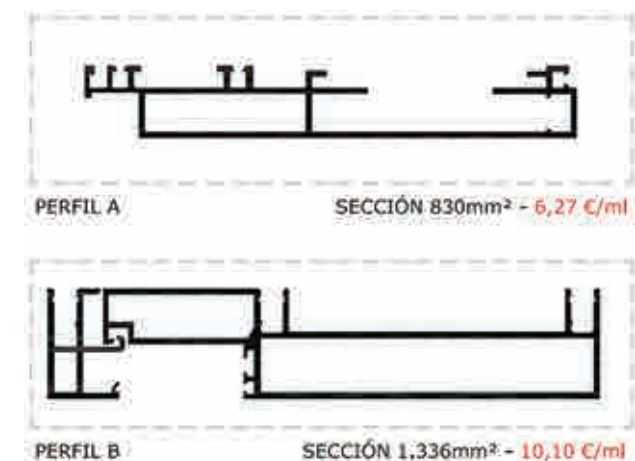


Fig.D3.4- Costes de perfiles extruidos por metro lineal

### 3.2.2 Tratamientos superficiales

En la fase de tratamientos de protección y acabado de los perfiles (Fig. D3.5) es donde encontramos una de las primeras limitaciones geométricas que pueden afectar al componente final. Por ejemplo, los sistemas de inmersión para anodizar y lacar los perfiles limitan la longitud máxima del perfil en 7 y 7,5m respectivamente.

Esto, condiciona la dimensión máxima para un componente con perfil continuo en 7m teniendo en cuenta las mermas por corte. Aunque existe la posibilidad de ensamblar perfiles mediante mechas para poder lograr longitudes mayores no es recomendable dado que puede afectar a la estanqueidad del sistema.

Los costes aproximados según tratamientos superficiales medidos en metros cuadrados de superficie de perfil pueden oscilar entre los 2,1€/m<sup>2</sup> para un anodizado natural de 15 micras y los 4€/m<sup>2</sup> para un anodizado negro. Para los lacados de color estándar el coste es de unos 2€/m<sup>2</sup> mientras que para los colores especiales es de 3€/m<sup>2</sup>.

### 3.2.3 Gomas de estanqueidad

La estanqueidad de los sistemas modulares de muro cortina se resuelve mediante gomas de EPDM o silicona colocadas en la 'cajas' de los perfiles debidamente diseñadas (Fig. D3.6). Una de las principales ventajas de la silicona es la posibilidad de colorearla, consiguiendo una mayor integración en el conjunto del sistema

TABLA DE LONGITUDES DE PRODUCCIÓN DE UN SEMIPRODUCTO LINEAL DE ALUMINIO	
Proceso	Longitud máxima por unidad*
Extrusión	45.000 mm
Templado	28.000 mm
Anodizado	7.000 mm
Lacado	7.500 mm
Mecanizado	21.000 mm
Curvado	14.000 mm
Ensamblado (rotura puente térmico)	7.500 mm

\*Fuente: Exlabesa (empresa de extrusión del aluminio)

Fig.D3.5- Tabla de longitudes máximas de perfil según tratamientos

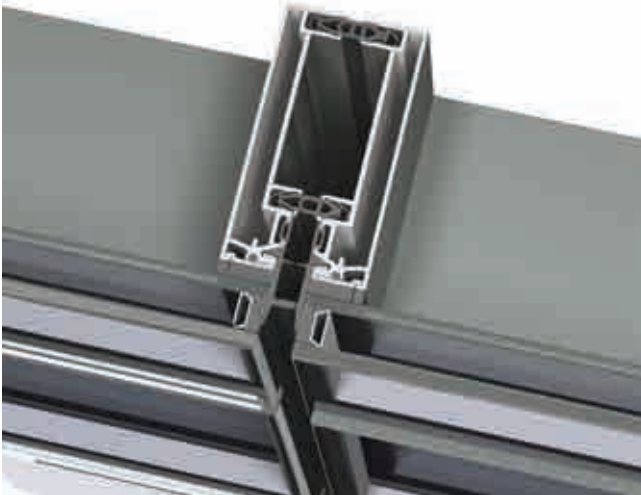


Fig.D3.6- Junta de estanqueidad de los componentes Unitized. Sistema Reynaers CW65-SG

Los costes asociados al diseño y producción de las boquillas de extrusión giran en torno a los 300-500€ con un coste de producción de entre 0,20 y 0,40 €/ml en EPDM y silicona respectivamente.

Estas juntas de goma también se producen mediante extrusión y del mismo modo que sucede con los perfiles de aluminio, la matriz puede considerarse amortizada a partir de los 4.000 o 5.000ml de producción (Fig. D3.7a).

Una vez finalizada la conformación del componente de fachada se colocaran en las cajas de gomas. Dependerá de la estrategia del sistema modular que estas gomas garanticen la estanqueidad del sistema de fachada mediante el contacto entre las gomas del otro módulo (Gomas A) o por la inserción de estas en el otro perfil (Gomas B) (Fig. D3.7b).

En cualquiera de los dos casos es muy habitual que para garantizar dicha estanqueidad del sistema de fachada el perfil disponga de tres planos de estanqueidad, donde normalmente los dos más exteriores responden a la estanqueidad al agua, generando una cámara drenada, y el tercero al interior a la estanqueidad al aire.

Pero, finalmente la estanqueidad del sistema se consigue en obra enfrentando los perfiles perimetrales de cada uno de los módulos de la fachada sin necesidad de sellados 'in situ', donde la geometría de las gomas determinará las tolerancias del montaje y de los movimientos de la fachada en servicio.

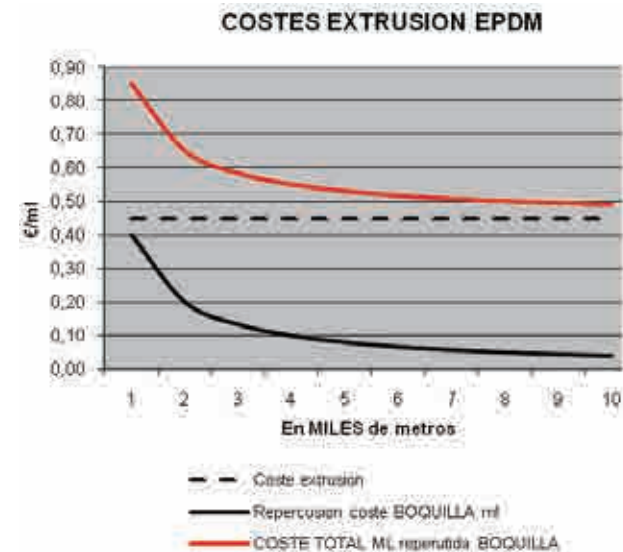


Fig. D3.7a- Amortización del coste la matriz de extrusión de

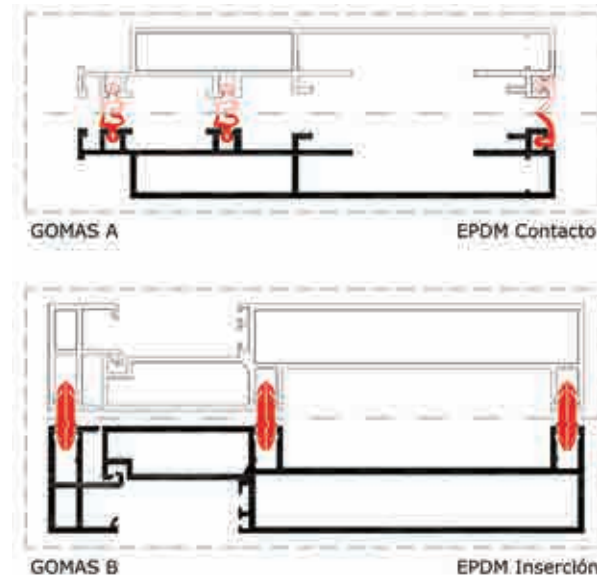


Fig.D3.7b- Ubicación de las gomas de EPDM en el perfil





Fig.D3.8- Industria de montaje de módulos para muro cortina.  
Empresa Technocladd



Fig.D3.9- Módulos de fachada con subdivisión de tres perfiles  
intermedios. Sede MRW Barcelona. Empresa Technocladd

### 3.3 El modelo industrial

Las industrias gamistas encargadas de desarrollar los componentes *Unitized* para muro cortina limitan su actividad a la transformación y ensamblaje de los semiproductos y/o componentes previamente transformados por otras industrias primarias. A diferencia de las industrias que desarrollan componentes de fachada basados en perfiles plegados de acero galvanizado, estas acostumbran a conformar componentes completos y acabados.

Como veremos estas industrias han desarrollado su propia tecnología basada en los sistemas de CNC – *Computer Numerical Control* – lo que les ha permitido obtener un proceso de producción ágil y ‘just-in-time’, con una elevada capacidad para conformar componentes para cortas series de producción (Fig. D3.8).

### 3.4 Conformación de componentes para fachada tipo Unitized

Del proceso de conformación de un componente de muro cortina prestaremos especial atención en la definición de la forma del componente, en la conformación del bastidor o esqueleto.

La estructura elemental de un modulo de estas características está formado por un marco perimetral cerrado, a base de perfiles de aluminio extruido y posteriormente plementado con semiproductos o componentes planos que garantizan las prestaciones del cerramiento y el acabado.

Generalmente, este modulo básico que hemos descrito puede subdividirse con perfiles intermedios dependiendo de los requerimientos mecánicos, funcionales o de composición



de la fachada del proyecto pero que en cualquier caso siempre se desarrollara bajo la misma técnica industrial (Fig. D3.9).

A continuación describimos cada una de las operaciones necesarias, las técnicas y los tiempos necesarios para la conformación de un componente *Unitized* de fachada.

### 3.4.1 Corte de los semiproductos lineales

Como hemos visto, las longitudes máximas de suministro de los semiproductos lineales de aluminio vendrán condicionadas por el *tratamiento aplicado*<sup>1</sup> (anodizado, lacado, templado, etc...), pero independientemente de la longitud siempre se inician los trabajos de conformación del bastidor por el corte de los semiproductos lineales (Fig.D3.10).

Las operaciones de corte, habitualmente se realizan con máquinas de doble cabezal controladas por sistemas de CNC donde el operario limita su trabajo a reponer los diferentes perfiles y a reprogramar en pantalla la longitud y el tipo de corte para cada serie de perfiles (Fig.D3.11 y D3.12).

Para estas operaciones, se estima un tiempo medio de 1 minuto por barra (2 cortes) independientemente del tamaño o el tipo de corte. Cabe destacar que para la manipulación de perfiles superiores a 5m es recomendable la ayuda de otro operario y que cada 20 o 30 barras deberá realizarse una reposición de material a pie de máquina.



Fig.D3.10- Recepción de los semiproductos lineales, extruidos y tratados superficialmente



Fig.D3.11- Máquina de CNC para el corte de los perfiles a la longitud deseada

---

<sup>1</sup> Desarrollo 2.- Técnicas para la obtención de simiproductos lineales de acero y aluminio para un bastidor de fachada



Fig.D3.12- Máquina de corte de doble cabeza

El rendimiento previsto de 1 minuto por barra ya computa el porcentaje de reposición del material repartiéndose finalmente en 0,8 y 0,2 min. por corte y reposición respectivamente.

Para los diferentes tipos de cortes o longitudes de barras, el operario necesita realizar la reprogramación de la máquina dedicando entre 1 y 2min.

- ***Las operaciones de corte definen las dimensiones de los bastidores que como hemos visto no necesita de ningún tipo de replanteo manual, la misma máquina coloca el perfil en la posición adecuada antes de realizar el corte automatizado. Este será un aspecto importante para la clientalización de la forma de los bastidores.***

### 3.4.2 Mecanizado de los perfiles

Una vez finalizadas las operaciones de corte iniciaremos las operaciones de mecanizado del perfil.

En esta fase de producción se pueden realizar todo tipo de mecanizados como rebabado, perforado-taladrado, torneado, fresado, punzonado, etc... según necesidades del perfil (Fig.D3.13). Para ello disponemos de dos alternativas productivas: el mecanizado con matriz o el mecanizado través de un centro de mecanizado.

- I. El mecanizado por matriz limita la flexibilidad del sistema y obliga a desarrollar tantas matrices como tipos de mecanizado queramos. El diseño de una matriz específica para cada tipo de mecanizado tiene un coste de aproximadamente 1.000€ y se establece un tiempo aproximado de 1min por mecanizado completo de barra.



Fig.D3.13- Perfiles de aluminio mecanizados. Folcrá

- II. Los centros de mecanizado (Fig. D3.14) funcionan por patrones que llamaremos 'macros'. Cada 'macro' representa un tipo de mecanizado o patrón y se programa antes de iniciar los trabajos. Habitualmente las 'macros' se repiten en diversos tipos de perfiles estableciendo 'macros tipo' y no es habitual tener que reprogramar una nueva dentro de una misma unidad de producción.

La conformación a través del centro de mecanizado conlleva la inversión en la maquinaria pero permite a largo plazo un mayor grado de automatización. Los centros de mecanizado pueden disponer de 3 a 7 ejes pero para perfiles del tipo que estamos analizando con 5 ejes puede ser suficiente.

La longitud máxima de una barra para un centro de mecanizado es de unos 12m, pero hay que tener en cuenta que pocas veces se trabaja con estas longitudes ya que como hemos visto los procesos de tratamiento de los perfiles lo limitan además antes de iniciar los trabajos de mecanizado de perfiles estos ya ha sido cortados a la longitud del moldulo y generalmente se trabaja con dimensiones muy inferiores.

El tiempo aproximado en las operaciones de mecanizado están alrededor de los 3min. por barra y su reprogramación para poder diversificar las operaciones es de unos 5min. El tiempo estimado de programación de una nueva macro es de unas 2 horas.

Es importante destacar que tanto las operaciones de corte como las de mecanizado del perfil que se realizan mediante sistemas CNC aportando una elevada precisión y flexibilidad al proceso de transformación del semiproducto.



Fig.D3.14- Máquina de mecanizado de perfiles. Folcrá



Fig.D3.15- Acopio de perfiles cortados y mecanizados

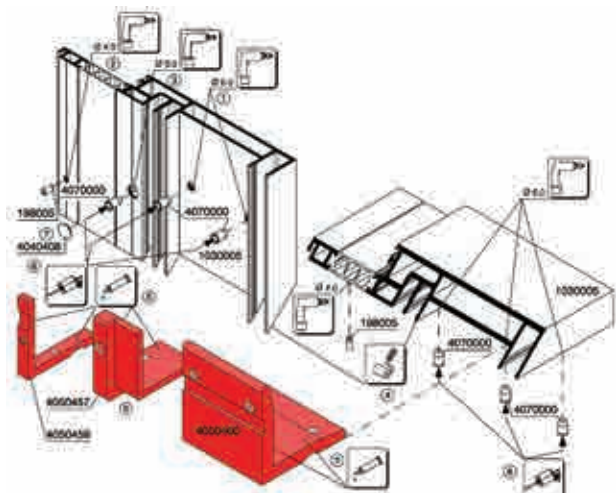


Fig.D3.16- Escuadras para el ensamblaje de perfiles.  
Wicona Mod. WITEC EL60

Una vez cortados y mecanizados los perfiles se identifican mediante códigos y se agrupan por 'kits' según uso y ubicación de cada perfil dentro del bastidor del componente (Fig. D3.15).

- Desde el punto de vista de la clientalización las operaciones de mecanizado son muy importantes ya que preparan los perfiles para que las operaciones de ensamblaje sean ágiles y repetitivas.

### 3.4.3 Ensamblaje de los componentes

Una vez los perfiles ya han sido transformados, quedan listos para su ensamblaje.

Por orden de operaciones tendremos: colocación de las escuadras, sellado de los ingletes, presentación de la unión, comprobación de la escuadría, apretar uniones, limpiar y colocar las gomas de estanqueidad.

Muchas de estas operaciones se realizan de forma manual. Algunas motivadas por la falta de maquinaria capaz de desarrollarlas, como la colocación de escuadras, limpieza de uniones o colocación de goma de estanqueidad, y otras por falta de garantías en la ejecución, como es el sellado con silicona neutra en las uniones.

Las escuadras de ensamblaje sirven para fijar los perfiles del bastidor a la vez que garantizan la estanqueidad en el inglete a modo de 'fondo junta' para el sellado. Por lo tanto es conveniente que ocupen todo el ancho del perfil contra la que presionaran (Fig.D3.16).



Fig.D3.17- Montaje manual de escuadras y pre-ensamblaje



Como vemos la colocación de las escuadras se realiza de forma manual (Fig.17) pero gracias a las operaciones anteriores de mecanizado de los perfiles se puede realizar de forma ágil y repetitiva. Aquí el tiempo destinado a la colocación de las escuadras y el posterior ensamblaje de los perfiles será independiente a la longitud del perfil y en consecuencia a la forma del componente.

Para el montaje del perímetro exterior serán necesarios 2 operarios. Dichas operaciones llevarán alrededor de unos 30 ó 40 min. dependiendo del tipo de inglete, escuadra, perfil, unión y sellado.

Aunque actualmente dispongamos de maquinaria que puede desarrollar automáticamente el ensamblaje de los perfiles ejecutando el apriete final, el pre-ensamblaje y colocación sobre la maquina debe realizarse de forma manual (Fig. D3.18).

Una vez finalizadas las operaciones de ensamblaje ya habremos conformado el perímetro exterior del componente.

#### **3.4.4 Perfiles intermedios**

La inserción de los perfiles intermedios en un módulo es muy habitual, ya sea para la definición de un hueco interior, para facilitar el transporte o la manipulación del perímetro exterior o garantizar la estabilidad del conjunto.

Estos perfiles, colocados normalmente en sentido perpendicular a los perfiles verticales acostumbran a tener una sección más sencilla que los perfiles perimetrales (Fig. D3.19).



*Fig.D3.18- Centro de ensamblaje de Elumatec para bastidores rectangulares de las siguientes características: -Espesor de perfil: 100mm; -Dimensiones mínimas: 550x550mm;- Dimensiones máximas: 4000x2500mm*



*Fig.D3.19- Montaje de perfiles intermedios del módulo*

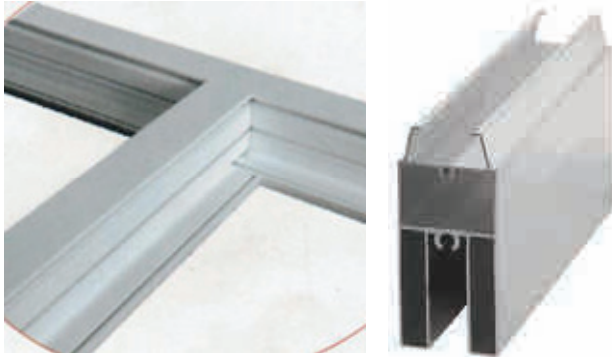


Fig.D3.20- Perfiles intermedios retestados para compatibilizar su ensamblaje

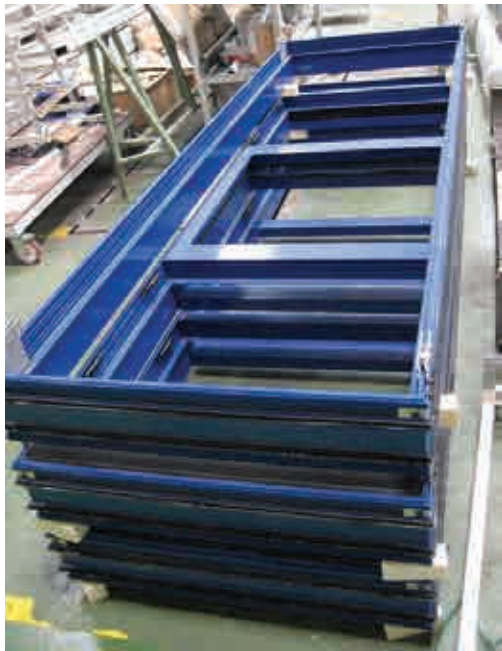


Fig.D3.21- Bastidor de fachada con incorporación de hueco interior

Para facilitar su ensamblaje debemos retestar las cabezas de los perfiles intermedios. Retestar el perfil intermedio significa modificar el corte de ambos extremos (cabezas) para ejecutar la intersección con el perfil perimetral (Fig. D3.20).

Estas operaciones pueden realizarse en el mismo centro de mecanizado dedicando unos 6min. por barra (2 cabezas) o en una máquina específica de retesteo, donde se dedicarían 4min. por barra (2 cabezas).

La unión con el perímetro exterior puede realizarse a través de una mecha prevista en los perfiles intermedios o mediante roscado directo desde el perfil exterior a través de las canales o gusanillos del perfil intermedio.

Los tiempos de ejecución son aproximadamente de 8min. para el sistema roscado y 10min. para el sistema de mecha.

### 3.4.5 Perímetro interior

En el caso que el componente lleve definido un perímetro interior como hueco de fachada (Fig. D3.21) podremos establecer dos estrategias de trabajo:

- I. Si entendemos el perímetro interior como una ventana, es habitual montar los marcos y herrajes necesarios para la colocación de dicha ventana siendo necesarias unas 4 o 5 horas por hueco. El marco de la ventana irá fijado a los perfiles intermedios. En cualquier caso también puede pedirse al suministrador la ventana ya montada, evitando el tiempo de montaje.

- II. Si entendemos el perímetro interior como un hueco, pero sin la necesidad de considerar que conformará una ventana, entonces deberemos repetir las operaciones desarrolladas para la conformación del perímetro exterior (unos 30min. aproximadamente)

En cualquier caso, es habitual el montaje de perímetro interior sobre los perfiles intermedios y en contadas ocasiones se considera el perfil intermedio como parte del perímetro interior.

El montaje del perímetro interior al conjunto nos llevará unos 15 min. dos operarios. Los trabajos se limitan, habitualmente a ensamblar el marco de perímetro interior a los perfiles intermedios.

#### **3.4.6 Colocación de las gomas de estanqueidad**

Una vez finalizado el ensamblaje de todos los perfiles que conformaran en esqueleto o bastidor del componente, se procede a la colocación de las gomas de estanqueidad en las 'cajas' de los perfiles.

El suministro de las gomas se realiza mediante bobinas continuas que son cortadas a la longitud deseada a modo de semiproductos (Fig. D3.22).

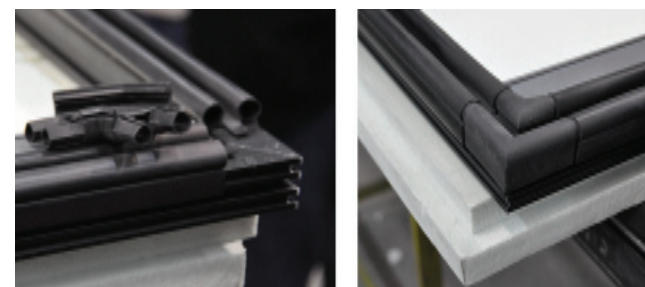
Estas operaciones se realizan de forma manual con la ayuda de utillajes de montaje ya que no se dispone de maquinaria automatizada per permita colocarlas correctamente. El tiempo destinado para la colocación de una junta de goma oscila entre 1 y 2 min por metro lineal, dependiendo del tipo de goma y su ubicación en el perfil perimetral (Fig. D3.23).



*Fig.D3.22- Suministro de gomas EPDM en bobinas*



*Fig.D3.23- Colocación manual de las goma de estanqueida*



*Fig.D3.24- Junta de EPDM moldeada para resolución de la esquina*



En los casos necesarios, la continuidad de las juntas en las esquinas del bastidor queda garantizada mediante gomas moldeadas que resuelven el giro y garantizan la estanqueidad en la arista. La colocación de estas gomas se realiza también de forma manual y podemos considerar 1 min. para las cuatro esquinas (Fig. D3.24).

### 3.4.7 Sellado de perfiles

Una vez finalizado el bastidor de aluminio, se procede al sellado de las uniones de los perfiles en las esquina. Estas operaciones son de vital importancia para completar la estanqueidad del bastidor y sus juntas.

Debido a la complejidad geométrica donde debe colocarse el material de sellado fruto de las intersecciones entre perfiles, el sellado se realiza de forma manual para poder garantizar la estanqueidad del componente (Fig. 3.25).

Estas operaciones pueden llevar entre 5 y 10 min. por esquina y 0,5 min por metro lineal en caso de sellado longitudinal.

Los controles de calidad de la estanqueidad de los componentes se realizan en el propio taller producción.

### 3.4.8 Plementado del bastidor

Después de realizar todas las operaciones de conformación del bastidor dejándolo geoméricamente definido, se inician las operaciones de plementado que caracterizaran y definen las propiedades del componente de fachada.



Fig.D3.25- Sellado manual entre perfiles



Fig.D3.26- Plementado de los bastidores mediante



Estas operaciones no inciden en la definición de la geometría del componente ya que es el bastidor el que la define.

El plementado de los bastidores normalmente se realiza mediante semiproductos planos como paneles sándwich, placas de aislamiento, chapas de revestimiento, etc... (Fig. D3.26). Estos semiproductos serán los responsables de definir las propiedades, higrotérmicas, acústicas, al fuego, etc... del componente, así como de definir los aspectos de acabado de la fachada.

Pero no solo se realiza el plementado mediante semiproductos sino que también intervienen componentes como por ejemplo los vidrios. Consideramos los vidrios componentes ya que no es en esta industria donde se conforman sino que llegan definidos geoméricamente de otra industria (Fig. D3.27).

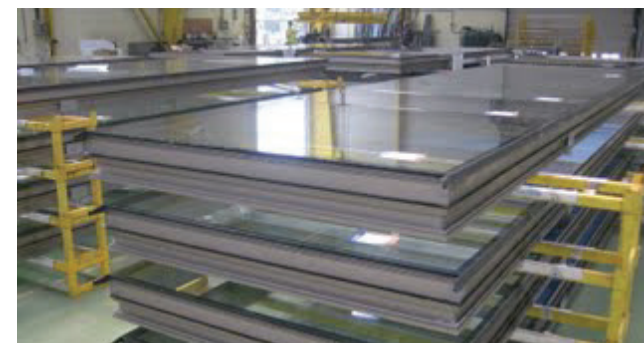
Esto puede plantear algún problema durante el proceso de producción, a diferencia de lo que sucede con los semiproductos estos no pueden ser modificados y en caso de errores geoméricos deben de ser devueltos a la industria de suministro retrasando el proceso de producción (Fig. D3.28).

Dado que el estudio se centra en la clientalización de la forma de los componentes planos de fachada y la elevada diversidad de posibilidades que disponemos para plementar los bastidores no entraremos en detalle en estos procesos de producción.

Los tiempos dedicados al plementado pueden oscilar entre 8 o 16 horas de trabajo para 1 o 2 operarios.



*Fig.D3.27- Plementado de los bastidores con componentes de*



*Fig.D3.28- Componentes finalizados*



Fig.D3.29- Componentes finalizados colocados en 'vallares'



Fig.D3.30- Colocación de un componente en fachada

### 3.4.9 Acopio, embalaje y transporte

Una vez finalizado el componente este se acopia sobre caballetes a la espera de ser embalado para el transporte. El embalaje puede ocupar unos 5 min. por 2 personas.

Debido a la elevada fragilidad de estos componentes después del embalaje debemos de considerar la colocación de los módulos en 'vallares', elementos de madera que limitan los movimientos de los módulos durante el transporte (Fig. D3.29).

El acondicionamiento del 'vallar' puede necesita de unos 15 min. por 1 persona.

### 3.4.10 Montaje

Una de las principales ventajas del sistema *Unitized* para muro cortina respecto a otros sistemas de fachada basado en paneles es su montaje en obra.

Desde un punto de vista de proceso de montaje y de los medios auxiliares necesarios no dista mucho de otros sistemas de paneles. La elevación del componente de pie de obra hasta su ubicación final se realiza mediante grúa.

Generalmente serán necesarios entre 3 y 5 operarios para gestionar esta operación, distribuidos entre el control de la grúa, la zona de acopio y la zona de colocación del componente en fachada (Fig. D3.30).

Gracias a la ligereza de estos componentes, muchas veces la zona de acopio se realiza en la propia planta del edificio facilitando el montaje desde el interior (Fig. D3.31)

Para el montaje de estos componentes se estiman los siguientes rendimientos:

- I. Rendimiento por unidades: 10-14 componentes por día (jornada de 8 horas)
- II. Rendimiento por m<sup>2</sup>: 50-70m<sup>2</sup>/día aproximadamente (depende del tamaño del componente)

Pero, la principal diferencia que caracteriza este tipo de componentes es la resolución de la estanqueidad del sistema. Como hemos visto, la propia geometría del perfil que define el bastidor del componente permite garantizar la estanqueidad al agua y al aire una vez colocado, sin necesidad de prever operaciones posteriores de sellado de juntas desde el exterior.

Además, el montaje de los módulos entre si no admite errores de colocación y las tolerancias de montaje se ven minimizadas gracias a la precisión geométrica de los perfiles del bastidor y a las gomas de estanqueidad de los componentes (Fig. D3.32).



*Fig.D3.31- Acopio en planta de los componentes Unitized. Porta Firal de Barcelona. Arq.Oscar Tusquets 2012*



*Fig.D3.32- Movimiento vertical de ensamble entre componentes previo engrasado de gomas*



## **DESARROLLO 4**

**Análisis del coste-variación dimensional para la conformación de un panel plano de hormigón en el contexto de un modelo de producción mixto**



## **4 Análisis del coste-variación dimensional para la conformación de un panel plano de hormigón en el contexto de un modelo de producción mixto**

### **4.1 Contexto del análisis**

Para el análisis del incremento de los costes relativos a la variabilidad de la forma de un componente se han considerado las siguientes operaciones necesarias para conformar y ejecutar un primer componente de una serie de producción:

- a. Definición geométrica del molde perimetral (apartado 4.2.1)*
- b. El replanteo de los moldes perimetrales sobre mesa de hormigonado (apartado 4.2.2)*
- c. Ensamblaje de los moldes perimetrales (apartado 4.2.3)*
- d. Fijación de los moldes perimetrales sobre la mesa de hormigonado (apartado 4.2.4)*
- e. Aplicación de los desencofrantes (apartado 4.2.5)*
- f. Armado interior del panel (apartado 4.2.6)*
- g. Amasado y vertido del hormigón (apartado 4.2.7)*
- h. Desmontaje de los moldes perimetrales (apartado 4.2.8)*
- i. Desmoldeo, elevación y acopio (4.2.9)*

Una vez conformado el primer componente, debemos de considerar aquellas operaciones que nos permitan desarrollar las múltiples repeticiones de la serie de producción, para así poder diferenciar un nuevo grupo de operaciones:

*j. Operaciones para la 1ª repetición de un panel (apartado 4.2.10)*

Los costes se han calculado en base a una única geometría de molde, ya que el interés del estudio es determinar y acotar el incremento de costes para la variabilidad de la forma que siempre están representados en las operaciones de montaje y desmontaje de cualquier molde perimetral, independientemente de su forma.

Como hemos visto en el análisis del proceso de conformación de los moldes perimetrales<sup>1</sup> el aumento de los costes de la variabilidad de la forma, viene dado por la cantidad de operaciones de montaje y desmontaje de los moldes.

#### **4.1.1 Objetivo**

Determinar la importancia del coste asociado a la variabilidad de la forma de los componentes dentro de una misma serie de producción.

- ***El análisis no pretende cuantificar los costes exactos de producción de un panel sino medir la variación porcentual entre series de producción caracterizadas por diferentes niveles de clientalización.***

---

<sup>1</sup> Desarrollo 1.- Análisis de las operaciones necesarias para la conformación de un componente plano de hormigón.



#### 4.1.2 Objetos analizados

Para determinar la importancia del coste asociado a la variabilidad de la forma de los componentes planos de hormigón se han definido las geometrías de dos componentes tipo:

- **La geometría del componente A:** un panel de hormigón macizo, que no incorpora el hueco, de 5x3 m y de 15 cm de espesor con un diseño de junta representado en la figura D4.1. o D6.8 del Desarrollo 6
- **La geometría del componente B:** un panel de hormigón macizo, que no incorpora el hueco, de 2x3 m y de 15 cm de espesor con un diseño de junta representado en la figura D4.1. o D6.8 del Desarrollo 6

#### 4.2 El modelo de producción y los costes de las operaciones analizadas

Para el análisis de los costes asociados a la clientalización de la forma de los paneles de hormigón se ha considerado un contexto de producción industrial mixto donde gran parte de las operaciones de conformación del molde se realizan de forma manual con ayudas informatizadas en las operaciones de replanteo mediante laser sobre una mesa de hormigonado continua de acero (Fig. D4.2). En este caso todos los moldes perimetrales o tabicas, están formadas por pasamanos y perfiles normalizados de acero negro laminado.

Los cálculos se han realizado en base a costes de mano de obra y material utilizados en empresas especializadas en prefabricados de hormigón, representando los COSTES DIRECTOS.

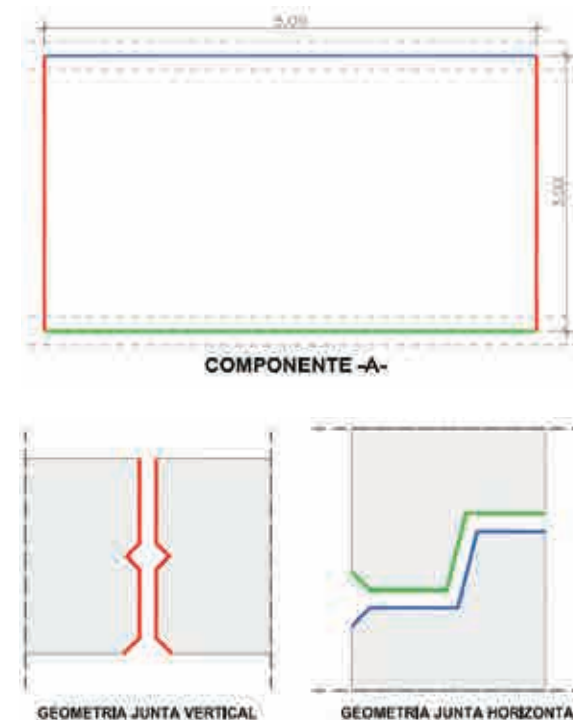


Fig.D4.1. Geometría del componente plano v tipo de junta o borde perimetral



Fig.D4.2. Mesa continua para producción de paneles planos de la empresa Weiler Precast

Los costes de la maquinaria necesaria para la ejecución de las operaciones de ejecución de un panel se han considerado como COSTES INDIRECTOS.

Para analizar el *coste*<sup>2</sup> de la clientalización de la forma se han considerado las siguientes operaciones:

#### 4.2.1 Definición geométrica del molde perimetral (1r molde)

Este primer grupo de operaciones son de capital importancia para la definición geométrica del molde se desarrollan de forma manual en el propio taller de empresa y comprenden desde la recepción de los planos desarrollados por el departamento técnico hasta la definición y ejecución de los perfiles del molde perimetral, tanto en longitud como en sección. Se han considerado las siguientes operaciones:

- Interpretación de los planos de taller*
- Medición i replanteo para determinar la longitud de los perfiles*
- Corte de los perfiles a la longitud deseada*
- Ensamblaje de perfiles y berenjenos para definir la sección de junta (incluye mecanizado y soldado de perfiles. Fig. D4.3)*

Con el siguiente resultado:

- <i>Coste de la mano de obra</i>	182,70 €
- <i>Coste del material</i>	313,56 €

---



Fig.D4.3. Definición del molde perimetral mediante perfiles laminados normalizados

<sup>2</sup> Los cálculos detallados pueden verse en el Anexo 1 y 2 del presente desarrollo 'Tablas de cálculo del panel de 5x3m y 2x3m' respectivamente

#### 4.2.2 Replanteo de los moldes perimetrales sobre mesa de hormigonado.

Incluye los costes de mano de obra y material utilizado para las operaciones de replanteo de la ubicación de los perfiles mediante sistema de posicionamiento laser.

Para contabilizar el coste de las operaciones de replanteo de los moldes perimetrales se ha contabilizado tanto el tiempo de la mano de obra de los operarios como el material utilizado. En este caso las operaciones de replanteo se realizan de forma manual con ayuda de un dispositivo laser que indica sobre la mesa de hormigonado la posición exacta de cada uno de los moldes perimetrales (Fig. D4.4).

Se han considerado el coste de las siguientes operaciones:

- Transporte de los molde perimetrales del taller a la zona de hormigonado*
- Presentación de los perfiles sobre la mesa y comprobación de la correcta geometría*

Con el siguiente resultado:

- <i>Coste de la mano de obra</i>	80,64 €
- <i>Coste del material</i>	0,32 €

#### 4.2.3 Ensamblaje de los moldes perimetrales

En este caso las operaciones de ensamblaje entre moldes perimetrales se realiza sobre la misma mesa de hormigonado (Fig.D4.5).

Una vez replanteados los perfiles se comprueba el correcto ensamblaje de las esquinas para garantizar la estanqueidad del molde perimetral. Estas operaciones pueden suponer nuevas



Fig.D4.4.Replanteo manual con ayuda laser para el posicionamiento



Fig. D4.5. Ensamblaje. Cara interior del molde



Fig.D4.6. Ensamblaje. Cara exterior del molde

rectificaciones de las cabezas de los perfiles que se realizaran en la propia mesa de hormigonado o en el taller (Fig. D4.6).

Incluye los costes de mano de obra y material utilizado para las operaciones de rectificación de las cabezas de los perfiles y su pre-ensamblaje.

Se han considerado el coste de las siguientes operaciones:

- Comprobación del ensamblaje y operaciones de pre-ensamblaje
- Rectificación en caso necesario

Con el siguiente resultado:

-Coste de la mano de obra	82,00 €
-Coste del material	14,00 €

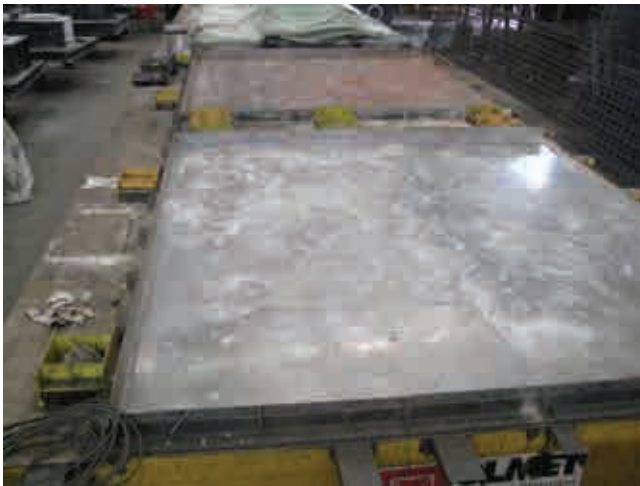


Fig.D4.7. Sistema de fijación mixto mediante elementos imantados y fijaciones mecánicas.

#### 4.2.4 Fijación de los moldes perimetrales sobre la mesa de hormigonado.

Para el caso de análisis se ha seleccionado un sistema mixto de fijación de los perfiles perimetrales sobre la mesa de hormigonado que combina elementos de fijación mecánica y elementos de fijación magnética (Fig. D4.7).

Como sabemos la combinación de ambos sistemas permite garantizar la correcta colaboración entre ambos moldes minimizando la perforación de la mesa de hormigonado.

En este caso, primero se fijan las tabicas mecánicamente a la mesa y posteriormente se complementan con la fijaciones magnéticas garantizando una presión homogénea (aunque discontinua) de los perfiles laterales sobre la mesa de hormigonado.



También se han contabilizado los costes de mano de obra y material utilizado para las siguientes operaciones:

- Colocación de la cinta de sellado entre el perfil y la mesa
- Replanteo de los puntos de fijación mecánica sobre la mesa de hormigonado
- Perforación a la vez de los perfiles laterales y de la mesa (Fig. D4.8)
- Colocación de las fijaciones mecánicas
- Replanteo de los puntos de fijación magnética sobre los perfiles laterales
- Desarrollo de los elementos de unión perfil-imán (Fig. D4.9)
- Colocación de las fijaciones magnéticas

Con el siguiente resultado:

-Coste de la mano de obra	188,16 €
-Coste del material	18,00 €

#### 4.2.5 Aplicación de los desencofrantes

En este caso la aplicación del desencofrante sobre el molde se realiza mediante pistolas de proyección (Fig. D4.10) y es completada de forma manual con esponjas para garantizar la correcta distribución del líquido desencofrante en las esquinas del molde

Las operaciones analizadas son:

- Aplicación mediante pistola de proyectado
- Operaciones manuales de homogeneización en las esquinas del molde

Con el siguiente resultado:



Fig.D4.8. Perforación del perfil perimetral y de la mesa para fijaciones las mecánicas. Empresa Escofet



Fig.D4.9. Elemento de conexión entre el imán y el perfil lateral del molde. Empresa Escofet

-Coste de la mano de obra 13,02 €

-Coste del material 2,30 €



Fig.D4.10. Pistola para el proyectado del desencofrante

Una vez aplicado el desencofrante el molde queda preparado para el vertido del hormigón.

#### 4.2.6 Armado: conformación y colocación

Generalmente el taller de la propia empresa dispone de acopios de mallazo para paneles de fachada. El operario se encarga de replantear, cortar y ensamblar para conseguir la geometría deseada (Fig. D4.11).

Una vez finalizadas estas operaciones, los mallazos son acopiados a la espera de la finalización del molde, y posteriormente son colocados sobre este mediante separadores circulares de plástico.

