
CAPÍTULO V

Base de datos creada para el estudio de Riesgo Sísmico

5 DATOS UTILIZADOS EN EL ESTUDIO DE RIESGO SÍSMICO

5.1 Introducción

La base fundamental en cualquier estudio de Riesgo Sísmico, es sin duda contar con las características estructurales de los elementos con los que se pretende trabajar, indispensables para evaluar la vulnerabilidad sísmica, y con esto calcular el daño probable que pueden sufrir como consecuencia de un terremoto. De esta misma forma, se requiere conocer las características del suelo en donde se encuentran localizados los elementos de estudio, debido a que los efectos locales pueden ser causantes de un mayor daño. Esto obliga a realizar un análisis de la información requerida por la metodología propuesta y de la información disponible para saber si es factible llevar a cabo el estudio, ya que en muchas ocasiones la elección de una metodología u otra dependerá de la disponibilidad de la información tanto de los elementos en riesgo como del tipo de suelo en donde se encuentren edificados. Una de las razones de este inconveniente es que los datos que se requieren de las estructuras para los estudios de riesgo sísmico, frecuentemente no existen en forma organizada y en algunos casos, aun existiendo no son fácilmente accesibles. Como se comentó en los capítulos anteriores, las metodologías que se pueden aplicar en los estudios de riesgo sísmico pueden ser muy variadas y por lo tanto, los requerimientos de la información diferentes. Un ejemplo de estos requerimientos de información se pueden ver de una manera general en los siguientes dos grupos de metodologías :

- 1) *Específicas*. En el caso de realizar una análisis estructural dinámico lineal de un edificio en particular, se necesita disponer de la información correspondiente a las dimensiones en planta y en elevación, las dimensiones de los elementos resistentes, las características generales de los materiales (resistencia, peso, etc.) que se utilizaron en la construcción, así como la acción de entrada (fuerzas laterales equivalentes o espectro de diseño) a la que se

someterá el edificio para determinar su comportamiento. Sin embargo, si se pretende realizar un análisis no lineal los requerimientos son aún más complejos, por ejemplo, se necesitan información detallada de la distribución del refuerzo longitudinal y transversal en los elementos estructurales, además de la mencionada anteriormente, así como registros de acelerogramas de sismos reales o simulados para realizar el análisis. Con toda esta información y con el uso de algún programa de análisis lineal ó no lineal se puede obtener una aproximación suficiente del comportamiento real del edificio, con la desventaja por otra parte de la gran cantidad de información que se necesita para estudiarlo, lo que hace que estas metodologías sólo se utilicen en el caso de edificios especiales que requieran seguir funcionamiento después de una crisis sísmica.

- 2) *Urbanas*. En este caso se agrupan las metodologías para realizar estudios a nivel urbano, algunas de las cuales pueden requerir únicamente el material, ó el año de construcción. Evidentemente estas metodologías no permiten conocer el comportamiento de un edificio en particular, aunque sí se pueden usar como un resultado previo, para identificar los de mayor riesgo y realizar un estudio más detallado o como resultados que forman parte de un contexto más amplio (manzana, barrio, distrito o ciudad). Por esta razón estas metodologías son viables en los estudios a nivel urbano, ya que suponen una gran ventaja al utilizar información más general de los edificios y obviamente poder aplicarse a un gran número de ellos.

En el caso específico de la ciudad de Barcelona, se optó por una metodología a nivel urbano para estudiar el riesgo sísmico. Este planteamiento surgió en la década pasada (Caicedo, 1993) con la introducción del método del índice de vulnerabilidad y se ha ido perfeccionando con el paso de los años. La metodología engloba los dos grandes grupos descritos en los párrafos anteriores, tomando los aspectos más importantes de ellos, es decir, por una parte se calculan algunos parámetros estructurales, como es el cortante basal o las configuraciones en planta y en elevación del edificio, y en forma más general se evalúan aspectos como puede ser la calidad de los materiales dependiendo del año de construcción. Afortunadamente, la experiencia obtenida en estos años ha permitido identificar los datos de los edificios y del suelo que necesita la metodología de riesgo propuesta, así como las fuentes donde se pueden extraer. Sin embargo, el procedimiento no es sencillo debido a la diversidad de información y, en el caso específico de Barcelona, a la cantidad de información necesaria para alcanzar el nivel de detalle de este tipo de estudios.

Por lo tanto en esta parte del trabajo se explica de una forma resumida la información con que se cuenta hasta el momento de los edificios de la ciudad y de las características del suelo, y los procedimientos utilizados para la extracción de los datos, construcción de la coberturas de los elementos de estudio y la base de datos final obtenida.

5.2 La Ciudad de Barcelona

Barcelona es (después de Madrid) la segunda ciudad más grande de España, localizada en la costa Oeste del mar Mediterráneo con una longitud de 2° 7' 42" Este y una latitud de 41° 24' 42" Norte (Figura 5.1). La topografía de la ciudad es, en general variable dándose como altitud de referencia los 12.5 m de la Pl. Sant Jaume.

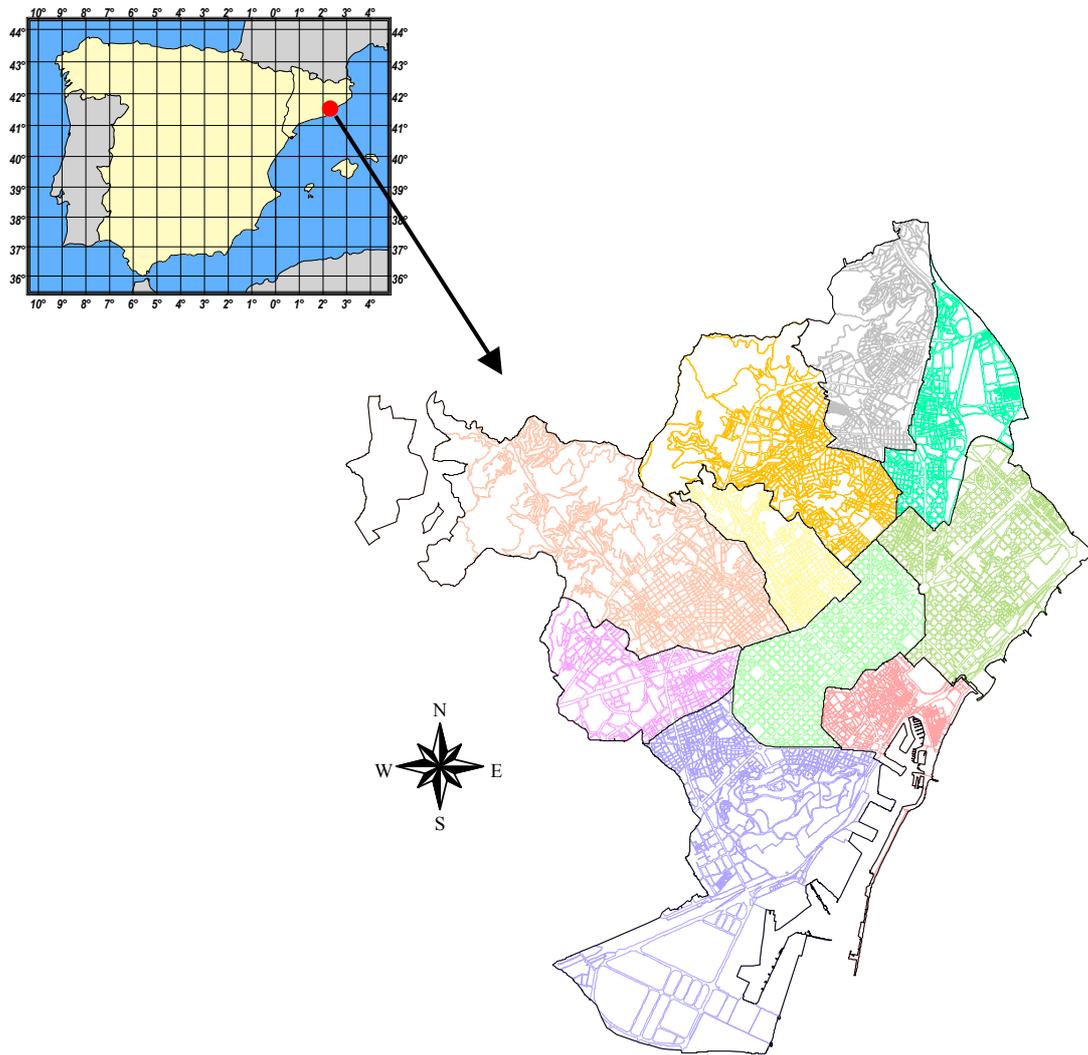


Figura 5.1. En el recuadro superior izquierdo se muestra la localización geográfica de la ciudad de Barcelona. Ampliación de la ciudad y distritos que la forman.