Todas las operaciones consideradas se realizan de forma manual. El modelo industrial analizado no dispone de maquinaria automatizada para el corte y el plegado de las armaduras.

Las operaciones analizadas son:

-Interpretación de planos y replanteo

-Corte y ensamblaje mediante soldadura del armado

-Colocación sobre mesa de hormigonado mediante separadores

Con el siguiente resultado:

-Coste de la mano de obra 31,50 €

-Coste del material 30,00 €



Fig.D4.11. Conformación manual del armado del panel

#### 4.2.7 Amasado y vertido del hormigón

Para las operaciones de amasado se ha considerado una mezcladora de carga automática de una capacidad útil en seco de 750 litros y un peso máximo de agregados de 1.170Kg. Posteriormente el hormigón de la mezcladora se vierte sobre cubilote móvil que gracias al puente grúa permite verterlo sobre el molde (Fig. D4.12).

Las operaciones analizadas son:

- Preparación y amasado del hormigón
- Vertido del hormigón sobre el molde mediante cuba
- Vibrado a través de la propia mesa de hormigonado
- Limpieza de la cuba
- Operaciones de curado del hormigón

Con el siguiente resultado:

-Coste de la mano de obra	38,43 €
-Coste del material	155,25 €

#### 4.2.8 El desmontaje de los moldes perimetrales.

Como ya hemos visto las operaciones de desmontaje de los moldes perimetrales cada vez son más necesarias debido a las diferentes geometrías de junta que puede tener un panel plano de hormigón. Estas geometrías no permite extraer directamente el panel de la mesa de hormigonado obligando al desmontaje de al menos tres de los cuatro moldes perimetrales que en nuestro caso se realiza de forma manual (Fig. D4.13).



Fig.D4.12. Vertido del hormigón sobre el molde mediante cubilote móvil

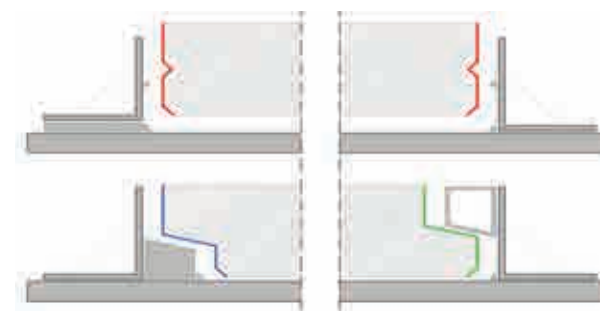


Fig.D4.13. Desmontaje de tres de los molde perimetrales para permitir el desmoldeo del panel de hormigón

En este caso se han contabilizado los costes principalmente de la mano de obra ya que el material utilizado en estas operaciones es mínimo, tan solo debe considerarse la reposición de elementos o piezas rotas durante el desmontaje:

Operaciones consideradas:

- Desactivación de los imanes de fijación
- Extracción de los elementos de fijación mecánica
- Desmontaje de tres moldes perimetrales
- Reserva y acopio del material y moldes perimetrales

Con el siguiente resultado:

-Coste de la mano de obra	24,36 €
-Coste del material	0 €



Fig.D4.14. Desmontaje de tres de los molde perimetrales para permitir el desmoldeo del panel de hormigón

#### 4.2.9 Desmoldeado, elevación y acopio del panel

Debido a las dimensiones del panel y la velocidad de producción de la serie, se ha considerado necesario trabajar con una mesa de hormigonado inclinable  $>45^\circ$ .

Una vez inclinada la mesa de hormigonado para minimizar esfuerzos a flexión del panel, este se eleva y se lleva a acopio en posición vertical mediante puente grúa móvil. El acopio se realiza también en posición vertical sobre bastidores de soporte (Fig. D4.14).

Las operaciones analizadas son:



- Inclinación de la mesa de hormigonado
- Sujeción y elevación del panel mediante puente grúa
- Transporte a zona de acopio mediante puente grúa
- Acopio del panel

Con el siguiente resultado:

-Coste de la mano de obra	25,20 €
-Coste del material	0 €

#### **4.2.10 Montaje del molde perimetral para la 1ª repetición**

Una vez analizados los costes asociados a la conformación de un panel de hormigón debemos de considerar que dicho panel formará parte de una serie de producción más o menos repetitiva.

En este caso analizamos los costes asociados a la producción de la 1ª repetición de panel, que como veremos muchas de las operaciones y materiales computados con anterioridad ahora inician su proceso de amortización.

Los costes de estas operaciones se centran principalmente en la mano de obra. Después de desmoldear el panel y de prepara la mesa para el siguiente proceso de hormigonado debe conformarse de nuevo el molde perimetral montando y fijando tres de las cuatro tabicas laterales.

En este caso prácticamente no se derivan costes asociados al uso de nuevos materiales ya prácticamente se pueden reutilizar todos los anteriores, tanto tabicas como fijaciones

magnéticas y mecánicas. En cualquier caso deberemos contemplar la reposición de los elementos de sellado y la aplicación de desencofrantes.

Las operaciones analizadas son:

- Replanteo y ensamblaje de los moldes perimetrales*
- Rectificación en caso necesario*
- Fijación sobre la mesa de hormigonado*
- Sellado del molde perimetral*
- Aplicación de desencofrantes*

Con el siguiente resultado:

<i>-Coste de la mano de obra</i>	<i>87,36 €</i>
<i>-Coste del material</i>	<i>3,04 €</i>

- ***Una vez finalizadas estas operaciones podemos considerar cerrado el análisis de los costes asociados a un panel de hormigón dentro de una serie de producción***

### **4.3 Resumen de costes**

#### **4.3.1 Costes asociados a la ejecución de un panel de hormigón**

En el análisis de los costes se han considerado todas las operaciones necesarias para la ejecución de un panel plano de hormigón armado.

Dado que el objetivo del presente desarrollo es analizar los costes asociados a la definición de la forma de un panel se han diferenciado dos grupos de operaciones:

- I. Las operaciones que están implicadas directamente en la DEFINICIÓN DE LA FORMA del molde y por lo tanto los costes asociados a su clientalización.

*2.2.1-Definición geométrica del molde*

*2.2.2-Replanteo de los moldes perimetrales sobre la mesa de hormigonado*

*2.2.3-Ensamblaje de los moldes perimetrales*

*2.2.4-Fijación de los moldes perimetrales sobre la mesa de hormigonado*

*2.2.8-Desmontaje de los moldes perimetrales*

- II. Las operaciones que permiten CONFORMAR UN PANEL de hormigón pero que no repercuten en la clientalización de su forma. Estos costes siempre formaran parte de la ejecución de un panel independientemente del nivel de clientalización de la serie de producción.

*2.2.6-Aplicación de los desencofrantes*

*2.2.5-Armado interior panel*

*2.2.7-Amasado y vertido del hormigón*

*2.2.9-Desmoldeo, elevación y acopio*

Como vemos, del coste global de la ejecución de un panel de hormigón prácticamente el 75% pertenece a las operaciones de definición del 1r molde y casi el 25% restante responde al material y la mano de obra necesaria para la ejecución del panel (Fig. D4.15).

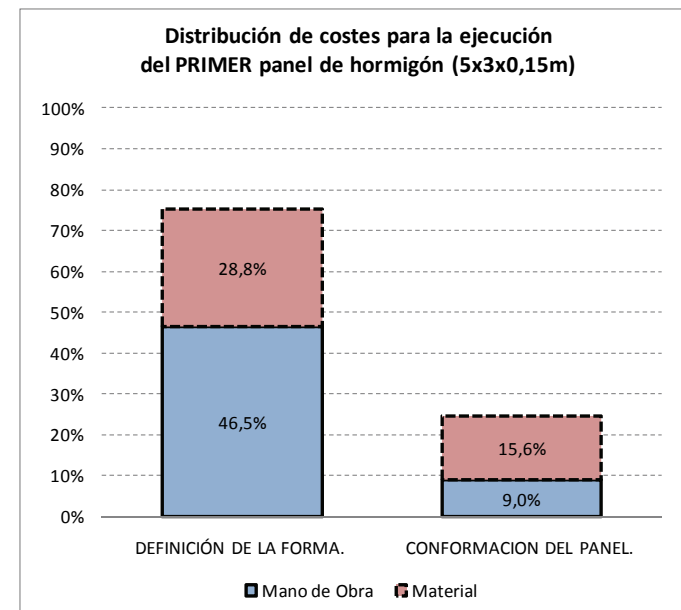


Fig.D4.15. Distribución de los costes según grupo de operaciones necesarias para la ejecución del PRIMER panel de hormigón

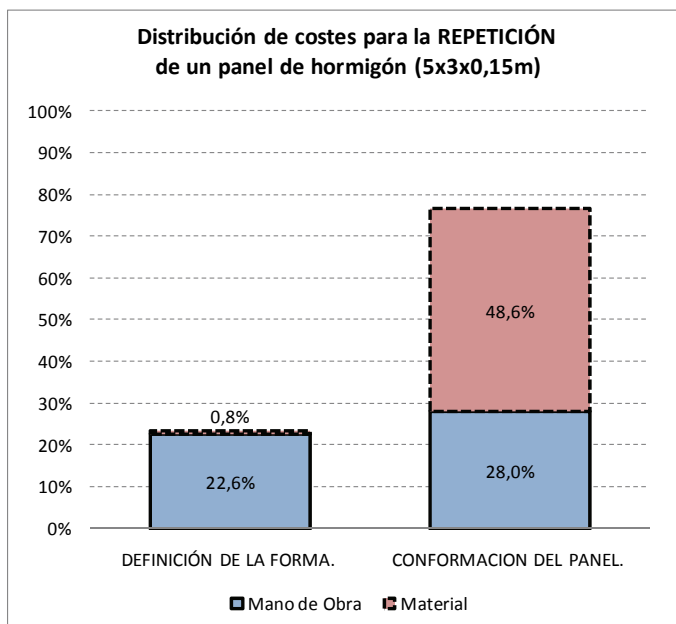


Fig.D4.16. Distribución de los costes según grupo de operaciones necesarias para la REPETICION de un panel de hormigón

Si ahora contabilizamos los costes de la repetición de paneles una vez el 1r molde ha sido completamente amortizado, observamos como el coste de la definición de la forma representa tan sólo el 25% del coste global y casi el 75% restante corresponde a las operaciones y materiales necesarios para la conformación del panel (Fig. D4.16).

- **Como vemos, el coste inicial para poder empezar una serie de producción se debe principalmente a la definición de la forma del primer panel. Este coste inicial debe amortizarse a lo largo de la producción repercutiéndolo en cada panel producido.**
- **Una vez el coste del primer molde ha sido amortizado vemos como los principales costes de producción caen sobre los materiales necesarios (hormigón y armados) y en las operaciones de montaje y desmontaje del molde. Hecho que justifica el modelo de producción actual.**

#### 4.3.2 Costes asociados a la definición de la forma del molde perimetral

Una vez analizada la importancia del coste del molde nos centraremos solamente en aquellas operaciones que intervienen en la definición geométrica del molde dentro de una serie de producción.

Para analizar dichos costes se han diferenciado dos grupos de operaciones que posteriormente nos permitirán plantear diferentes escenarios de clientalización.

- I. El primer grupo de operaciones responde a la conformación del primer molde (a, b, c, d, e) es decir, partimos de una situación inicial donde todavía no disponemos de ningún molde conformado para iniciar una serie de producción. Como vemos este

primer grupo de operaciones representa el coste más importante para el inicio de cualquier serie de producción (Tabla 1).

- II. El segundo grupo de operaciones responde a la repetición de paneles (c', d', e'), cuando ya hemos iniciado una serie de producción y limitamos las operaciones a montar y desmontar siempre el mismo molde después de cada ejecución de panel (Tabla 2)

Como se aprecia en los cuadros resumen de cada grupo, los costes asociados a la mano de obra son muy significativos y toman una especial importancia en el primer grupo de operaciones que es el principal responsable de la clientalización de la forma de los moldes.

Este primer grupo de operaciones representan los costes que debemos considerar cada vez que desarrollamos un molde distinto y por lo tanto representaran los principales costes en la clientalización del molde.

Una vez cuantificados los costes de los dos grupos de operaciones para la definición geométrica del molde iniciamos el cálculo de las diferentes SERIES DE CLIENTALIZACIÓN.

#### 4.4 Las series de clientalización analizadas

Para el análisis de los costes asociados a la variabilidad de la forma o clientalización del molde se han planteado cinco series distintas de producción diferenciadas por la repetitividad de los paneles con un mismo objetivo:

- **La producción de 100 paneles planos de hormigón**

	<b>OPERACIONES para la definición del 1r molde (5x3x0,15m)</b>	<b>M.O.</b>	<b>MAT.</b>	<b>TOTAL</b>
a-	Definición geométrica del molde perimetral	182,7 €	313,6 €	<b>496,3 €</b>
b-	Replanteo de los moldes perimetrales	80,6 €	0,3 €	<b>81,0 €</b>
c-	Ensamblaje de los moldes perimetrales	82,0 €	14,0 €	<b>96,0 €</b>
d-	Fijación de los moldes perimetrales	188,2 €	18,0 €	<b>206,2 €</b>
e-	Desmontaje de los moldes perimetrales	24,4 €	0,0 €	<b>24,4 €</b>
	<b>TOTAL</b>	<b>557,9 €</b>	<b>345,9 €</b>	<b>903,7 €</b>

-Tabla 1-

	<b>OPERACIONES para la repetición de los componentes (5x3x0,15m)</b>	<b>M.O.</b>	<b>MAT.</b>	<b>TOTAL</b>
c'-	Ensamblaje de los moldes perimetrales	25,2 €	1,6 €	26,8 €
d'-	Fijación de los moldes perimetrales	37,8 €	1,4 €	39,2 €
e'-	Desmontaje de los moldes perimetrales	24,4 €	0,0 €	24,4 €
	<b>TOTAL</b>	<b>87,4 €</b>	<b>3,0 €</b>	<b>90,3 €</b>

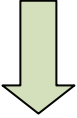
-Tabla 2-

Puesto que la finalidad del análisis no es cuantificar con exactitud el coste real de las operaciones sino los incrementos porcentuales en función de la variabilidad de paneles dentro de una serie de producción, se ha definido un primer ESCENARIO BASE de cálculo sobre el cual mediremos los incrementos de los costes.

LA SERIES BASE se caracteriza por la máxima repetición de componentes en la serie.

- **Conformación de 1 molde para el desarrollo 100 paneles iguales.**

A partir de la series BASE-0 se han desarrollado el resto de series donde cada una de ellas describe un nivel distinto de clientalización resumidos en la siguiente tabla:

SERIES*	Conformación de moldes distintos	Número de paneles por molde	Clientalización
BASE-0	1 ud	100 uds	<b>BAJA</b>
1	5 uds	20 uds	
2	10 uds	10 uds	
3	20 uds	5 uds	
4	50 uds	2 uds	
5	100 uds	1 ud	

*\*NOTA SOBRE LAS SERIES: Para conseguir el objetivo común, los 100 paneles de hormigón, la primera serie plantea la conformación de 5 moldes distintos para la ejecución de 20 paneles por molde; la serie 2 desarrolla la conformación de 10 moldes distintos para la le ejecución de 10 paneles por molde, etc... hasta llegar al último caso, serie 5, que aunque no sea representativo de un caso real plantea*

*teóricamente la máxima clientalización en una serie de producción, donde cada molde es distinto al anterior.*

#### **4.4.1 Criterios de cálculo**

Para realizar los cálculos de las distintas series de clientalización se han tomado como valores de coste los resultados obtenidos en el apartado '4.2- *El modelo de producción y los costes de las operaciones analizadas*' del presente desarrollo.

Si bien es cierto que para un caso real el nivel de clientalización de una serie vendría determinado por el número de paneles geoméricamente distintos, en nuestro caso la geometría del panel utilizado como base de cálculo siempre es la misma puesto que no es de interés para el estudio el incremento de coste entre un panel u otro debido a su geometría, si no a los diferentes recursos utilizados (mano de obra y material) para cada modificación del molde. Dos consideraciones:

- I. Entendemos que para un panel de 2x3m utilizaremos menos recursos materiales que para un panel de 5x3m, siendo este segundo un poco más costoso. Pero el incremento de costes por material utilizado es prácticamente insignificante y el número de operaciones y sus costes son prácticamente los mismos para el panel de 3m que para el de 5m.
- II. Puesto que serían infinitas las posibilidades geométricas de los paneles y sus combinaciones, y que el interés del estudio es conocer cuánto le cuesta al modelo de producción actual cambiar de molde se han realizado los cálculos en base a dos

moldes para unos paneles de 5x3x0,15 m y de 2x3x0,15 m. Los costes de las operaciones de cambio de molde se han calculado en base al mismo molde (p.ej. se sustituye el molde de 5x3x0,15 m por otro de igual)

#### 4.4.2 Resultados

A continuación se presentan los resultados obtenidos en los análisis de las distintas series de clientalización. Como veremos se ha planteado un único objetivo para todos los escenarios, la producción de 100 paneles de hormigón, con las dos geometrías de referencia (5x3x0,15m y 2x3x0,15m)

*NOTA: Utilizaremos la serie BASE para explicar la metodología utilizada en el cálculo que se aplicará al resto de series.*

#### SERIES BASE

---

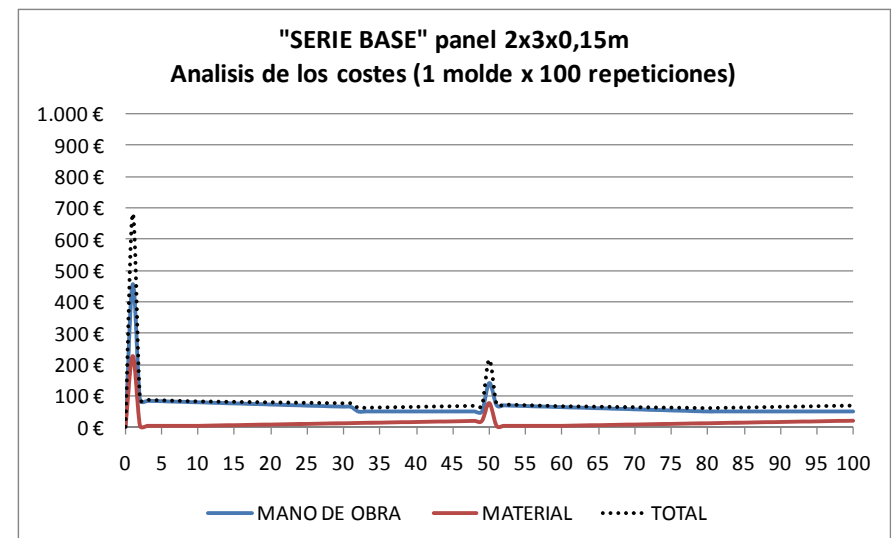
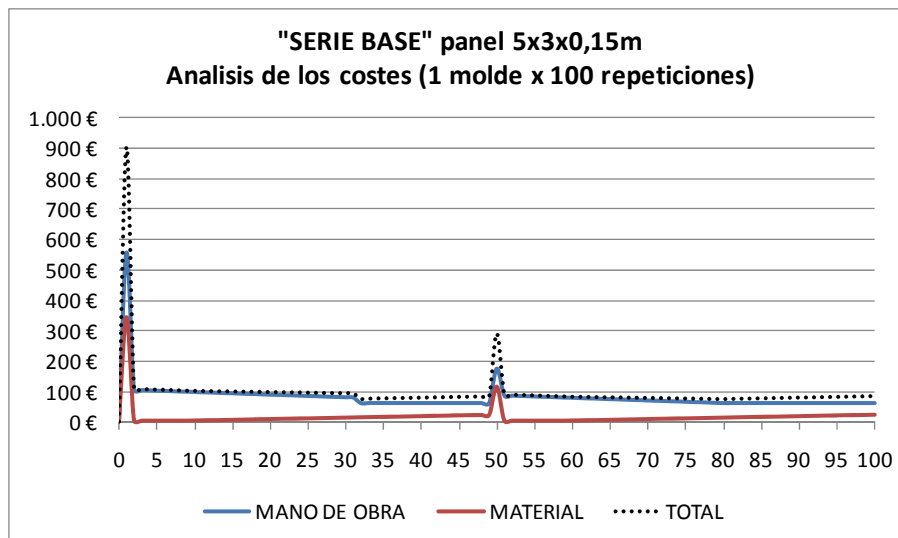
La **SERIE BASE** representa una serie de producción con 100 repeticiones de panel.

- **COSTE INICIAL:** Observamos un primer coste inicial común en todas las series que responde a la producción del primer molde de la serie (operaciones a,b,c,d,e).
- **ESTABILIZACIÓN DEL COSTE:** Posteriormente hay una estabilización progresiva de los costes debido a la amortización del molde por la producción de paneles iguales (operaciones f,e).
- **EVOLUCIÓN MANO DE OBRA:** A partir de la 1ª repetición el coste de la mano de obra desciende progresivamente debido a la repetitividad de las operaciones,



considerando que el operario mejora sus rendimientos hasta alcanzar 10 repeticiones donde se estabiliza.

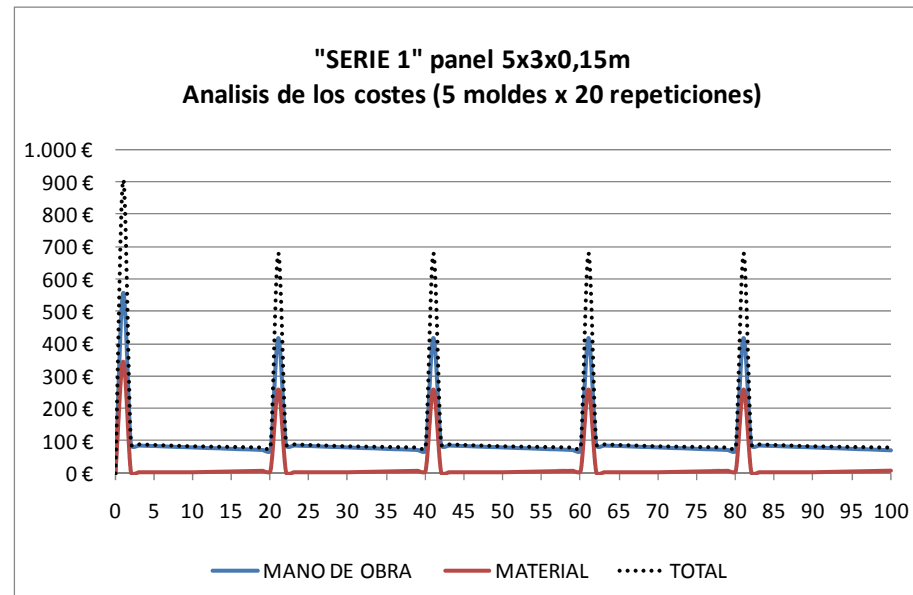
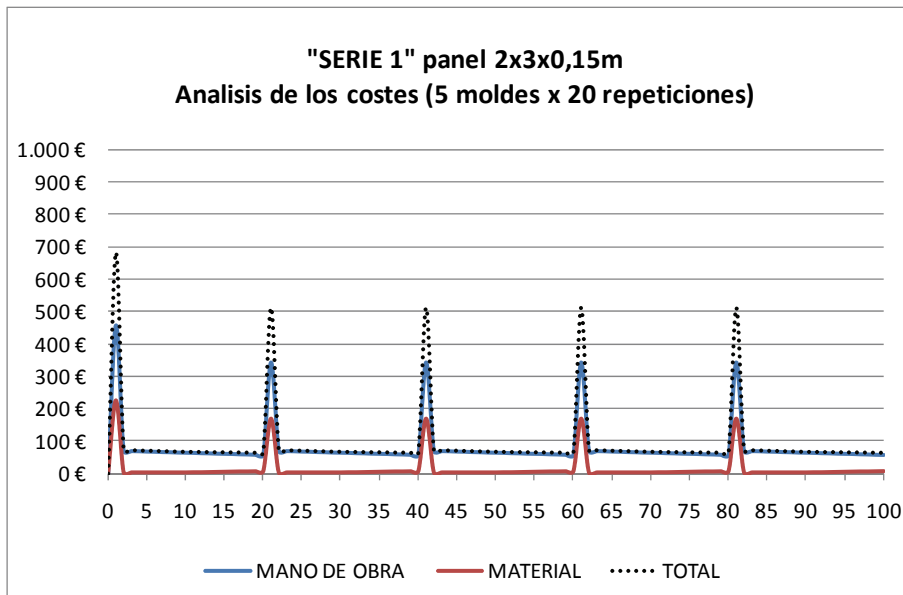
- **EVOLUCION COSTE MATERIAL:** Observamos cómo a partir de la 1ª repetición el coste del material se mantiene constante hasta la repetición 25 a partir de la cual el molde empieza a necesitar pequeñas reparaciones por desgaste y uso.
- **REPOSICIÓN DEL MOLDE:** El pico que aparece en la repetición número 50 representa las operaciones de mantenimiento del molde. A partir de aquí los costes se repiten nuevamente hasta el último panel.



## SERIE 1

El **SERIE 1** representa una serie de producción con 20 repeticiones por panel. Límite para la amortización.

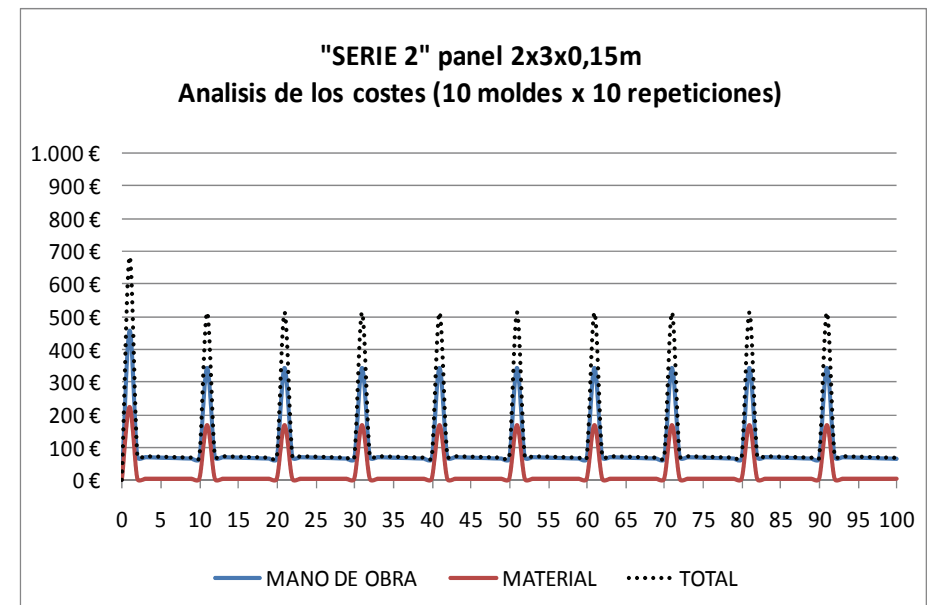
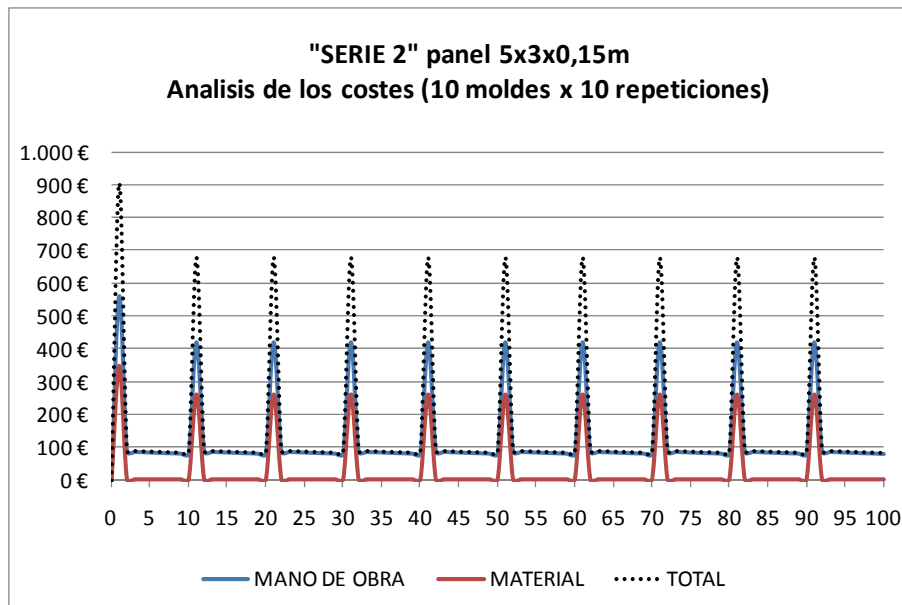
- Para los modelos de producción actual, esta serie representa un nivel de clientalización aceptable ya que se realizan las repeticiones necesarias para garantizar la amortización del molde.
- Cada 'pico' que aparece en los costes responde a la ejecución de un nuevo molde de geometría distinta al anterior, considerando un aprovechamiento de una parte del molde primero de la serie, con un coste sensiblemente inferior a este.



## SERIE 2

La **SERIE 2** representa una serie de producción con 10 repeticiones por panel.

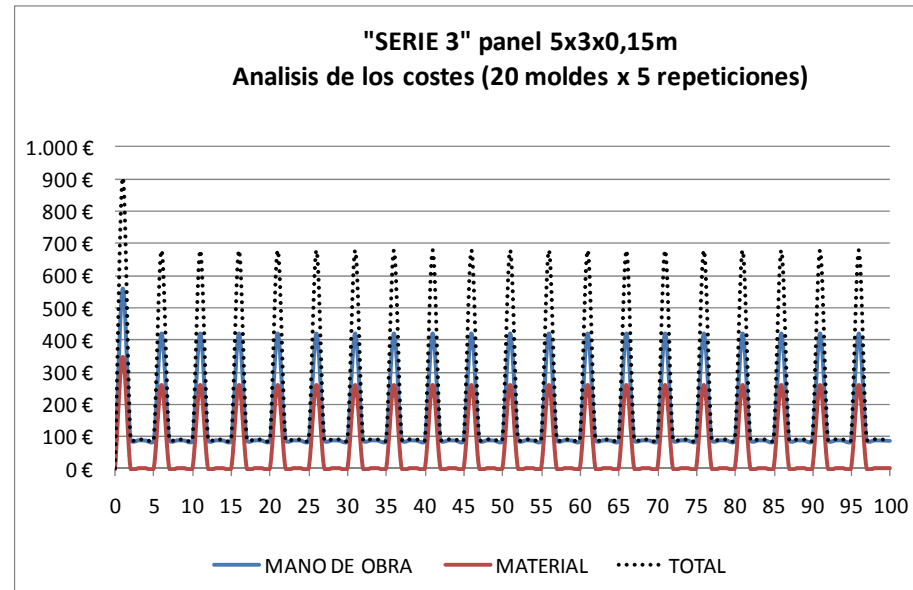
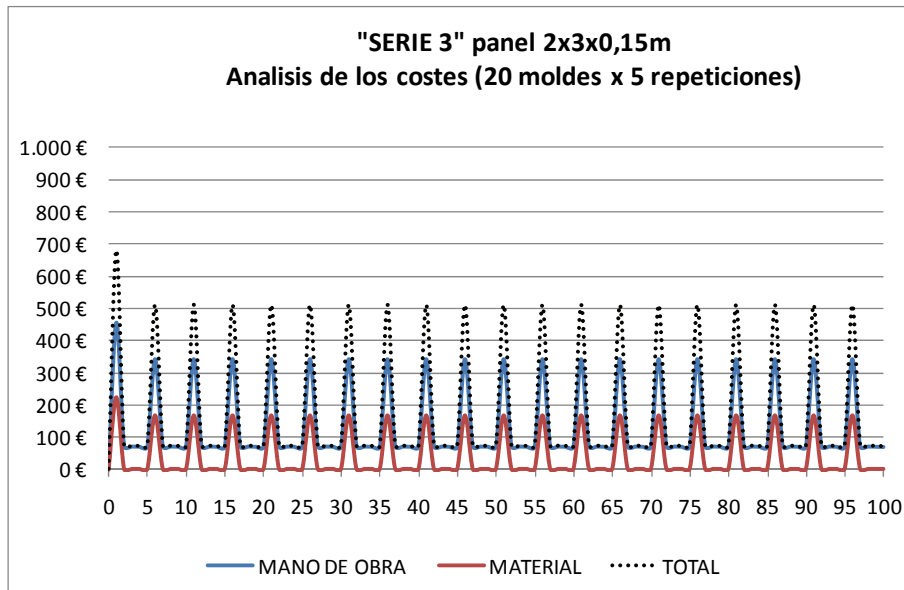
- Para los modelos de producción actual esta serie representa el límite de la clientalización ya que se interrumpe la amortización del molde.

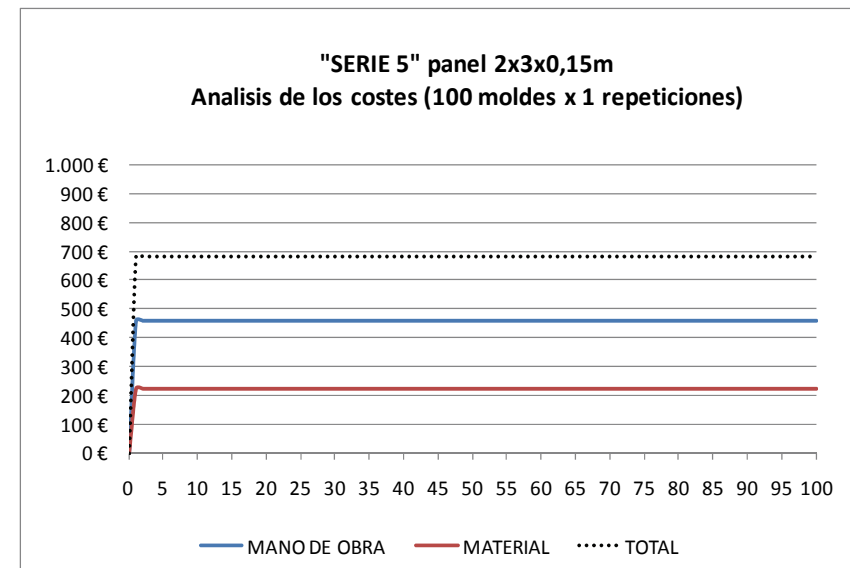
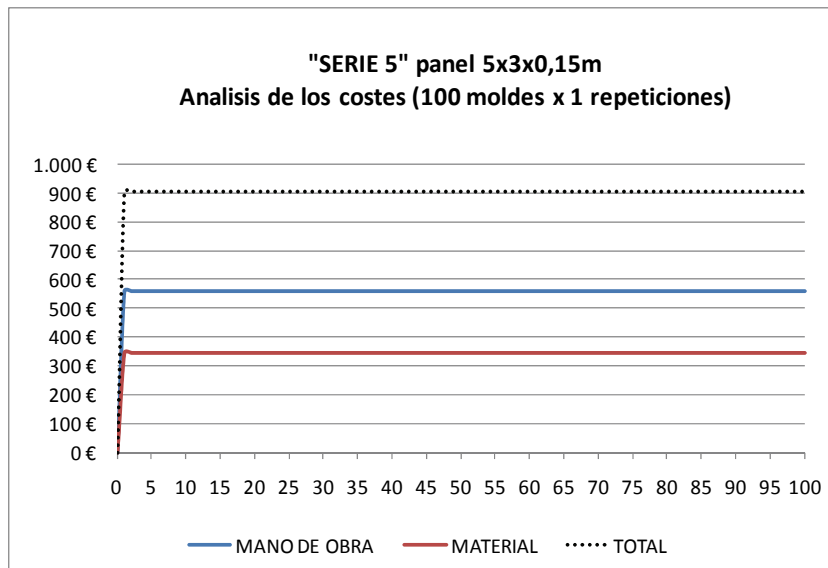
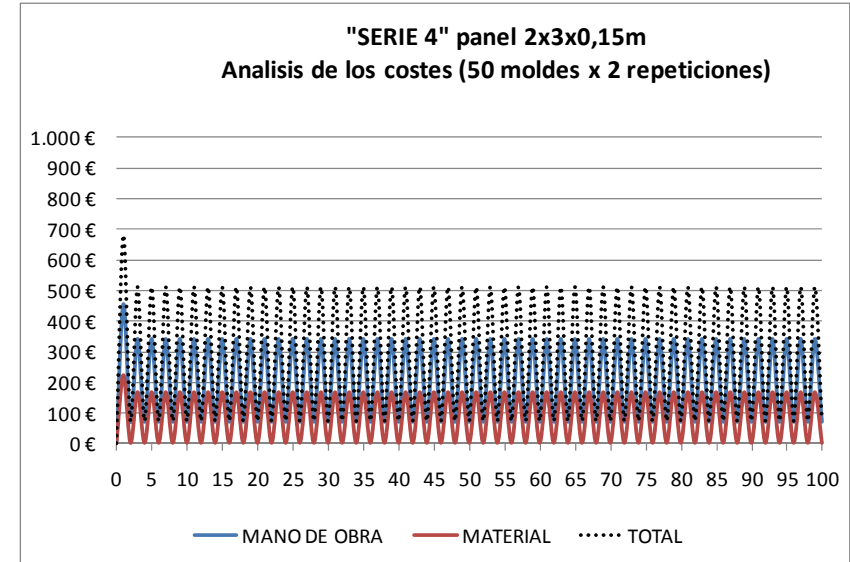
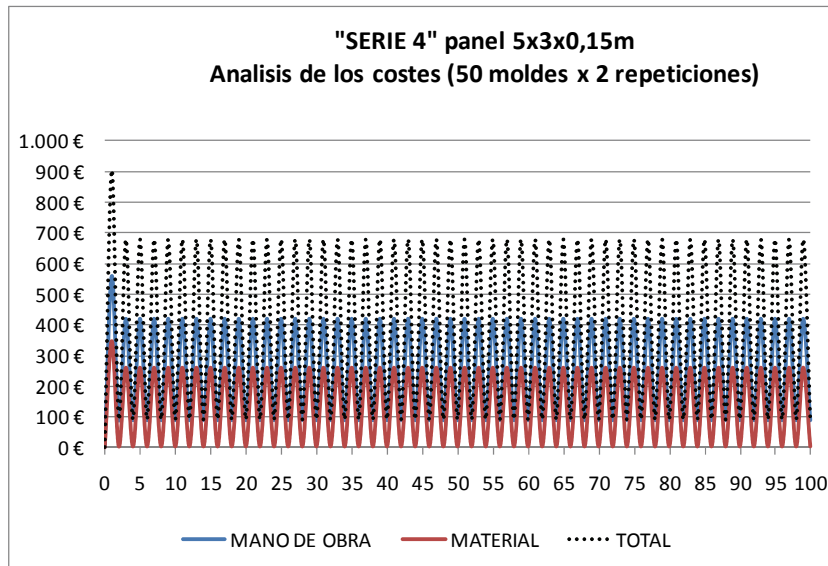


## SERIE 3, 4 y 5

Las **SERIE 3, 4 y 5** representan series de producción de elevados niveles de clientalización.

- Estas tres series representan series teóricas de producción. Difícilmente la industria actual sería capaz de realizarlas garantizando un incremento razonable del coste.







**ANEXO 1- Tablas de cálculo del PANEL de 5x3m**





## Tabla de los costes de producción de un molde y un panel de 5x3x0,15m

### Distribución de los costes para el 1r PANEL

#### DEFINICIÓN GEOMETRICA DEL MOLDE PERIMETRAL (apartado 4.2.1)

<b>Mano de Obra</b>						
Reparación superficie mesa encofrado	15,00 m2	5,00 min/m²	0,42 €/min	31,50 €	75 min	
<b>Perimetro exterior</b> <i>*Nota: los perfiles se sirven en barras 6ml</i>						
Molde exterior    Tipo A						
Corte+soldar Pasamano plano calibrado 8mm visel	2,00 ud	35,00 min/ud	0,42 €/min	29,40 €	70 min	
Corte+soldar Pasamano plano calibrado 8mm vertical	2,00 ud	25,00 min/ud	0,42 €/min	21,00		
Corte+soldar Perfil L70 acero negro	2,00 ud	15,00 min/ud	0,42 €/min	12,60 €	30 min	
Corte+soldar Berenjeno 15x15mm	2,00 ud	15,00 min/ud	0,42 €/min	12,60 €	30 min	
Molde exterior    Tipo B						
Corte+soldar Pasamano plano calibrado 8mm visel	1,00 ud	35,00 min/ud	0,42 €/min	14,70 €	35 min	
Corte+soldar Pasamano plano calibrado 8mm vertical	1,00 ud	25,00 min/ud	0,42 €/min	10,50		
Corte+soldar Perfil L70 acero negro	1,00 ud	15,00 min/ud	0,42 €/min	6,30 €	15 min	
Corte+soldar Tubular 60x60x4mm	1,00 ud	15,00 min/ud	0,42 €/min	6,30 €	15 min	
Molde exterior    Tipo C						
Corte+soldar Pasamano plano calibrado 8mm visel	1,00 ud	35,00 min/ud	0,42 €/min	14,70 €	35 min	
Corte+soldar Pasamano plano calibrado 8mm vertical	1,00 ud	25,00 min/ud	0,42 €/min	10,50		
Corte+soldar Perfil L70 acero negro	1,00 ud	15,00 min/ud	0,42 €/min	6,30 €	15 min	
Corte+soldar Tubular 60x60x4mm	1,00 ud	15,00 min/ud	0,42 €/min	6,30 €	15 min	
<b>Perimetro interior</b>						
Corte+soldar Perfil Interior	0,00 ud	15,00 min/ud	0,42 €/min	0,00 €	0 min	
Corte+soldar Perfil Plano calibrado interior	0,00 ud	15,00 min/ud	0,42 €/min	0,00		
Corte+soldar Berenjeno interior	0,00 ud	10,00 min/ud	0,42 €/min	0,00 €	0 min	
<b>TOTAL</b>				<b>182,70 €</b>	<b>335,00 min</b>	

<b>Material</b>						
Reparación superficie mesa encofrado	15,00 m2	-	Kg/ml	0,30 €/m2	4,50 €	
<b>Perimetro exterior</b> <i>*Nota: los perfiles se sirven en barras 6ml</i>						
Molde exterior    Tipo A						
Pasamano plano calibrado 8mm visel	2,00 ud	3,00 ml	4,15 €/ml	24,90 €		
Pasamano plano calibrado 8mm vertical	2,00 ud	3,00 ml	6,23 €/ml	37,38 €		
Perfil L70 acero negro	2,00 ud	3,00 ml	4,53 €/ml	27,18 €		
Berenjeno 15x15mm	2,00 ud	3,00 ml	4,20 €/ml	25,20 €		
Molde exterior    Tipo B						
Pasamano plano calibrado 8mm visel	1,00 ud	5,00 ml	4,15 €/ml	20,75 €		
Pasamano plano calibrado 8mm vertical	1,00 ud	5,00 ml	6,23 €/ml	31,15 €		
Perfil L70 acero negro	1,00 ud	5,00 ml	4,53 €/ml	22,65 €		
Tubular 60x60x4mm	1,00 ud	5,00 ml	4,53 €/ml	22,65 €		

Molde exterior Tipo C					
Pasamano plano calibrado 8mm visel	1,00 ud	5,00 ml	4,15 €/ml	20,75 €	
Pasamano plano calibrado 8mm vertical	1,00 ud	5,00 ml	6,23 €/ml	31,15 €	
Perfil L70 acero negro	1,00 ud	5,00 ml	4,53 €/ml	22,65 €	
Tubular 60x60x4mm	1,00 ud	5,00 ml	4,53 €/ml	22,65 €	
<b>Perimetro interior</b>					
Perfil Interior	0,00 ud	0,00 ml	0,00 €/ml	0,00 €	
Perfil Plano calibrado interior	0,00 ud	0,00 ml	0,00 €/ml	0,00 €	
Berenjeno interior	0,00 ud	0,00 ml	0,00 €/ml	0,00 €	
<b>TOTAL</b>				<b>313,56 €</b>	

#### REPLANTEO DE LOS MOLDES PERIMETRALES SOBRE LA MESA DE HORMIGONADO (apartado 4.2.2)

##### Mano de Obra

<b>Perimetro exterior</b>					
Replanteo Perimetro exterior	16,00 ml	12,00 min/m	0,42 €/min	80,64 €	192 min
<b>Perimetro interior</b>					
Replanteo Perimetro interior	0,00 ml	12,00 min/m	0,42 €/min	0,00 €	0 min
<b>TOTAL</b>				<b>80,64 €</b>	<b>192,00 min</b>

##### Material

<b>Perimetro exterior</b>					
Replanteo Perimetro exterior	16,00 ud	1,00 ud/m	0,02 €/ud	0,32 €	
<b>Perimetro interior</b>					
Replanteo Perimetro interior	0,00 ud	1,00 ud/m	0,02 €/ud	0,00 €	
<b>TOTAL</b>				<b>0,32 €</b>	

#### ENSAMBLAJE DE LOS MOLDES PERIMETRALES (apartado 2.2.3)

##### Mano de Obra

<b>Perimetro exterior</b>					
Ensamblaje Perimetro exterior	4,00 ud	50,00 min/ud	0,41 €/min	82,00 €	200 min
<b>Perimetro interior</b>					
Ensamblaje Perimetro interior	0,00 ud	35,00 min/ud	0,41 €/min	0,00 €	0 min
<b>TOTAL</b>				<b>82,00 €</b>	<b>200 min</b>

##### Material

<b>Perimetro exterior</b>					
Ensamblaje Perimetro exterior	4,00 ud		3,50 €/ud	14,00 €	
<b>Perimetro interior</b>					
Ensamblaje Perimetro interior	0,00 ud		3,50 €/ud	0,00 €	
<b>TOTAL</b>				<b>14,00 €</b>	

**FIJACIÓN DE LOS MOLDES PERIMETRALES SOBRE LA MESA (apartado 4.2.4)****Mano de Obra****Perimetro exterior**

Fijación mecanica Perimetro exterior	8,00 ud	35,00 min/ud	0,42 €/min	117,60 €	280 min
Fijación magnetica Perimetro exterior	8,00 ud	20,00 min/ud	0,42 €/min	67,20 €	160 min
Sellado perfiles	16,00 ml	0,50 min/m	0,42 €/min	3,36 €	8 min

**Perimetro interior**

Fijación mecanica Perimetro interior	0,00 ud	35,00 min/ud	0,42 €/min	0,00 €	0 min
Fijación magnetica Perimetro interior	0,00 ud	11,00 min/ud	0,42 €/min	0,00 €	0 min
Sellado perfiles	0,00 ml	0,50 min/m	0,42 €/min	0,00 €	0 min

**TOTAL****188,16 € 448 min****Material****Perimetro exterior**

Fijación mecanica Perimetro exterior	8,00 ud	0,35 €/ud	2,80 €
Fijación magnetica Perimetro exterior	8,00 ud	1,80 €/ud	14,40 €
Cinta de sellado	16,00 ml	0,05 €/m	0,80 €

**Perimetro interior**

Fijación mecanica Perimetro interior	0,00 ud	0,35 €/ud	0,00 €
Fijación magnetica Perimetro interior	0,00 ud	1,80 €/ud	0,00 €
Cinta de sellado	0,00 ml	0,05 €/m	0,00 €

**TOTAL****18,00 €****PRODUCCIÓN****APLICACIÓN DE LOS DESENCOFRANTES (apartado 4.2.5)****Mano de Obra**

Mesa de hormigonado	15,00 m2	1,00 min/m <sup>2</sup>	0,42 €/min	6,30 €	15 min
---------------------	----------	-------------------------	------------	--------	--------

**Perimetro exterior**

Desencofrante	16,00 ml	1,00 min/m	0,42 €/min	6,72 €	16 min
---------------	----------	------------	------------	--------	--------

**Perimetro interior**

Desencofrante	0,00 ml	1,00 min/m	0,42 €/min	0,00 €	0 min
---------------	---------	------------	------------	--------	-------

**TOTAL****13,02 € 31 min****Material**

Mesa de hormigonado	15,00 m2	0,10 €/m <sup>2</sup>	1,50 €
---------------------	----------	-----------------------	--------

**Perimetro exterior**

Desencofrante	16,00 ml	0,05 €/m	0,80 €
---------------	----------	----------	--------

**Perimetro interior**

Desencofrante	0,00 ml	0,05 €/m	0,00 €
---------------	---------	----------	--------

**TOTAL****2,30 €**

**ARMADO INTERIOR PANEL (apartado 4.2.6)****Mano de Obra**

Armado	15,00 m <sup>2</sup>	5,00 min/m <sup>2</sup>	0,42 €/min	31,50 €	75 min
<b>TOTAL</b>				<b>31,50 €</b>	<b>137 min</b>

**Material**

Armado	15,00 m <sup>2</sup>	2,00 kg/m <sup>2</sup>	1,00 €/kg	30,00	
<b>TOTAL</b>				<b>30,00 €</b>	

**AMASADO Y VERTIDO (apartado 2.2.7)****Mano de Obra**

<b>Amasado</b>					
Hormigón	2,25 m <sup>3</sup>	15,00 min/m <sup>3</sup>	0,84 €/min	28,35 €	33,75 min
<b>Vertido</b>					
Hormigón	15,00 m <sup>2</sup>	0,40 min/m <sup>2</sup>	1,68 €/min	10,08 €	6 min
<b>TOTAL</b>				<b>38,43 €</b>	<b>39,75 min</b>

**Material**

<b>Amasado</b>					
Hormigón	2,25 m <sup>3</sup>	2,30 T/m <sup>3</sup>	30,00 €/T	155,25 €	
<b>TOTAL</b>				<b>155,25 €</b>	

**DESMONTAJE DE LOS MOLDES PERIMETRALES (apartado 4.2.8)****Mano de Obra**

<b>Perimetro exterior</b>					
Extracción Fijación mecanica Perimetro exterior	10,00 ud	2,00 min/ud	0,42 €/min	8,40 €	20 min
Extracción Fijación magnetica Perimetro exterior	8,00 ud	1,00 min/ud	0,42 €/min	3,36 €	8 min
Desmontaje 3 molde Perimetral Exterior	3,00 ud	5,00 min/ud	0,84 €/min	12,60 €	15 min
<b>Perimetro interior</b>					
Extracción Fijación mecanica Perimetro interior	0,00 ud	2,00 min/ud	0,42 €/min	0,00 €	0 min
Extracción Fijación magnetica Perimetro interior	0,00 ud	1,00 min/ud	0,42 €/min	0,00 €	0 min
Desmontaje molde Perimetral Exterior	0,00 ud	5,00 min/ud	0,84 €/min	0,00 €	0 min
<b>TOTAL</b>				<b>24,36 €</b>	<b>43 min</b>

**DESMOLDEO, ELEVACIÓN Y ACOPIO (apartado 4.2.9)****Mano de Obra**

<b>Desmoldeo</b>					
Panel	1,00 ud	10,00 min/ud	1,26 €/min	12,60 €	10 min
<b>Elevación</b>					
Panel	1,00 ud	5,00 min/ud	1,26 €/min	6,30 €	5 min
<b>Acopio</b>					
Panel	1,00 ud	5,00 min/ud	1,26 €/min	6,30 €	5 min
<b>TOTAL</b>				<b>25,20 €</b>	<b>15 min</b>

## Distribución de los costes para la REPETICIÓN DE UN PANEL

### OPERACIONES para 1a REPETICIÓN (apartado 4.2.10)

#### ENSAMBLAJE DE LOS MOLDES PERIMETRALES SOBRE LA MESA

##### Mano de Obra

##### Perimetro exterior

Ensamblaje Perimetro exterior	4,00 ud	15,00 min/ud	0,42 €/min	25,20 €	60 min
-------------------------------	---------	--------------	------------	---------	--------

##### Perimetro interior

Ensamblaje Perimetro exterior	0,00 ud	10,00 min/ud	0,42 €/min	0,00 €	0 min
-------------------------------	---------	--------------	------------	--------	-------

##### TOTAL

				<b>25,20 €</b>	<b>60 min</b>
--	--	--	--	----------------	---------------

##### Material

##### Perimetro exterior

Ensamblaje Perimetro exterior	4,00 ud		0,40 €/ud	1,60 €	
-------------------------------	---------	--	-----------	--------	--

##### Perimetro interior

Ensamblaje Perimetro exterior	0,00 ud		0,40 €/ud	0,00 €	
-------------------------------	---------	--	-----------	--------	--

##### TOTAL

				<b>1,60 €</b>	
--	--	--	--	---------------	--

#### FIJACIÓN DE LOS MOLDES PERIMETRALES SOBRE LA MESA

##### Mano de Obra

##### Perimetro exterior

Fijación mecanica Perimetro exterior	10,00 ud	5,00 min/ud	0,42 €/min	21,00 €	50 min
--------------------------------------	----------	-------------	------------	---------	--------

Fijación magnetica Perimetro exterior	8,00 ud	4,00 min/ud	0,42 €/min	13,44 €	32 min
---------------------------------------	---------	-------------	------------	---------	--------

Sellado perfiles	16,00 ml	0,50 min/m	0,42 €/min	3,36 €	8 min
------------------	----------	------------	------------	--------	-------

##### Perimetro interior

Fijación mecanica Perimetro interior	0,00 ud	5,00 min/ud	0,42 €/min	0,00 €	0 min
--------------------------------------	---------	-------------	------------	--------	-------

Fijación magnetica Perimetro interior	0,00 ud	4,00 min/ud	0,42 €/min	0,00 €	0 min
---------------------------------------	---------	-------------	------------	--------	-------

Sellado perfiles	0,00 ml	0,35 min/m	0,42 €/min	0,00 €	0 min
------------------	---------	------------	------------	--------	-------

##### TOTAL

				<b>37,80 €</b>	<b>90 min</b>
--	--	--	--	----------------	---------------

##### Material

##### Perimetro exterior

Fijación mecanica Perimetro exterior	10,00 ud		0,04 €/ud	0,40 €	
--------------------------------------	----------	--	-----------	--------	--

Fijación magnetica Perimetro exterior	8,00 ud		0,04 €/ud	0,32 €	
---------------------------------------	---------	--	-----------	--------	--

Cinta de sellado	16,00 ml		0,05 €/m	0,72 €	
------------------	----------	--	----------	--------	--

##### Perimetro interior

Fijación mecanica Perimetro interior	0,00 ud		0,04 €/ud	0,00 €	
--------------------------------------	---------	--	-----------	--------	--

Fijación magnetica Perimetro interior	0,00 ud		0,04 €/ud	0,00 €	
---------------------------------------	---------	--	-----------	--------	--

Cinta de sellado	0,00 ml		0,05 €/m	0,00 €	
------------------	---------	--	----------	--------	--

##### TOTAL

				<b>1,44 €</b>	
--	--	--	--	---------------	--

**DESMONTAJE DE LOS MOLDES PERIMETRALES****Mano de Obra****Perimetro exterior**

Extracción Fijación mecanica Perimetro exterior	10,00 ud	2,00 min/ud	0,42 €/min	8,40 €	20 min
Extracción Fijación magnetica Perimetro exterior	8,00 ud	1,00 min/ud	0,42 €/min	3,36 €	8 min
Desmontaje 3 molde Perimetral Exterior	3,00 ud	5,00 min/ud	0,84 €/min	12,60 €	15 min

**Perimetro interior**

Extracción Fijación mecanica Perimetro interior	0,00 ud	2,00 min/ud	0,42 €/min	0,00 €	0 min
Extracción Fijación magnetica Perimetro interior	0,00 ud	1,00 min/ud	0,42 €/min	0,00 €	0 min
Desmontaje molde Perimetral Exterior	0,00 ud	5,00 min/ud	0,84 €/min	0,00 €	0 min

**TOTAL****24,36 € 43 min**

## RESUMEN de la distribución de los costes (5x3x0,15m)

### RESUMEN DE COSTES 1r PANEL

Mano de Obra		666,01 €	
Material		533,43 €	
<b>TOTAL COSTES DIRECTOS</b>		<b>1.199,44 €</b>	
<b>COSTES INDIRECTOS 30-40%</b>	30%	359,83 €	
<b>COSTE FINAL</b>		<b>1.559,27 €</b>	
Repercusión		103,95 €/m <sup>2</sup>	

### DEFINICIÓN DE LA FORMA. Coste M.O. y Mat. 903,74 € 75,35%

1- Definición geométrica del molde perimetral				
2- Replanteo de los moldes perimetrales				
3- Ensamblaje de los moldes perimetrales				
4- Fijación de los moldes perimetrales				
5- Desmontaje de los moldes perimetrales			Parcial	Global
	<i>Mano de Obra</i>	<b>557,86 €</b>	61,7%	46,5%
	<i>Material</i>	<b>345,88 €</b>	38,3%	28,8%

### CONFORMACION DEL PANEL. Coste M.O. y Mat. 295,70 € 24,65%

1- Aplicación de los desencofrantes				
2- Armado interior panel				
3- Amasado y vertido				
4- Desmoldeo, elevación y acopio			Parcial	Global
	<i>Mano de Obra</i>	<b>108,15 €</b>	36,6%	9,0%
	<i>Material</i>	<b>187,55 €</b>	63,4%	15,6%

### RESUMEN DE COSTES REPETICIÓN PANEL

Mano de Obra		195,51 €	
Material		190,59 €	
<b>TOTAL COSTES DIRECTOS</b>		<b>386,10 €</b>	
<b>COSTES INDIRECTOS 30-40%</b>	30%	115,83 €	
<b>COSTE FINAL</b>		<b>501,93 €</b>	
Repercusión		33,46 €/m <sup>2</sup>	

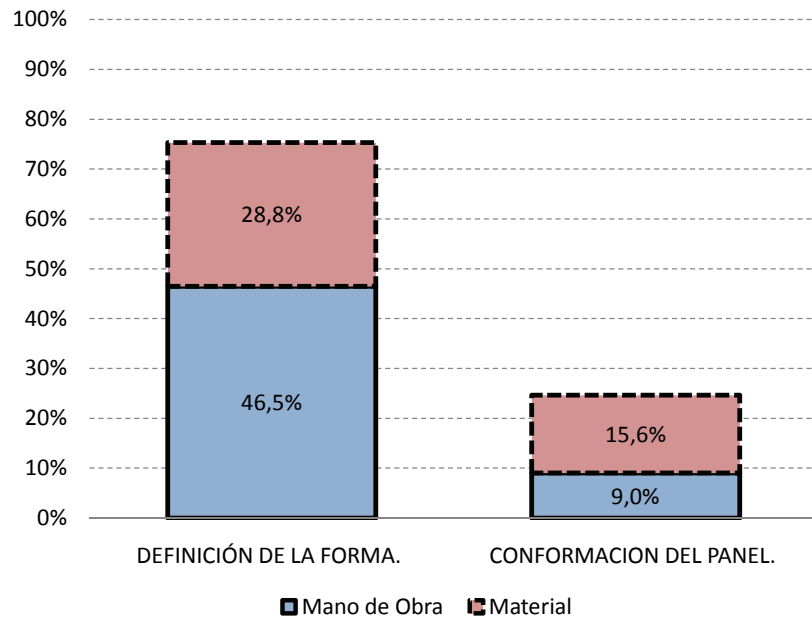
### DEFINICIÓN DE LA FORMA. Coste M.O. y Mat. 90,40 € 23,41%

3- Ensamblaje de los moldes perimetrales				
4- Fijación de los moldes perimetrales				
5- Desmontaje de los moldes perimetrales			Parcial	Global
	<i>Mano de Obra</i>	<b>87,36 €</b>	96,6%	22,6%
	<i>Material</i>	<b>3,04 €</b>	3,4%	0,8%

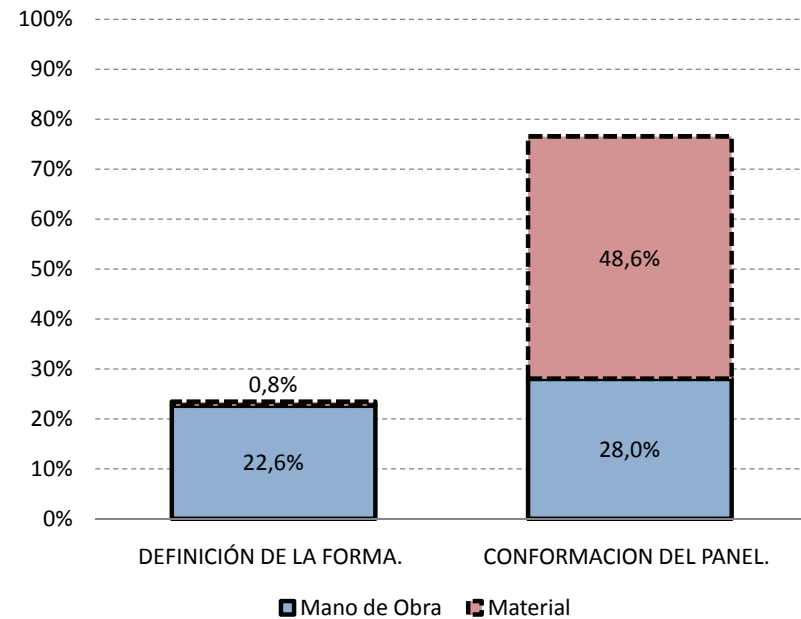
### CONFORMACION DEL PANEL. Coste M.O. y Mat. 295,70 € 76,59%

1- Aplicación de los desencofrantes				
2- Armado interior panel				
3- Amasado y vertido				
4- Desmoldeo, elevación y acopio			Parcial	Global
	<i>Mano de Obra</i>	<b>108,15 €</b>	36,6%	28,0%
	<i>Material</i>	<b>187,55 €</b>	63,4%	48,6%

**Distribución de costes para la ejecución del PRIMER panel de hormigón (5x3x0,15m)**



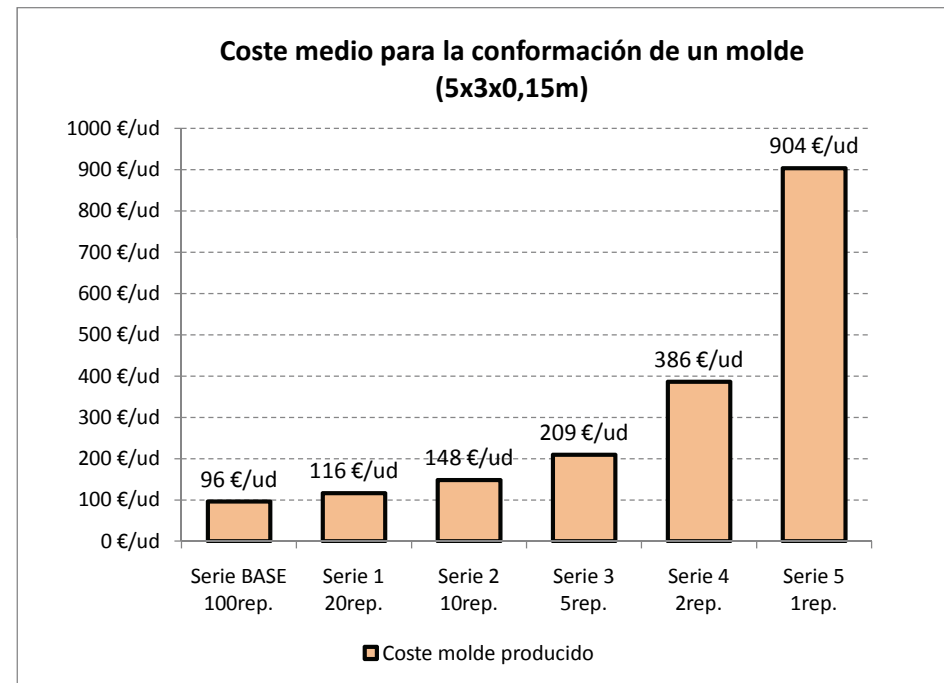
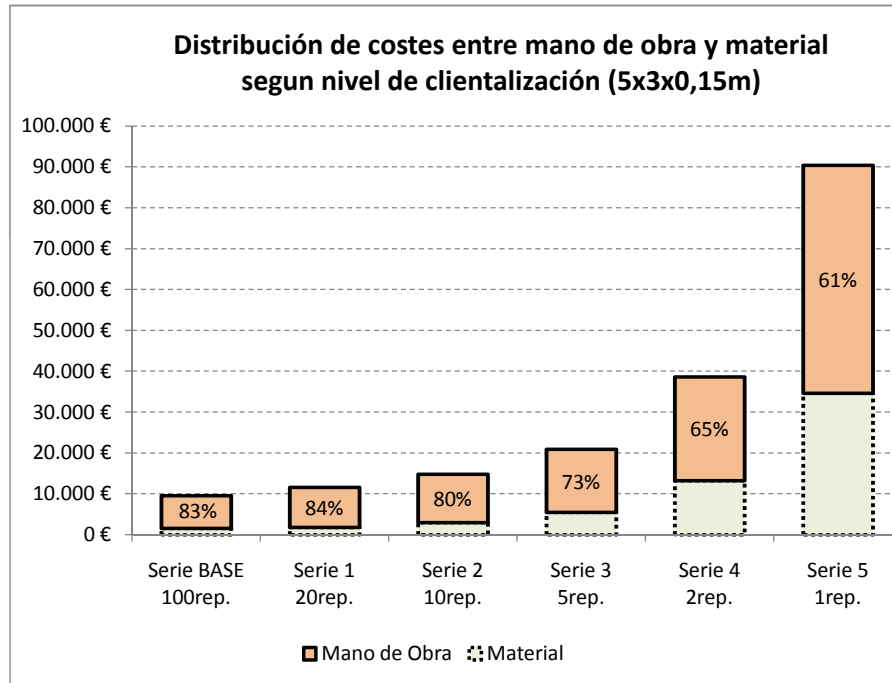
**Distribución de costes para la REPETICIÓN de un panel de hormigón (5x3x0,15m)**

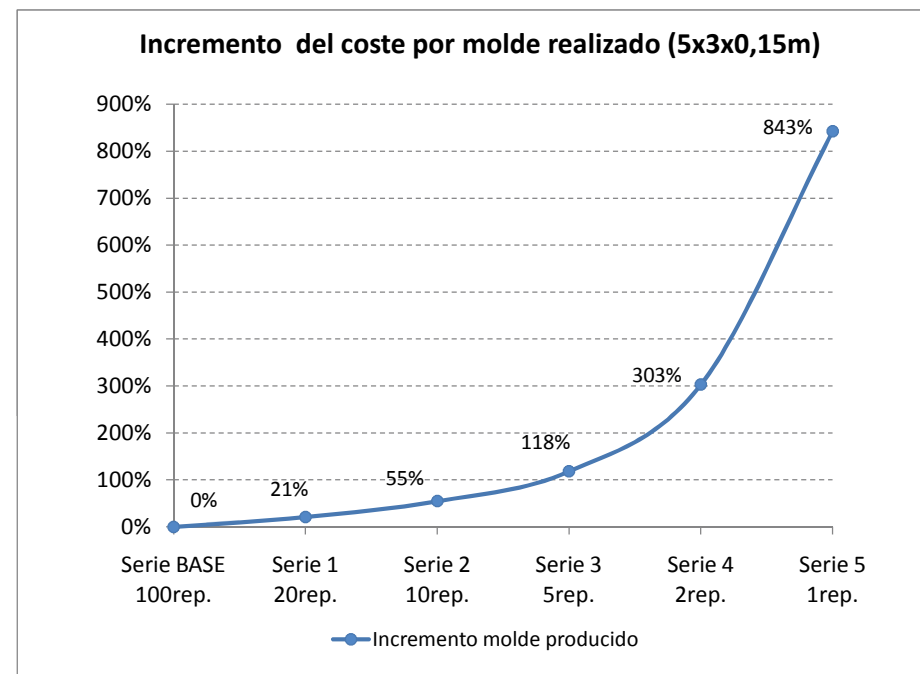
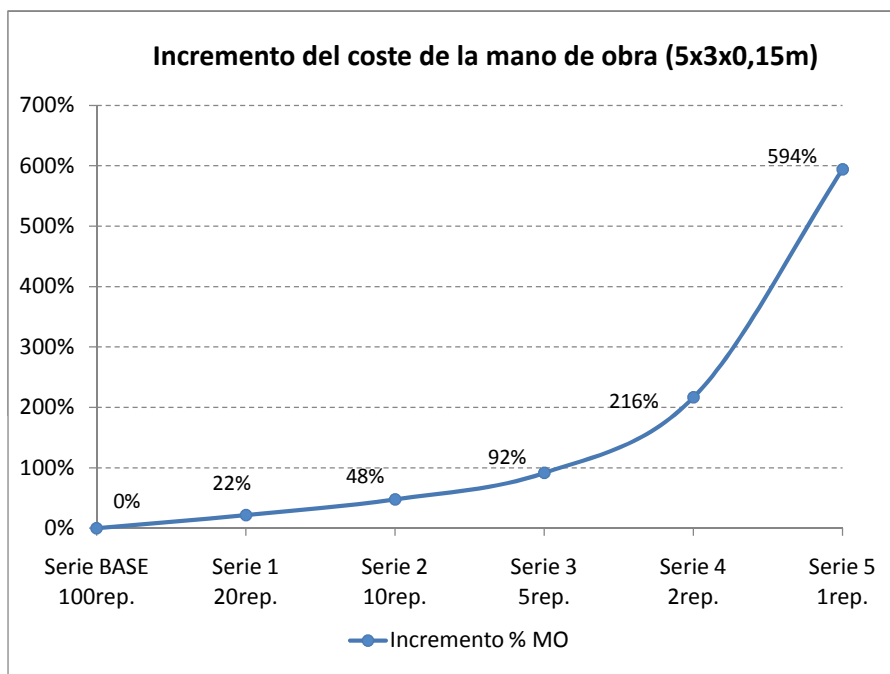


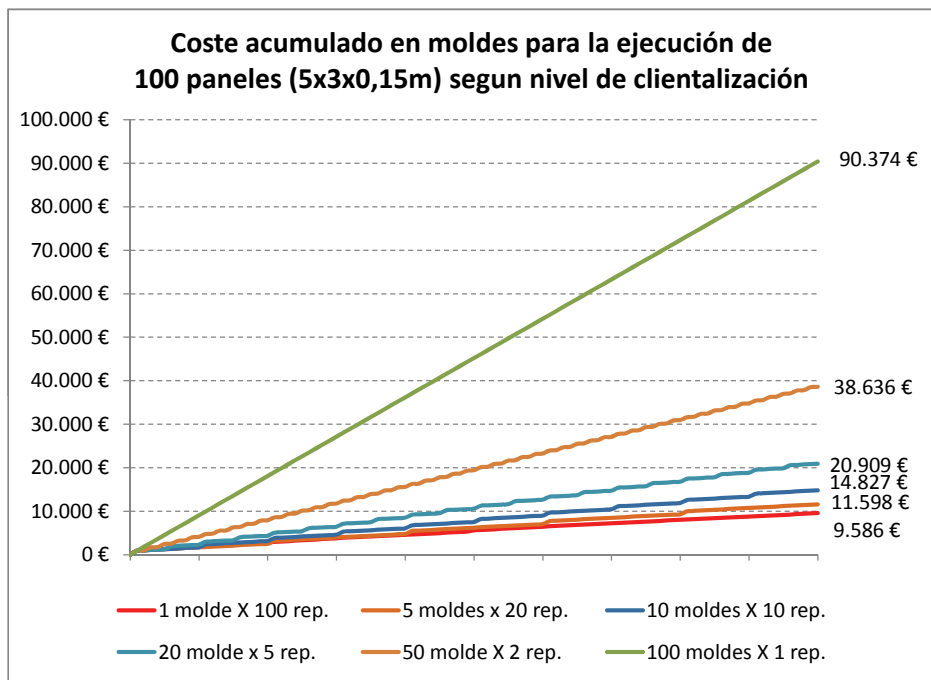


## Resumen de costes de producción de un molde y un panel de 5x3x0,15m

	Serie BASE	Serie 1	Serie 2	Serie 3	Serie 4	Serie 5
<b>Mano de Obra</b>	83,83%	84,36%	80,07%	73,61%	65,81%	61,73%
<b>Material</b>	16,17%	15,64%	19,93%	26,39%	34,19%	38,27%
<b>Coste total</b>	9.586 €	11.598 €	14.827 €	20.909 €	38.636 €	90.374 €
<b>Mano de Obra</b>	8.036 €	9.784 €	11.871 €	15.391 €	25.427 €	55.786 €
<b>Material</b>	1.550 €	1.814 €	2.956 €	5.518 €	13.209 €	34.588 €
<b>Incremento % MO</b>	0,00%	21,75%	47,73%	91,53%	216,42%	594,21%
<b>Incremento % MA</b>	0,00%	17,09%	90,73%	256,07%	752,39%	2131,99%
<b>Coste molde producido</b>	96 €/ud	116 €/ud	148 €/ud	209 €/ud	386 €/ud	904 €/ud
<b>Incremento molde producido</b>	0,00%	21,00%	54,68%	118,13%	303,07%	842,82%









**ANEXO 2- Documentación grafica del molde del PANEL de 5x3m**



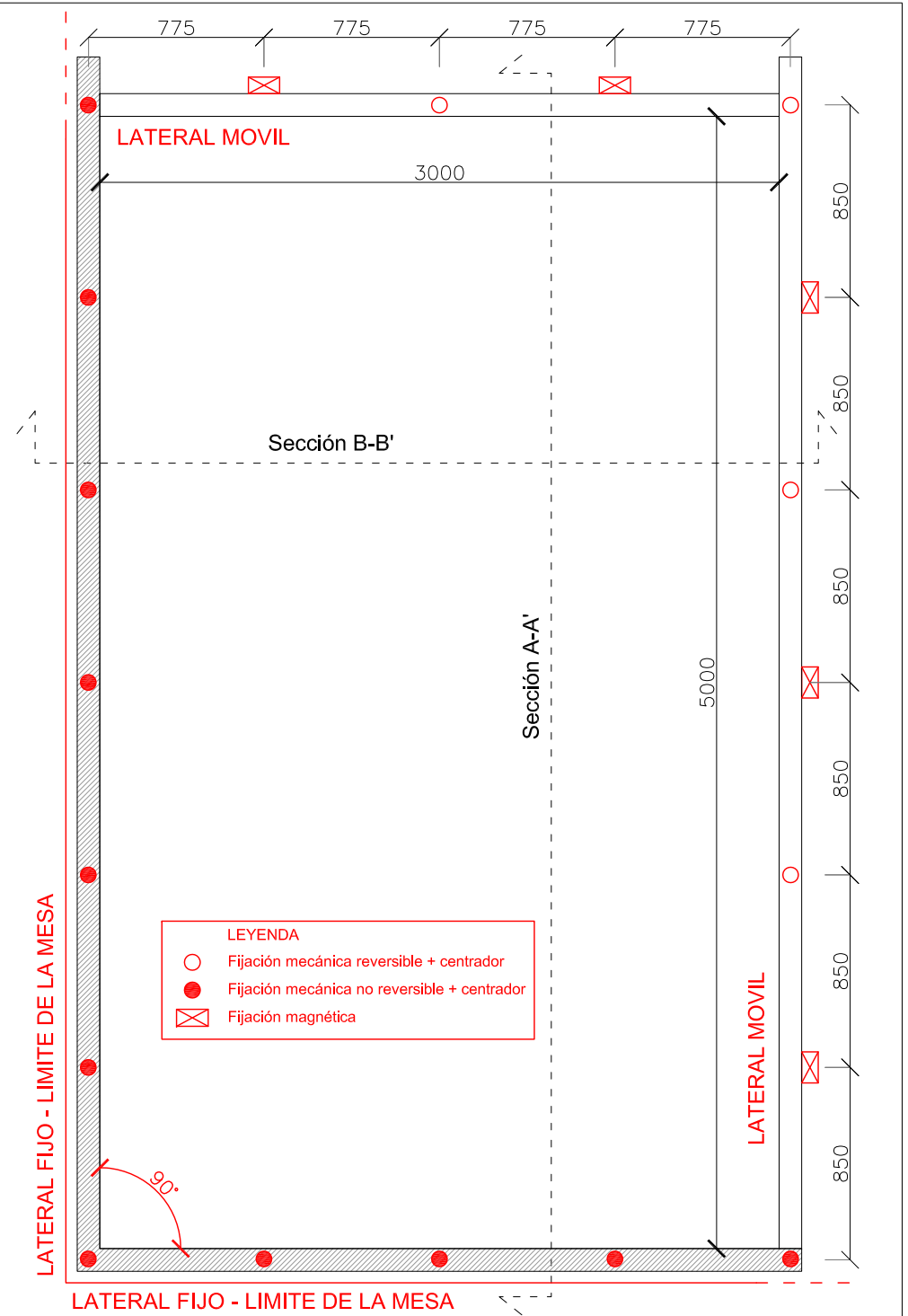
'La clientalización de la forma de los sistemas industrializados de fachada'

Panel 5x3x0,15m

DIN A4 e: 1/30

Plano de fabricación del molde perimetral

1a







LATERAL FIJO (A)

Pasamano calibrado 120.8mm

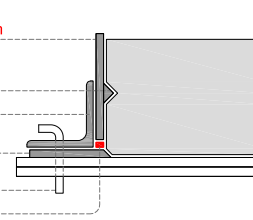
Berenjeno acero 15X15mm

Perfil L70.7mm

Pasamano calibrado 80.8mm

Centrador Ø12

Cinta de sellado



SECCIÓN A-A'

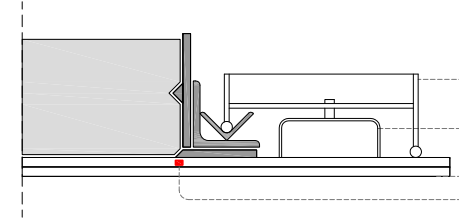
LATERAL MOVIL (A')

Soporte para iman

Iman

Mesa acero 12+12mm

Cinta de sellado



Fijación iman

LATERAL FIJO (A)

Pasamano calibrado 120.8mm

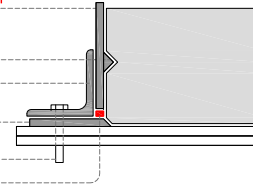
Berenjeno acero 15X15mm

Perfil L70.7mm

Pasamano calibrado 80.8mm

Tornillo M16

Cinta de sellado



SECCIÓN A-A'

LATERAL MOVIL (A')

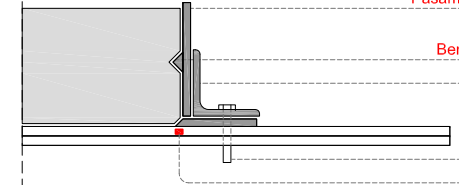
Pasamano calibrado 120.8mm

Berenjeno acero 15x15mm

Perfil L70.7mm

Tornillo M16

Cinta de sellado



Fijación mecánica

LATERAL FIJO (B)

Pasamano calibrado 120.8mm

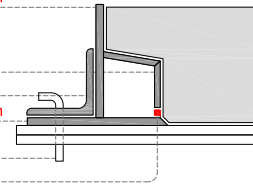
Triple perfil calibrado 6mm

Perfil L70.7mm

Pasamano calibrado 150.8mm

Centrador Ø12

Cinta de sellado



SECCIÓN B-B'

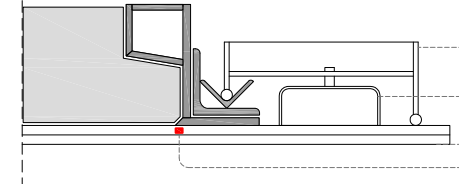
LATERAL MOVIL (B')

Soporte para iman

Iman

Mesa acero 12+12mm

Cinta de sellado



Fijación iman

LATERAL FIJO (B)

Pasamano calibrado 120.8mm

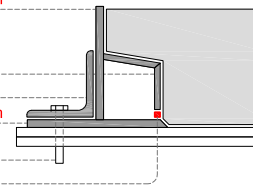
Triple perfil calibrado 6mm

Perfil L70.7mm

Pasamano calibrado 150.8mm

Tornillo M16

Cinta de sellado



SECCIÓN B-B'

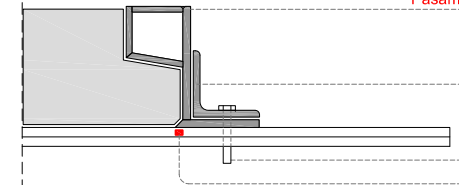
LATERAL MOVIL (B')

Pasamano calibrado 120.8mm

Perfil L70.7mm

Tornillo M16

Cinta de sellado



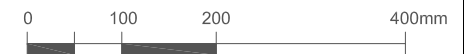
Fijación mecánica

'La dientalización de la forma de los sistemas industrializados de fachada'

Panel 5x3x0,15m

Plano de fabricación del molde perimetral

1b





**ANEXO 3- Tablas de cálculo del PANEL de 2x3m**



## Tabla de los costes de producción de un molde y un panel de 2x3x0,15m

### Distribución de los costes para el 1r PANEL

#### DEFINICIÓN GEOMETRICA DEL MOLDE PERIMETRAL (apartado 4.2.1)

##### Mano de Obra

Reparación superficie mesa encofrado	6,00 m2	5,00 min/m²	0,42 €/min	12,60 €	30 min
<b>Perimetro exterior</b> *Nota: los perfiles se sirven en barras 6ml					
Molde exterior Tipo A					
Corte+soldar Pasamano plano calibrado 8mm visel	2,00 ud	35,00 min/ud	0,42 €/min	29,40 €	70 min
Corte+soldar Pasamano plano calibrado 8mm vertical	2,00 ud	25,00 min/ud	0,42 €/min	21,00	
Corte+soldar Perfil L70 acero negro	2,00 ud	15,00 min/ud	0,42 €/min	12,60 €	30 min
Corte+soldar Berenjeno 15x15mm	2,00 ud	15,00 min/ud	0,42 €/min	12,60 €	30 min
<b>Molde exterior Tipo B</b>					
Corte+soldar Pasamano plano calibrado 8mm visel	1,00 ud	35,00 min/ud	0,42 €/min	14,70 €	35 min
Corte+soldar Pasamano plano calibrado 8mm vertical	1,00 ud	25,00 min/ud	0,42 €/min	10,50	
Corte+soldar Perfil L70 acero negro	1,00 ud	15,00 min/ud	0,42 €/min	6,30 €	15 min
Corte+soldar Tubular 60x60x4mm	1,00 ud	15,00 min/ud	0,42 €/min	6,30 €	15 min
<b>Molde exterior Tipo C</b>					
Corte+soldar Pasamano plano calibrado 8mm visel	1,00 ud	35,00 min/ud	0,42 €/min	14,70 €	35 min
Corte+soldar Pasamano plano calibrado 8mm vertical	1,00 ud	25,00 min/ud	0,42 €/min	10,50	
Corte+soldar Perfil L70 acero negro	1,00 ud	15,00 min/ud	0,42 €/min	6,30 €	15 min
Corte+soldar Tubular 60x60x4mm	1,00 ud	15,00 min/ud	0,42 €/min	6,30 €	15 min
<b>Perimetro interior</b>					
Corte+soldar Perfil Interior	0,00 ud	15,00 min/ud	0,42 €/min	0,00 €	0 min
Corte+soldar Perfil Plano calibrado interior	0,00 ud	15,00 min/ud	0,42 €/min	0,00	
Corte+soldar Berenjeno interior	0,00 ud	10,00 min/ud	0,42 €/min	0,00 €	0 min
<b>TOTAL</b>				<b>163,80 €</b>	<b>290,00 min</b>