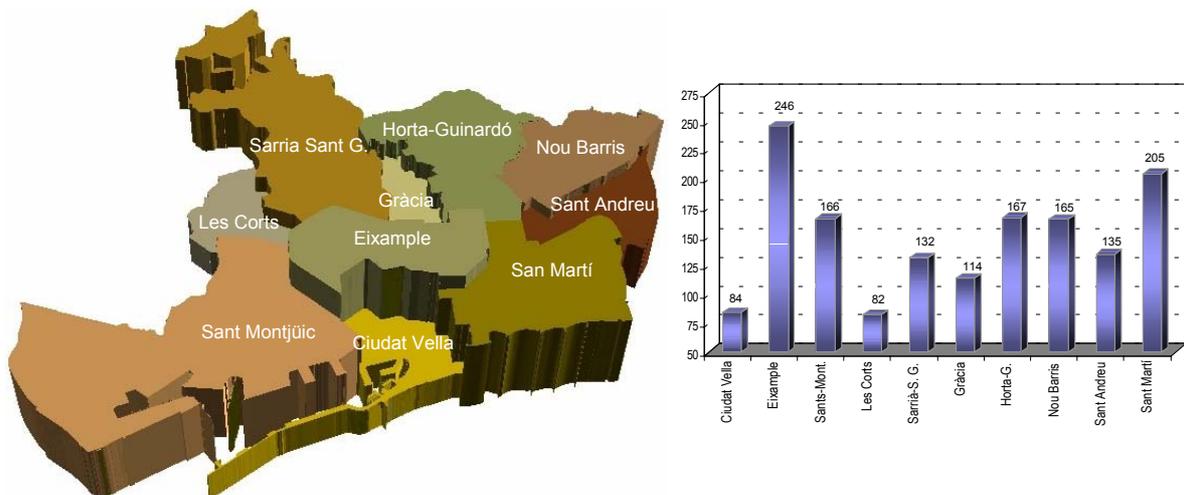


Figura 5.2. La ciudad tiene una población de 1.505.325 habitantes (censo del 01-01-2001). Distribución de la población en los distritos de la ciudad.

La población de la ciudad de Barcelona es de 1.505.325 habitantes (AB, 2002), concentrados en un área de aproximadamente 100 km², dividida en 10 distritos que son: Ciutat Vella, Eixample, Sants-Montjuïc, Les Corts, Sarria-Sant Gervasi, Gràcia, Horta-Guinardó, Nou Barris, Sant Andreu y Sant Martí (Figura 5.2). No obstante, la ciudad no sólo esta formada por estos diez distritos, sino también por un amplio cinturón de barrios limítrofes que han quedado absorbidos por el crecimiento de la gran ciudad. Sin embargo, en esta tesis sólo se trabajará con los diez distritos antes mencionados.

5.3 Coberturas básicas de estudio

5.3.1 Distritos, manzanas y parcelas

Una vez aceptada la metodología propuesta para el estudio de Riesgo Sísmico, el primer paso es definir las unidades de estudio que permitan representar los elementos en el Sistema de Información Geográfica (ver capítulo IV). Estas unidades definirán el alcance del estudio de acuerdo a los objetivos que se plantearon, pudiendo ser la parcela, la manzana, el distrito o inclusive la ciudad completa. Para el caso de Barcelona se decidió trabajar con las parcelas gracias a la cantidad de información con la que se dispone y en general a la organización que tiene, aspecto difícil de encontrar en la mayoría de las ciudades. Para esto se ha recurrido a la inestimable colaboración del Ayuntamiento de Barcelona, que ha proporcionado, en diferentes partidas, la mayor parte de la información de los edificios. En un esfuerzo por apoyar los estudios de Riesgo Sísmico, el Ayuntamiento en colaboración con otras instituciones, ha proporcionado información variada de la mayoría de los elementos existentes en la ciudad, actualizados hasta el año 1996, aunque en forma separada, lo que ha obligado antes de realizar cualquier cálculo, analizarla, depurarla y unirla en una sola base de datos para el objetivo de este trabajo. La primera parte de esta información se muestra en la Tabla 5.1, compuesta de siete temas principales que son: la topografía, la altimetría, la división administrativa, el mobiliario urbano, el catastro, las rotulaciones y la vialidad, de los cuales se usará la información contenida sólo en la topografía y el catastro (INFOCCA, 2002).

Etiqueta	Información
TOP	Topografía
ALT	Altimetría
DIV	División Administrativa
MOV	Mobiliario Urbano
CDS	Catastro
RET	Rotulaciones
VIA	Vialidad

Tabla 5.1. Información proporcionada por el ayuntamiento de la Ciudad de Barcelona, actualizada hasta el año 1996.

Debido a la cantidad de información contenida en los diferentes temas (Tabla 5.1), el Ayuntamiento dividió la ciudad en pequeños unidades rectangulares apoyándose en el sistema de referencia auxiliar de la Figura 5.4, obteniendo alrededor de 900 sectores con un área aproximada de 0.161 Km² (0.350 Km X 0.460 Km, Figura 5.5). En un principio la información proporcionada por el ayuntamiento correspondió a archivos digitales *.dxf, comenzando el estudio con algunas zonas de prueba. La dificultad para exportar este formato, obligó a buscar otra forma para adquirir esta información, encontrando que ARCINFO, tenía la opción de importar diferentes tipos de formatos de datos, lo que permitió aceptar los de Microstation (*.dgn) cuyo costo fue inferior a los primeros archivos. De esta manera, se obtuvieron los 900 sectores de la ciudad, dividida en la forma mostrada en la Figura 5.3.

Esta forma de organización permitió eliminar algunos temas que no intervienen en la base de datos para este estudio como es la división administrativa, mobiliario urbano, rotulaciones o vialidad que, sin embargo, pueden llegar a formar parte de algún otro estudio como pueden ser las líneas vitales, entre otros. Una vez seleccionados los temas con los que se trabajará se utilizarán diversos programas en lenguaje FORTRAN y AML de ARCINFO, para construir las coberturas principales del estudio (distritos, manzanas y parcelas) como se mostrará más adelante.