##### Material

Reparación superficie mesa encofrado	15,00 m2	-	Kg/ml	0,30 €/m2	4,50 €
<b>Perimetro exterior</b> *Nota: los perfiles se sirven en barras 6ml					
Molde exterior Tipo A					
Pasamano plano calibrado 8mm visel	2,00 ud	3,00 ml	4,15 €/ml	24,90 €	
Pasamano plano calibrado 8mm vertical	2,00 ud	3,00 ml	6,23 €/ml	37,38 €	
Perfil L70 acero negro	2,00 ud	3,00 ml	4,53 €/ml	27,18 €	
Berenjeno 15x15mm	2,00 ud	3,00 ml	4,20 €/ml	25,20 €	
<b>Molde exterior Tipo B</b>					
Pasamano plano calibrado 8mm visel	1,00 ud	2,00 ml	4,15 €/ml	8,30 €	
Pasamano plano calibrado 8mm vertical	1,00 ud	2,00 ml	6,23 €/ml	12,46 €	
Perfil L70 acero negro	1,00 ud	2,00 ml	4,53 €/ml	9,06 €	
Tubular 60x60x4mm	1,00 ud	2,00 ml	4,53 €/ml	9,06 €	

Molde exterior Tipo C					
Pasamano plano calibrado 8mm visel	1,00 ud	2,00 ml	4,15 €/ml	8,30 €	
Pasamano plano calibrado 8mm vertical	1,00 ud	2,00 ml	6,23 €/ml	12,46 €	
Perfil L70 acero negro	1,00 ud	2,00 ml	4,53 €/ml	9,06 €	
Tubular 60x60x4mm	1,00 ud	2,00 ml	4,53 €/ml	9,06 €	
<b>Perimetro interior</b>					
Perfil Interior	0,00 ud	0,00 ml	0,00 €/ml	0,00 €	
Perfil Plano calibrado interior	0,00 ud	0,00 ml	0,00 €/ml	0,00 €	
Berenjeno interior	0,00 ud	0,00 ml	0,00 €/ml	0,00 €	
<b>TOTAL</b>				<b>196,92 €</b>	

#### REPLANTEO DE LOS MOLDES PERIMETRALES SOBRE LA MESA DE HORMIGONADO (apartado 4.2.2)

<b>Mano de Obra</b>						
<b>Perimetro exterior</b>						
Replanteo Perimetro exterior	10,00 ml	12,00 min/m	0,42 €/min	50,40 €	120 min	
<b>Perimetro interior</b>						
Replanteo Perimetro interior	0,00 ml	12,00 min/m	0,42 €/min	0,00 €	0 min	
<b>TOTAL</b>				<b>50,40 €</b>	<b>120,00 min</b>	

<b>Material</b>						
<b>Perimetro exterior</b>						
Replanteo Perimetro exterior	10,00 ud	1,00 ud/m	0,02 €/ud	0,20 €		
<b>Perimetro interior</b>						
Replanteo Perimetro interior	0,00 ud	1,00 ud/m	0,02 €/ud	0,00 €		
<b>TOTAL</b>				<b>0,20 €</b>		

#### ENSAMBLAJE DE LOS MOLDES PERIMETRALES (apartado 4.2.3)

<b>Mano de Obra</b>						
<b>Perimetro exterior</b>						
Ensamblaje Perimetro exterior	4,00 ud	50,00 min/ud	0,41 €/min	82,00 €	200 min	
<b>Perimetro interior</b>						
Ensamblaje Perimetro interior	0,00 ud	35,00 min/ud	0,41 €/min	0,00 €	0 min	
<b>TOTAL</b>				<b>82,00 €</b>	<b>200 min</b>	

<b>Material</b>						
<b>Perimetro exterior</b>						
Ensamblaje Perimetro exterior	4,00 ud		3,50 €/ud	14,00 €		
<b>Perimetro interior</b>						
Ensamblaje Perimetro interior	0,00 ud		3,50 €/ud	0,00 €		
<b>TOTAL</b>				<b>14,00 €</b>		

#### FIJACIÓN DE LOS MOLDES PERIMETRALES SOBRE LA MESA (apartado 4.2.4)

##### Mano de Obra

###### Perimetro exterior

Fijación mecanica Perimetro exterior	6,00 ud	35,00 min/ud	0,42 €/min	88,20 €	210 min
Fijación magnetica Perimetro exterior	6,00 ud	20,00 min/ud	0,42 €/min	50,40 €	120 min
Sellado perfiles	10,00 ml	0,50 min/m	0,42 €/min	2,10 €	5 min

###### Perimetro interior

Fijación mecanica Perimetro interior	0,00 ud	35,00 min/ud	0,42 €/min	0,00 €	0 min
Fijación magnetica Perimetro interior	0,00 ud	11,00 min/ud	0,42 €/min	0,00 €	0 min
Sellado perfiles	0,00 ml	0,50 min/m	0,42 €/min	0,00 €	0 min

**TOTAL** **140,70 €** **335 min**

##### Material

###### Perimetro exterior

Fijación mecanica Perimetro exterior	6,00 ud	0,35 €/ud	2,10 €
Fijación magnetica Perimetro exterior	6,00 ud	1,80 €/ud	10,80 €
Cinta de sellado	10,00 ml	0,05 €/m	0,50 €

###### Perimetro interior

Fijación mecanica Perimetro interior	0,00 ud	0,35 €/ud	0,00 €
Fijación magnetica Perimetro interior	0,00 ud	1,80 €/ud	0,00 €
Cinta de sellado	0,00 ml	0,05 €/m	0,00 €

**TOTAL** **13,40 €**

#### PRODUCCIÓN

#### APLICACIÓN DE LOS DESENCOFRANTES (apartado 4.2.5)

##### Mano de Obra

Mesa de hormigonado	6,00 m2	1,00 min/m <sup>2</sup>	0,42 €/min	2,52 €	6 min
---------------------	---------	-------------------------	------------	--------	-------

###### Perimetro exterior

Desencofrante	10,00 ml	1,00 min/m	0,42 €/min	4,20 €	10 min
---------------	----------	------------	------------	--------	--------

###### Perimetro interior

Desencofrante	0,00 ml	1,00 min/m	0,42 €/min	0,00 €	0 min
---------------	---------	------------	------------	--------	-------

**TOTAL** **6,72 €** **16 min**

##### Material

Mesa de hormigonado	6,00 m2	0,10 €/m <sup>2</sup>	0,60 €
---------------------	---------	-----------------------	--------

###### Perimetro exterior

Desencofrante	10,00 ml	0,05 €/m	0,50 €
---------------	----------	----------	--------

###### Perimetro interior

Desencofrante	0,00 ml	0,05 €/m	0,00 €
---------------	---------	----------	--------

**TOTAL** **1,10 €**

**ARMADO INTERIOR PANEL (apartado 4.2.6)****Mano de Obra**

Armado	6,00 m <sup>2</sup>	5,00 min/m <sup>2</sup>	0,42 €/min	12,60 €	30 min
<b>TOTAL</b>				<b>12,60 €</b>	<b>62 min</b>

**Material**

Armado	6,00 m <sup>2</sup>	2,00 kg/m <sup>2</sup>	1,00 €/kg	12,00	
<b>TOTAL</b>				<b>12,00 €</b>	

**AMASADO Y VERTIDO (apartado 2.2.7)****Mano de Obra**

<b>Amasado</b>					
Hormigón	0,90 m <sup>3</sup>	15,00 min/m <sup>3</sup>	0,84 €/min	11,34 €	13,5 min
<b>Vertido</b>					
Hormigón	15,00 m <sup>2</sup>	0,40 min/m <sup>2</sup>	1,68 €/min	10,08 €	6 min
<b>TOTAL</b>				<b>21,42 €</b>	<b>19,5 min</b>

**Material**

<b>Amasado</b>					
Hormigón	0,90 m <sup>3</sup>	2,30 T/m <sup>3</sup>	30,00 €/T	62,10 €	
<b>TOTAL</b>				<b>62,10 €</b>	

**DESMONTAJE DE LOS MOLDES PERIMETRALES (apartado 4.2.8)****Mano de Obra**

<b>Perimetro exterior</b>					
Extracción Fijación mecanica Perimetro exterior	6,00 ud	2,00 min/ud	0,42 €/min	5,04 €	12 min
Extracción Fijación magnetica Perimetro exterior	6,00 ud	1,00 min/ud	0,42 €/min	2,52 €	6 min
Desmontaje 3 molde Perimetral Exterior	3,00 ud	5,00 min/ud	0,84 €/min	12,60 €	15 min
<b>Perimetro interior</b>					
Extracción Fijación mecanica Perimetro interior	0,00 ud	2,00 min/ud	0,42 €/min	0,00 €	0 min
Extracción Fijación magnetica Perimetro interior	0,00 ud	1,00 min/ud	0,42 €/min	0,00 €	0 min
Desmontaje molde Perimetral Exterior	0,00 ud	5,00 min/ud	0,84 €/min	0,00 €	0 min
<b>TOTAL</b>				<b>20,16 €</b>	<b>33 min</b>

**DESMOLDEO, ELEVACIÓN Y ACOPIO (apartado 4.2.9)****Mano de Obra**

<b>Desmoldeo</b>					
Panel	1,00 ud	10,00 min/ud	1,26 €/min	12,60 €	10 min
<b>Elevación</b>					
Panel	1,00 ud	5,00 min/ud	1,26 €/min	6,30 €	5 min
<b>Acopio</b>					
Panel	1,00 ud	5,00 min/ud	1,26 €/min	6,30 €	5 min
<b>TOTAL</b>				<b>25,20 €</b>	<b>15 min</b>



## Distribución de los costes para la REPETICIÓN DE UN PANEL

### OPERACIONES para 1a REPETICIÓN (apartado 4.2.10)

#### ENSAMBLAJE DE LOS MOLDES PERIMETRALES SOBRE LA MESA

##### Mano de Obra

##### Perimetro exterior

Ensamblaje Perimetro exterior	4,00 ud	15,00 min/ud	0,42 €/min	25,20 €	60 min
-------------------------------	---------	--------------	------------	---------	--------

##### Perimetro interior

Ensamblaje Perimetro exterior	0,00 ud	10,00 min/ud	0,42 €/min	0,00 €	0 min
-------------------------------	---------	--------------	------------	--------	-------

<b>TOTAL</b>				<b>25,20 €</b>	<b>60 min</b>
--------------	--	--	--	----------------	---------------

##### Material

##### Perimetro exterior

Ensamblaje Perimetro exterior	4,00 ud		0,40 €/ud	1,60 €	
-------------------------------	---------	--	-----------	--------	--

##### Perimetro interior

Ensamblaje Perimetro exterior	0,00 ud		0,40 €/ud	0,00 €	
-------------------------------	---------	--	-----------	--------	--

<b>TOTAL</b>				<b>1,60 €</b>	
--------------	--	--	--	---------------	--

#### FIJACIÓN DE LOS MOLDES PERIMETRALES SOBRE LA MESA

##### Mano de Obra

##### Perimetro exterior

Fijación mecanica Perimetro exterior	6,00 ud	5,00 min/ud	0,42 €/min	12,60 €	30 min
--------------------------------------	---------	-------------	------------	---------	--------

Fijación magnetica Perimetro exterior	6,00 ud	4,00 min/ud	0,42 €/min	10,08 €	24 min
---------------------------------------	---------	-------------	------------	---------	--------

Sellado perfiles	10,00 ml	0,50 min/m	0,42 €/min	2,10 €	5 min
------------------	----------	------------	------------	--------	-------

##### Perimetro interior

Fijación mecanica Perimetro interior	0,00 ud	5,00 min/ud	0,42 €/min	0,00 €	0 min
--------------------------------------	---------	-------------	------------	--------	-------

Fijación magnetica Perimetro interior	0,00 ud	4,00 min/ud	0,42 €/min	0,00 €	0 min
---------------------------------------	---------	-------------	------------	--------	-------

Sellado perfiles	0,00 ml	0,35 min/m	0,42 €/min	0,00 €	0 min
------------------	---------	------------	------------	--------	-------

<b>TOTAL</b>				<b>24,78 €</b>	<b>59 min</b>
--------------	--	--	--	----------------	---------------

##### Material

##### Perimetro exterior

Fijación mecanica Perimetro exterior	6,00 ud		0,04 €/ud	0,24 €	
--------------------------------------	---------	--	-----------	--------	--

Fijación magnetica Perimetro exterior	6,00 ud		0,04 €/ud	0,24 €	
---------------------------------------	---------	--	-----------	--------	--

Cinta de sellado	10,00 ml		0,05 €/m	0,45 €	
------------------	----------	--	----------	--------	--

##### Perimetro interior

Fijación mecanica Perimetro interior	0,00 ud		0,04 €/ud	0,00 €	
--------------------------------------	---------	--	-----------	--------	--

Fijación magnetica Perimetro interior	0,00 ud		0,04 €/ud	0,00 €	
---------------------------------------	---------	--	-----------	--------	--

Cinta de sellado	0,00 ml		0,05 €/m	0,00 €	
------------------	---------	--	----------	--------	--

<b>TOTAL</b>				<b>0,93 €</b>	
--------------	--	--	--	---------------	--

**DESMONTAJE DE LOS MOLDES PERIMETRALES****Mano de Obra****Perimetro exterior**

Extracción Fijación mecanica Perimetro exterior	6,00 ud	2,00 min/ud	0,42 €/min	5,04 €	12 min
Extracción Fijación magnetica Perimetro exterior	6,00 ud	1,00 min/ud	0,42 €/min	2,52 €	6 min
Desmontaje 3 molde Perimetral Exterior	3,00 ud	5,00 min/ud	0,84 €/min	12,60 €	15 min

**Perimetro interior**

Extracción Fijación mecanica Perimetro interior	0,00 ud	2,00 min/ud	0,42 €/min	0,00 €	0 min
Extracción Fijación magnetica Perimetro interior	0,00 ud	1,00 min/ud	0,42 €/min	0,00 €	0 min
Desmontaje molde Perimetral Exterior	0,00 ud	5,00 min/ud	0,84 €/min	0,00 €	0 min

**TOTAL****20,16 € 33 min**

## RESUMEN de la distribución de los costes (2x3x0,15m)

### RESUMEN DE COSTES 1r PANEL

Mano de Obra		523,00 €	
Material		299,72 €	
<b>TOTAL COSTES DIRECTOS</b>		<b>822,72 €</b>	
<b>COSTES INDIRECTOS 30-40%</b>	30%	246,82 €	
<b>COSTE FINAL</b>		<b>1.069,54 €</b>	
Repercusión		71,30 €/m <sup>2</sup>	

### DEFINICIÓN DE LA FORMA. Coste M.O. y Mat. 681,58 € 82,84%

- 1- Definición geométrica del molde perimetral
- 2- Replanteo de los moldes perimetrales
- 3- Ensamblaje de los moldes perimetrales
- 4- Fijación de los moldes perimetrales
- 5- Desmontaje de los moldes perimetrales

			Parcial	Global
<i>Mano de Obra</i>	<b>457,06 €</b>	67,1%	55,6%	
<i>Material</i>	<b>224,52 €</b>	32,9%	27,3%	

### CONFORMACION DEL PANEL. Coste M.O. y Mat. 141,14 € 17,16%

- 1- Aplicación de los desencofrantes
- 2- Armado interior panel
- 3- Amasado y vertido
- 4- Desmoldeo, elevación y acopio

			Parcial	Global
<i>Mano de Obra</i>	<b>65,94 €</b>	46,7%	8,0%	
<i>Material</i>	<b>75,20 €</b>	53,3%	9,1%	

### RESUMEN DE COSTES REPETICIÓN PANEL

Mano de Obra		136,08 €	
Material		77,73 €	
<b>TOTAL COSTES DIRECTOS</b>		<b>213,81 €</b>	
<b>COSTES INDIRECTOS 30-40%</b>	30%	64,14 €	
<b>COSTE FINAL</b>		<b>277,95 €</b>	
Repercusión		18,53 €/m <sup>2</sup>	

### DEFINICIÓN DE LA FORMA. Coste M.O. y Mat. 72,67 € 33,99%

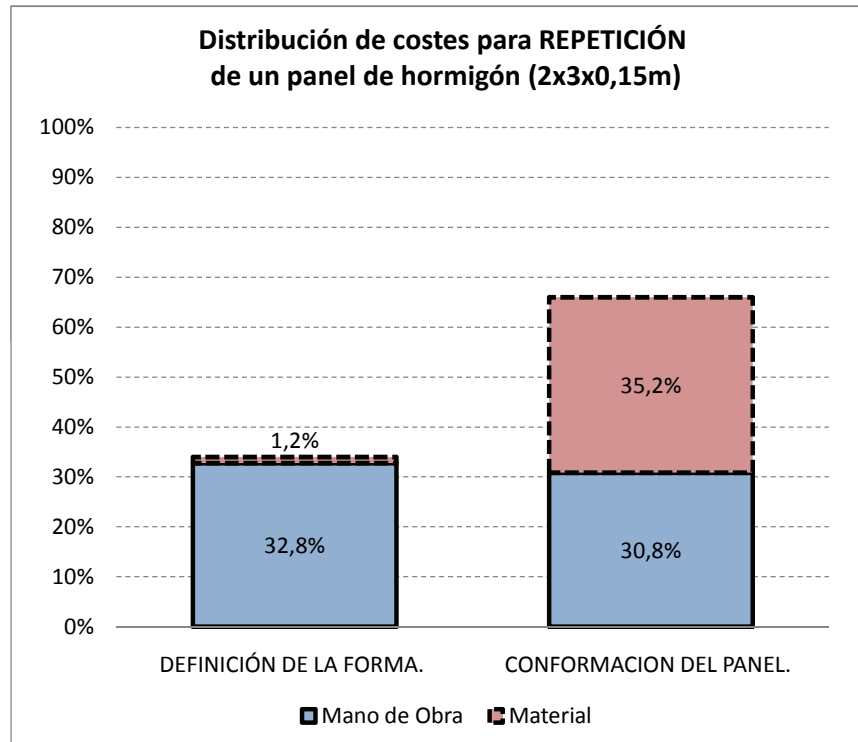
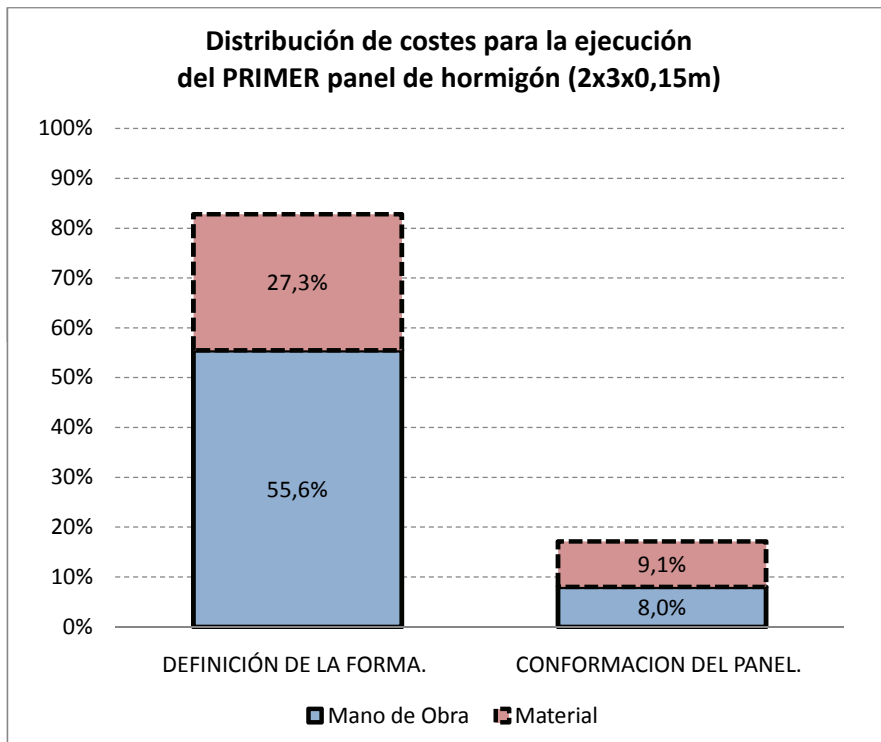
- 3- Ensamblaje de los moldes perimetrales
- 4- Fijación de los moldes perimetrales
- 5- Desmontaje de los moldes perimetrales

			Parcial	Global
<i>Mano de Obra</i>	<b>70,14 €</b>	96,5%	32,8%	
<i>Material</i>	<b>2,53 €</b>	3,5%	1,2%	

### CONFORMACION DEL PANEL. Coste M.O. y Mat. 141,14 € 66,01%

- 1- Aplicación de los desencofrantes
- 2- Armado interior panel
- 3- Amasado y vertido
- 4- Desmoldeo, elevación y acopio

			Parcial	Global
<i>Mano de Obra</i>	<b>65,94 €</b>	46,7%	30,8%	
<i>Material</i>	<b>75,20 €</b>	53,3%	35,2%	



## Resumen de costes de producción de un molde y un panel de 2x3x0,15m

	Serie BASE	Serie 1	Serie 2	Serie 3	Serie 4	Serie 5
<b>Mano de Obra</b>	84,28%	86,26%	82,98%	77,51%	70,70%	67,06%
<b>Material</b>	15,72%	13,74%	17,02%	22,49%	29,30%	32,94%

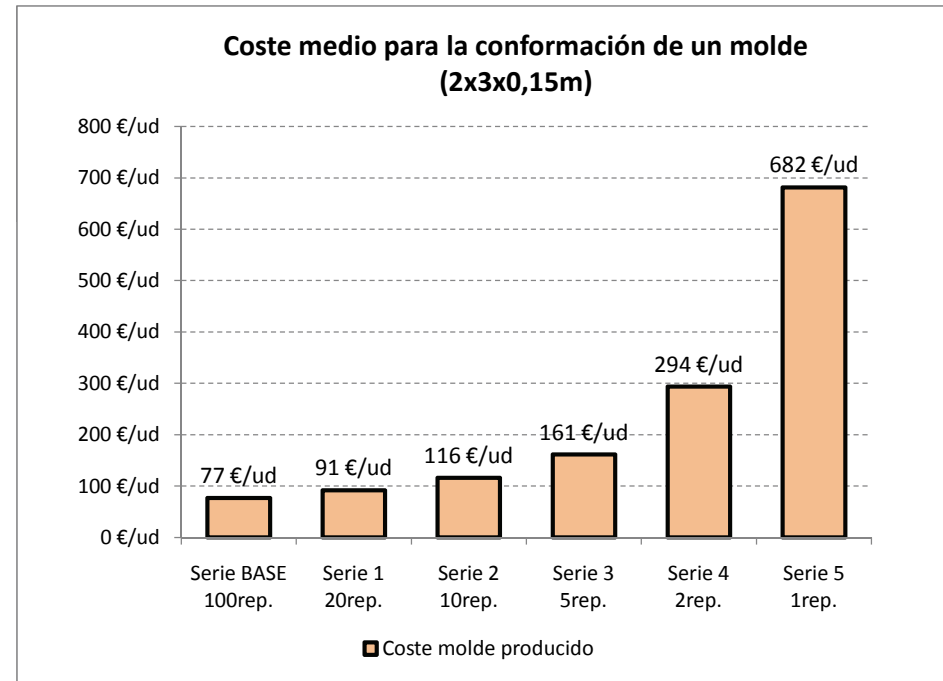
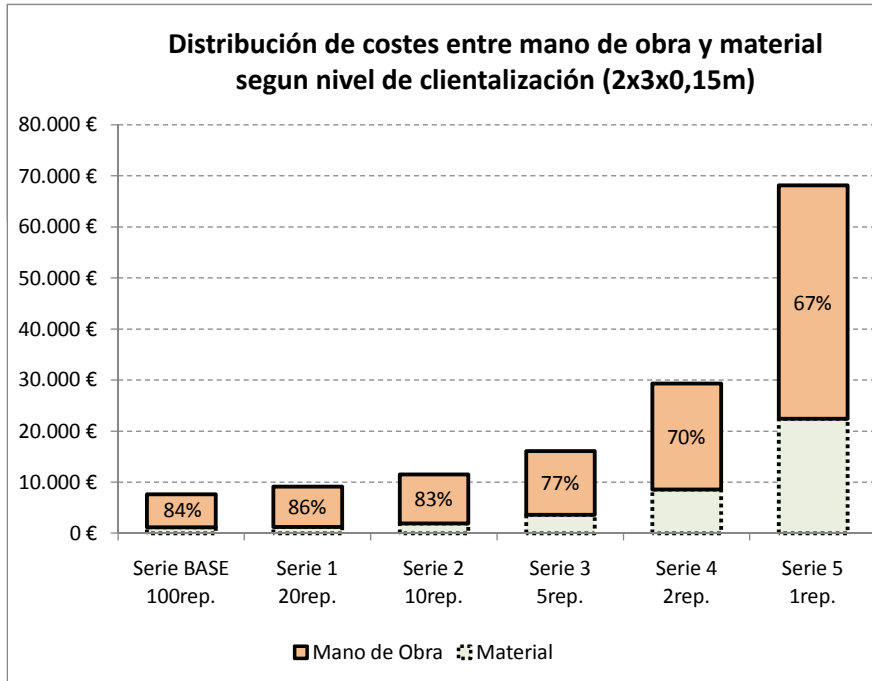
	Serie BASE 100rep.	Serie 1 20rep.	Serie 2 10rep.	Serie 3 5rep.	Serie 4 2rep.	Serie 5 1rep.
<b>Coste total</b>	7.666 €	9.149 €	11.571 €	16.124 €	29.363 €	68.158 €
<b>Mano de Obra</b>	6.461 €	7.892 €	9.602 €	12.497 €	20.761 €	45.706 €
<b>Material</b>	1.205 €	1.257 €	1.969 €	3.626 €	8.602 €	22.452 €

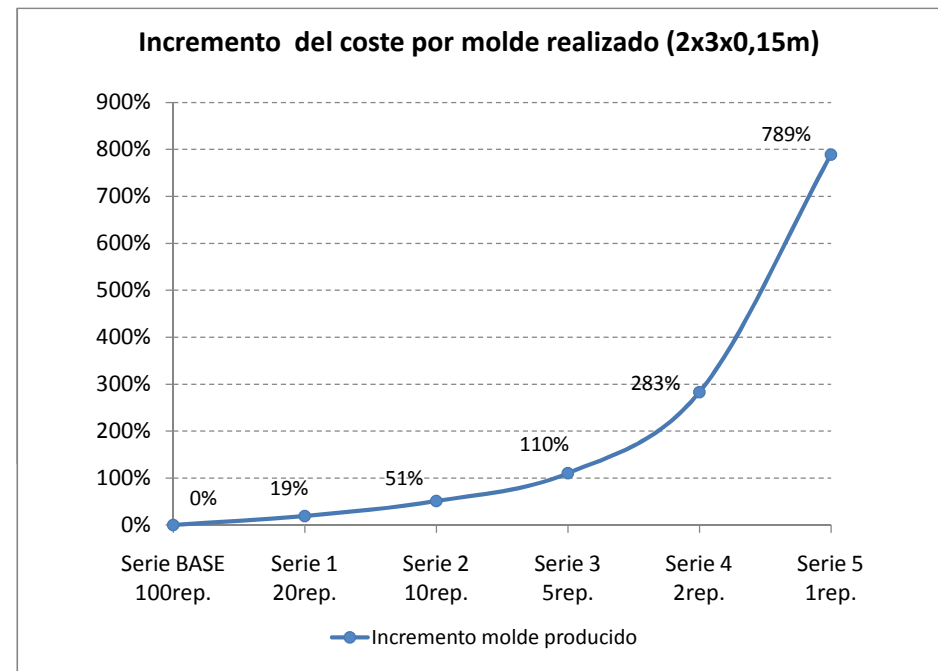
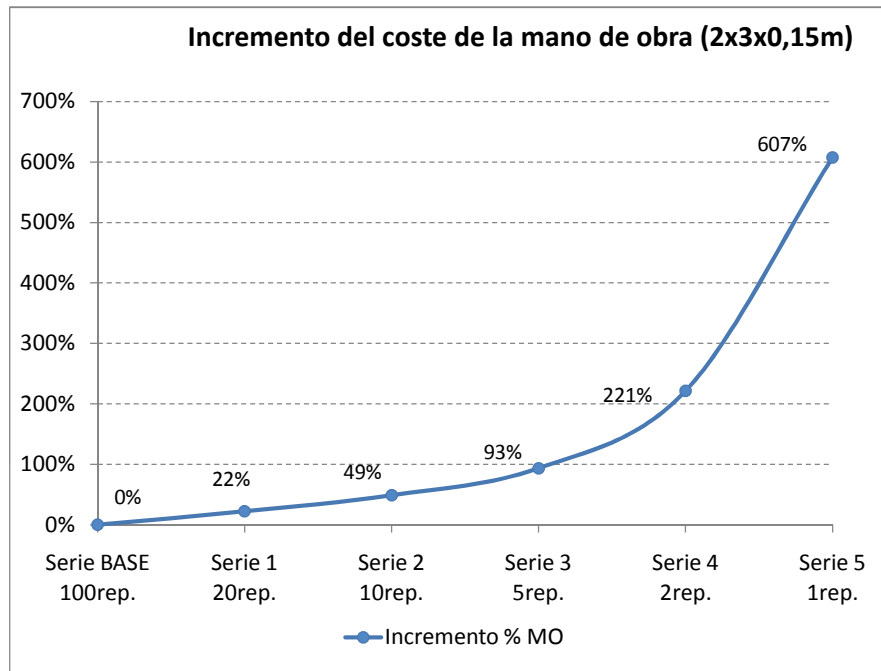
  

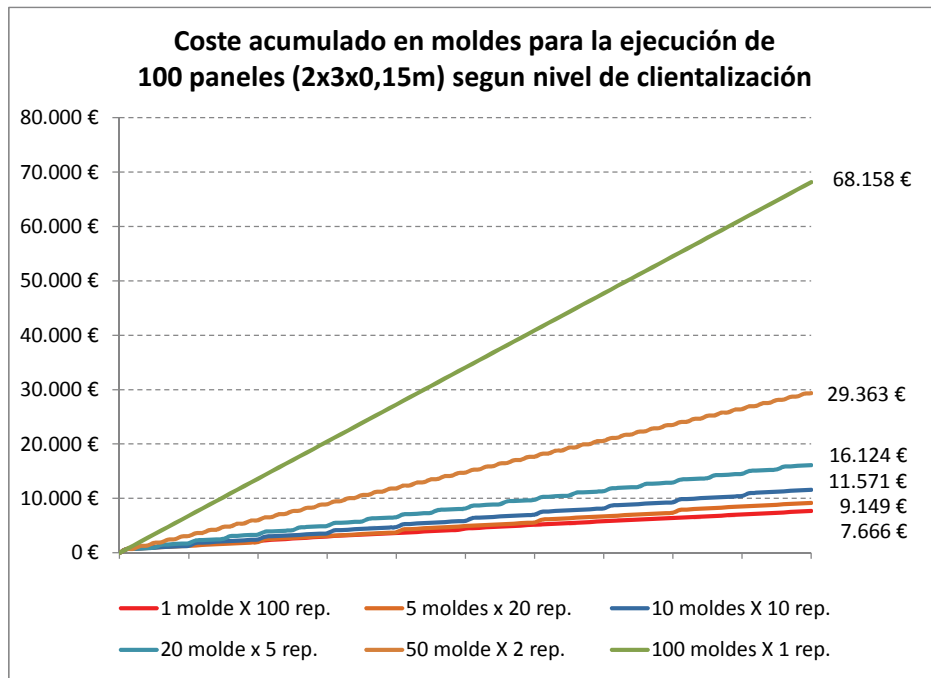
<b>Incremento % MO</b>	0,00%	22,15%	48,62%	93,42%	221,33%	607,41%
<b>Incremento % MA</b>	0,00%	4,27%	63,37%	200,88%	613,74%	1762,89%

<b>Coste molde producido</b>	77 €/ud	91 €/ud	116 €/ud	161 €/ud	294 €/ud	682 €/ud
<b>Incremento molde producido</b>	0,00%	19,34%	50,94%	110,32%	283,02%	789,06%











**ANEXO 4- Documentación grafica del molde del PANEL de 2x3m**



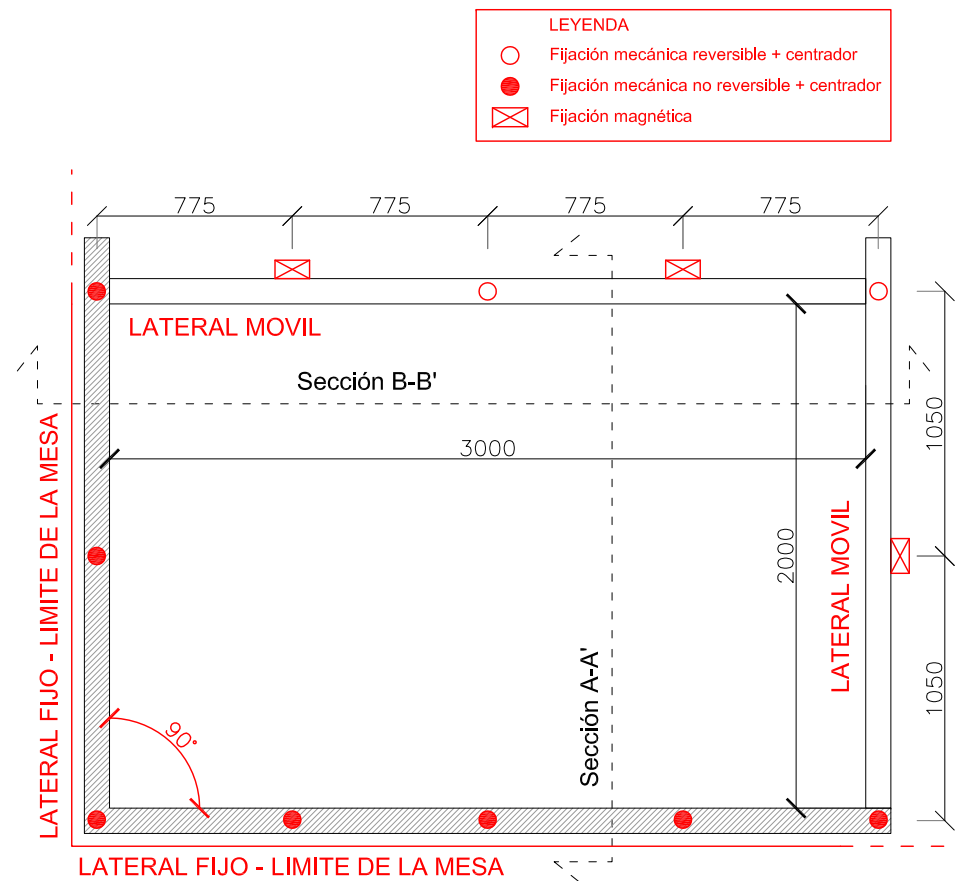
'La clientalización de la forma de los sistemas industrializados de fachada'

Panel 2x3x0,15m

DIN A4 e: 1/30

Plano de fabricación del molde perimetral

2a





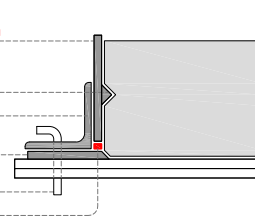
LATERAL FIJO (A)

Pasamano calibrado 120.8mm

Berenjeno acero 15X15mm  
Perfil L70.7mm

Pasamano calibrado 80.8mm

Centrador Ø12  
Cinta de sellado



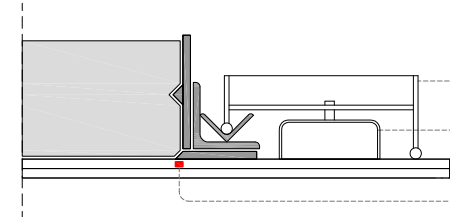
SECCIÓN A-A'

LATERAL MOVIL (A)

Soporte para iman

Iman

Mesa acero 12+12mm  
Cinta de sellado



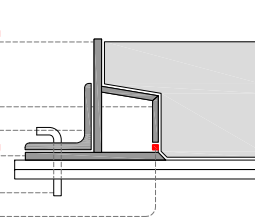
Fijación iman

LATERAL FIJO (B)

Pasamano calibrado 120.8mm

Triple perfil calibrado 6mm  
Perfil L70.7mm  
Pasamano calibrado 150.8mm

Centrador Ø12  
Cinta de sellado



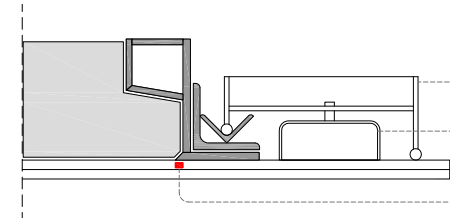
SECCIÓN B-B'

LATERAL MOVIL (B)

Soporte para iman

Iman

Mesa acero 12+12mm  
Cinta de sellado



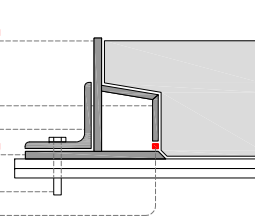
Fijación iman

LATERAL FIJO (B)

Pasamano calibrado 120.8mm

Triple perfil calibrado 6mm  
Perfil L70.7mm  
Pasamano calibrado 150.8mm

Tornillo M16  
Cinta de sellado



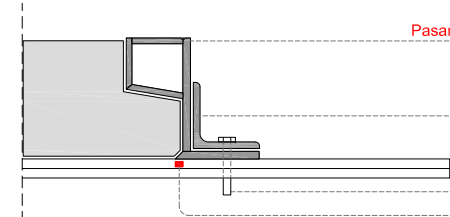
SECCIÓN B-B'

LATERAL MOVIL (B)

Pasamano calibrado 120.8mm

Perfil L70.7mm

Tornillo M16  
Cinta de sellado



Fijación mecánica

'La cidentalización de la forma de los sistemas industrializados de fachada'

Panel 2x3x0,15m

DIN A4 Esc. Graf.

2b

Plano de fabricación del molde perimetral





## **DESARROLLO 5**

**Análisis del coste-variación dimensional para la conformación del bastidor de un componente tipo *Unitized* para fachada ligera**





## 5 Análisis del coste-variación dimensional para la conformación de un bastidor para un componente Unitized de fachada ligera

### 5.1 Contexto del análisis

Para el análisis del incremento de los costes relativos a la variabilidad de la forma de un componente *Unitized* de fachada ligera se han considerado las siguientes operaciones necesarias para conformar el bastidor principal:

- a. *Corte de los semiproductos lineales a la longitud deseada*
- b. *Mecanizado de los perfiles*
- c. *Retestado de perfiles*
- d. *Ensamblaje de los perfiles*
- e. *Sellado de las esquinas*

Una vez conformado el primer componente, debemos de considerar aquellas operaciones que nos permitan desarrollar las múltiples repeticiones de la serie de producción.

A diferencia de lo que sucede con la producción de los componentes de hormigón la conformación del bastidor no será amortizado como lo sería el molde perimetral y por lo tanto no tiene sentido pensar en un grupo de operaciones para la repetición de los elementos de la serie. En este caso, todos los bastidores serán utilizados para conformar componentes.



Fig.D5.1. Geometría del bastidor analizado. Ver detalles Anexo 6.

### 5.1.1 Objetivo

Determinar la importancia del coste asociado a la variabilidad de la forma de los bastidores principales para conformar componentes *Unitized* dentro de una misma serie de producción.

- *El análisis no pretende cuantificar los costes exactos de producción de un bastidor sino medir la variación porcentual entre series de producción caracterizadas por diferentes niveles de clientalización.*

### 5.1.2 Objeto analizado

Los cálculos realizados para determinar la importancia del coste asociado a la variabilidad de la forma de los bastidores planos se han basado en las siguientes geometrías:

- **La geometría del componente:** marco perimetral de 3x1,5 m de perfiles de aluminio con dos perfiles intermedios de 1,5 m unidos a los perfiles de 3 m, según geometría indicada en la figura D5.1 (ver detalles en el Anexo 6)

## 5.2 El modelo de producción y las operaciones analizadas

Para el análisis de los costes asociados a la clientalización de la forma de los bastidores se ha considerado un contexto de producción industrial actual que utiliza sistemas de gestión CAD-CAM en las operaciones de corte, mecanizado y retestado de los perfiles.

Los cálculos se han realizado en base a costes de mano de obra y material utilizados en empresas especializadas en la conformación de sistemas para fachada ligera tipo *Unitized*, representando los COSTES DIRECTOS.

Los costes de la maquinaria necesaria para la ejecución de las operaciones de ejecución de un panel se han considerado como COSTES INDIRECTOS.

Para analizar el *coste*<sup>1</sup> de la clientalización de la forma se han considerado las siguientes operaciones:

### 5.2.1 Corte de los semiproductos lineales a la longitud deseada

Incluye los costes de mano de obra y material utilizado para las operaciones del corte de los perfiles de aluminio a la longitud deseada.

Para realizar estas operaciones se ha considerado una maquina de corte por CNC (Fig.D5.2 y D5.3) de doble cabezal y un solo operario, con las siguientes operaciones:

- Programación de la máquina de corte según longitud de perfil y tipo de corte  
(La programación de la máquina de corte se realiza tan solo una vez por serie de corte. Todos perfiles de igual longitud se cortaran de forma seguida).
- Colocación del perfil sobre la máquina
- Tiempo de corte

---

<sup>1</sup> Los cálculos detallados pueden verse en el Anexo 5 del presente desarrollo 'Tablas de cálculo del bastidor de 1.500x3.000mm



Fig.D5.2. Máquina de corte de doble cabeza. Empresa Folcrá



Fig.D5.3. Máquina de corte de doble cabeza. Empresa Folcrá

*-Colocación del perfil en banco de acopio*

Con el siguiente resultado:

<i>-Coste de la mano de obra</i>	<i>4,95 €</i>
<i>-Coste del material</i>	<i>128,10 €</i>

### **5.2.2 Mecanizado de los perfiles**

El mecanizado de los perfiles se realizará en un centro de mecanizado (Fig.D5.4). Como sabemos estas operaciones son de vital importancia para facilitar las operaciones de ensamblaje de los perfiles.

Se han considerado las siguientes operaciones:

*-Programación del centro de mecanizado.*

(Del mismo modo que sucedía con la programación de la máquina de corte, esta se realiza tan solo una vez por serie de mecanizado. Todos perfiles de igual mecanizado se realizan de forma seguida.

*-Colocación del perfil sobre la máquina*

*-Tiempo de mecanizado*

*-Colocación del perfil en banco de acopio*

Con el siguiente resultado:

<i>-Coste de la mano de obra</i>	<i>10,89 €</i>
<i>-Coste del material</i>	<i>0 €</i>



Fig.D5.4. Máquina de corte de doble cabeza. Empresa Folcrá

### 5.2.3 Retestado de perfiles

El retestado de los perfiles intermedios del bastidor analizado se realizará también en un centro de retestado por CNC (Fig. D5.5).

Considerando las siguientes operaciones:

- Programación del centro de retestado.  
(De igual modo en las anteriores operaciones)
- Colocación del perfil sobre la máquina
- Tiempo de retestado
- Colocación del perfil en banco de acopio

Con el siguiente resultado:

- Coste de la mano de obra                      4,29 €
- Coste del material                                0 €

### 5.2.4 Ensamblaje de los perfiles

Una vez los perfiles han sido cortados, mecanizados y retestados, se replantean sobre los bancos de montaje y se inician las operaciones de pre-ensamblaje y ensamblaje del bastidor.

Puesto que en nuestro caso el ensamblaje se realizará de forma manual (que como ya hemos visto en el capítulo 4 permite una mayor flexibilidad geométrica del bastidor) las operaciones de pre-ensamblaje y ensamblaje no las vamos a diferenciar.

En este grupo de operaciones se incorporan las escuadras y la tornillería necesaria (Fig.D5.6).



Fig.D5.5. Máquina de corte de doble cabeza. Empresa Folcrá

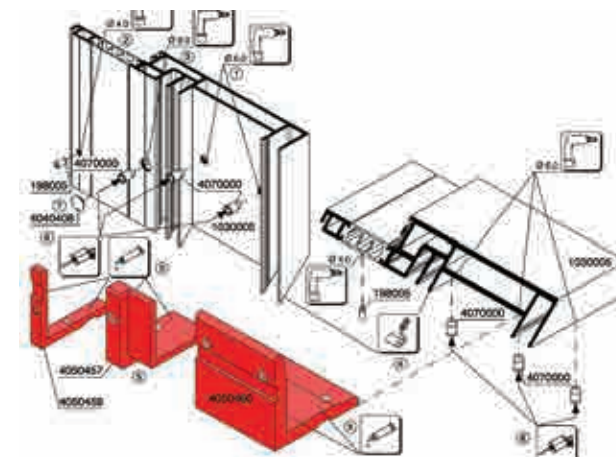


Fig.D5.6. Escuadras para el ensamblaje de perfiles.  
Wicona Mod. WITEC EL60



Fig.D5.7. Identificación de perfiles mediante numeración

Se han considerado las siguientes operaciones:

- Colocación y replanteo de los perfiles sobre el banco de montaje (D5.7)
- Montaje de las escuadras y tornillería
- Ensamblaje del bastidor
- Colocación del bastidor a banco de acopio

Con el siguiente resultado:

- |                           |         |
|---------------------------|---------|
| -Coste de la mano de obra | 31,35 € |
| -Coste del material       | 2,44 €  |

### 5.2.5 Sellado de los encuentros entre perfiles del bastidor

Estas operaciones se realizan de forma manual debido a la elevada dificultad de colocar correctamente el material de sellado en la intersección de los perfiles (Fig. D5.8).

Se han considerado las siguientes operaciones:

- Sellado manual de todas las uniones entre perfiles
- Colocación del bastidor a banco de acopio

Con el siguiente resultado:

- |                           |         |
|---------------------------|---------|
| -Coste de la mano de obra | 13,20 € |
| -Coste del material       | 0,80 €  |



Fig.D5.8. Sellado manual de las esquinas del bastidor.

### 5.2.6 Colocación de las gomas de estanqueidad

Tanto las operaciones de colocación como las propias gomas para la estanqueidad (Fig.D5.9) no se han considerado en este cálculo ya que es un elemento común en cualquier serie de producción y no influye en el coste de la variabilidad de la forma del bastidor.

NOTA: como puede verse en el *Capítulo 6* donde se analiza el '*El coste de la clientalización*' si que se han considerado ya que caracteriza el sistema de la propuesta presentándose como alternativa a los sistemas convencionales de sellado de los paneles de hormigón.

### 5.3 Los escenarios de clientalización analizados

Para el análisis de los costes asociados a la variabilidad de la forma o clientalización de un bastidor se han planteado cuatro escenarios distintos de producción diferenciados por la repetitividad de los paneles con un mismo objetivo:

- **La producción de 100 bastidores de aluminio<sup>2</sup>**

Puesto que la finalidad del análisis no es cuantificar con exactitud el coste real de las operaciones sino los incrementos porcentuales en función de la variabilidad de los bastidores dentro de una serie de producción, se ha definido un primer escenario llamado SERIE BASE de cálculo sobre el cual mediremos los incrementos de los costes.

La SERIE BASE se caracteriza por la máxima repetición de los bastidores en la serie.

---

<sup>2</sup> La geometría del panel queda descrita en el apartado '2.1.2- Objeto analizo' del presente desarrollo



Fig.D5.9. Sellado manual de las esquinas del bastidor.  
Empresa Folcrá



A partir de la SERIE BASE se han desarrollado el resto de series donde cada una describe un nivel distinto de clientalización resumidos en la siguiente tabla:

<b>Conformación de bastidores planos del sistema Unitized</b>			
<b>SERIES</b>	<b>Bastidores distintos</b>	<b>Repeticiones</b>	<b>Clientalización</b>
Serie BASE-0	1 ud	100 uds	BAJA
Serie 1	5 uds	20 uds	 <b>ALTA</b>
Serie 2	10 uds	10 uds	
Serie 3	100 uds	1 ud	

*\*NOTA SOBRE LAS SERIES: Para conseguir el objetivo común, los 100 bastidores de aluminio, la primera plantea la conformación de 5 bastidores distintos repetidos 20 veces; la serie 2 desarrolla la conformación de 10 bastidores distintos repetidos 10 veces, etc... hasta llegar al último caso, serie 3, que aunque no sea representativa de un caso real plantea teóricamente la máxima clientalización en una serie de producción, donde cada bastidor es distinto al anterior.*

### **5.3.1 Criterios de cálculo**

Para realizar los cálculos de las distintas series de producción se ha tomado como valores de referencia los costes obtenidos en el apartado '5.2.-El modelo de producción y las operaciones analizadas' del presente desarrollo como costes para la producción de 1 bastidor.

Consideraciones:



- I. Puesto que serian infinitas las posibilidades geométricas de los bastidores para incluirlas en las distintas series de clientalización, se ha tomado la decisión de trabajar siempre con el mismo bastidor tipo (*Anexo 6.- Documentación grafica del bastidor de 1.500x3.000mm*).
- II. Por otro lado es evidente que los costes de fabricación de un bastidor de mayor dimensiones supondría un coste mayor pero estos valores son serian útiles para el objetivo del presente estudio ya que este analiza el aumento del coste en función de la variabilidad.

Así pues teniendo en cuenta ambas consideraciones tomaremos los valores obtenidos en los cálculos como valores relativos para determinar el aumento de coste entre las distintas series de clientalización.

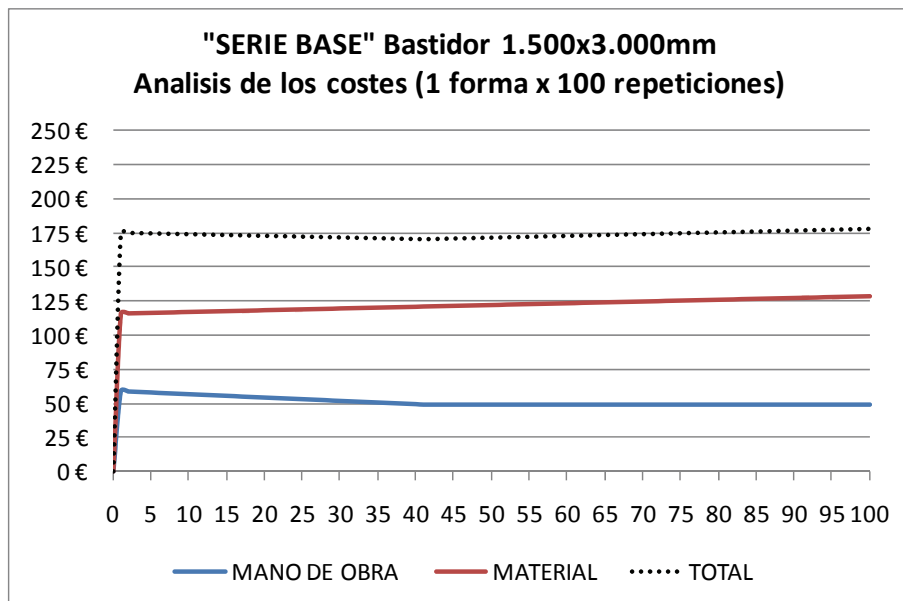
### **5.3.2 Resultados**

A continuación se presentan los resultados obtenidos en los análisis de los diferentes escenarios de clientalización.

Del mismo modo que se ha realizado en el *Desarrollo 4*, utilizaremos la SERIE BASE para analizar los resultados obtenidos.

## SERIE BASE

La **SERIE BASE** representa una serie de producción con 100 bastidores todos de la misma geometría.



- **COSTE INICIAL:** Observamos un primer coste inicial común en todos los escenarios que responde a la producción del primer bastidor de la serie.
- **EVOLUCIÓN DEL COSTE DE LA MANO DE OBRA:** Posteriormente hay una estabilización progresiva de los costes de mano de obra debido a la repetitividad de las operaciones, como por ejemplo a las de replanteo. Un mayor conocimiento del bastidor que se va a montar permite una optimización del tiempo dedicado a estas operaciones hasta alcanzar la estabilización del coste.
- **EVOLUCIÓN COSTE DEL MATERIAL:** Del mismo modo que sucede con la mano de obra, el coste del material no se considera constante. Desde las primeras repeticiones se ha contabilizado unas mermas constantes de material que generan un incremento del coste constante durante toda la producción de la serie.

## SERIE 1

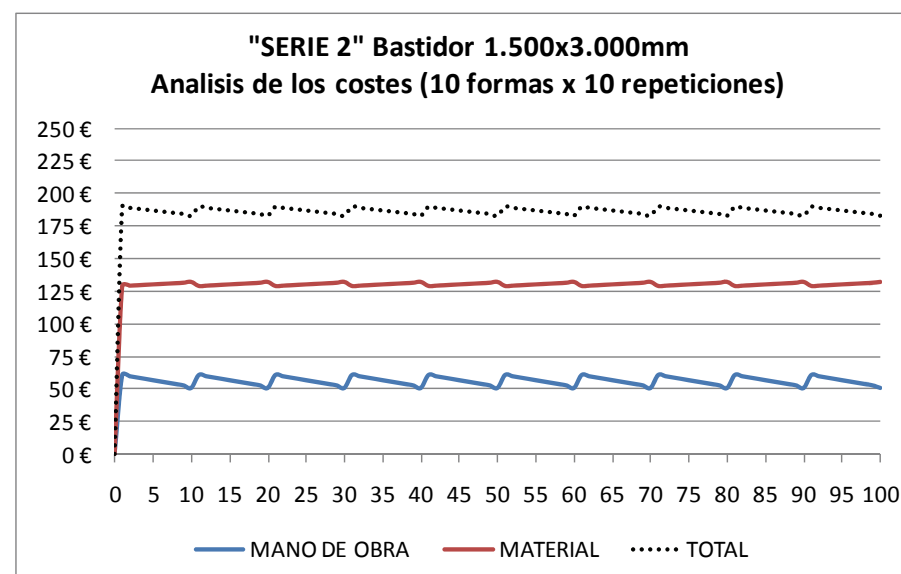
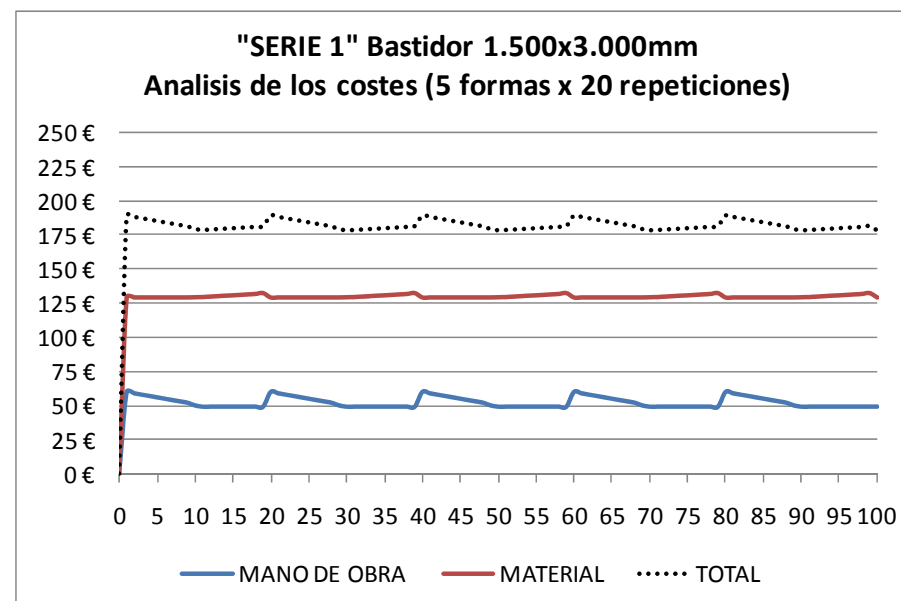
La **SERIE 1** representa una serie de producción con 5 tipos de bastidores repetidos 20 veces cada uno.

- Cada 'pico' que aparece en los costes responde a la ejecución de un nuevo bastidor de geometría distinta al anterior.
- Durante la ejecución de estas series cortas de 20 bastidores el coste de mano de obra se va optimizando y el coste de material crece debido a las mermas de producción.

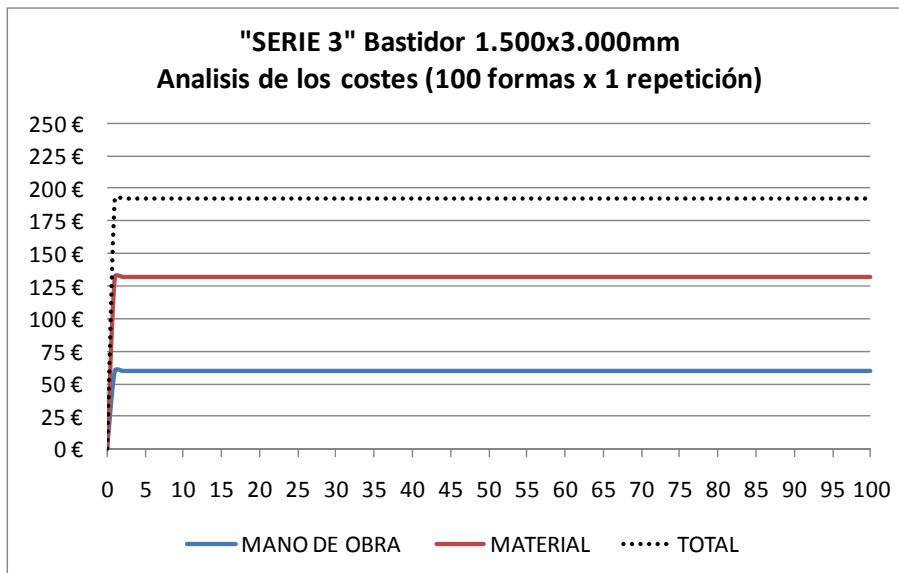
## SERIE 2

La **SERIE 2** representa una serie de producción con 10 tipos de bastidores repetidos 10 veces cada uno.

- Aquí también aparecen los 'picos' en los costes cada 10 bastidores representando la ejecución de un nuevo bastidor de geometría distinta a la anterior.
- Los costes de mano de obra también se van optimizando en cada repetición y los costes del material aumentan debido a las mermas de producción.



### SERIE 3



La **SERIE 3** representan una serie de producción con la máxima variabilidad de bastidores, 100 de 100. Cada bastidor es diferente al anterior.

Aunque esta serie de producción sea completamente teórica debía ser calculada para analizar el incremento de costes que supone la máxima clientalización de una serie de producción y poderla comprar con series de producción más habituales.

En este caso los costes se mantienen constantes en toda la serie de producción puesto que cada bastidor es distinto al anterior y por lo tanto no existe optimización de coste de la mano de obra.

**ANEXO 5- Tablas de cálculo del BASTIDOR de 1.500x3.000mm**



## Tabla de costes de producción de un bastidor de aluminio de 1.500x3.000mm

NOTA sobre los costes asociados a la conformación de las matrices de extrusión

CONFORMACIÓN MATRIZ		€/ud	
Aluminio	Boquilla extrusión	1.000-3.000*	
EPDM	Boquilla extrusión	300-500*	
Silicona	Boquilla extrusión	300-500*	*(amortización del coste aparatir de 3.500ml)

### CORTE DE LOS SEMIPRODUCTOS LINEALES A LA LONGITUD DESEADA (apartado 4.3.1)

#### Mano de Obra

	ud cort.	t (min)	€/min	
<b>Perimetro exterior</b>				
Operaciones de corte	4	1	0,33	1,32 €
Reprogramación máquina	2	3	0,33	1,98 €
<b>Perimetro interior</b>				
Operaciones de corte	2	1	0,33	0,66 €
Reprogramación máquina	1	3	0,33	0,99 €
<b>TOTAL</b>				<b>4,95 €</b>

#### Material

	mm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	€/kg	€/ml
Coste perfil	1336	0,001336	2,8	10,10
<b>Perimetro exterior</b>	€/kg	€/ml	ml	
Extrusión P.Exterior Aluminio Coste material	2,80	10,10	9	90,9014
Extrusión P.Exterior EPDM Coste material	-	0,20	18	3,6
Extrusión P.Exterior Silicona Coste material	-	0,40	-	-
	€/m2	m <sup>2</sup> int.	m <sup>2</sup> ext.	
Lacado P.Exterior color estándar	2,00	8,73		17,46
Lacado P.Exterior color especial	3,00	-		
Anodizado P.Exterior natural 15micras	2,10	-		
Anodizado P.Exterior negro/acero 15micras	4,00	-		
<b>Perimetro intermedio</b>	€/kg	€/ml	ml	
Extrusión P.Intermedios Alumin Coste material	3,00	5,02	3	15,06

Lacado P.Intermedios	color estándar	€/m2	m² int.	m² ext.	
Lacado P.Intermedios	color especial	2,00	0,54		1,08
Anodizado P.Exterior	natural 15micras	3,00	-		
Anodizado P.Exterior	negro/acero 15micras	2,10	-		
		4,00	-		
<b>Perimetro interior</b>		€/kg	€/ml	ml	
Extrusión P.Interior Aluminio	Coste material	3,00	0,00	0	0
		€/m2	m² int.	m² ext.	
Lacado P.Interior	color estándar	2,00	0		0
Lacado P.Interior	color especial	3,00	-		
Anodizado P.Exterior	natural 15micras	2,10	-		
Anodizado P.Exterior	negro/acero 15micras	4,00	-		
<b>TOTAL</b>					<b>128,10 €</b>

#### MECANIZADO DE LOS PERFILES (apartado 4.3.2)

##### Mano de Obra

<b>Perimetro exterior</b>	ud cort.	t (min)	€/min	
Mecanizado P.Exterior	4	3	0,33	3,96 €
Reprogramación máquina	2	5	0,33	3,30 €
<b>Perimetro intermedio</b>	ud cort.	t (min)	€/min	
Mecanizado P.Intermedio	2	3	0,33	1,98 €
Reprogramación máquina	1	5	0,33	1,65 €
<b>Perimetro interior</b>	ud cort.	t (min)	€/min	
Mecanizado P.Interior (ventana)	0	3	0,33	0,00 €
Reprogramación máquina	0	5	0,33	0,00 €
<b>TOTAL</b>				<b>10,89 €</b>

#### RETESTADO DE PERFILES (apartado 4.3.3)

##### Mano de Obra

<b>Perimetro exterior</b>	ud cort.	t (min)	€/min	
Retesteo P.Exterior	0	3	0,33	0,00 €
Reprogramación máquina	0	1	0,33	0,00 €
<b>Perimetro intermedio</b>	ud cort.	t (min)	€/min	
Retesteo P.Intermedio	2	6	0,33	3,96 €
Reprogramación máquina	1	1	0,33	0,33 €



<b>Perimetro interior</b>	ud cort.	t (min)	€/min	
Retesteo P.Interior (ventana)	0	3	0,33	0,00 €
Reprogramación máquina	0	1	0,33	0,00 €
<b>TOTAL</b>				<b>4,29 €</b>

#### ENSAMBLAJE DE LOS PERFILES (apartado 4.3.4)

##### Mano de Obra

<b>Perimetro exterior</b>	ud cort.	t (min)	€/min	
Ensamblaje P.Exterior	2	40	0,33	26,40 €
Reprogramación máquina	0	5	0,33	0,00 €
<b>Perimetro intermedio</b>	ud cort.	t (min)	€/min	
Ensamblaje P.Intermedio	2	5	0,33	3,30 €
Reprogramación máquina	1	5	0,33	1,65 €
<b>Perimetro interior</b>	ud cort.	t (min)	€/min	
Ensamblaje P.Interior (ventana)	0	40	0,33	0,00 €
Unión con perfiles intermedios	0	15	0,33	0,00 €
Reprogramación máquina	0	5	0,33	0,00 €
<b>TOTAL</b>				<b>31,35 €</b>

##### Material

<b>Perimetro exterior</b>		€/ud	Ensamblaje	uds	
Escuadras P.Exterior Aluminio	Tipo 1	0,11	4,00	1	0,44
Tornillería	Tipo 1	0,05	8,00	1	0,4
<b>Perimetro intermedio</b>		€/ud	Ensamblaje	uds	
Escuadras P.Interior Aluminio	Tipo 2	0,09	4,00	1	0,36
Tornillería	Tipo 2	0,05	8,00	1	0,4
<b>Perimetro interior</b>		€/ud	Ensamblaje	uds	
Escuadras P.Exterior Aluminio	Tipo 1	0,11	4,00	1	0,44
Tornillería	Tipo 1	0,05	8,00	1	0,4
<b>TOTAL</b>					<b>2,44 €</b>

**SELLADO DE UNIONES (apartado 4.3.5)****Mano de Obra**

	ud cort.	t (min)	€/min	
<b>Perimetro exterior</b>				
Sellado P.Exterior	4	5	0,33	6,60 €
<b>Perimetro intermedio</b>				
Sellado P.Intermedio	4	5	0,33	6,60 €
<b>Perimetro interior</b>				
Sellado P.Interior (ventana)	0	5	0,33	0,00 €
Sellado con perfiles intermedios	0	5	0,33	0,00 €
<b>TOTAL</b>				<b>13,20 €</b>

**Material**

	€/ud	Ensamblaje	uds	
<b>Perimetro exterior</b>				
Sellado P.Exterior	0,1	4	1,00	0,40 €
<b>Perimetro intermedio</b>				
Sellado P.Intermedio	0,1	4	1,00	0,40 €
<b>Perimetro interior</b>				
Sellado P.Interior (ventana)	0,1	0	1,00	0,00 €
Sellado con perfiles intermedios	0,1	0	1,00	0,00 €
<b>TOTAL</b>				<b>0,80 €</b>

## RESUMEN de la distribución de los costes (1.500x3.000mm)

### RESUMEN DE COSTES 1r BASTIDOR

Mano de Obra		64,68 €
Material		131,34 €
<b>TOTAL COSTES DIRECTOS</b>		<b>196,02 €</b>
<b>COSTES INDIRECTOS 30-40%</b>	30%	58,81 €
<b>COSTE FINAL</b>		<b>254,83 €</b>
Repercusión		16,99 €/m <sup>2</sup>

### DEFINICIÓN GEOMETRICA DEL BASTIDOR

Coste M.O. y Mat.

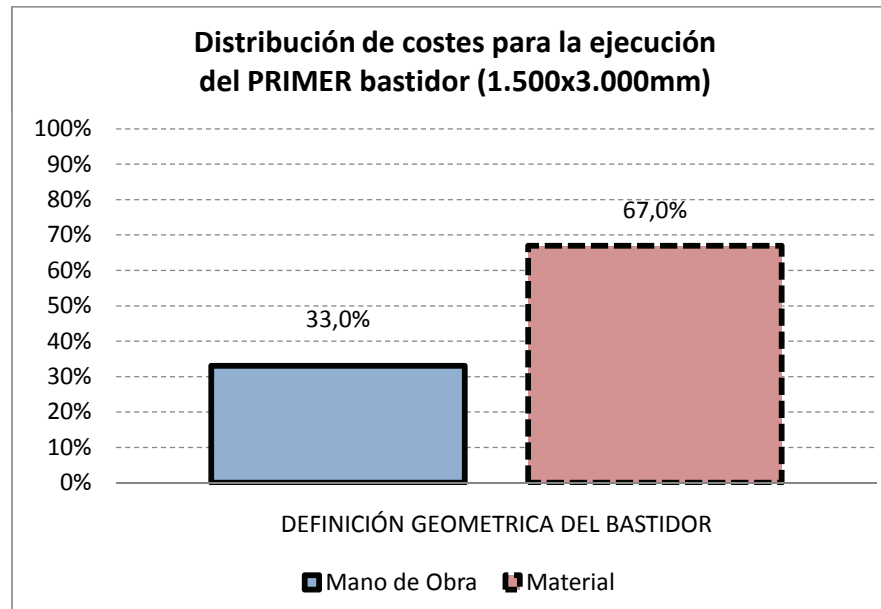
196,02 €

100,00%

- 1- Definición geométrica del molde perimetral
- 2- Replanteo de los moldes perimetrales
- 3- Ensamblaje de los moldes perimetrales
- 4- Fijación de los moldes perimetrales
- 5- Desmontaje de los moldes perimetrales

Mano de Obra	64,68 €
Material	131,34 €

Parcial	Global
33,0%	33,0%
67,0%	67,0%



## Resumen de costes de producción de un bastidor de aluminio de 1.500x3.000mm

	Serie BASE	Serie A	Serie B	Serie C
<b>Mano de Obra</b>	27,90%	28,91%	30,00%	31,39%
<b>Material</b>	72,10%	71,09%	70,00%	68,61%

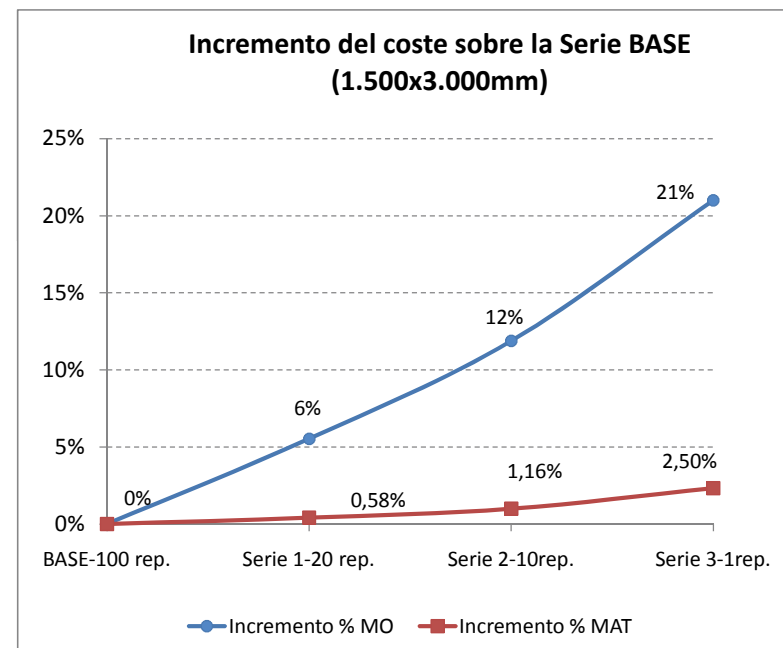
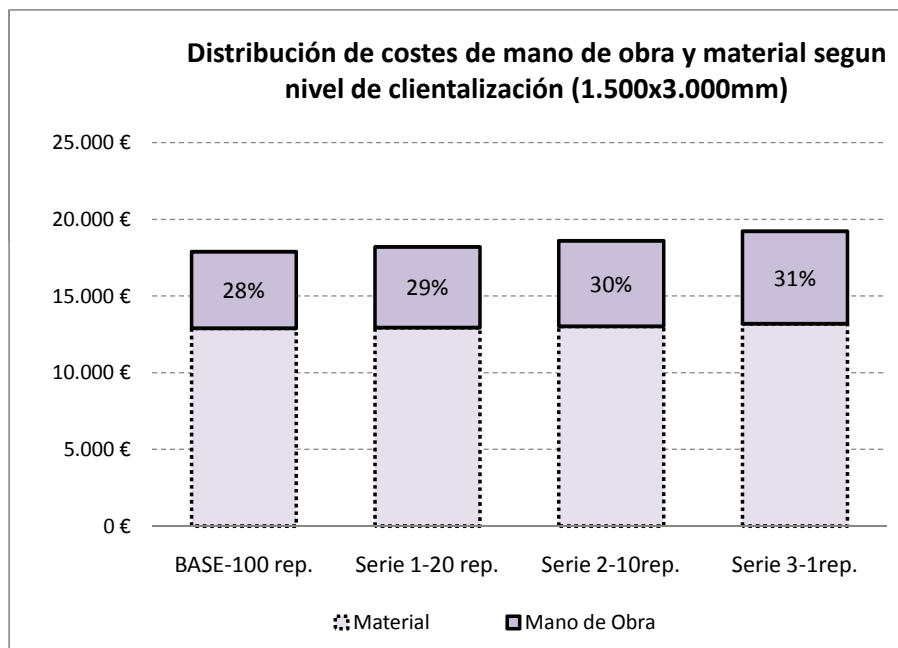
	BASE-100 rep.	Serie 1-20 rep.	Serie 2-10rep.	Serie 3-1rep.
<b>Coste total</b>	17.888 €	18.217 €	18.609 €	19.237 €
<b>Mano de Obra</b>	4.991 €	5.267 €	5.584 €	6.039 €
<b>Material</b>	12.897 €	12.951 €	13.025 €	13.198 €

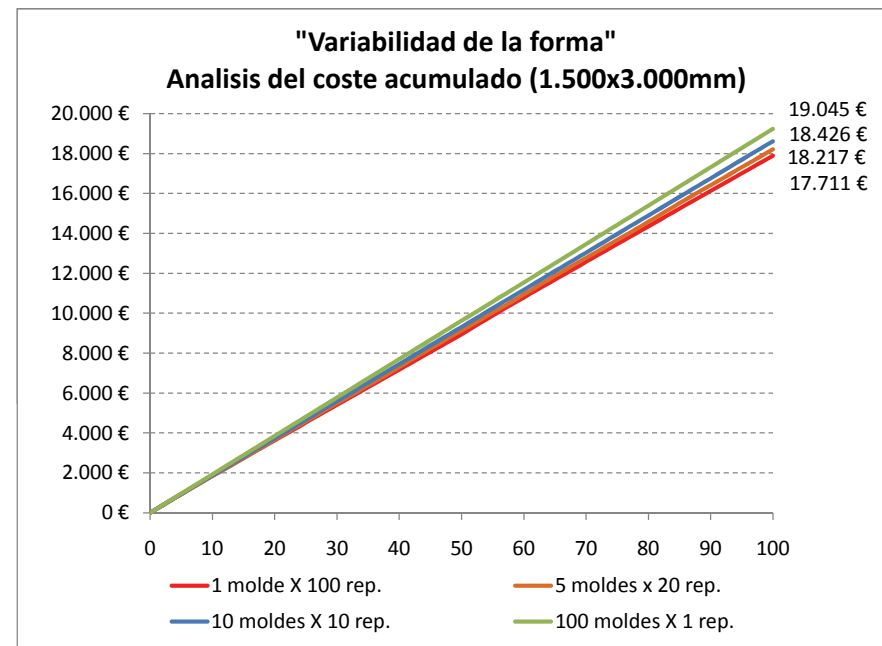
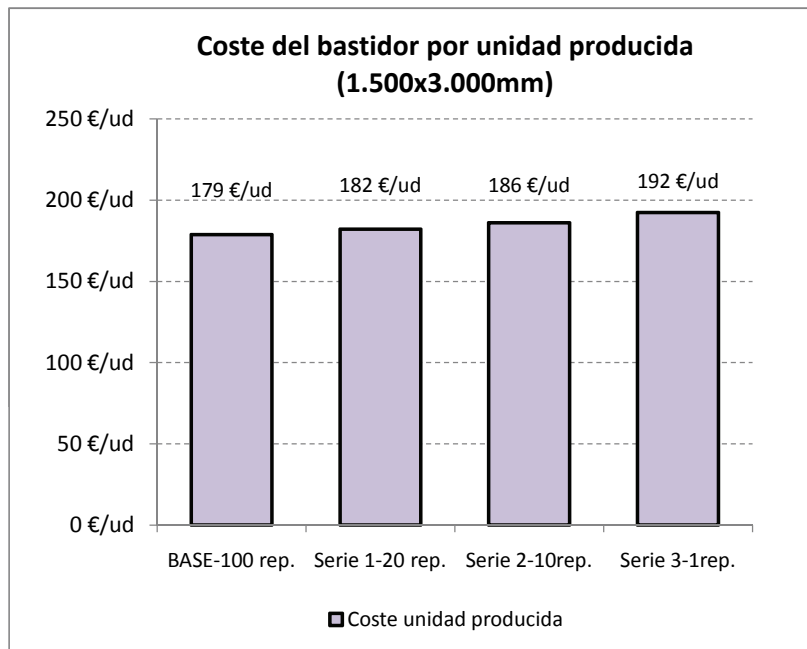
  

<b>Incremento % MO</b>	0,00%	5,53%	11,88%	21,01%
<b>Incremento % MAT</b>	0,00%	0,41%	0,99%	2,33%

<b>Coste unidad producida</b>	179 €/ud	182 €/ud	186 €/ud	192 €/ud
-------------------------------	----------	----------	----------	----------



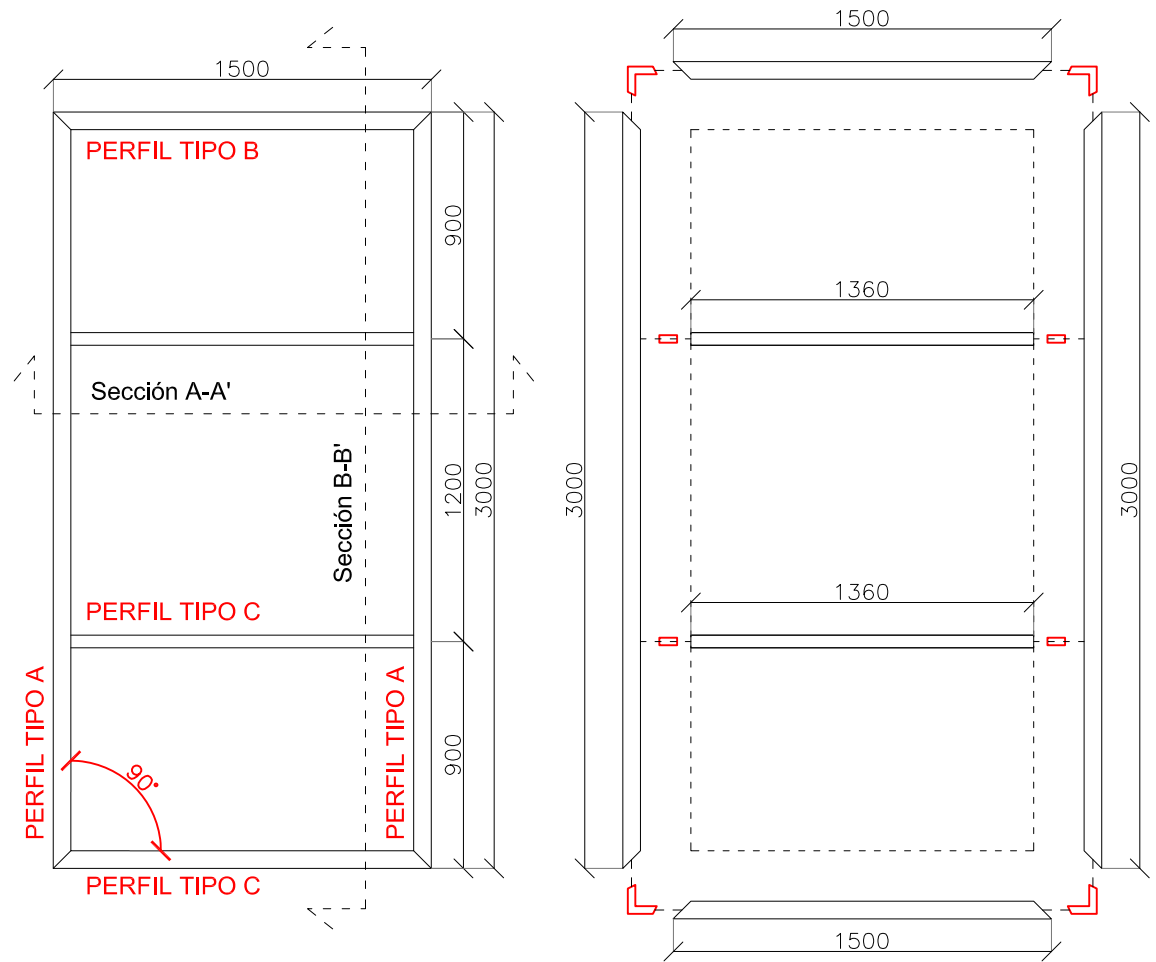




**ANEXO 6- Documentación grafica del BASTIDOR de 1.500x3.000mm**







**'La clientalización de la forma de los sistemas industrializados de fachada'**

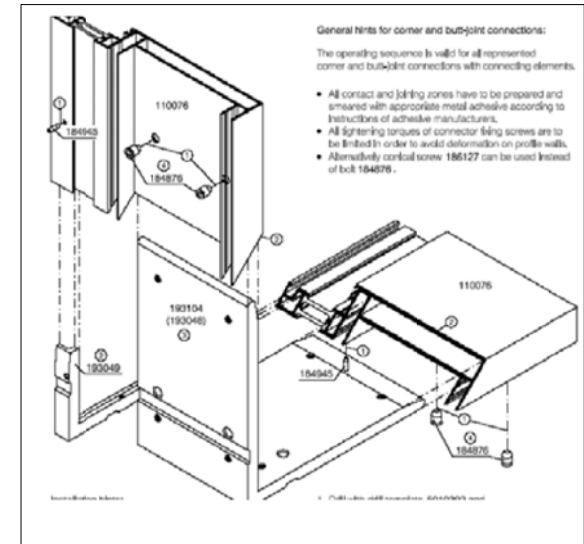
Bastidor 1.500 x 3.000mm

DIN A4 e: 1/30

Plano de fabricación del bastidor

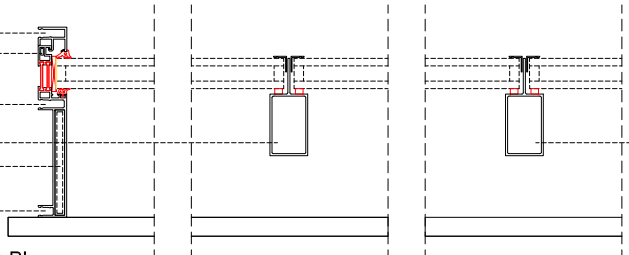
**3a**





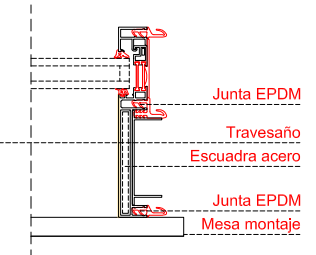
PERFIL TIPO B - superior

Caja de gomas  
 Escuadra acero  
 Travesaño  
 Escuadra acero  
 Caja de gomas



PERFIL TIPO C - inferior

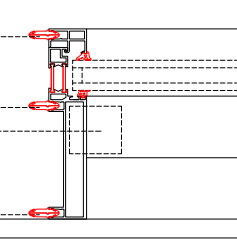
Junta EPDM  
 Travesaño  
 Escuadra acero  
 Junta EPDM  
 Mesa montaje



SECCIÓN B-B'

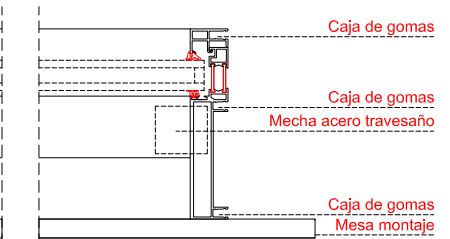
PERFIL TIPO A - vertical

Junta EPDM estanqueidad  
 Junta EPDM estanqueidad  
 Mecha acero travesaño  
 Junta EPDM estanqueidad



PERFIL TIPO A - vertical

Caja de gomas  
 Caja de gomas  
 Mecha acero travesaño  
 Caja de gomas  
 Mesa montaje



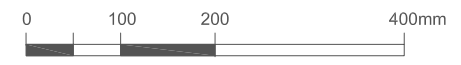
SECCIÓN A-A'

'La cionalización de la forma de los sistemas industrializados de fachada'

Bastidor 1.500 x 3.000mm      DIN A4 Esc. Graf.