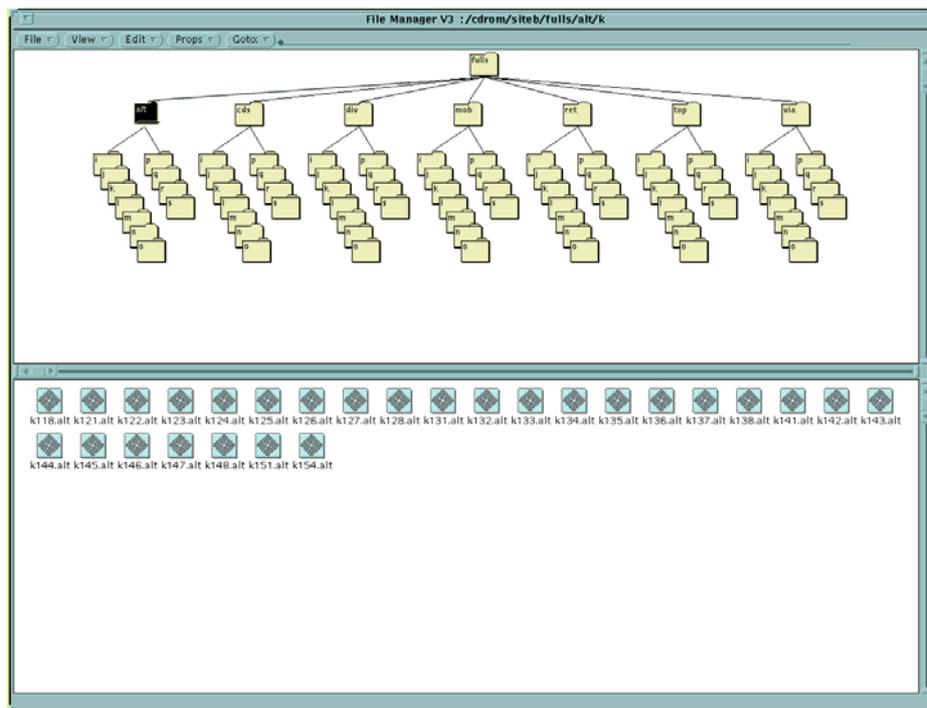


Figura 5.3. Distribución de los sectores en los que esta dividida la ciudad de Barcelona de acuerdo al sistema de referencia auxiliar de la Figura 5.4. En esta figura se muestra la organización de la información teniendo una carpeta principal llamada SITEB (Sistema de Información Territorial de Barcelona), en el siguiente nivel los temas en los que está dividida la información (*alt*, *cds*, *div*, *mov*, *ret*, *top* y *via*), continuando con 11 carpetas correspondientes a las columnas (*i*, *j*, *k*, *l*, *m*, *n*, *o*, *p*, *q*, *r* y *s*) y finalmente los sectores.

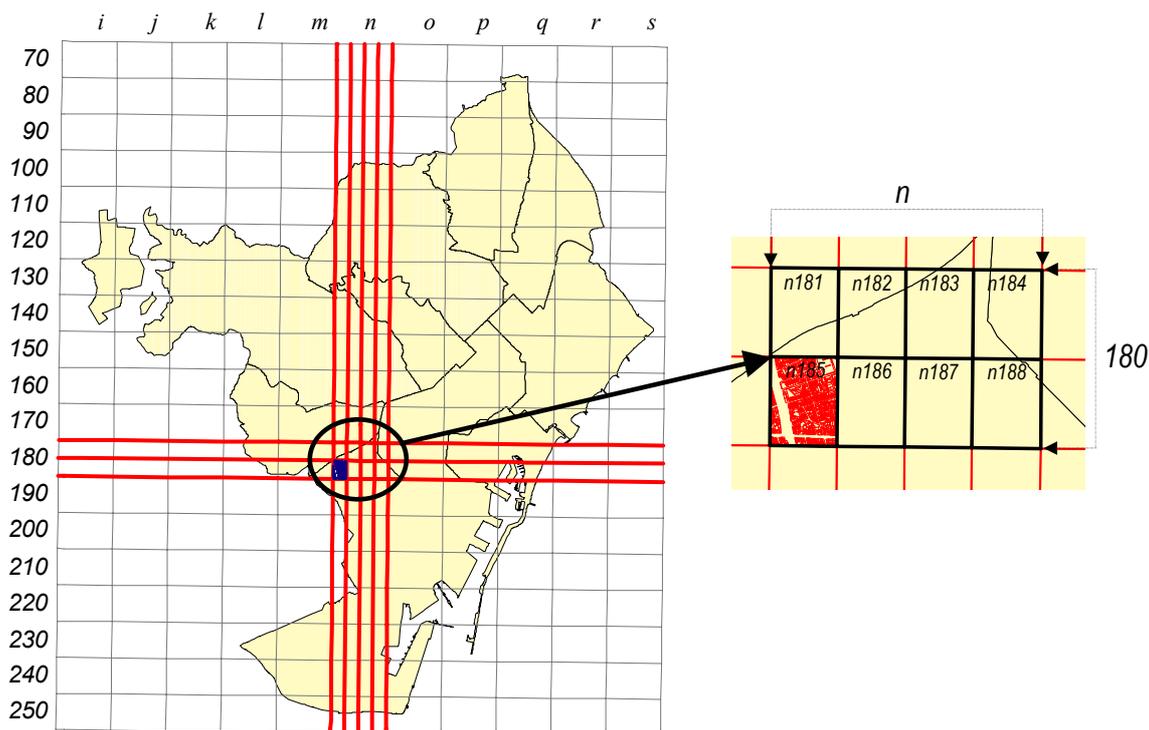


Figura 5.4. Sistema de referencia auxiliar utilizado por el Ayuntamiento de Barcelona para dividir la información de la ciudad, constituida por aproximadamente 900 sectores para cada tema de información de acuerdo a la Tabla 5.1.

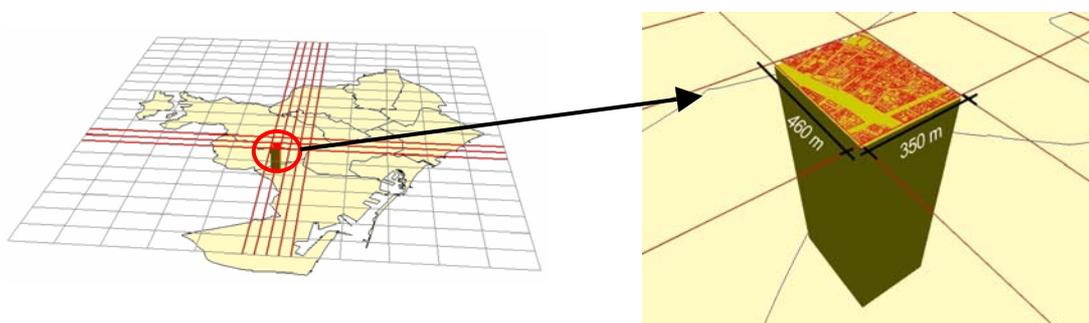


Figura 5.5. De acuerdo al sistema de referencia auxiliar utilizado, la dimensión aproximada de cada sector es de 350 X 460 m.

La información correspondiente al catastro constituyó la base para la construcción de las coberturas del estudio, ya que en realidad los datos contenidos en estos archivos forman los distritos, las manzanas y las parcelas, siendo estas últimas las unidades que representarán los edificios dentro del SIG. Mientras que la información de la topografía, formó la base para la generación de la superficie real de la ciudad, así como el tipo de suelo y la zonificación sísmica, como se mostrará después. Es importante resaltar en este punto, que gracias a la información de los archivos del catastro ordenados por capas, se ha podido automatizar la extracción de los datos para la construcción de las coberturas.



Figura 5.6. Datos existente en los archivos del catastro. En esta figura la información del edificio resaltada corresponde a 2 sótanos, 3 niveles y como tipo de azotea, Terraza.

Un ejemplo de la información contenida en el catastro se muestra en la Figura 5.6, en la que se indican los datos (líneas) que se usan para la construcción de las coberturas y la información descriptiva (datos numéricos y alfanuméricos) para identificar los elementos de las coberturas. La nomenclatura que se utiliza en estos archivos se muestra en la Tabla 5.2, donde se muestra el código utilizado y su significado. Para la construcción de las coberturas se extrajeron los 5 tipos de líneas en diferentes etapas, junto con los códigos que se han resaltado en la Tabla, es decir, el código de la isla ó manzana, el número de la parcela, el número de plantas subterráneas, número de plantas sobre rasante, el tipo de tejado (T_e , C_t , C_f), así como la identificación de la escalera o patios internos.