Plano de fabricación del bastidor

3b





## **DESARROLLO 6**

**Análisis del coste-variación dimensional de la propuesta**



## 6 Análisis del coste-variación dimensional de la propuesta

### 6.1 Contexto del análisis

En el presente desarrollo se calcularán los costes del modelo de producción de la propuesta cuya estrategia está basada en el uso de los bastidores de aluminio como molde perdido para la conformación de los paneles planos de hormigón.

Para realizar un análisis que permita comparar los dos sistemas de producción ya analizados en el *Desarrollo 4 y 5 (Análisis del coste-variación dimensional para la conformación de un panel plano de hormigón y un componente Unitized, respectivamente)* se ha tomado una consideración importante que define la unidad de fabricación comparable:

- ***Se contabilizarán para cada modelo de producción los costes de las operaciones necesarias para poder disponer de un molde acabado sobre la mesa de hormigonado, siendo esta la UNIDAD FUNCIONAL COMPARABLE<sup>1</sup>.***

#### 6.1.1 Las operaciones analizadas

En este sentido para el modelo de producción convencional de un panel de hormigón se han contabilizado los costes asociados a las siguientes operaciones:

- a. Definición geométrica del molde*

---

<sup>1</sup> *Unidad funcional comparable. Ver terminología*

- b. Replanteo de los moldes perimetrales*
- c. Ensamblaje de los moldes perimetrales*
- d. Fijación de los moldes perimetrales*
- e. Desmontaje de los moldes perimetrales*

Puesto que queremos contabilizar los costes para una serie de producción deberemos tener en cuenta también las operaciones necesarias para la repetición:

- f. Ensamblaje de los molde perimetrales*
- g. Fijación y sellado de los moldes perimetrales*
- h. Desmontaje de los moldes perimetrales*

Para el modelo de producción de los bastidores de fachada se han contabilizado las siguientes operaciones:

- i. Corte de los semiproductos lineales a la longitud deseada*
- ii. Mecanizado de los perfiles*
- iii. Retestado de perfiles*
- iv. Ensamblaje de los perfiles*
- v. Sellado de uniones*
- vi. Fijación y sellado de los bastidores sobre la mesa*

En este caso para realizar las repeticiones de la serie las operaciones serán las mismas.



### 6.1.2 Objetivo

Determinar el nivel de competitividad económica de la propuesta frente a los modelos de producción actuales:

- *El análisis pretende comparar el modelo de producción mixto actual con el modelo de producción de la propuesta para analizar su nivel de competitividad económica y determinar la viabilidad de la propuesta.*
- *Los costes y operaciones que se analizarán para los dos sistemas de producción serán solamente aquellas necesarias para disponer de un molde preparado encima de la mesa para ser hormigonado, cuyo coste será denominado: **COSTE DE DISPONIBILIDAD DEL MOLDE**<sup>2</sup>.*

### 6.1.3 Objetos analizados

Para ello se han tomado las dos geometrías de panel analizadas en el *Desarrollo 4*:

- **La geometría del componente A:** un panel de hormigón macizo, que no incorpora el hueco, de 5x3 m y de 15 cm de espesor con un diseño de junta representado en la figura D6.1.

---

<sup>2</sup> Coste de disponibilidad del molde. Ver terminología

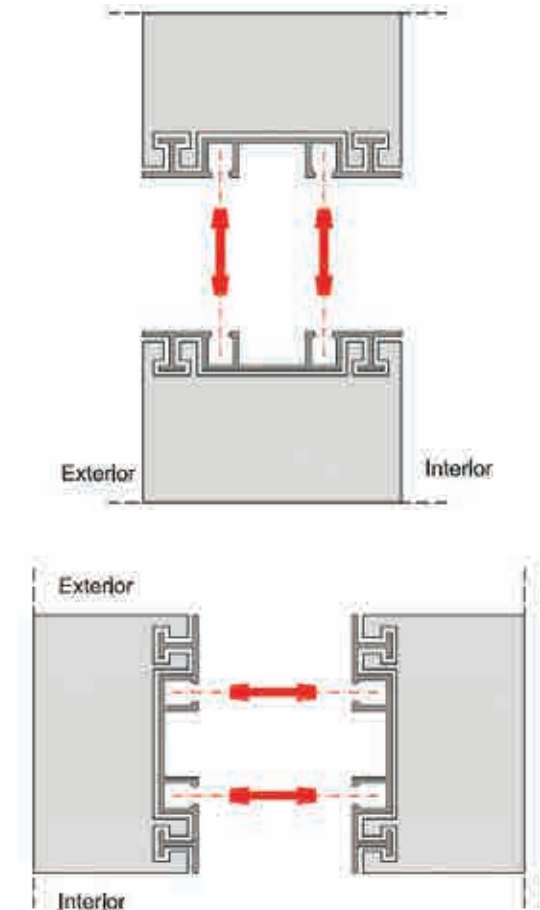


Fig.D6.1. Perfil perimetral. Conformación de junta entre componentes

- **La geometría del componente B:** un panel de hormigón macizo, que no incorpora el hueco, de 2x3 m y de 15 cm de espesor con un diseño de junta representado en la figura D6.1.

Puesto que las geometrías de los paneles son las mismas que las analizadas en el *Desarrollo 4*, se han tomado los mismos resultados económicos para ponerlos en comparación con el sistema de la propuesta.

## **6.2 El modelo de producción de la propuesta y los costes de las operaciones analizadas**

Como sabemos la propuesta propone un sistema de producción que utiliza los bastidores como moldes perdidos de los paneles.

A nivel de producción industrial esto implica que para el sistema de la propuesta tan solo necesitaremos una mesa de hormigonado sobre la que colocar los bastidores de aluminio ya finalizados, fijarlos y sellar las juntas de contacto entre la mesa y el bastidor.

Esto supone que podríamos desarrollar la propuesta en una industria actual de prefabricados planos de hormigón ya que las necesidades de producción serán las mismas exceptuando todas aquellas referentes a la conformación del molde, puesto que se realizarían en una industria de conformación de bastidores.

Los cálculos se han realizado en base a costes de mano de obra y material utilizados en empresas especializadas tanto en la conformación de bastidores de aluminio como en la fabricación de elementos prefabricados de hormigón, representando los COSTES DIRECTOS.

Los costes de la maquinaria necesaria para la ejecución de las operaciones de ejecución de un panel se han considerado como COSTES INDIRECTOS y los valores son los utilizados en el *Desarrollo 4*.

Para analizar el *coste*<sup>3</sup> de la clientalización de la forma se han considerado las siguientes operaciones diferencias según los modelos de producción industrial:

- I. **Producción del bastidor**
- II. **Producción del componente de hormigón**

### **6.3 Producción del bastidor. Definición geométrica del molde perimetral**

Para el análisis de los costes asociados a la clientalización de la forma de los bastidores se ha considerado un contexto de producción industrial actual que utiliza sistemas de gestión CAD-CAM en las operaciones de corte, mecanizado y retestado de los perfiles.

NOTA: Los costes considerados en este primer grupo de operaciones están referenciados a los valores obtenidos en el *Desarrollo 5*

---

<sup>3</sup> *Los cálculos detallados pueden verse en el Anexo 7 y 8 del presente desarrollo 'Tablas de cálculo del sistema de producción de la propuesta 5x3m y 2x3m, respectivamente*

### **6.3.1 Corte de los semiproductos lineales a la longitud deseada**

Incluye los costes de mano de obra y material utilizado para las operaciones del corte de los perfiles de aluminio a la longitud deseada.

*-Programación de la máquina de corte según longitud de perfil y tipo de corte*

*-Colocación del perfil sobre la máquina*

*-Tiempo de corte*

*-Colocación del perfil en banco de acopio*

Para el bastidor de 5x3m:

*-Coste de la mano de obra*                      4,95 €

*-Coste del material*                              48,58 €

Para el bastidor de 2x3m:

*-Coste de la mano de obra*                      4,95 €

*-Coste del material*                              30,24 €

### **6.3.2 Mecanizado de los perfiles**

El mecanizado de los perfiles se realizará en un centro de mecanizado.

Se han considerado las siguientes operaciones:

*-Programación del centro de mecanizado.*

*-Colocación del perfil sobre la máquina*

*-Tiempo de mecanizado*

*-Colocación del perfil en banco de acopio*

Para el bastidor de 5x3m:

-Coste de la mano de obra 5,61 €

-Coste del material 0 €

Para el bastidor de 2x3m:

-Coste de la mano de obra 5,61 €

-Coste del material 0 €

### **6.3.3 Retestado de perfiles**

Puesto que el bastidor está formado por un solo marco perimetral exterior sin perfiles intermedios, no serán necesarias las operaciones de retestado de perfiles.

### **6.3.4 Ensamblaje de los perfiles**

El ensamblaje del bastidor se realizará de forma manual.

En este grupo de operaciones se incorporan las escuadras y la tornillería necesaria.

Se han considerado las siguientes operaciones:

-Colocación y replanteo de los perfiles sobre el banco de montaje

-Montaje de las escuadras y tornillería

-Ensamblaje del bastidor

-Colocación del bastidor a banco de acopio

Para el bastidor de 5x3m:

*-Coste de la mano de obra* 26,40 €

*-Coste del material* 0,84 €

Para el bastidor de 2x3m:

*-Coste de la mano de obra* 26,40 €

*-Coste del material* 0,84 €

### **6.3.5 Sellado de los encuentros entre perfiles del bastidor**

Estas operaciones se realizan de forma manual debido a la elevada dificultad por colocar correctamente el material de sellado y la necesidad de garantía final.

Se han considerado las siguientes operaciones:

*-Sellado manual de todas las uniones entre perfiles*

*-Colocación del bastidor a banco de acopio*

Para el bastidor de 5x3m:

*-Coste de la mano de obra* 13,20 €

*-Coste del material* 0,40 €

Para el bastidor de 2x3m:

*-Coste de la mano de obra* 13,20 €

*-Coste del material* 0,40 €

## 6.4 Producción del componente de hormigón

En este segundo grupo de operaciones se contemplan las operaciones necesarias, en un entorno industrial de prefabricados de hormigón, para dejar preparado el molde plano (bastidor) para que pueda ser hormigonado.

El resto de operaciones como la colocación del armado, el vertido del hormigón, el curado, desmoldeo, etc... no se han contemplado puesto que representan un coste común para cualquier serie de producción independientemente del nivel de clientalización que esta tenga.

### 6.4.1 Fijación de los bastidores sobre la mesa de hormigonado

La principal diferencia respecto a los sistemas habituales de fijación de moldes perimetrales a la mesa de hormigonado está en el propio elemento de fijación diseñado especialmente para poder unirse al perfil del bastidor por la parte exterior impidiendo su movimiento. El resto de mecanismos de fijación sobre la mesa de hormigonado son los mismos, mecánicos y magnéticas (Fig. D6.2 y D6.3).

En nuestro caso, primero se fija el bastidor mecánicamente a la mesa y posteriormente se complementa con la fijaciones magnéticas garantizando una presión homogénea (aunque discontinua) del bastidor sobre la mesa de hormigonado.

Se han contabilizado las siguientes operaciones:

- Colocación de la cinta de sellado entre el perfil y la mesa de hormigonado
- Replanteo de los puntos de fijación mecánica sobre la mesa

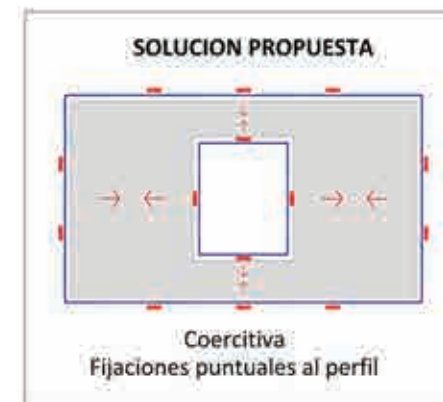


Fig.D6.2. Fijación discontinua del perfil perimetral con la mesa de hormigonado

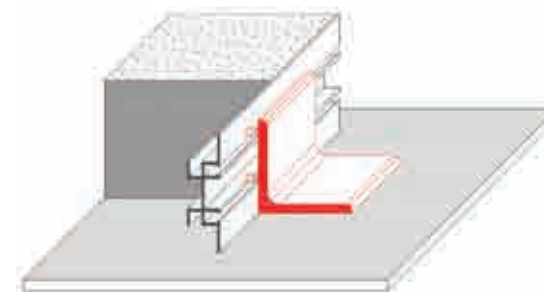


Fig.D6.3. Elementos de fijación del perfil perimetral a la mesa de hormigonado

- Perforación a la vez de los perfiles laterales y de la mesa
- Colocación de las fijaciones mecánicas
- Colocación de las fijaciones magnética

Para el bastidor de 5x3m:

- Coste de la mano de obra 45,36 €
- Coste del material 4,30 €

Para el bastidor de 2x3m:

- Coste de la mano de obra 35,70 €
- Coste del material 3,30 €

## **6.5 Criterios para la comparación entre modelos de producción**

Como ya hemos comentado en los objetivos del presente desarrollo, para poder realizar la comparación entre los dos modelos de producción y determinar el nivel de competitividad de la propuesta se pondrán en relación tan solo los COSTES ASOCIADOS A LA DISPONIBILIDAD DE LOS MOLDES para hormigonar.

Para el modelo de producción mixto se han considerado los costes calculados en el *Desarrollo 4* asociados a:

### **Primer molde:**

- Definición geométrica del molde
- Replanteo de los moldes perimetrales sobre la mesa de hormigonado
- Ensamblaje de los moldes perimetrales



*-Fijación de los moldes perimetrales sobre la mesa de hormigonado*

*-Desmontaje de los moldes perimetrales*

#### **Inicio de las repeticiones**

*-Ensamblaje de los moldes perimetrales*

*-Fijación de los moldes perimetrales sobre la mesa de hormigonado*

*-Desmontaje de los moldes perimetrales*

Y para el modelo de producción de la propuesta, se han considerado las siguientes operaciones, teniendo en cuenta que estas serán las mismas tanto para la ejecución del primer molde como para las posibles repeticiones:

*-Corte de los semiproductos lineales a la longitud deseada*

*-Corte de los semiproductos lineales a la longitud deseada*

*-Mecanizado de los perfiles*

*-Ensamblaje de los perfiles*

*-Sellado de los encuentros entre perfiles del bastidor*

*-Fijación de los bastidores sobre la mesa de hormigonado*

Así pues, las operaciones de ejecución de un panel de hormigón que no repercuten en la clientalización de su forma no han sido contabilizadas:

*-Aplicación de los desencofrantes*

*-Armado interior panel*

*-Amasado y vertido del hormigón*

*-Desmoldeo, elevación y acopio*

### 6.5.1 Criterios de cálculo

Para realizar los cálculos de las distintas series de clientalización se han tomado como valores de coste los resultados obtenidos en el apartado '6.3- Producción del bastidor. Definición geométrica del molde perimetral' del presente desarrollo. Los criterios generales de cálculo se han tomado los mismos de los *Desarrollos 4 y 5* para poder establecer una mejor comparación entre sistemas de producción.

Como ya hemos comentado en el apartado anterior se han contabilizado los COSTES DE DISPONIBILIDAD DEL MOLDE<sup>4</sup> para cada una de las series de clientalización, entendida como la 'UNIDAD FUNCIONAL COMPARABLE'<sup>5</sup>.

El coste de disponibilidad de un molde lo hemos separado en dos costes claramente diferenciados:

#### I. Zócalo de disponibilidad

#### II. Coste del molde

Los costes asociados al 'Zócalo de disponibilidad' del molde son prácticamente constantes en cualquiera de las series de producción ya que responden tan solo a aquellas operaciones que permiten disponer sobre la mesa de hormigonado de un molde preparado para hormigonar, sin tener en cuenta los costes propios del molde.

<sup>4</sup> Costes de la disponibilidad de moldes. Ver Terminología

<sup>5</sup> 'Unidad funcional Comparable'. Ver Terminología

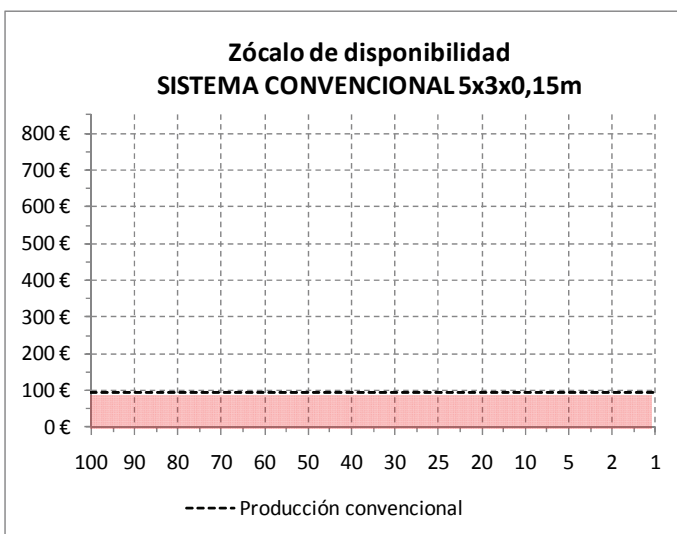


Fig.D6.4. Zócalo de disponibilidad de un molde para el sistema convencional de producción

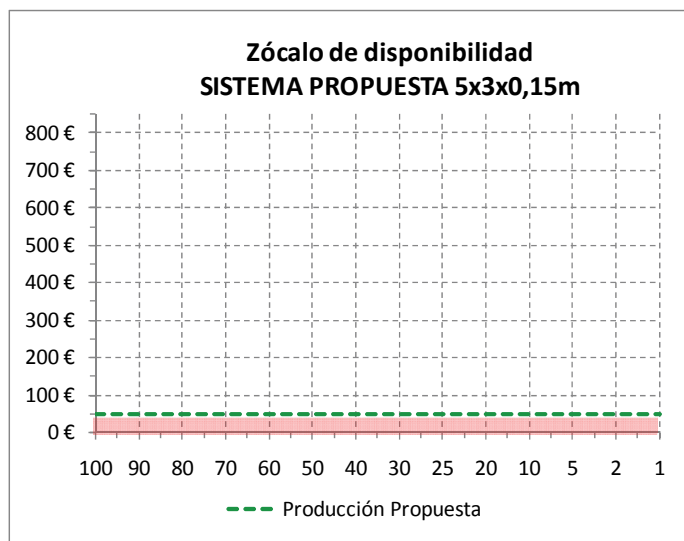


Fig.D6.5. Zócalo de disponibilidad de un molde para el sistema de la propuesta

Así pues para el sistema de producción convencional contempla los costes de las operaciones de montaje y desmontaje de los moldes con todas las sub-operaciones que esto conlleva (Fig. D6.4 ).

Para el sistema de la propuesta tan solo tendremos en cuenta las operaciones de montaje del bastidor sobre la mesa de hormigonada ya que el molde quedará como ‘elemento perdido’ en el componente (Fig. D6.5 ).

A esta parte del ‘Zócalo de disponibilidad del molde’ le añadiremos posteriormente el ‘Coste del molde’ que en función del modelo de producción tendremos en cuenta o no la amortización del coste inicial. (Fig. D6.6 y D6.7)

Si pues, una vez añadido el ‘Coste del molde’ para cada uno de los modelos de producción obtenemos los valores totales del ‘Coste de la disponibilidad de los moldes’ para ser comparados bajo la misma ‘unidad funcional’.

### 6.5.2 Las series de clientalización analizadas

Del mismo modo que se ha realizado en los *Desarrollos 4 y 5*, para el análisis de los costes asociados a la variabilidad de la forma o clientalización del molde se han planteado diversos escenarios de clientalización con un mismo objetivo:

- **La producción de 100 paneles planos de hormigón**

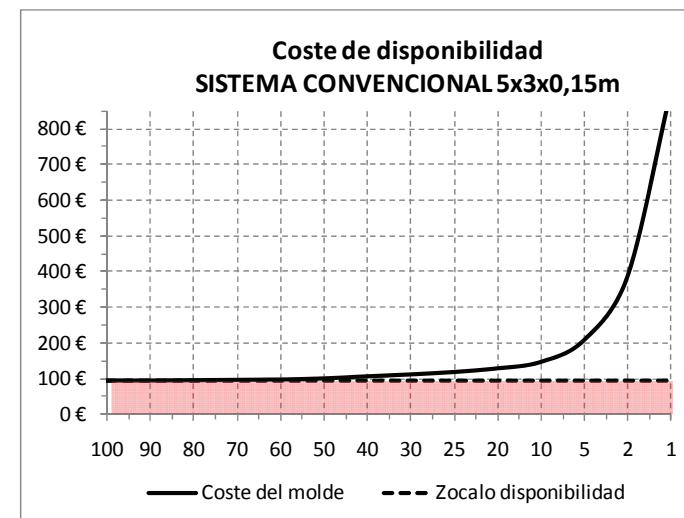


Fig.D6.6. Coste de disponibilidad de un molde para el sistema convencional de producción

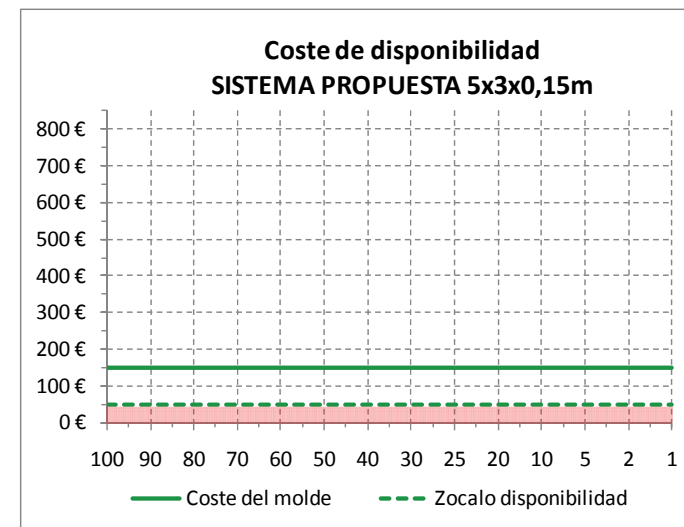
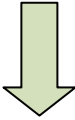


Fig.D6.7. Zócalo de disponibilidad de un molde para el sistema de la propuesta

Con las siguientes series de producción:

SERIES*	Conformación de moldes distintos	Número de paneles por molde	Cientalización
BASE-0	1 ud	100 uds	BAJA
1	2 uds	50 uds	
2	5 uds	20 uds	
3	10 uds	10 uds	
4	20 uds	5 uds	
5	33 uds	3 uds	
6	50 uds	2 uds	
7	100 uds	1 ud	

*\*NOTA SOBRE LAS SERIES: En este caso se ha tomado un mayor número de Series de Cientalización (7) para poder precisar más en los resultados de para la competitividad económica de la propuesta.*

## 6.6 Resultados

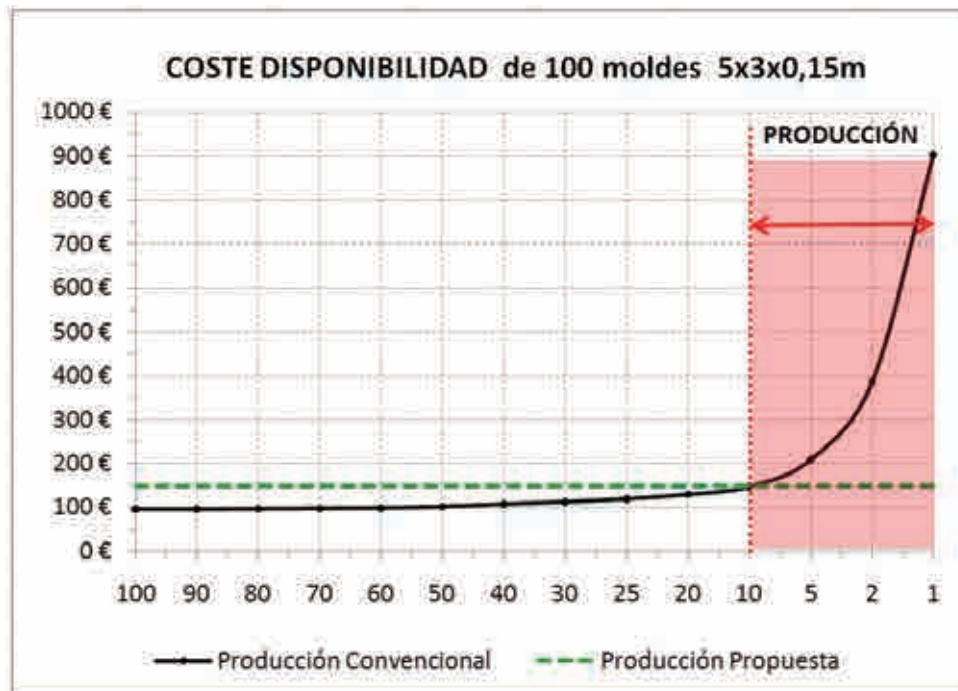
A continuación se presentan los resultados comparativos entre ambos sistemas de producción donde podrá verse en nivel de competitividad de la propuesta.

Los resultados se ha separado según dos criterios diferenciados:

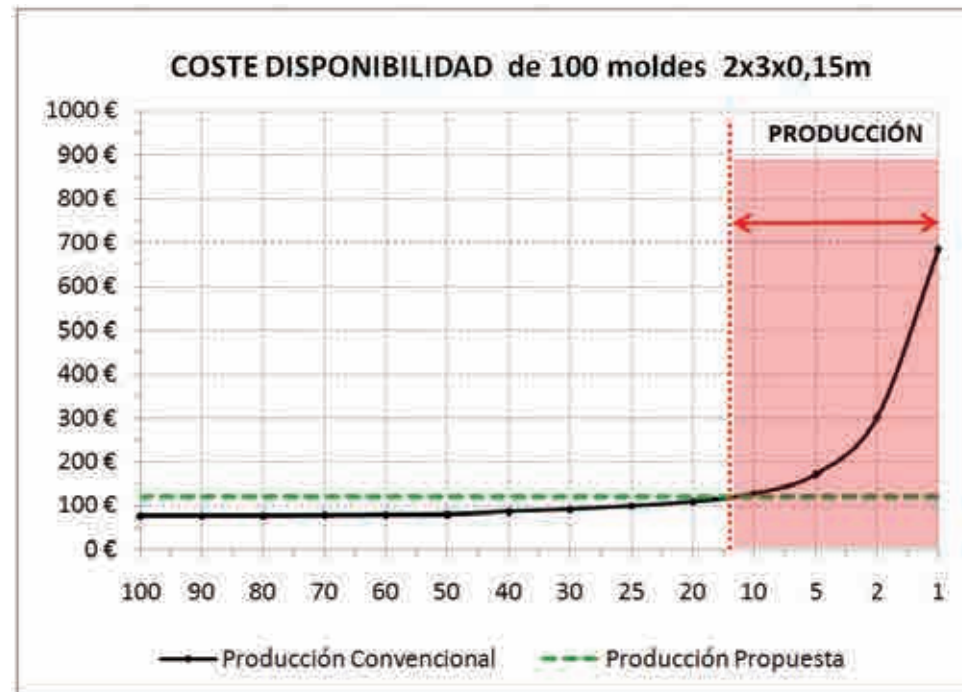
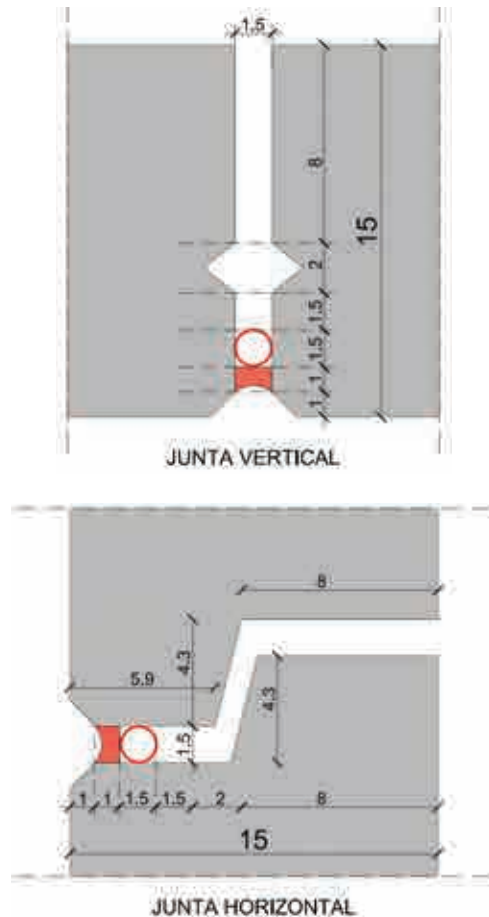
- I. **Competitividad según producción**
- II. **Competitividad según producción y estanqueidad**

En el primer caso se han comparado los resultados de los modelos atendiendo solamente a los aspectos de producción.

Como vemos para un componente de 5x3m el modelo de producción de la propuesta empieza a ser competitiva frente a un modelo de producción convencional a partir de una serie de producción que realiza como máximo 10 repeticiones por componente. En este caso, la propuesta dejaría de ser competitiva económicamente para series de producción con mayores repeticiones.



Para un componente más pequeño (2x3m) la propuesta limitaría su competitividad a partir de una serie de producción de unas 15 repeticiones por componente.



Pero como sabemos, la propuesta utiliza otras estrategias que mejoran los sistemas convencionales de hormigón y que no se reflejan directamente en los aspectos de producción.

Estos aspectos son todos aquellos que mejoran tecnológicamente al componente y que en muchos casos pueden suponer una mejora de la competitividad económica del sistema. Uno de estos aspectos es la estanqueidad entre los componentes (Fig. D6.8).

Fig.D6.8. Análisis del coste de la estanqueidad. Convencional vs propuesta

En efecto, si tenemos en cuenta el coste de la estanqueidad de los componentes de hormigón vemos como estos pueden alrededor de los 8€/ml incluyendo mano de obra, material y medios auxiliares (Fig. D6.9).

En cambio el sistema de la propuesta aprovecha el molde perimetral como elemento capaz de resolver parcialmente la estanqueidad mediante las gomas una vez montado en obra, sin necesidad de medios auxiliares para el sellado exterior (Fig. D6.9).

Así pues si consideramos los costes de la estanqueidad entre ambos sistemas y los introducimos en las graficas anteriores vemos como aumenta la competitividad económica de la propuesta.

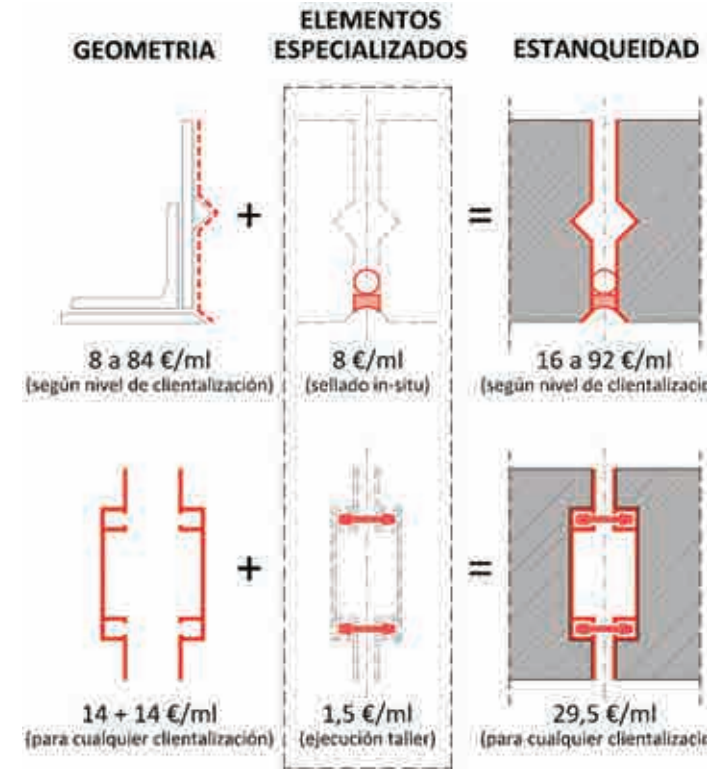
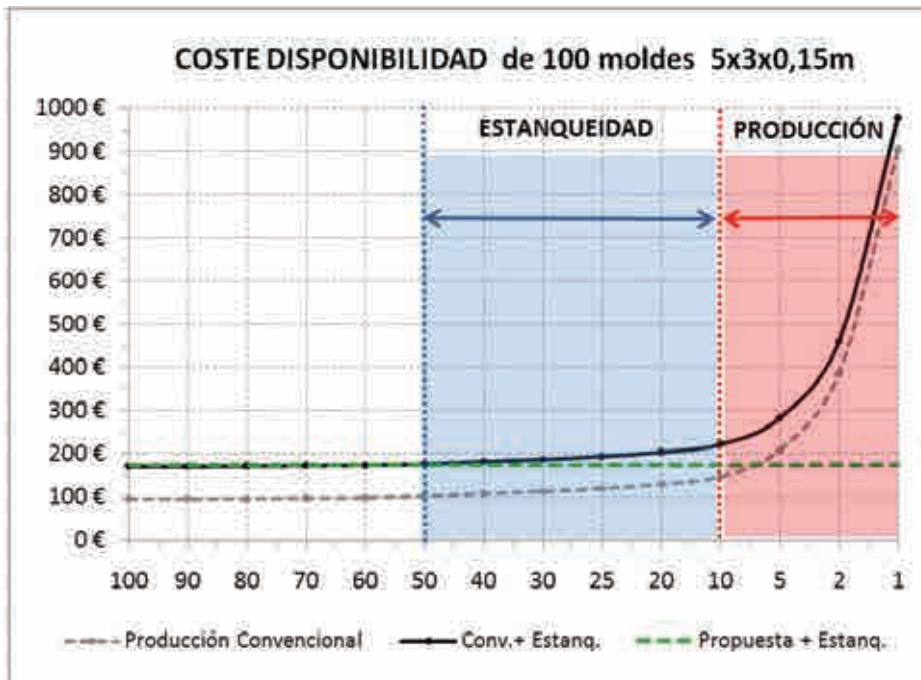
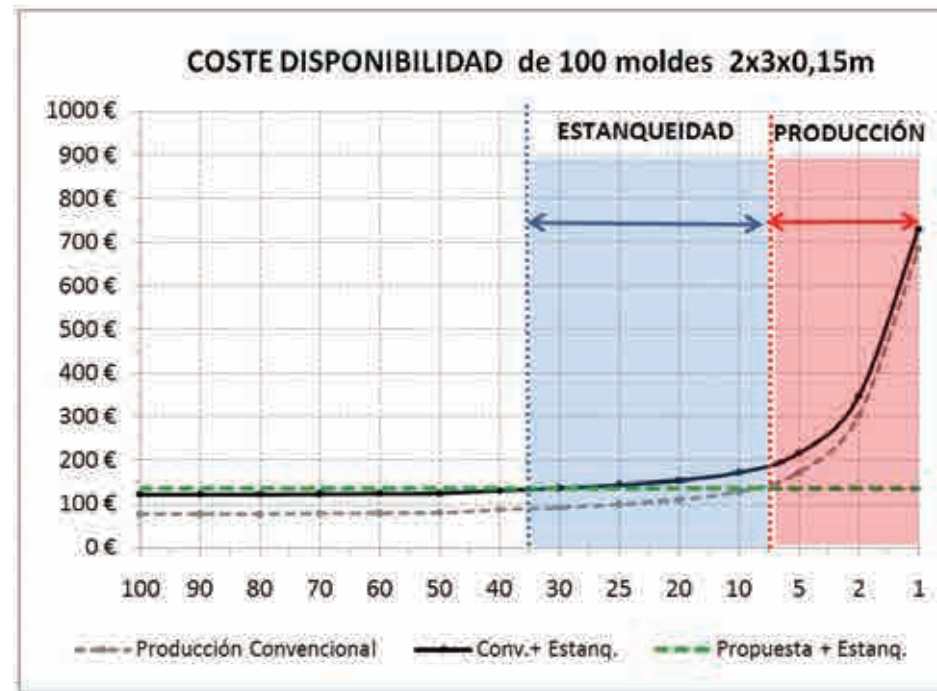


Fig.D6.9. Análisis del coste de la estanqueidad. Convencional vs propuesta



Contabilizar la estanqueidad del sistema de la propuesta permite aumentar su competitividad hasta niveles muy bajos de clentalización situados entre las 30 y las 50 repeticiones.

- ***La mejora en la resolución de la estanqueidad de los sistemas convencionales de los paneles de hormigón permite garantizar una mayor competitividad económica de la propuesta.***



**ANEXO 7- Tablas de cálculo del sistema de producción de la PROPUESTA 5x3x0,15m**





<b>Perimetro intermedio</b>		€/kg	€/ml	ml	
Extrusión P.Intermedios Aluminio	Coste material	3,00	5,02	0	0
		€/m2	m² int.	m² ext.	
Lacado P.Intermedios	color estándar	2,00	0		0
Lacado P.Intermedios	color especial	3,00	-		
Anodizado P.Exterior	natural 15micras	2,10	-		
Anodizado P.Exterior	negro/acero 15micras	4,00	-		
<b>Perimetro interior</b>		€/kg	€/ml	ml	
Extrusión P.Interior Aluminio	Coste material	3,00	0,00	0	0
		€/m2	m² int.	m² ext.	
Lacado P.Interior	color estándar	2,00	0		0
Lacado P.Interior	color especial	3,00	-		
Anodizado P.Exterior	natural 15micras	2,10	-		
Anodizado P.Exterior	negro/acero 15micras	4,00	-		
<b>TOTAL</b>					<b>48,58 €</b>

#### MECANIZADO DE LOS PERFILES (apartado 6.3.2)

##### Mano de Obra

<b>Perimetro exterior</b>		ud cort.	t (min)	€/min	
Mecanizado P.Exterior		4	3	0,33	3,96 €
Reprogramación máquina		1	5	0,33	1,65 €
<b>Perimetro intermedio</b>		ud cort.	t (min)	€/min	
Mecanizado P.Intermedio		0	3	0,33	0,00 €
Reprogramación máquina		0	5	0,33	0,00 €
<b>Perimetro interior</b>		ud cort.	t (min)	€/min	
Mecanizado P.Interior (ventana)		0	3	0,33	0,00 €
Reprogramación máquina		0	5	0,33	0,00 €
<b>TOTAL</b>					<b>5,61 €</b>

#### RETESTADO DE PERFILES (apartado 6.3.3)

##### Mano de Obra

<b>Perimetro exterior</b>		ud cort.	t (min)	€/min	
Retesteo P.Exterior		0	3	0,33	0,00 €
Reprogramación máquina		0	1	0,33	0,00 €

<b>Perimetro intermedio</b>	ud cort.	t (min)	€/min	
Retesteo P.Intermedio	0	6	0,33	0,00 €
Reprogramación máquina	0	1	0,33	0,00 €
<b>Perimetro interior</b>	ud cort.	t (min)	€/min	
Retesteo P.Interior (ventana)	0	3	0,33	0,00 €
Reprogramación máquina	0	1	0,33	0,00 €
<b>TOTAL</b>				<b>0,00 €</b>

### ENSAMBLAJE DE LOS PERFILES (apartado 6.3.4)

#### Mano de Obra

<b>Perimetro exterior</b>	ud cort.	t (min)	€/min	
Ensamblaje P.Exterior	2	40	0,33	26,40 €
Reprogramación máquina	0	5	0,33	0,00 €
<b>Perimetro intermedio</b>	ud cort.	t (min)	€/min	
Ensamblaje P.Intermedio	0	5	0,33	0,00 €
Reprogramación máquina	0	5	0,33	0,00 €
<b>Perimetro interior</b>	ud cort.	t (min)	€/min	
Ensamblaje P.Interior (ventana)	0	40	0,33	0,00 €
Unión con perfiles intermedios	0	15	0,33	0,00 €
Reprogramación máquina	0	5	0,33	0,00 €
<b>TOTAL</b>				<b>26,40 €</b>

#### Material

<b>Perimetro exterior</b>	€/ud	Ensamblaje	uds	
Escuadras P.Exterior Aluminio Tipo 1	0,11	4,00	1	0,44
Tornillería Tipo 1	0,05	8,00	1	0,4
<b>Perimetro intermedio</b>	€/ud	Ensamblaje	uds	
Escuadras P.Interior Aluminio Tipo 2	0,00	4,00	1	0
Tornillería Tipo 2	0	8,00	1	0
<b>Perimetro interior</b>	€/ud	Ensamblaje	uds	
Escuadras P.Exterior Aluminio Tipo 1	0,00	4,00	1	0
Tornillería Tipo 1	0	8,00	1	0
<b>TOTAL</b>				<b>0,84 €</b>

**SELLADO DE UNIONES (apartado 6.3.5)****Mano de Obra**

	ud cort.	t (min)	€/min	
<b>Perimetro exterior</b>				
Sellado P.Exterior	4	5	0,33	6,60 €
<b>Perimetro intermedio</b>				
Sellado P.Intermedio	4	5	0,33	6,60 €
<b>Perimetro interior</b>				
Sellado P.Interior (ventana)	0	5	0,33	0,00 €
Sellado con perfiles intermedios	0	5	0,33	0,00 €
<b>TOTAL</b>				<b>13,20 €</b>

**Material**

	€/ud	Ensamblaje	uds	
<b>Perimetro exterior</b>				
Sellado P.Exterior	0,1	4	1,00	0,40 €
<b>Perimetro intermedio</b>				
Sellado P.Intermedio	0,1	0	1,00	0,00 €
<b>Perimetro interior</b>				
Sellado P.Interior (ventana)	0,1	0	1,00	0,00 €
Sellado con perfiles intermedios	0,1	0	1,00	0,00 €
<b>TOTAL</b>				<b>0,40 €</b>

### FIJACIÓN Y SELLADO DE LOS MOLDES PERIMETRALES SOBRE LA MESA (apartado 6.4.1)

#### Mano de Obra

	ud	min/ud	€/min	
<b>Perimetro exterior</b>				
Fijación mecanica Perimetro exterior	10,00	10,00	0,42	42,00
Fijación magnetica Perimetro exterior	0,00	20,00	0,42	0,00
	ml	min/m		
Sellado perfiles	16,00	0,50	0,42	3,36
<b>Perimetro interior</b>	ud	min/ud		
Fijación mecanica Perimetro interior	0,00	35,00	0,42	0,00
Fijación magnetica Perimetro interior	0,00	11,00	0,42	0,00
	ml	min/m		
Sellado perfiles	0,00	0,50	0,42	0,00
<b>TOTAL</b>				<b>45,36</b>

#### Material

	ud	€/ud	
<b>Perimetro exterior</b>			
Fijación mecanica Perimetro exterior	10,00	0,35	3,50
Fijación magnetica Perimetro exterior	0,00	1,80	0,00
	ml	€/m	
Cinta de sellado	16,00	0,05	0,80
<b>Perimetro interior</b>	ud	€/ud	
Fijación mecanica Perimetro interior	0,00	0,35	0,00
Fijación magnetica Perimetro interior	0,00	1,80	0,00
	ml	€/m	
Cinta de sellado	0,00	0,05	0,00
<b>TOTAL</b>			<b>4,30</b>

## RESUMEN de la distribución de los costes (5x3x0,15m)

### RESUMEN DE COSTES 1r BASTIDOR y REPETICION

Mano de Obra		95,52 €
Material		54,12 €
<b>TOTAL COSTES DIRECTOS</b>		<b>149,64 €</b>
COSTES INDIRECTOS 30-40%	30%	44,89 €
<b>COSTE FINAL</b>		<b>194,54 €</b>
Repercusión		12,97 €/m <sup>2</sup>

### EJECUCIÓN DEL MOLDE PERIMETRAL CLIENTALIZADO Coste M.O. y Mat. 149,64 € 100,00%

1- Corte SL longitud				
2- Mecanizado SL				
3- Retestado SL				
4- Ensamblaje SL				
5- Sellado esquinas Bastidor				
6- Fijación y sellado del bastidor sobre la mesa			Parcial	Global
	<i>Mano de Obra</i>	<b>95,52 €</b>	63,8%	63,8%
	<i>Material</i>	<b>54,12 €</b>	36,2%	36,2%

### ZÓCALO DE DISPONIBILIDAD DEL MOLDE Coste M.O. y Mat. 49,66 € #¡VALOR!

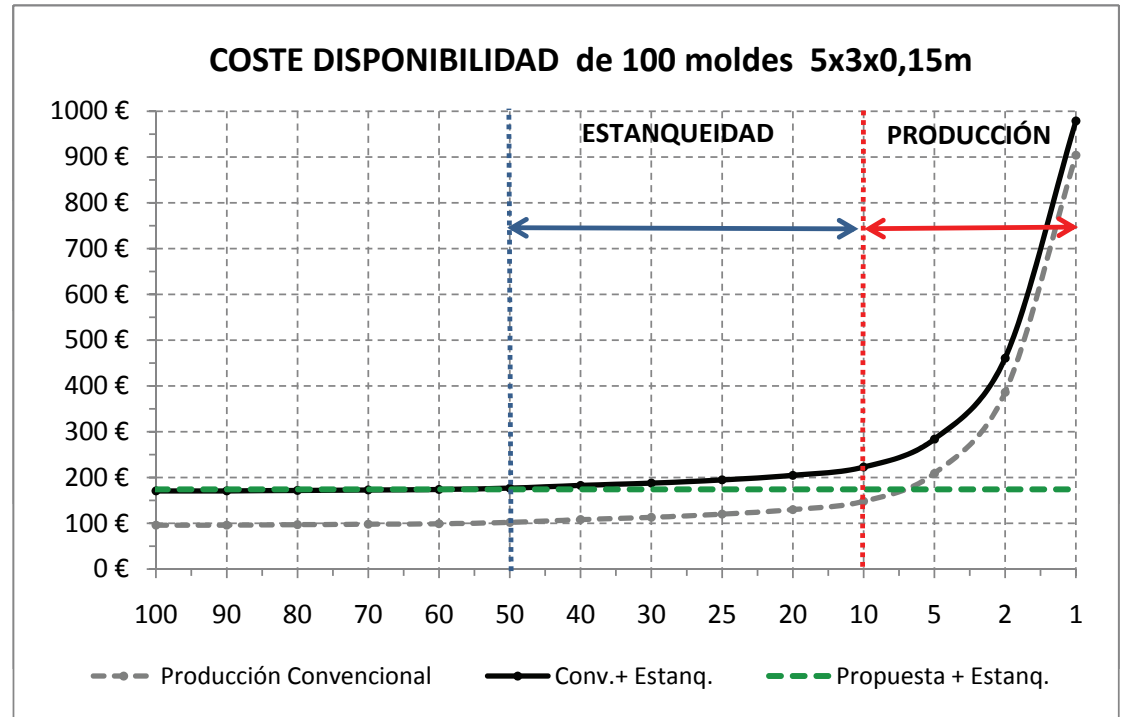
6- Fijación y sellado del bastidor sobre la mesa			Parcial	Global
	<i>Mano de Obra</i>	<b>45,36 €</b>	91,3%	30,3%
	<i>Material</i>	<b>4,30 €</b>	8,7%	2,9%



**PROPUESTA - Analisis del coste de disponibilidad de un molde según niveles de clientalización (5x3x0,15)**

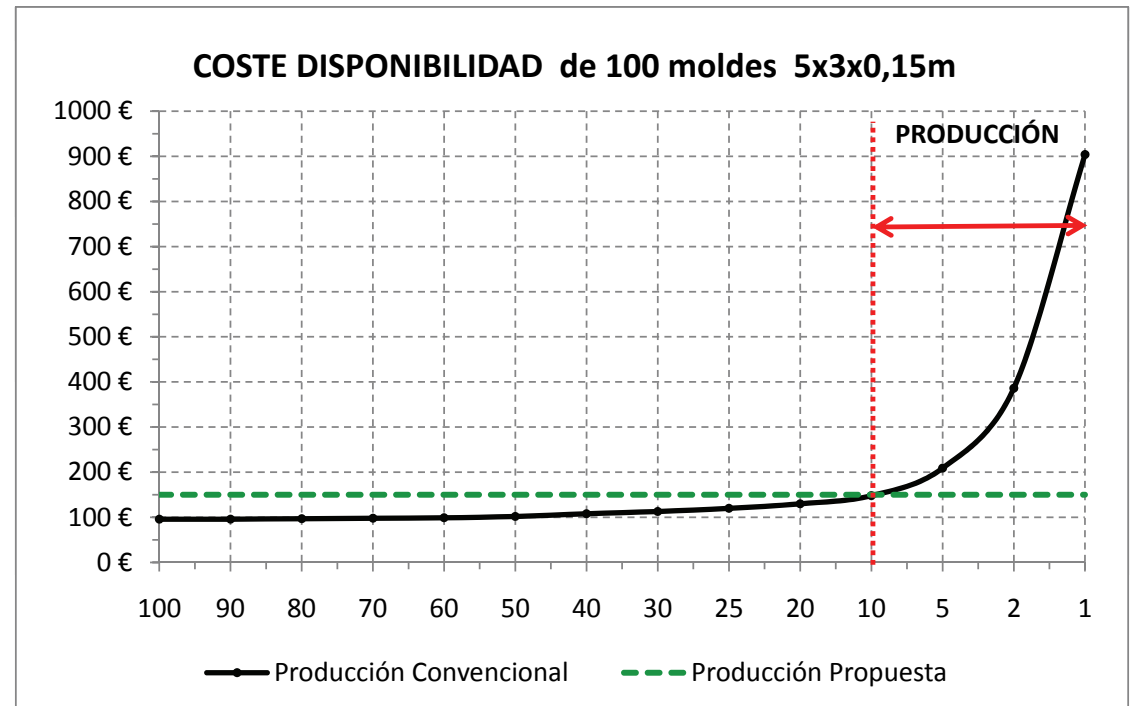
PANEL 5x3x0,15m				
Repeticiones	SIN ESTANQUEIDAD		CON ESTANQUEIDAD	
	Producción Convencional	Producción Propuesta	Conv. + Estanq.	Propuesta + Estanq.
100	96 €	150 €	171 €	174 €
90	96 €	150 €	171 €	174 €
80	97 €	150 €	172 €	174 €
70	98 €	150 €	173 €	174 €
60	99 €	150 €	174 €	174 €
50	102 €	150 €	177 €	174 €
40	108 €	150 €	183 €	174 €
30	113 €	150 €	188 €	174 €
25	120 €	150 €	195 €	174 €
20	130 €	150 €	205 €	174 €
10	148 €	150 €	223 €	174 €
5	209 €	150 €	284 €	174 €
2	386 €	150 €	461 €	174 €
1	904 €	150 €	979 €	174 €

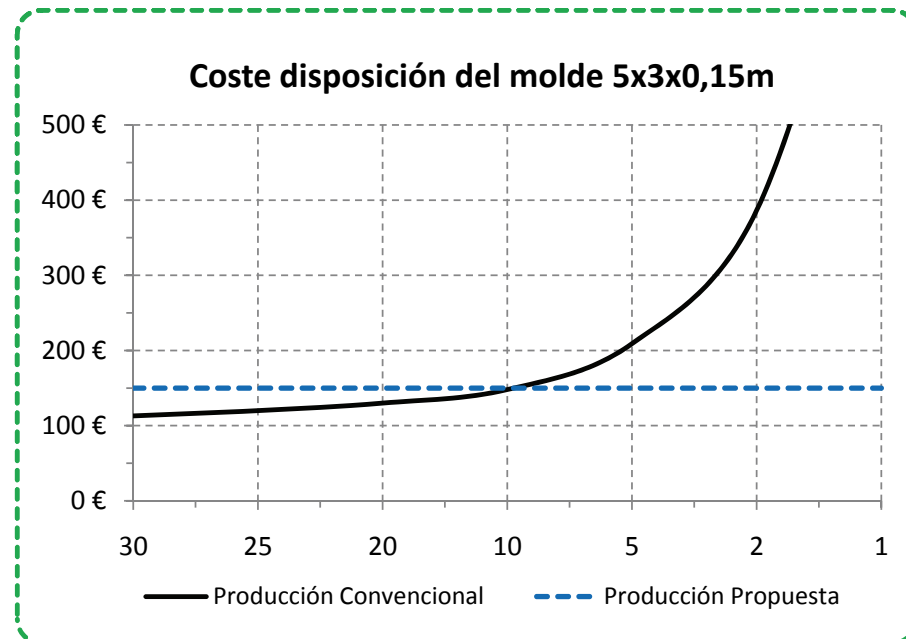
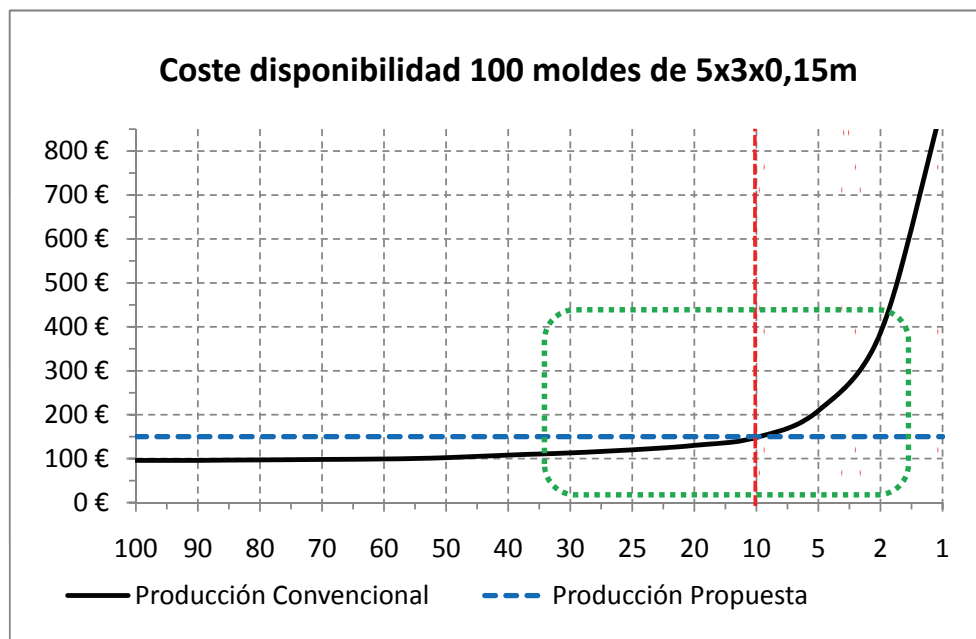
8,20 €/ml *coste de sellado junta entre paneles incluido mano de obra, material y medios auxiliares*  
 1,50 €/ml *Coste gomas de estanqueidad incluido mano de obra y material*

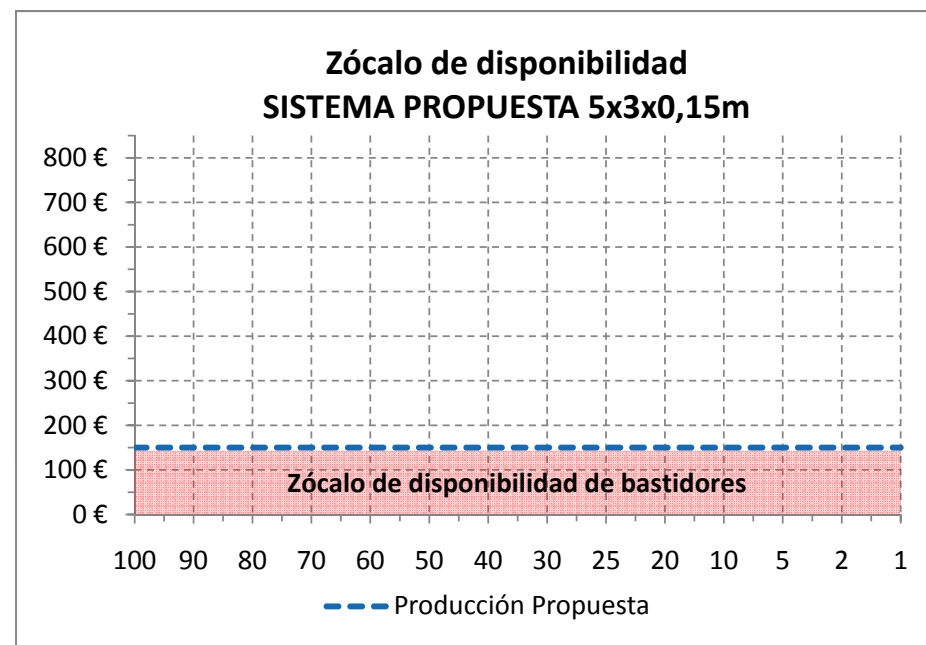
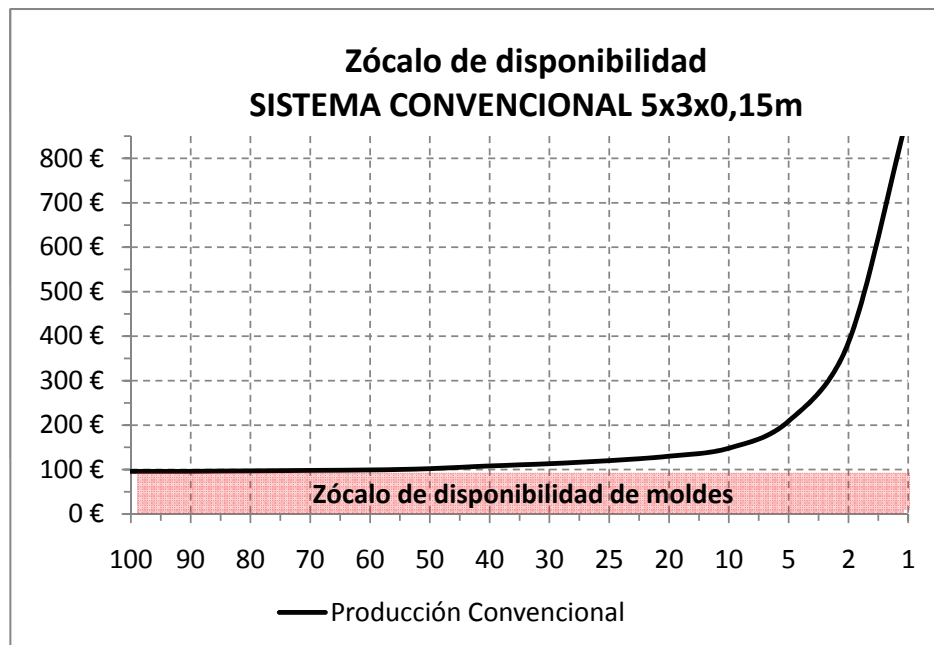


PANEL 5x3x0,15m				
Repeticiones	SIN ESTANQUEIDAD		CON ESTANQUEIDAD	
	Producción Convencional	Producción Propuesta	Conv. + Estanq.	Propuesta + Estanq.
100	96 €	150 €	171 €	174 €
90	96 €	150 €	171 €	174 €
80	97 €	150 €	172 €	174 €
70	98 €	150 €	173 €	174 €
60	99 €	150 €	174 €	174 €
50	102 €	150 €	177 €	174 €
40	108 €	150 €	183 €	174 €
30	113 €	150 €	188 €	174 €
25	120 €	150 €	195 €	174 €
20	130 €	150 €	205 €	174 €
10	148 €	150 €	223 €	174 €
5	209 €	150 €	284 €	174 €
2	386 €	150 €	461 €	174 €
1	904 €	150 €	979 €	174 €

8,20 €/ml *coste de sellado junta entre paneles incluido mano de obra, material y medios auxiliares*  
1,50 €/ml *Coste gomas de estanqueidad incluido mano de obra y material*







**ANEXO 8- Tablas de cálculo del sistema de producción de la PROPUESTA 2x3x0,15m**



## PROPUESTA - Tabla de los costes de producción de un molde de 2x3x0,15m

NOTA sobre los costes asociados a la conformación de las matrices de extrusión

CONFORMACIÓN MATRIZ		€/ud	
Aluminio	Boquilla extrusión	1.000-3.000*	
EPDM	Boquilla extrusión	300-500*	
Silicona	Boquilla extrusión	300-500*	* (amortización del coste apartir de 3.500ml)

### CORTE DE LOS SEMIPRODUCTOS LINEALES A LA LONGITUD DESEADA (apartado 6.3.1)

#### Mano de Obra

	ud cort.	t (min)	€/min		
<b>Perimetro exterior</b>					
Operaciones de corte	4	1	0,33	1,32 €	
Reprogramación máquina	2	3	0,33	1,98 €	
	ml	t (min) /ml	€/min		
Colocación de gomas estanqueidad	1	0,3	0,33	0,1	€/ml
<b>Perimetro interior</b>	ud cort.	t (min)	€/min		
Operaciones de corte	2	1	0,33	0,66 €	
Reprogramación máquina	1	3	0,33	0,99 €	
<b>TOTAL</b>				<b>4,95 €</b>	

#### Material

		mm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	€/kg	€/ml	
Coste perfil		400	0,000400	2,8	3,02	
<b>Perimetro exterior</b>		€/kg	€/ml	ml		
Extrusión P.Exterior Aluminio	Coste material	2,80	3,02	10	30,24	
Extrusión P.Exterior EPDM	Coste material	-	0,20	1	0,2	€/ml
			doble goma estanqueidad		0,40	€/ml
Extrusión P.Exterior Silicona	Coste material	-	0,40	-	-	
		€/m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> int.	m <sup>2</sup> ext.		
Lacado P.Exterior	color estándar	2,00	0		0	
Lacado P.Exterior	color especial	3,00	-			
Anodizado P.Exterior	natural 15micras	2,10	-			
Anodizado P.Exterior	negro/acero 15micras	4,00	-			

<b>Perimetro intermedio</b>		€/kg	€/ml	ml	
Extrusión P.Intermedios Aluminio Coste material		3,00	5,02	0	0
		€/m2	m² int.	m² ext.	
Lacado P.Intermedios	color estándar	2,00	0		0
Lacado P.Intermedios	color especial	3,00	-		
Anodizado P.Exterior	natural 15micras	2,10	-		
Anodizado P.Exterior	negro/acero 15micras	4,00	-		
<b>Perimetro interior</b>		€/kg	€/ml	ml	
Extrusión P.Interior Aluminio Coste material		3,00	0,00	0	0
		€/m2	m² int.	m² ext.	
Lacado P.Interior	color estándar	2,00	0		0
Lacado P.Interior	color especial	3,00	-		
Anodizado P.Exterior	natural 15micras	2,10	-		
Anodizado P.Exterior	negro/acero 15micras	4,00	-		
<b>TOTAL</b>				<b>30,24 €</b>	

### MECANIZADO DE LOS PERFILES (apartado 6.3.2)

#### Mano de Obra

<b>Perimetro exterior</b>		ud cort.	t (min)	€/min	
Mecanizado P.Exterior		4	3	0,33	3,96 €
Reprogramación máquina		1	5	0,33	1,65 €
<b>Perimetro intermedio</b>		ud cort.	t (min)	€/min	
Mecanizado P.Intermedio		0	3	0,33	0,00 €
Reprogramación máquina		0	5	0,33	0,00 €
<b>Perimetro interior</b>		ud cort.	t (min)	€/min	
Mecanizado P.Interior (ventana)		0	3	0,33	0,00 €
Reprogramación máquina		0	5	0,33	0,00 €
<b>TOTAL</b>				<b>5,61 €</b>	

### RETESTADO DE PERFILES (apartado 6.3.3)

#### Mano de Obra

<b>Perimetro exterior</b>		ud cort.	t (min)	€/min	
Retesteo P.Exterior		0	3	0,33	0,00 €
Reprogramación máquina		0	1	0,33	0,00 €



<b>Perimetro intermedio</b>	ud cort.	t (min)	€/min	
Retesteo P.Intermedio	0	6	0,33	0,00 €
Reprogramación máquina	0	1	0,33	0,00 €
<b>Perimetro interior</b>	ud cort.	t (min)	€/min	
Retesteo P.Interior (ventana)	0	3	0,33	0,00 €
Reprogramación máquina	0	1	0,33	0,00 €
<b>TOTAL</b>				<b>0,00 €</b>

### ENSAMBLAJE DE LOS PERFILES (apartado 6.3.4)

#### Mano de Obra

<b>Perimetro exterior</b>	ud cort.	t (min)	€/min	
Ensamblaje P.Exterior	2	40	0,33	26,40 €
Reprogramación máquina	0	5	0,33	0,00 €
<b>Perimetro intermedio</b>	ud cort.	t (min)	€/min	
Ensamblaje P.Intermedio	0	5	0,33	0,00 €
Reprogramación máquina	0	5	0,33	0,00 €
<b>Perimetro interior</b>	ud cort.	t (min)	€/min	
Ensamblaje P.Interior (ventana)	0	40	0,33	0,00 €
Unión con perfiles intermedios	0	15	0,33	0,00 €
Reprogramación máquina	0	5	0,33	0,00 €
<b>TOTAL</b>				<b>26,40 €</b>

#### Material

<b>Perimetro exterior</b>	€/ud	Ensamblaje	uds	
Escuadras P.Exterior Aluminio Tipo 1	0,11	4,00	1	0,44
Tornillería Tipo 1	0,05	8,00	1	0,4
<b>Perimetro intermedio</b>	€/ud	Ensamblaje	uds	
Escuadras P.Interior Aluminio Tipo 2	0,00	4,00	1	0
Tornillería Tipo 2	0	8,00	1	0
<b>Perimetro interior</b>	€/ud	Ensamblaje	uds	
Escuadras P.Exterior Aluminio Tipo 1	0,00	4,00	1	0
Tornillería Tipo 1	0	8,00	1	0
<b>TOTAL</b>				<b>0,84 €</b>

**SELLADO DE UNIONES (apartado 6.3.5)****Mano de Obra**

	ud cort.	t (min)	€/min	
<b>Perimetro exterior</b>				
Sellado P.Exterior	4	5	0,33	6,60 €
<b>Perimetro intermedio</b>				
Sellado P.Intermedio	4	5	0,33	6,60 €
<b>Perimetro interior</b>				
Sellado P.Interior (ventana)	0	5	0,33	0,00 €
Sellado con perfiles intermedios	0	5	0,33	0,00 €
<b>TOTAL</b>				<b>13,20 €</b>

**Material**

	€/ud	Ensamblaje	uds	
<b>Perimetro exterior</b>				
Sellado P.Exterior	0,1	4	1,00	0,40 €
<b>Perimetro intermedio</b>				
Sellado P.Intermedio	0,1	0	1,00	0,00 €
<b>Perimetro interior</b>				
Sellado P.Interior (ventana)	0,1	0	1,00	0,00 €
Sellado con perfiles intermedios	0,1	0	1,00	0,00 €
<b>TOTAL</b>				<b>0,40 €</b>

### FIJACIÓN Y SELLADO DE LOS MOLDES PERIMETRALES SOBRE LA MESA (apartado 6.4.1)

#### Mano de Obra

<b>Perimetro exterior</b>				
	ud	min/ud	€/min	
Fijación mecanica Perimetro exterior	8,00	10,00	0,42	33,60
Fijación magnetica Perimetro exterior	0,00	20,00	0,42	0,00
	ml	min/m		
Sellado perfiles	10,00	0,50	0,42	2,10
<b>Perimetro interior</b>				
	ud	min/ud		
Fijación mecanica Perimetro interior	0,00	35,00	0,42	0,00
Fijación magnetica Perimetro interior	0,00	11,00	0,42	0,00
	ml	min/m		
Sellado perfiles	0,00	0,50	0,42	0,00
<b>TOTAL</b>				<b>35,70</b>

#### Material

<b>Perimetro exterior</b>				
	ud	€/ud		
Fijación mecanica Perimetro exterior	8,00	0,35		2,80
Fijación magnetica Perimetro exterior	0,00	1,80		0,00
	ml	€/m		
Cinta de sellado	10,00	0,05		0,50
<b>Perimetro interior</b>				
	ud	€/ud		
Fijación mecanica Perimetro interior	0,00	0,35		0,00
Fijación magnetica Perimetro interior	0,00	1,80		0,00
	ml	€/m		
Cinta de sellado	0,00	0,05		0,00
<b>TOTAL</b>				<b>3,30</b>

## RESUMEN de la distribución de los costes (2x3x0,15m)

### RESUMEN DE COSTES 1r BASTIDOR y REPETICION

Mano de Obra		85,86 €
Material		34,78 €
<b>TOTAL COSTES DIRECTOS</b>		<b>120,64 €</b>
<b>COSTES INDIRECTOS 30-40%</b>	30%	36,19 €
<b>COSTE FINAL</b>		<b>156,83 €</b>
Repercusión		10,46 €/m <sup>2</sup>

### EJECUCIÓN DEL MOLDE PERIMETRAL CLIENTALIZADO Coste M.O. y Mat. 120,64 € 100,00%

- 1- Corte SL longitud
- 2- Mecanizado SL
- 3- Retestado SL
- 4- Ensamblaje SL
- 5- Sellado esquinas Bastidor
- 6- Fijación del bastidor sobre la mesa

		Parcial	Global
<i>Mano de Obra</i>	<b>85,86 €</b>	71,2%	71,2%
<i>Material</i>	<b>34,78 €</b>	28,8%	28,8%

### ZÓCALO DE DISPONIBILIDAD DEL MOLDE Coste M.O. y Mat. 39,00 € #¡VALOR!

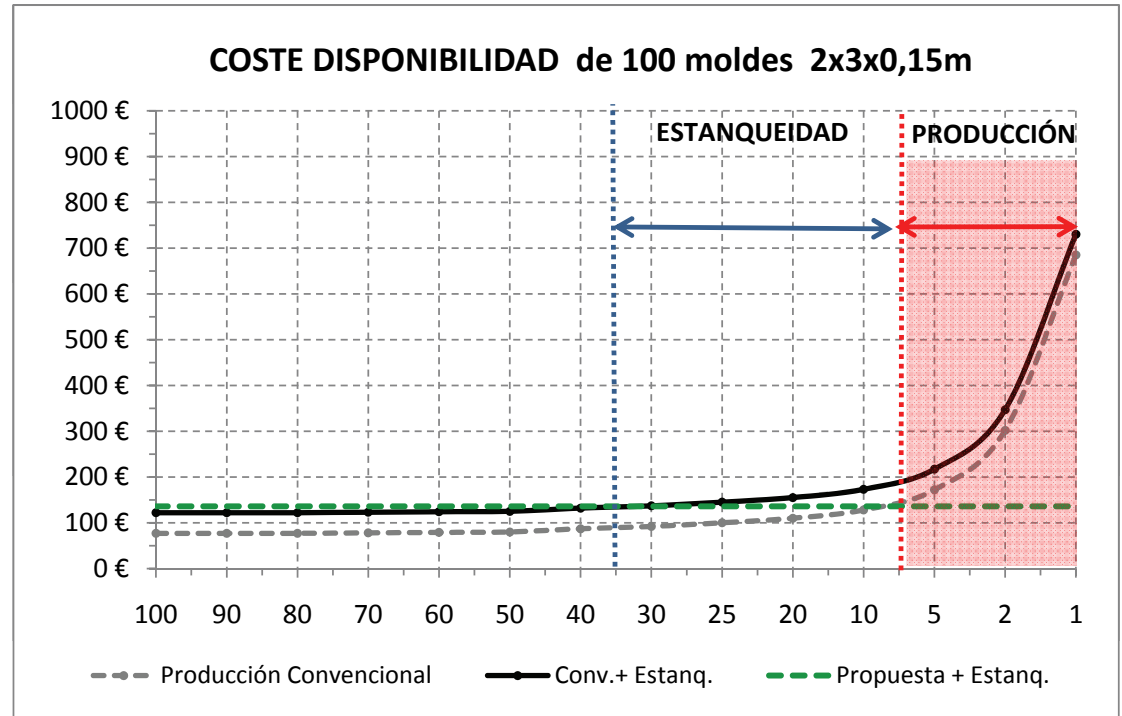
- 6- Fijación y sellado del bastidor sobre la mesa

		Parcial	Global
<i>Mano de Obra</i>	<b>35,70 €</b>	91,5%	29,6%
<i>Material</i>	<b>3,30 €</b>	8,5%	2,7%

**PROPUESTA - Analisis del coste de disponibilidad de un molde según niveles de clientalización (2x3x0,15)**

PANEL 2x3x0,15m				
Repeticiones	SIN ESTANQUEIDAD		CON ESTANQUEIDAD	
	Producción Convencional	Producción Propuesta	Conv. + Estanq.	Propuesta + Estanq.
100	77 €	121 €	122 €	136 €
90	77 €	121 €	122 €	136 €
80	77 €	121 €	122 €	136 €
70	78 €	121 €	123 €	136 €
60	79 €	121 €	124 €	136 €
50	80 €	121 €	125 €	136 €
40	87 €	121 €	132 €	136 €
30	92 €	121 €	137 €	136 €
25	100 €	121 €	145 €	136 €
20	110 €	121 €	155 €	136 €
10	128 €	121 €	173 €	136 €
5	172 €	121 €	217 €	136 €
2	302 €	121 €	347 €	136 €
1	685 €	121 €	730 €	136 €

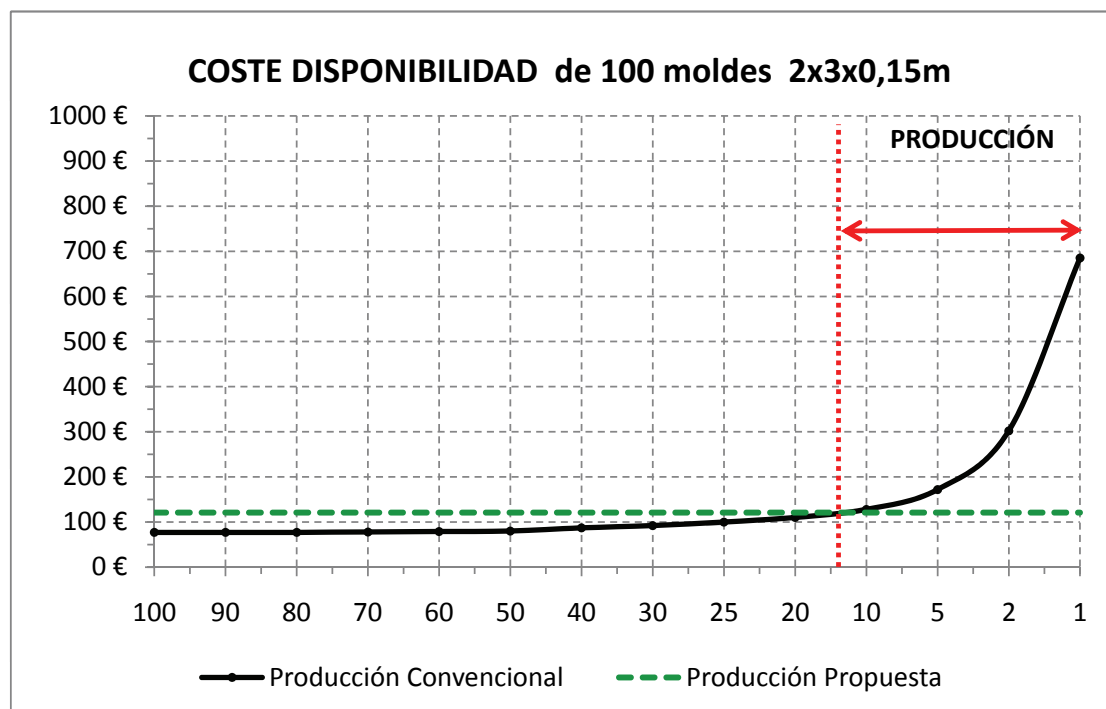
8,20 €/ml *coste de sellado junta entre paneles incluido mano de obra, material y medios auxiliares*  
 1,50 €/ml *Coste gomas de estanqueidad incluido mano de obra y material*

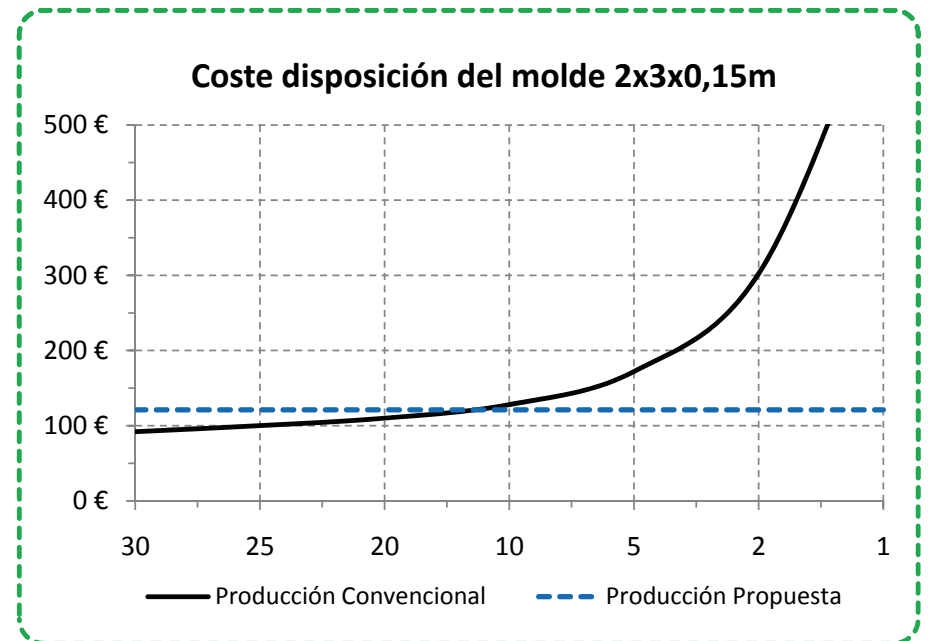
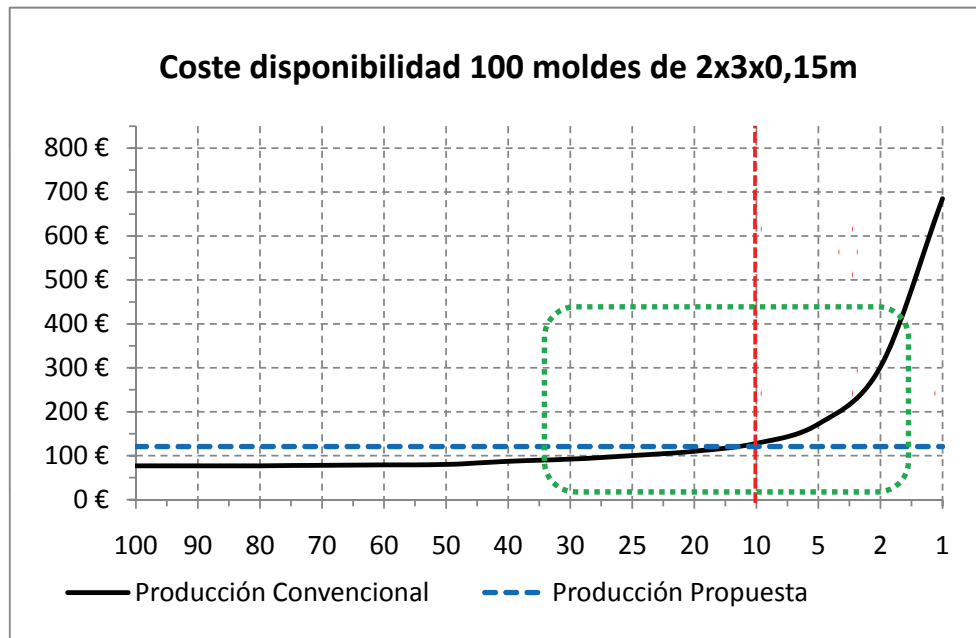