CÓDIGO	SIGNIFICADO	CÓDIGO	SIGNIFICADO
1008432	Código de la Isla o manzana	Pa (63)	Patio abierto
006	Número de Parcela	Ja (64)	Jardín
339	Número Postal	G (65)	Galería
(270901)	Código de la calle	Pi (66)	Piscina
1	No de plantas subterráneas	Sp (67)	Instalaciones deportivas
VI	No de plantas sobre rasante	————	Línea de la Isla o manzana
T_e	Terraza	————	Línea de la Parcela
C_t	Tejado	————	Línea de la Edificación
C_f	Tejado ligero	Línea del Patio
E (61)	Escalera	-----	Línea de la Escalera
P (62)	Patio de luz		

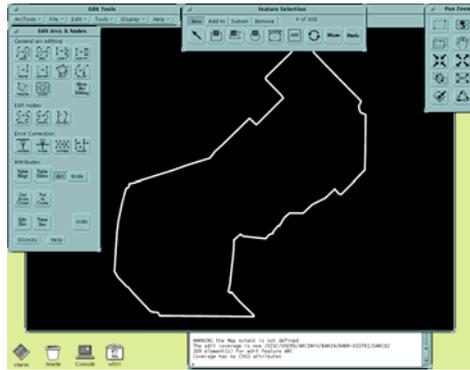
Tabla 5.2. Información contenida en los archivos del catastro (CDS).

SECUENCIA DE PROGRAMAS AML PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LAS COBERTURAS BÁSICAS DEL ESTUDIO (DISTRITOS, MANZANAS Y PARCELAS).

DISTRITOS.AML

Utilizando la información de los archivos *.dxf correspondiente a los 10 distritos, se construye las coberturas de los limites de cada distrito, las cuales se utilizarán posteriormente para formar las coberturas de manzanas, asignándole el identificador del distrito y eliminando los elementos que no pertenecen al mismo, mediante la operación de intersección de coberturas.

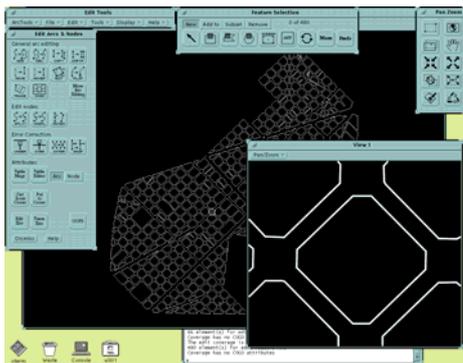
DXFARC DISTRI*i*.DXF DISTRI*i*; Donde $i = 1, \dots, 10$



PROG01.AML

Construye las coberturas de manzanas con los sectores que forman el distrito (cuyo formato en este caso es de *.dgn), de acuerdo a la malla de la figura 5.4. Como primer paso se construyen coberturas auxiliares de cada archivo y después se unen para formar la cobertura.

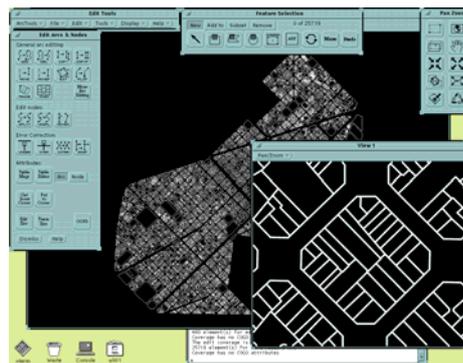
IGDSARC ARCHIVOS*i*.DGN COBER*i*;
 Donde $i = 1, \dots, j$ con $j =$ sectores que forman el distrito
APPEND MANAUX*i* POINT LINE
COBER*k*; END Donde $i=1, \dots, 10$; y $k=1, \dots, j$
INTERSECT DISTRI*i* MANAUX*i* MANZA*i* POLY



PROG02.AML

Construye las coberturas de parcelas con los mismos sectores utilizados en el PROG01.AML. De la misma forma, el primer paso es construir coberturas auxiliares de cada archivo y después unir las para formar la cobertura. Finalmente se intersepta con la cobertura de manzanas.

IGDSARC ARCHIVOS*i* COBER*i*;
 Donde $i = 1, \dots, j$ con $j =$ sectores que forman el distrito
APPEND PARAUX*i* POINT LINE
COBER*k*; END Donde $i=1, \dots, 10$; y $k=1, \dots, j$
INTERSECT MANZA*i* PARAUX*i* PARCEL*i* POLY



CONSTRUCCIÓN DE LA TOPOLOGÍA

En ambos casos, para poder reconocer los elementos (puntos, arcos y polígonos) dentro de las coberturas se necesita construir la topología. Este es un proceso matemático simple, pero muy importante, para las operaciones posteriores.

BUILD MANZA*i* y PARCEL*i* POLY
JOINITEM COVER.PAT COVER.ACODE COVER.PAT

COBERTURAS BÁSICAS

Finalmente, se obtienen 3 coberturas por distritos, es decir:

***D*[*n*]*D* (COBERTURA DE DISTRITOS)**
***D*[*n*]*M* (COBERTURA DE MANZANAS)**
***D*[*n*]*P* (COBERTURA DE PARCELAS)**
 Donde $n = 1, \dots, 10$

Figura 5.7. Proceso seguido para la construcción de las coberturas básicas para el estudio de Riesgo Sísmico de la ciudad de Barcelona.

El proceso para la construcción de las coberturas básicas del estudio se muestra en forma esquemática en la Figura 5.7. En ella se describe la secuencia para la construcción del distrito del Eixample, en donde se incluye una serie de programas en lenguaje AML y FORTRAN, para la extracción de la información (líneas, puntos y texto), el tratamiento de la información alfanumérica para identificar los polígonos, la unión de los sectores que forman el distrito y la creación de la topología (puntos, arcos y polígonos), esencial para que ARCINFO reconozca los elementos de las coberturas.

El programa DISTRITOS.AML construye las coberturas de los diez distritos e identifica cada uno de ellos con los números 1 a 10, de acuerdo a la definición estadística establecida por el Ayuntamiento. Estas coberturas definirán el contorno real de cada uno de los distritos, lo que servirá posteriormente para construir el resto de las coberturas. Los programas PROG01.AML y PROG02.AML, extraen los datos necesarios para construir las coberturas de las manzanas y las parcelas, seleccionando los sectores que forman el distrito de acuerdo a la Figura 5.4, junto a la respectiva información descriptiva que servirá para identificar los elementos. Ambas coberturas se interceptan con la primera cobertura del distrito para eliminar la información sobrante debido a que se han construido con la unión de un número determinado de sectores que no siguen el contorno real del distrito. Esta intercepción además de permitir obtener las coberturas de las dos unidades, traslada los identificadores de los elementos de una cobertura a otra. Una vez extraídos los datos se construyen las topologías que permitirán al SIG, identificar cada uno de los elementos con los que se trabajará, es decir, los polígonos de los distritos, de las manzanas y de las parcelas.