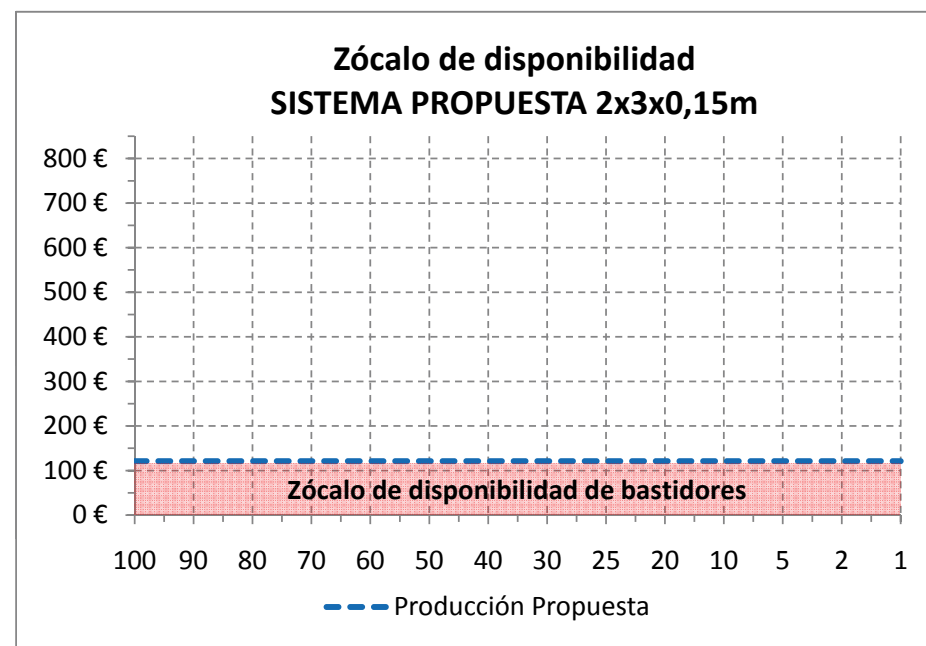
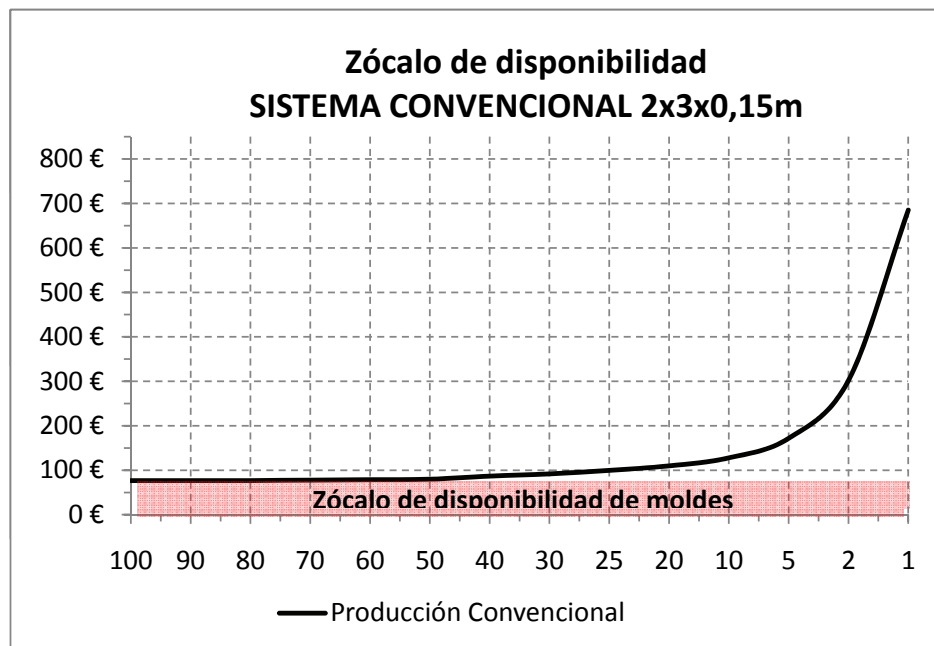
PANEL 2x3x0,15m				
Repeticiones	SIN ESTANQUEIDAD		CON ESTANQUEIDAD	
	Producción Convencional	Producción Propuesta	Conv. + Estanq.	Propuesta + Estanq.
100	77 €	121 €	122 €	136 €
90	77 €	121 €	122 €	136 €
80	77 €	121 €	122 €	136 €
70	78 €	121 €	123 €	136 €
60	79 €	121 €	124 €	136 €
50	80 €	121 €	125 €	136 €
40	87 €	121 €	132 €	136 €
30	92 €	121 €	137 €	136 €
25	100 €	121 €	145 €	136 €
20	110 €	121 €	155 €	136 €
10	128 €	121 €	173 €	136 €
5	172 €	121 €	217 €	136 €
2	302 €	121 €	347 €	136 €
1	685 €	121 €	730 €	136 €

8,20 €/ml *coste de sellado junta entre paneles incluido*

1,50 €/ml *Coste gomas de estanqueidad incluido*  
*mano de obra y material*









**ANEXO 9- Tablas de cálculo para el análisis de la repercusión de la JUNTA**



## Analisis de los costes de sellado de 100 paneles planos de hormigón

### COSTES ASOCIADOS A LAS OPERACIONES DE SELLADO DE 100 PANELES DE 5x3x0,15r CASO A

#### REPERCUSIÓN ml de JUNTA POR PANEL

		nº juntas	long ml	ml
<b>Juntas verticales</b>				
	Juntas verticales	21	15	315,00
<b>Juntas horizontales</b>				
	Juntas horizontales	6	100	600,00
<b>TOTAL</b>				<b>915,00 ml</b>
<b>Longitud junta del panel</b>				
	nº paneles	alto (ml)	ancho (ml)	ml teórica
	100	3	5	<b>1.600,00</b>

**REPERCUSION JUNTA 0,57 ml/ml**

#### COSTE DE LA JUNTA

<b>Rendimiento del sellado</b>	Redimiento	ml junta	ml/dia	dias
	Rendimiento	50-100 ml/dia	915,00 ml	75
<b>Medios auxiliares</b>	Desplazamiento	€/dia	dias	€ total
	Coste Alquiler plataforma	305 €	138	12,20
		€ total	ml junta	€/ml
	Repercusión ml	1.988,60	915	<b>2,17</b>
<b>Coste del sellado</b>	€/ml			€/ml
	Mano de obra + material	5,8		<b>5,8</b>
<b>TOTAL</b>				<b>7,97 €/ml</b>

**COSTES ASOCIADOS A LAS OPERACIONES DE SELLADO DE 100 PANELES DE 2x3x0,15m CASO B**

**REPERCUSIÓN ml de JUNTA POR PANEL**

Juntas verticales		nº juntas	long ml	ml	
Juntas verticales		21	15	315,00	
Juntas horizontales		nº juntas	long ml	ml	
Juntas horizontales		6	40	240,00	
<b>TOTAL</b>				<b>555,00 ml</b>	
Longitud junta del panel		nº paneles	alto (ml)	ancho (ml)	ml teórica
Longitud junta del panel		100	3	2	<b>1.000,00</b>

**REPERCUSION JUNTA 0,555 ml/ml**

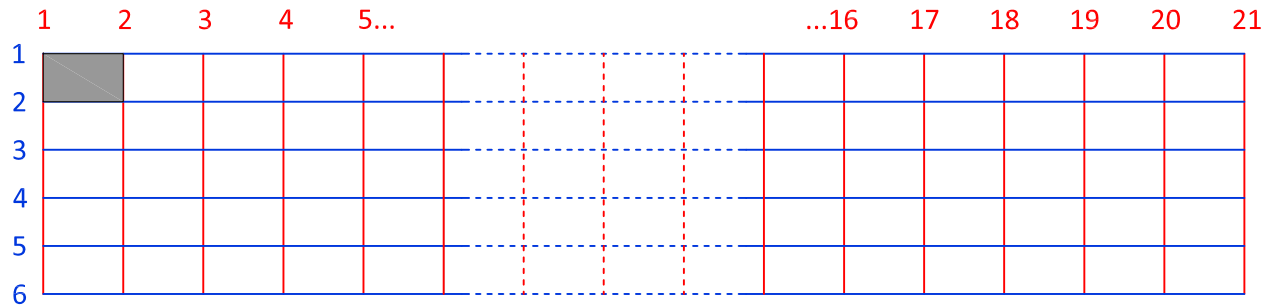
**COSTE DE LA JUNTA**

Rendimiento del sellado		Redimiento	ml junta	ml/dia	dias
Rendimiento		50-100 ml/dia	555,00 ml	75	7,40
Medios auxiliares		Desplazamiento	€/dia	dias	€ total
Coste Alquiler plataforma		305 €	138	7,40	1.326,20
Repercusión ml			€ total	ml junta	€/ml
Repercusión ml			1.326,20	555	<b>2,39</b>
Coste del sellado		€/ml			€/ml
Limpieza Junta + Mano de obra + material		5,8			<b>5,8</b>
<b>TOTAL</b>					<b>8,19 €/ml</b>

**ANEXO 10- Documentación grafica de la repercusión de la JUNTA**



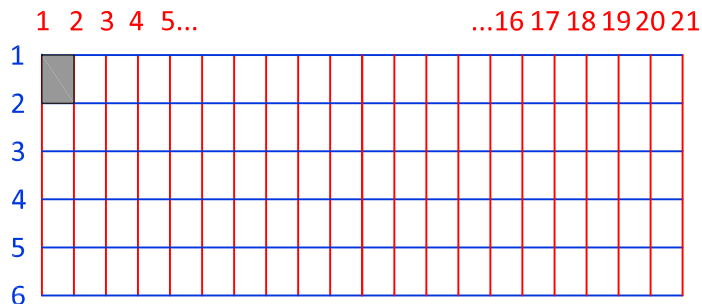
**CASO A - Juntas de 100 paneles (3x5x0.15m)**



Juntas verticales 21 x 15ml = 315 ml  
 Juntas horizontales 6 x 100ml = 600 ml  
 TOTAL = 915 ml /100 paneles = 9,15 ml/panel  
 Teorico panel: 16 ml

**Repercusión junta panel = 0,57 ml/ml**

**CASO B - Juntas de 100 paneles (3x2x0.15m)**

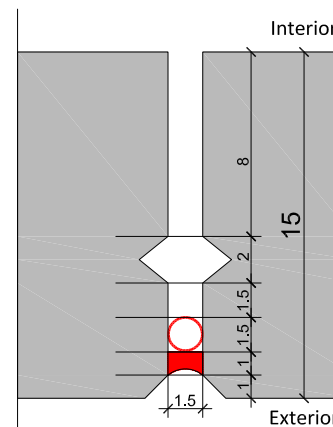


Juntas verticales 21 x 15ml = 315 ml  
 Juntas horizontales 6 x 40ml = 240 ml  
 TOTAL = 555 ml /100 paneles = 5,55 ml/panel  
 Teorico panel: 10 ml

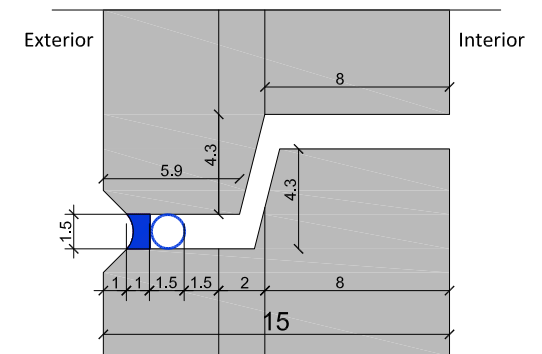
**Repercusión junta panel = 0,55 ml/ml**

**JUNTA PARA PANEL DE HORMIGÓN DE 15cm de espesor**

Fondo de junta (cordon celular) + Sellado (silicona neutra)



**JUNTA VERTICAL**



**JUNTA HORIZONTAL**

'La clientalización de la forma de los sistemas industrializados de fachada'

Cálculo de la repercusión por ml de junta entre 100 paneles

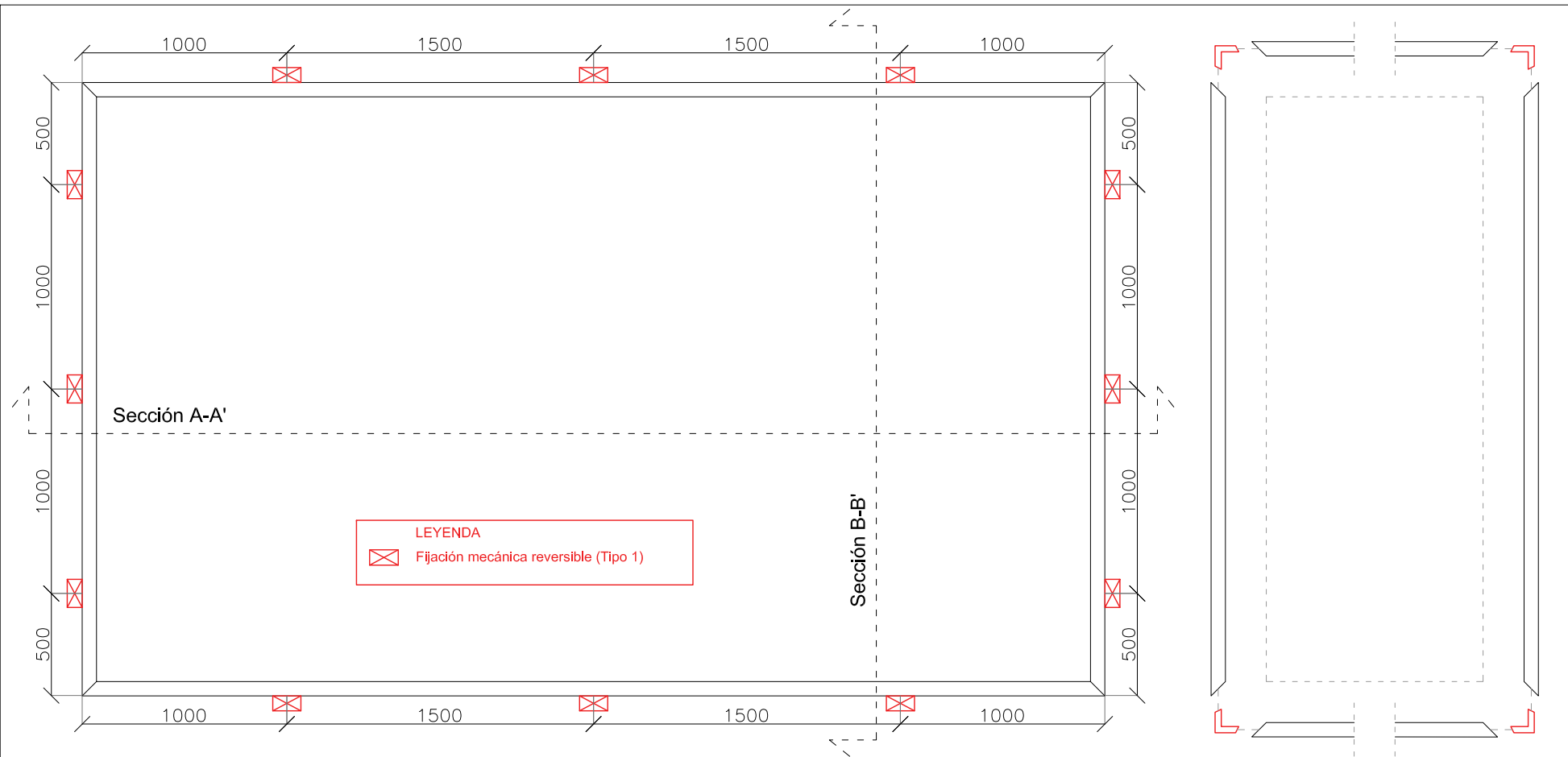
Descripcion del tipo de junta analizada



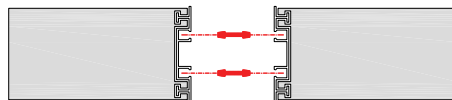


**ANEXO 11- Documentación grafica del panel PROPUESTA de 5x3x0,15m**

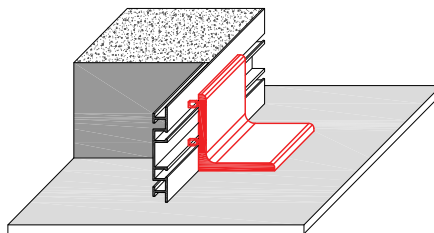




PERFIL TIPO A - Sección vertical y horizontal



JUNTA DEL COMPONENTE



Perfil aluminio bastidor

Fijación puntual perfil

Caja de gomas

Fijación puntual Perfil L80

Mesa montaje

SECCIÓN A-A'

Perfil aluminio bastidor

Fijación puntual perfil

Caja de gomas

Perfil L80

Mesa montaje

SECCIÓN B-B'

Perfil aluminio bastidor

Fijación puntual perfil

Caja de gomas

Fijación puntual Perfil L80

Mesa montaje

Perfil aluminio bastidor

Fijación puntual perfil

Caja de gomas

Perfil L80

Mesa montaje

'La cidentalización de la forma de los sistemas industrializados de fachada'

PROPUESTA Panel 5x3x0,15m

Plano de fabricación

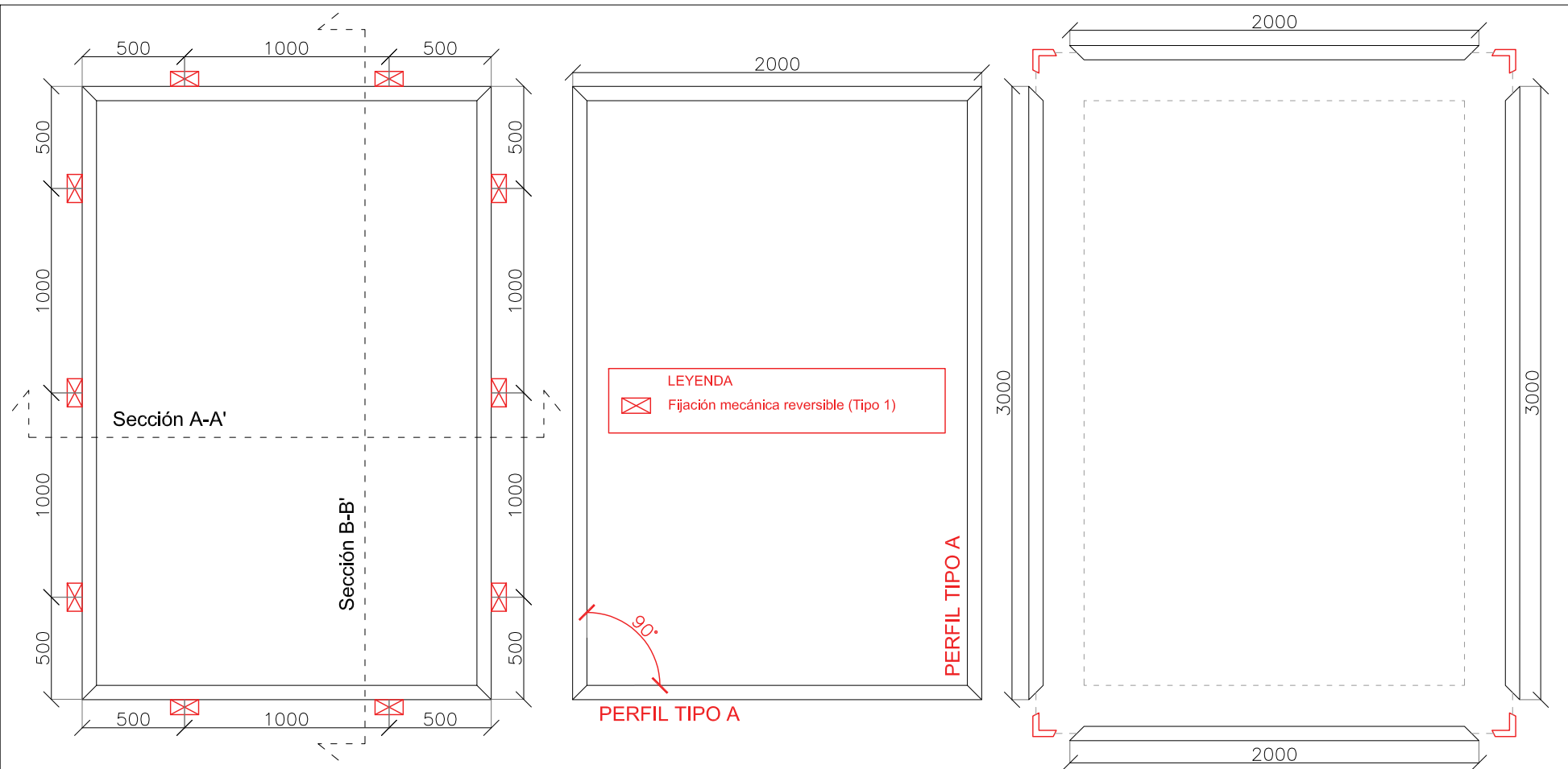
5a



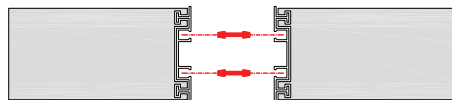


**ANEXO 12- Documentación grafica del panel PROPUESTA de 2x3x0,15m**

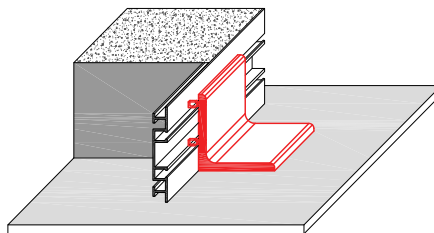




PERFIL TIPO A - Sección vertical y horizontal



JUNTA DEL COMPONENTE



Perfil aluminio bastidor

Fijación puntual perfil

Caja de gomas

Fijación puntual Perfil L80

Mesa montaje

SECCIÓN A-A'

Perfil aluminio bastidor

Fijación puntual perfil

Caja de gomas

Perfil L80

Mesa montaje

SECCIÓN B-B'

Perfil aluminio bastidor

Fijación puntual perfil

Caja de gomas

Fijación puntual Perfil L80

Mesa montaje

Perfil aluminio bastidor

Fijación puntual perfil

Caja de gomas

Perfil L80

Mesa montaje

'La racionalización de la forma de los sistemas industrializados de fachada'

PROPUESTA Panel 2x3x0,15m

Plano de fabricación

5b







## **BIBLIOGRAFÍA**



## Bibliografía

### Libros

1. KIERAN, Stephen; and TIMBERLAKE, James. *Refabricating Architecture: How Manufacturing Methodologies are Poised to Transform Building Construction*. New York: McGraw-Hill, 2004. ISBN 0-07-143321-X
2. K.LIKER, Jeffrey. *Las claves del éxito de Toyota. 14 principios de gestión del fabricante más grande del mundo*. McGraw-Hill, 2004. ISBN 978-84-9875-074-4
3. PARICIO, Ignacio. *La Construcción de la Arquitectura – Vol. 1 “Las Técnicas”*. Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya - ITeC. 3ª edición Marzo 1996. ISBN 84-7853-375-3
4. PARICIO, Ignacio. *La Construcción de la Arquitectura – Vol. 2 “Los Elementos”*. Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya - ITeC. 3ª edición Marzo 1996. ISBN 84-7853-293-5
5. ZAMORA, Joan Lluís. *Projectar l'arquitectura des de la coordinació dimensional*. Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya - ITeC. 1ª edición Octubre 2004. ISBN 84-7853-474-1
6. BENDER, Richard. *Una visión de la construcción industrializada*. Ed. Gustavo Gili, S.A. 1976. ISBN 84-252-0636-7
7. G.H. DIETZ, Albert and S. CUTLER Laurence. *Industrialized Building Systems for Housing*. Ed. The Massachusetts Institute of Technology, 1971. ISBN 0-262-04034-4

8. BERNARD, Paul. *La construcción por componentes compatibles*. Editores técnicos asociados, S.A. 1982. Segunda edición. ISBN 84-7146-234-6
9. ARAUJO, Ramón. *La arquitectura como técnica*. A.T.C Ediciones. 2007. ISBN 978-84-920517-0-0; 978-84-920517-1-7
10. ARAUJO, Ramón. *La construir en altura. Sistemas, tipos y estructuras*. Editorial Reverté, S.A. 2012. ISBN 978-84-291-3103-1
11. HUFNAGEL, W. (Responsable de la 14ª edición alemana). *Manual del Aluminio*. Ed. REVERTÉ, S.A. 1992. ISBN 84-291-6011-6
12. DEL AGUILA GARCIA, Alfonso. *La industrialización de la edificación de viviendas. Tomo 1-Sistemas*. Maireia Libros, Madrid. 2006. ISBN 978-84-934711-3-2
13. DEL AGUILA GARCIA, Alfonso. *La industrialización de la edificación de viviendas. Tomo 2-Componentes*. Maireia Libros, Madrid. 2006. ISBN 978-84-934711-4-9
14. CHEMILLIER, Pierre. *Industrialización de la construcción. Los procesos tecnológicos y su futuro*. Editores técnicos asociados, s.a. Barcelona 1980. ISBN 84-7146-211-7
15. T. FETTERS, Thomas. *The Lustron home. The history of a postwar prefabrication housing experiment*. McFarland & Company, Inc., Publishers. ISBN-13:978-0-7864-2655-3
16. KNAACK, Ulrich; KLEIN, Tillmann; BILOW, Marcel; AUER, Thomas. *Facades, principles of construction*. Birkhäuser Verlag AG 2007. ISBN 978-3-7643-7943-9
17. SEMINARIO DE PREFABRICACION. *Fachadas prefabricadas de hormigón*. 1973 ed. Hermann Blume ediciones. Madrid. ISBN 84-7214-087-3
18. BROOKES, Alan J. *Cladding of Buildings*. Published by E & FN Spon, London. 3a edición 1998. ISBN 0-41922170-0

19. AVELLANEDA, Jaume; CUCHÍ, Albert; ZAMORA, Joan-Lluís. *Manual de diseño de Fachadas en Hormigón Arquitectónico*. Barcelona 1980. Depósito legal: B. 25.985-1980
20. VON HALÁSZ, Robert; TANTOW, Günter. *La construcción con grandes elementos prefabricados. Cálculo y diseño*. Ediciones Urmo, Bilbao 1972. ISBN BI.1001-1972
21. R.M.E. DIAMANT, MSc. In collaboration with The Architect & Building News. *Industrialized building 1- 50 International Methods*. Printed and bound by The Chapel River Press, Andover, Hants 1965.
22. R.M.E. DIAMANT, MSc. In collaboration with The Architect & Building News. *Industrialized building 2- 50 International Methods. Second series*. Printed and bound by The Chapel River Press, Andover, Hants 1965.
23. R.M.E. DIAMANT, MSc. In collaboration with The Architect & Building News. *Industrialized building 3- 50 International Methods. Third series*. Printed and bound by The Chapel River Press, Andover, Hants 1968.
24. DAWSON, Susan. *Cast in concrete. Reconstructed Stone and precast concrete - a guide for architects*. Architectural Cladding Association, 1995. ISBN 1 86081 034 9
25. NISSEN, Henrik. *Construcción industrializada y diseño modular*. Hermann Blume ediciones, Madrid 1976. ISBN 84-7214-074-1
26. CALLISTER, William D. Jr. *Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales*. Editorial Reverté, S.A. Barcelona 1997. ISBN 84-291-7253-X
27. NIETO NIETO, Justo. *Y tu..., ¿Innovas o abdicas?*. Editorial de la UPV, Valencia 2008. ISBN 978-84-8363-303-8

## Resistas técnicas y normas

28. BFT INTERNATIONAL: "Publicación profesional para fabricantes de piezas de hormigón, hormigón armado y fabricantes de equipos e instalaciones de producción". Números 01,02 y 03 año 2009. Edición española.
29. BFT INTERNATIONAL: "Publicación profesional para fabricantes de piezas de hormigón, hormigón armado y fabricantes de equipos e instalaciones de producción". Números 01,02 y 03 año 2010. Edición española.
30. PHI: "Planta de Hormigón Internacional". Números 05 y 06 año 2010. Edición española.
31. PHI: "Planta de Hormigón Internacional". Números 03 y 04 año 2011. Edición española.
32. MONOGRAFÍA TECTÓNICA (1997): "Monografía 5: el hormigón prefabricado" Revista semestral. Editada por ATC Ediciones S. L.
33. DETAIL "Revista de arquitectura y detalles constructivos. Hormigón. Edición Española. Revista nº1 de 2004. ISSN 1578-57-69
34. PRECAST CONCRETE INSTITUTE (1973): "Architectural Precast Concrete" Libro documental. Editado por Hermann Blume editores
35. INTEMAC (1999): "Prefabricación de Edificios y naves industriales" Monografía Nº 4 realizada por Calavera,J. y Fernández, J. en colaboración con INTEMAC.
36. IECA (1996) "Edificación con prefabricados de hormigón. Para usos industriales, comerciales, aparcamientos y servicios" Editado por IECA en colaboración con ANDECE

37. *Manual de Producto: Fachadas Ligeras*. Madrid: Asociación Española de Fabricantes de Fachadas Ligeras y Ventanas ASEFAVE, 2006. ISBN 8481434655.
38. LITZ, Hans. *Technique de la coordination modulaire dans la construction de logements: la méthode CRA. Manuel et introduction à l'application pratique. Cotes normalisées recommandées état 1975*. GRoup de travail CRL Coordination dimensionnelle.
39. LITZ, Hans. *Modulare Masskoordination im Wohnungsbau. Arbeitsbericht. FKW Arbeitsgruppe Masskoodination. Technische Sachbearbeitung. 1975*
40. BLANCHÈRE, Gerard. *La situation de la coordination modulaire dans le monde*. Centre Scientifique et Technique du Batiment. Avril 1973.
41. *Dimensional co-ordination for building. Rcommended Dimensions of basicSpace for selected Building Components and Assemblies used in Educational, Health, Housing and Office Buildings*. D.C.10 Ministry of Public Building and Works.
42. 'Sistema industrializado de paneles de hormigón armado PANELMARK' DIT 407 concedido por el Instituto Eduardo Torroja el 21 de Mayo de 2003 al sistema constructivo desarrollado por Leiro

### **Tesis y tesinas**

43. 'Análisis de las áreas de compatibilidad entre construcción e industrialización. Los semiproductos y otras alternativas'. Ignacio Paricio Ansuátegui. 1979
44. 'La hoja interior de la fachada ventilada. Análisis, taxonomía y prospectiva'. Cristina Pardal March. 2009
45. 'Experimentation and analysis of contourcrafting (cc) process using uncured ceramic materials'. Hongkyu Kwon. 2002

46. *'3d-shape y Contour crafting. Las técnicas de automatización aplicadas a la construcción arquitectónica: el "Rapid Building"*. Cristina Contu. 2012

### Artículos

47. CASANOVAS VILLANUEVA, A. *'El mejor almacén es el que no existe'*. Insituto Lean Management. Octubre 2006. <http://www.institutolean.org>. (ultimo acceso: 23-10-2012)
48. CUATRECASAS, Luis. *'Cómo implantar realmente el Lean Management' (6).Pull–Push*. Julio 2008. <http://www.institutolean.org> (ultimo acceso: 23-10-2012)
49. CUATRECASAS, Luis. *'Producir sin parar, ¿es éste el objetivo a perseguir?'*. Junio 2010. <http://www.institutolean.org> (ultimo acceso: 23-10-2012)
50. CUATRECASAS, Luis. *'General Motors: ¿el fin del modelo tradicional de gestión?'*. Julio 2008. <http://www.institutolean.org> (ultimo acceso: 23-10-2012)
51. CUATRECASAS, Luis. *'¿Por qué los modelos de gestión tradicional dan una falsa imagen de eficiencia?'*. Noviembre 2010. <http://www.institutolean.org> (ultimo acceso: 23-10-2012)
52. VILANA ARO, J.R. *'Beneficios de la personalización en masa'*. Tecnología y desarrollo. Universidad Alfonso X el Sabio. ISSN 1696-8085  
[http://www.uax.es/publicaciones/archivos/TECTIN06\\_001.pdf](http://www.uax.es/publicaciones/archivos/TECTIN06_001.pdf) (último acceso: 23-10-2012)
53. VILANA ARO, J.R. *'Cómo fabricar en masa productos personalizados'*. DYNA Vol.LXXXI-5. Pág.24-28. Junio 2006. <http://dialnet.unirioja.es/> (ultimo acceso: 23-10-2012)
54. AVELLA CAMARERO, Lucia *'¿Es la fabricación ágil un nuevo modelo de producción?'*. Universia Business Review. ISSN 1698-5117.  
<http://ubr.universia.net/pdfs/UBR0022005094.pdf> (ultimo acceso: 23-10-2012)



55. ARAUJO, Ramón. *'Hormigón prefabricado y construcción en altura'*. Revista Tectónica nº4. Hormigón prefabricado.
56. PÉREZ ARNAL, Ignasi. *'Encofrados, moldes y acabados'*. Revista Tectónica nº2. Hormigón (I) 'In Situ'.
57. MONTES, J; CAMPS I.P; FUSTER, A. *'Industrialización en la vivienda social de Madrid'* Informes de la construcción. Vol.63, 522, 5-19. Junio 2011. ISSN 0020-0883
58. GONZALEZ, S; SÁNCHEZ-MORA, F. *'Arquitectura vertida'*. Informes de la construcción. Vol.58, 530, 49-56. Septiembre 2006. ISSN 0020-0883
59. PEREZ ARROYO, S. *'Industrializar'*. Informes de la construcción. Vol.61, 513, 5-10. Marzo 2009. ISSN 0020-0883
60. GÓMEZ JÁUREGUI, V. *'Habidite: viviendas modulares industrializadas'*. Informes de la construcción. Vol.61, 513, 33-46. Marzo 2009. ISSN 0020-0883
61. DEL ÁGUILA, A; GÓMEZ, I; BORSETTI, M; HERNANDO, S; FERNANDEZ, C. *'Los edificios de paneles más altos de España'*. Informes de la construcción. Vol.61, 513, 59-72. Marzo 2009. ISSN 0020-0883
62. SALAS, J. *'De los sistemas de prefabricación cerrada a la industrialización sutil de la edificación: algunas claves del cambio tecnológico'*. Informes de la construcción. Vol.60, 512, 19-34. Diciembre 2009. ISSN 0020-0883
63. GONZÁLEZ-BLANCO F. *'Gz/10. Un prototipo experimental de vivienda unifamiliar. Aplicación práctica de la última patente del arquitecto Miguel Fisac'*. Informes de la Construcción'.Vol. 64, 526, 153-166. Junio 2012. ISSN 0020-0883

## **Patentes**

64. *'Estructural cement slab'*. Patente US 2,338,246 Inventor: E.C. Hoge (1944)

65. *'Building enclosure of panels'*. Patente US 3,394,523 Inventor: W.J.Sackett (1968)
66. *'Lightweight structural panel'*. Patente US 3,484,999 Inventor: C. Van Der Lely. (1969)
67. *'Lightweight structural panel'*. Patente US 3,604,174 Inventor: Thomas J. Nelson Jr. (1971)
68. *'Method for producing prefabricated wall section with molded panels'*. Patente US 3,885,008 Inventor: Robert E. Martin. (1975)
69. *'Building wall panel and method of making same'*. Patente US 4,185,437 Inventor: Ralph C. Robinson. (1980)
70. *'Method of forming a prefabricated concrete panel'*. Patente US 4,506,428 Inventor: Robert E. Gerhard. (1985)
71. *'Tilt-wall concrete panel and method of fabricating buildings therewith'*. Patente US 4,856,244 Inventor: Guy C. Clapp (1989)
72. *'Reinforced structural member for building constructions'*. Patente US 5,414,972 Inventor: Antonio R. Ruiz (1995)
73. *'Composite Building Panel'*. Patente US 5,5265,629 Inventor: Joseph A. Cavaness (1996)
74. *'Tilt-Up concrete wall panel form and method of fabricating same'*. Patente US 6,658,810 B2 Inventor: W. Michael DeLoach, Sr. (2003)
75. *'Procedimiento de construcción de viviendas y similares'*. Patente ES 2 148 024 A1 Inventor: Fisac Serna, Miguel (2000)
76. *'Procedimiento de construcción de viviendas y similares'*. Patente ES 2 148 024 B1 Inventor: Fisac Serna, Miguel (2001)

77. *'Sistema de fabricación de fachada para la construcción'*. Patente ES 524 720 A1  
Inventor: Fisac Serna, Miguel (1983)
78. *'Sistema de encofrados flexibles para hormigón'*. Patente ES 382 096 Inventor: Fisac Serna, Miguel (1973)
79. *'Mejoras introducidas en el objeto de la patente principal 382.096 por: Sistema de encofrados flexibles para hormigón'*. Patente ES 421044 Inventor: Fisac Serna, Miguel (1975)

## **Páginas web**

### **Oficina Patentes**

- <http://www.oepm.es> - Oficina Española de Patentes y Marcas (último acceso: 14-5-2011)
- <http://www.freepatentsonline.com> - Portal libre de acceso a patentes (último acceso: 23-10-2012)

### **Universidades y Centros de Investigación**

- <http://www.leanconstruction.org> - Instituto Internacional del Lean Construction (último acceso: 23-10-2012)
- <http://www.institutolean.org> - Instituto Lean en España (último acceso: 23-10-2012)
- [http://www.umanitoba.ca/cast\\_building](http://www.umanitoba.ca/cast_building) - University of Manitoua. The Center for architectural structures and technology (último acceso: 23-10-2012)
- <http://www.dfab.arch.ethz.ch> – ETH Zürich. Departament Architecture. Especializada en fabricación digital de elementos para la construcción (último acceso: 23-10-2012)
- <http://www.viterbi.usc.edu> – University of Southrem California. Especializada en Freefrom construction y el Contour Crafting (último acceso: 11-3-2012)

- <http://www.contourcrafting.org> – Organización dedicada al desarrollo de la técnica del Contour Crafting. Vinculada a la University of Southrem California (último acceso: 11-3-2012)
- <http://www.lboro.ac.uk> - Loughborough University UK. Una de sus especializaciones es en Freeform construction y el Contour Crafting (último acceso: 11-3-2012)
- <http://www.freeformengineering.co.uk> – Departamento de la Loughborough University que desarrolla la técnica del Contour Crafting (último acceso: 11-3-2012)
- <http://www.freeformconstruction.co.uk> – Departamento de la Loughborough University que desarrolla la técnica del Contour Crafting (último acceso: 11-3-2012)

#### **Tecnología del hormigón**

- <http://www.britishprecast.org> - The Federation for Precast Concrete in the UK (último acceso: 5-02-2010)
- <http://www.panelarquitectonico.org/manual> - ANfhARQ. Asociación nacional de Fabricantes de Fachadas de Hormigón Arquitectónico. (último acceso: 28-03-12)
- <http://www.thinkprecast.org> - Plataforma de publicaciones relacionadas con el hormigón prefabricado (último acceso: 23-04-12)
- <http://www.ebawe.de> - Empresa especializada a la venta y montaje de instalaciones automatizadas para la fabricación de componentes de hormigón
- <http://www.retttenmeier.com> - Empresa especializada en moldes perimetrales para sistemas de fabricación automatizadas (último acceso: 18-10-2012)
- <http://www.weckenmann.com> - Empresa especializada en moldes para sistemas de fabricación automatizadas (último acceso: 18-10-2012)
- <http://www.sommer-landshut.de> - Empresa especializada en moldes para sistemas de fabricación automatizadas (último acceso: 18-10-2012)

- <http://www.creabeton-materiaux.ch/fr/batimentelements-prefabriques/elements-prefabriques/facades/> - Empresa de prefabricados de hormigón para fachada (último acceso: 5-4-2010)
- <http://www.tilt-up.org> - TCA - Asociación del sistema constructivo Tilt-Up (último acceso: 18-6-2010)
- <http://www.tiltup.com> - Empresa dedicada al desarrollo del sistema Tilt-Up (último acceso: 18-6-2010)
- <http://www.buildoffsite.com> – Empresas de componentes de hormigón (último acceso: 23-10-2012)

### **Tecnología del aluminio y el acero**

- <http://www.anudal.com/web/productos/escuadras/escuadras.htm> - ANUDAL. Empresa especializada en el desarrollo de escuadras para carpinterías. (último acceso: 31-03-12)
- <http://www.welser.com> – Empresa especializada en la conformación de perfiles de acero perfilado altamente clientalizables (último acceso: 23-9-2011)
- <http://www.sadef.be> – Empresa especializada en la conformación de perfiles de acero perfilado altamente clientalizables (último acceso: 23-9-2011)
- <http://www.consulsteel.com> – Empresa consultora en sistemas constructivos basados en el *Steel Frame*. Perfiles de acero plegados o perfilados (último acceso: 23-9-2011)
- <http://www.hydro.com> – Empresa especializada a la extrusión del aluminio para la conformación de perfiles (último acceso: 9-9-2011)
- <http://www.wicona.es> – Empresa especializada a la conformación de sistema para fachada ligera basados en el aluminio (último acceso: 9-9-2011)
- <http://www.technocladd.com> – Empresa especializada a la conformación de sistemas para fachada ligera basados en el aluminio (último acceso: 9-9-2011)

- <http://www.forster-profile.ch> – Empresa especializada a la conformación de sistemas para fachada ligera basados en el acero (último acceso: 9-9-2011)
- <http://www.nbk.de> – Empresa especializada en la conformación de componentes modulares para fachada ligera tipo Unitized (último acceso: 9-9-2011)
- <http://www.steelform.ca/composite.asp> - Empresa dedicada a la conformación de bastidores de acero para la conformación de paneles mixtos acero-hormigón (último acceso: 11-3-2012)
- <http://www.proform-ip.org> – Plataforma de un proyecto del Sexto Programa Marco de la Unión Europea '*An innovative manufacture process concept for a flexible and cost effective production of the vehicle body in white: Profile Forming*' (último acceso: 11-3-2012)

#### **Industrias de componentes para fachada acero-hormigón**

- <http://www.hbv-systeme.de> - Sistema de paneles mixtos madera-hormigón-acero - HBV-System (último acceso: 18-10-2012)
- <http://www.nexcon.ca/index.php?action=projects> – Innovate Lightweight Precast Building System. Empresa que desarrolla un sistema de paneles mixtos (acero-hormigón) como elementos estructurales (último acceso: 18-10-2012)
- <http://www.metalcrete.com> – Metal Stud Crete. Empresa que desarrolla un sistema de paneles mixtos (acero-hormigón) como elementos estructurales (último acceso: 18-10-2012)
- <http://www.steelcretesystem.com> - Empresa que desarrolla un sistema de paneles mixtos (acero-hormigón) como elementos estructurales (último acceso: 18-10-2012)