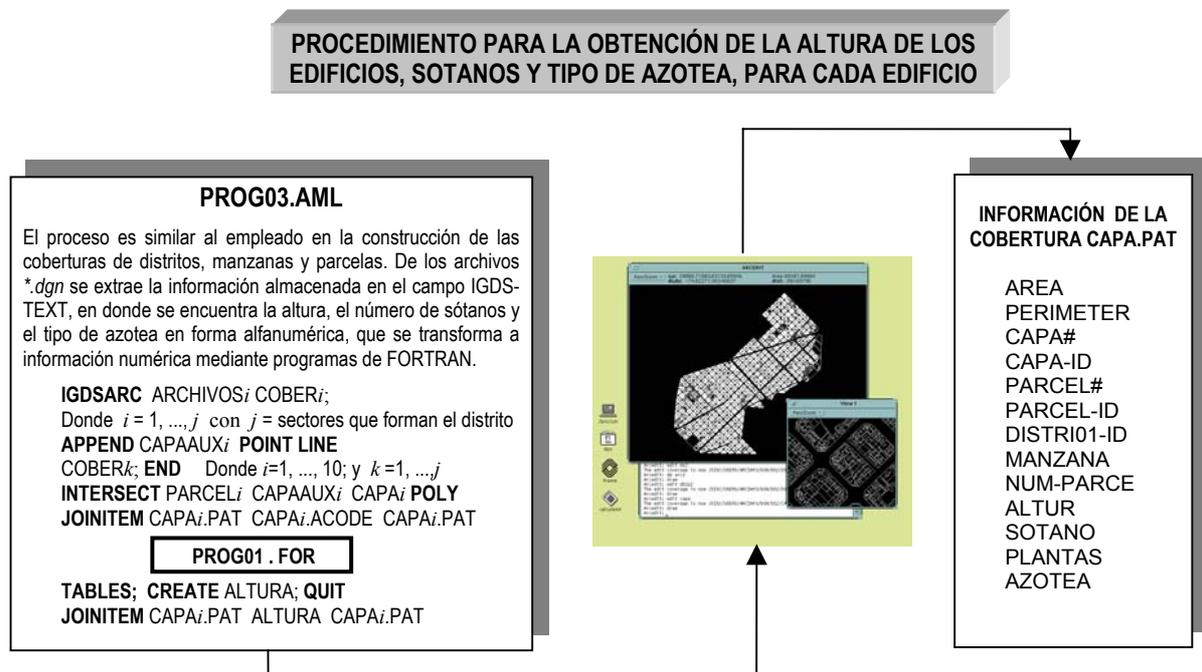


Figura 5.8. Proceso que se sigue para obtener los solares dentro de la parcela que formarán la planta real de los edificios, es decir, el área construida en las parcelas, así como la información correspondiente al número de plantas subterráneas, número de plantas sobre rasante y tipo de azotea.

Hasta este momento se han identificado las unidades que representarán los edificios (parcelas), sin embargo, aún existe información que se puede extraer, para esto se ejecuta el programa PROG03.AML (Figura 5.8), que sigue un procedimiento en la construcción de las coberturas similar a los programas anteriores. La datos obtenidos en esta cobertura definen el área construida dentro de la parcela, así como los datos correspondientes al número de niveles que tiene cada uno de los edificios, el número de niveles subterráneos y tipo de azotea. Con estos datos ya se pueden definir de una forma más clara los edificios que se están estudiando, como se puede ver en la Figura 5.9, donde se hace una ampliación de cuatro manzanas del distrito del Eixample (Distrito 2), mostrando por un lado la planta de los edificios existentes en esas manzanas y en una vista tridimensional la altura de los mismos.

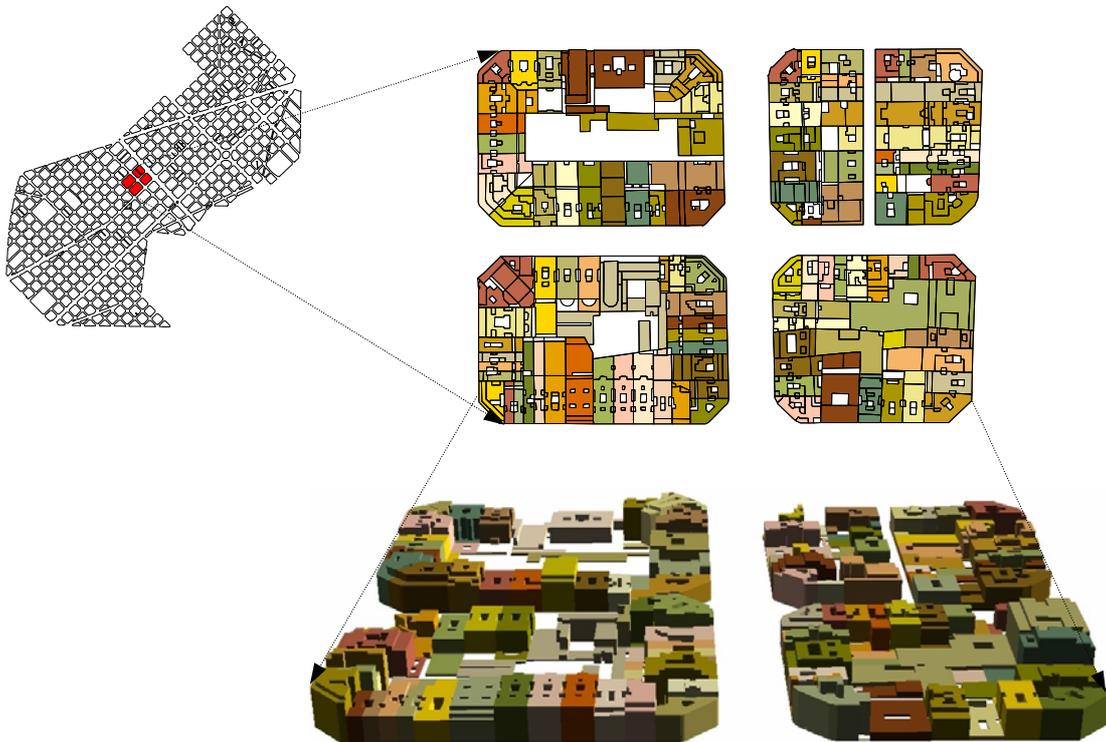


Figura 5.9. Generación de la altura de los edificios de cuatro manzanas del Eixample.

Una vez terminado este último proceso ya se cuenta con las coberturas de las parcelas para cada distrito que permiten representar los edificios de la ciudad, unidas a una tabla de datos en donde se encuentran el indicador de la parcela junto a otras propiedades como son el área del polígono, el perímetro y datos que se fueron agregando durante el proceso (Figura 5.8). La tabla muestra únicamente los datos extraídos de los archivos del catastro, que se irán incrementando con la información que se mostrará más adelante.

5.3.2 Topografía de la ciudad

Para la construcción de la topografía se analizan los datos contenidos en los archivos de la altimetría (capa ALT de la Tabla 5.3), observando que el punto de altimetría es el único dato que sirve para construir la cobertura. El proceso resulta relativamente sencillo, porque se

trabaja con elementos punto cuya única información es la altura, aunque a diferencia de las coberturas anteriores se trabaja con toda la ciudad.

Descripción de los elementos		Descripción de los elementos
Llave de nivelación		Curvas de nivel
Punto de soporte		Cota de la curva de nivel
Rótulo de punto de soporte		Punto de altimetría
Vértice geodésico		Rótulo del punto de altimetría
Rótulo del vértice geodésico		Cabeza del escarpado
Vértice topográfico		Pie del escarpado
Estación taquimétrica		Linde medianera
Identificador de la estación taquimétrica		Punto de medianera

Tabla 5.3. Información contenida en los archivos de la altimetría (ALT).

En la construcción de la cobertura de la topografía se utilizó el módulo correspondiente a la generación de superficies de ARCINFO, específicamente la opción TIN. Se extrajeron los puntos de los archivos de la altimetría, construyendo la topología de puntos. Posteriormente, siguiendo la secuencia de la generación de superficies en los módulos TIN se construyó una cobertura auxiliar con los triángulos identificados (Figura 5.10), para aplicar el modelo matemático QUINTIC que permite realizar una interpolación utilizando los tres puntos y calcular las pendientes de cada elemento triangular, así se podrá construir la superficie de la topografía como se muestra en la Figura 5.11. Esta cobertura además permite determinar volúmenes y perfiles de cualquier lugar de la superficie, así como calcular las curvas de nivel, entre otros valores más.

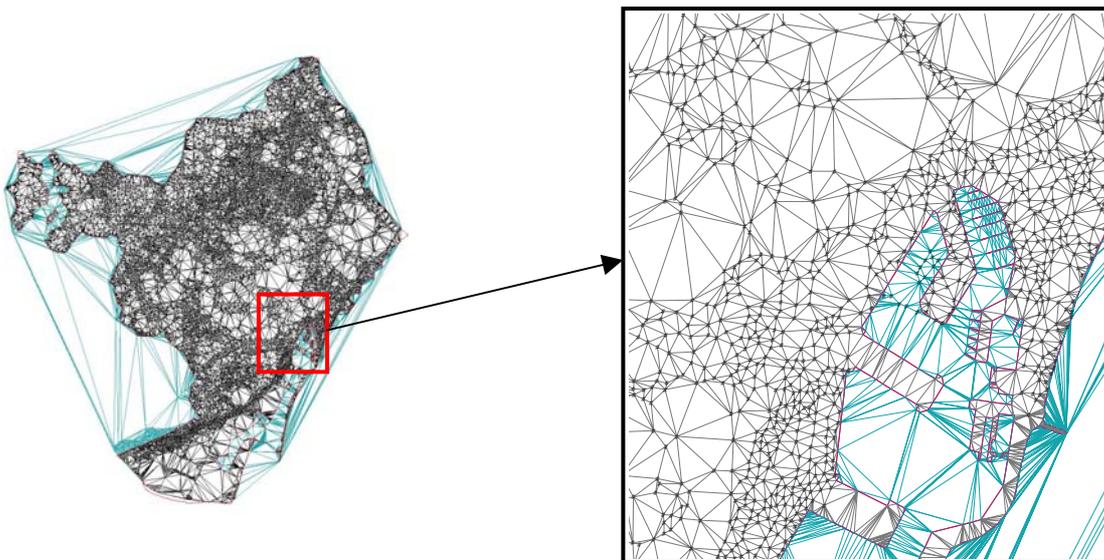


Figura 5.10. Triangulación de los puntos de la altimetría para la construcción de la cobertura de la topografía.

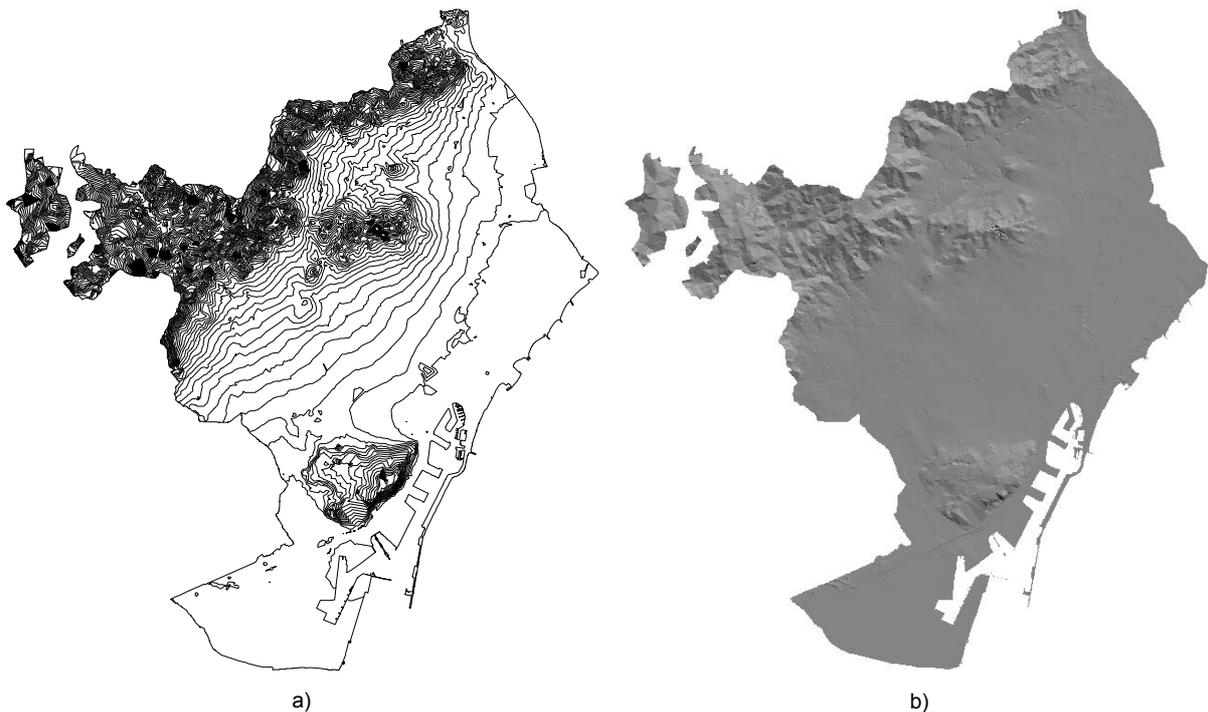


Figura 5.11. a) Curvas de nivel obtenidas a partir de la triangulación de los puntos espaciadas cada 10 metros; b) Superficie final obtenida de la topografía de la ciudad de Barcelona.

5.4 Datos correspondientes a la edad de los edificios

En una segunda partida de información del Ayuntamiento, se obtuvieron los datos correspondientes al año de construcción de los edificios. Esta información constituye una parte importante de la base de datos, porque permitirá conocer algunas características generales de los edificios como pueden ser el estado de conservación, se puede inferir el material que se utilizó en su construcción apoyándose en documentos históricos, ver la evolución en el crecimiento de la ciudad e inclusive señalar los años en donde aparecen las normas sismorresistentes. Una característica de esta información es que la edad está asignada a la parcela, sin diferenciar los solares existentes en ella, aspecto que facilita de alguna manera la unión con la cobertura de los edificios, pero que a su vez conlleva alguna desventaja que se explicará en su momento.

El año de construcción de los edificios forma una parte importante en los estudios de riesgo sísmico al poder determinar su antigüedad, conocer el estado actual en qué se encuentran y, posiblemente, inferir en los procesos constructivos utilizados durante las diferentes épocas. El Ayuntamiento proporcionó una tabla (Tabla 5.4) con información de 65.536 edificios, dividida en cuatro columnas cuyo contenido corresponde al distrito (DIST), la isla o manzana (ILLA), la parcela (PARC) y el año de construcción (ANYC).

Edad de los edificios de la ciudad proporcionada por el Ayuntamiento

DIST	ILLA	PARC	ANYC
1	41680	5	1700
1	41680	7	1850
Información de aproximadamente 65000 parcelas			
10	92520	19	1966
10	92520	21	1966

Tabla 5.4. Formato de la base de datos correspondiente a la edad de los edificios.

Esta información se puede unir a la tabla de datos de las coberturas de parcelas utilizando como términos o columnas de relación el número de la manzana y el número de la parcela. Los datos contenidos en la tabla en general fue completa a excepción de 30 parcelas en donde no existía información (27 en el distrito de Les Corts y 3 en el distrito de Horta – Guinardo).

DISTRITO	NÚMERO DE PARCELAS CON INFORMACIÓN	PROMEDIO DE AÑO DE CONSTRUCCIÓN
Ciutat Vella	5.900	1.893,5
Eixample	8.479	1.932,5
Sants – Montjuïc	6.761	1.937,1
Les Corts	2.355	1.952,1
Sarrià – Sant Gervasi	7.248	1.949,9
Gràcia	6.762	1.937,1
Horta – Guinardo	9.370	1.953,7
Nou – Barris	5.921	1.956,1
Sant Andreu	5.602	1.945,2
Sant Martí	7.108	1.937,1
TOTAL	65.506	1.939,4

Tabla 5.5. Edad promedio de cada uno de los distritos de la Cd. de Barcelona.

El análisis de estos datos comprende el cálculo del año promedio de construcción de los edificios por distrito como se muestra en la (Tabla 5.5), observando que el distrito donde existen los edificios más antiguos es, sin duda, Ciutat Vella, con un año de construcción promedio de 1893. Indudablemente no sólo existen edificios antiguos, aunque si un gran porcentaje de ellos. El resto de los distritos en general el año de construcción promedio se

encuentra entre 1932 y 1956, localizándose los edificios “más recientes”, en los distritos de Nou Barris, Horta-Guinardo y Les Corts. En forma gráfica, el año medio de construcción se muestra en la Figura 5.12, donde se observan claramente las diferencias existentes entre los distritos, así como el promedio de toda la ciudad.

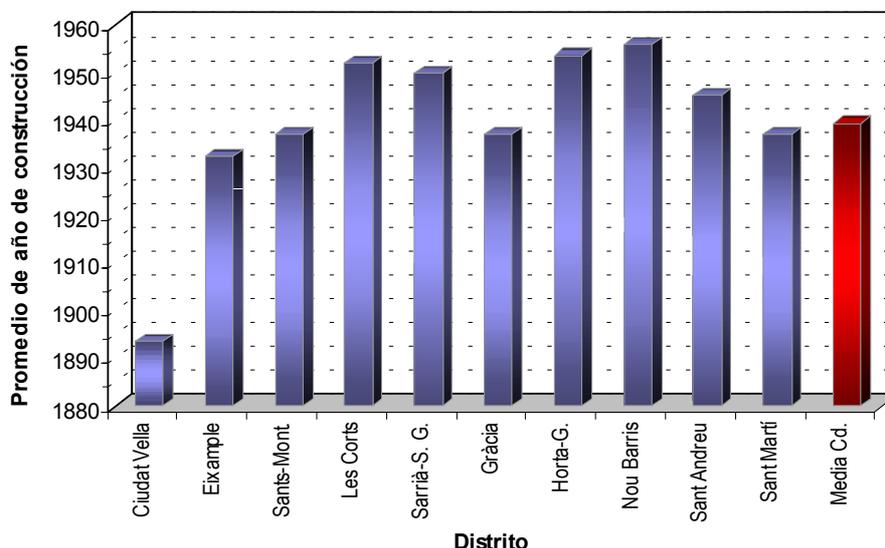


Figura 5.12. Promedio de año de construcción de los edificios por distrito de la ciudad de Barcelona.

El siguiente paso es agrupar los edificios de acuerdo al año de construcción, para poder observar la evolución del crecimiento de la ciudad en 13 periodos de años como se muestra en la Figura 5.13. Estos periodos permiten distinguir épocas que pueden asociarse a algunos eventos especiales de la ciudad.

Revisando de una forma rápida la historia de la ciudad, se ha podido comprobar que a mediados del siglo XIX comenzó el desarrollo de la ciudad de Barcelona actual, derribando las murallas que la cercaban (1858 – 1868), proyectando el barrio del Eixample y anexionándose una serie de pueblos limítrofes que se transformarían en barrios (Sants Montjuïc, Horta – Guinardo, Gracia, etc.). En 1888 se celebró en Barcelona una gran Exposición Universal en la zona del Arco del Triunfo que dio un gran impulso al crecimiento y embellecimiento de la ciudad, sólo comparable al recibido por la Exposición de 1929 y sobre todo al enorme paso dado por Barcelona con motivo de las Olimpiadas de 1992.

De acuerdo a estos cambios se puede observar que uno de los periodos de mayor crecimiento de la ciudad fue el comprendido entre 1875 y 1900, coincidiendo con la gran exposición universal de 1888, durante el cual se construyeron casi 10.000 edificios (cerca del 15 % de la ciudad actual). A partir de este momento el crecimiento en las siguientes décadas fue paulatino hasta llegar a un punto máximo en la década de los '60, en la que se construyeron más de 12.000 edificios (lo que representa casi el 19 % del tamaño actual), dando un giro en este momento al crecimiento de la construcción el cual cayó considerablemente hasta experimentar en la última década (específicamente hasta 1996) un crecimiento de la ciudad de sólo el 1%.

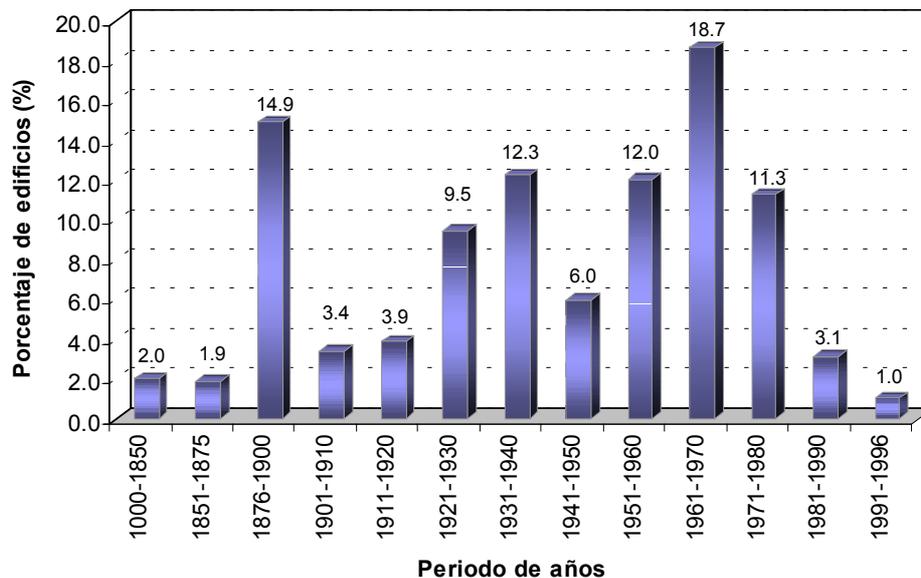


Figura 5.13. Evolución en la construcción de los edificios de Barcelona por periodos de años.

5.5 Material de construcción

Además de la edad de los edificios se dispone de una detallada base de datos que hace referencia a la tipologías constructivas de los edificios de la ciudad. Esta información constituye la base fundamental de este trabajo, porque identifica claramente el material utilizado en la construcción de los edificios, lo que permite realizar un análisis más completo del riesgo sísmico.

Hasta aquí se dispone de las coberturas de las parcelas de los 10 distritos, con lo cual se conoce la superficie en planta de los edificios, el número de niveles construidos por encima y por debajo de la rasante, así como el año de construcción. Los datos referentes al año de construcción y altura permitieron a Chávez, (1998), clasificar los edificios de la ciudad siguiendo las propuestas de la escala macrosísmica Europea EMS-92, para el estudio de Riesgo Sísmico que realizó. Sin embargo, la riqueza de los datos disponibles permite realizar de una forma más completa la estimación del daño sísmico esperado en la ciudad, apoyada de la metodología adoptada para este trabajo, que no sólo toma en cuenta los datos anteriores, sino que también considera características más detalladas de los edificios.

La Tabla 5.6, muestra la base de datos que contiene la información del material utilizado en la construcción de las partes principales de un edificio. Esta Tabla está dividida en diferentes campos que son: el solar, la manzana, la parcela y la unidad, con la cual se identifica el edificio y la estructura, muro, forjado, cubierta, fachada y piso, indicando las partes del edificio (Figura 5.14), para las cuales se tiene información del material de construcción. La Tabla 5.7, especifica el formato de cada uno de los campos, en donde los cuatro primeros son de tipo numérico, mientras que los restantes seis son del tipo alfanumérico con dos caracteres.

Identificadores necesarios para unir los datos con las tablas de las coberturas

Elementos estructurales

Elementos no estructurales

SOLAR	ILLA	PARCEL·LA	UNITAT	ESTRUCTURA	PARETS	FORJATS	COBERTA	FAÇADA	PAVIMENT
001574	28646	002	01	MN	MP	RE	TC	RE	MO
001581	28570	010	01	MN	TM	RU	TC	RE	MO
001581	28570	010	02	MN	TM	RU	FI	RE	FO
Información de aproximadamente 167.000 solares									
002282	11600	002	02	MN	MP	RU	TE	-	MO
002283	11600	010	01	MN	MP	RU	TC	RE	MO
002284	11600	014	01	MN	MP	RU	TC	RE	MO

Tabla 5.6. Columnas de la base de datos que contiene la información del material utilizado en la construcción de las partes principales de un edificio.

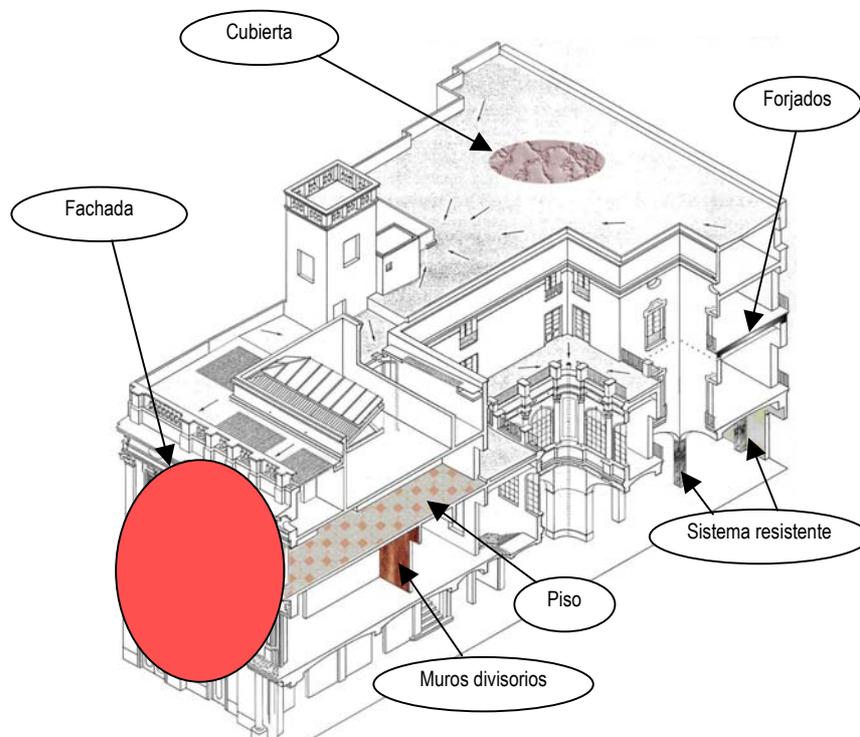


Figura 5.14. La información proporcionada por el Ayuntamiento, contiene datos referentes al material de construcción de las partes señaladas en el ejemplo (sistema resistente, muros, forjados, cubiertas, piso y fachadas).

ELEMENTO	FORMATO
Solar	(N6)
Isla	(N5)
Parcela	(N3)
Unidad	(N2)
Estructura	(A2)
Paredes	(A2)
Forjado	(A2)
Cubierta	(A2)
Fachada	(A2)
Piso	(A2)

Tabla 5.7. Columnas de datos contenidas en la información correspondiente al tipo de material utilizado en la construcción de las diferentes partes de un edificio.

La información final del material que se asigna a cada edificio se obtiene con un análisis de las unidades en las que esta dividida la parcela. Esto se debe a que un edificio puede estar constituido por varias unidades cuyo material puede ser diferente, lo que ocasiona que la metodología del índice de vulnerabilidad no se pueda aplicar. Por lo tanto, este análisis, permitirá eliminar aquellos edificios cuyo sistema resistente se construyó con más de un material.

5.5.1 Edificio - Parcela

La información sobre la antigüedad de los edificio viene asignada a la parcela, lo que permite relacionarla correctamente con la base de datos del catastro, mediante los campos de la manzana y la parcela. Sin embargo, la información referente a las características constructivas de los edificios viene asignada a las unidades o solares contenidas dentro de la parcela, sin que exista una relación directa con la base de datos del catastro. Para esto se revisó que todas las unidades existentes en una parcela tuvieran el mismo material de construcción, para poder asignarse a la parcela, aclarando que la aparente complejidad del proceso se simplificó en el análisis de los datos ya que, en la mayoría de los casos existe una relación unívoca solar – parcela, o en su defecto las características constructivas de las distintas unidades eran las mismas. Por lo tanto, a partir de ahora se identificarán los edificios mediante las parcelas de las coberturas que se construyeron en el apartado 5.3, asignándosele el material de construcción obtenido anteriormente e introduciendo, como casos particulares las parcelas sin identificación (S. I.), entendiendo como tales aquellos en los que faltan datos y varios materiales (V. M.), en el caso que el sistema resistente (estructura) de las diferentes unidades tuvieran más de un material.

5.5.2 Características constructivas

Como se ha visto al inicio de este apartado, se dispone del material de construcción de seis partes del edificio (Figura 5.14). Cada una de estas partes puede estar construida de 8 materiales diferentes como se observa en la Tabla 5.8, lo que lleva a una combinación de

materiales de $8^6 = 269.144$ casos posibles, esto multiplicado por el número de registros contenidos en la base de datos que es de 166.392, correspondientes a aproximadamente 60.000 parcelas, dan una idea del tamaño de la base de datos y sobre todo de la importancia que tiene. No obstante, esta base de datos se simplifica considerablemente, al trabajar sólo con dos materiales para el sistema resistente, y al realizar un análisis de frecuencias del resto de los elementos lo que permitirá restringir el estudio a un pequeño número de combinaciones representativas de la mayor parte de los edificios de la ciudad.

La Tabla 5.8, muestra el material de construcción utilizado en cada parte del edificio, es decir, la Tabla 5.8a muestra el material del sistema resistente principal, siguiendo con el material de las paredes o muros en la Tabla 5.8b; el de los forjados en la Tabla 5.8c; el de la cubierta en la Tabla 5.8d; el de la fachada en la Tabla 5.8e y finalmente el material del piso en la Tabla 5.8f. Estos datos se almacenarán en la base de datos de las coberturas de las parcelas, utilizando el identificador de la columna ID. Para esto se añadirán 6 columnas numéricas en la base de datos con los nombre TIPO1, ..., TIPO6, cuyo valor identificará el material que se utilizó en la construcción de las principales partes del edificio.

ID	TIPO1 – ESTRUCTURA	
1	FE	Hierro
2	FH	Mixta FE/FO
3	FM	Mixta FE/FU
4	FO	Hormigón
5	MN	Monolítica
6	OF	P. Obra/FU
7	OM	P. Obra/FE
8	SI	Singular

(a)

ID	TIPO2 – MUROS ó PAREDES	
1	BF	Blocs FO
2	CH	Chapa Plegada
3	FI	Fibrocemento
4	FV	FO Vibrado
5	MP	Paredado
6	OB	Obra
7	SI	Sintéticos
8	TM	Ladrillo Macizo

(b)

ID	TIPO3 – FORJADO	
1	CR	Cerámica Armada
2	FO	Hormigón
3	FR	Reticular
4	RE	V. Hierro
5	RO	V. Hormigón
6	RR	Vigueta/bovedilla
7	RU	V. Madera
8	SL	Solerás

(c)

ID	TIPO4 – CUBIERTA	
1	CH	Chapa Plegada
2	FI	Fibrocemento
3	PS	Pizarra
4	TA	Textiles D.
5	TC	Catalana
6	TE	Terraza
7	TL	Teja S.
8	S	Teja SOL.

(d)

ID	TIPO5 – FACHADA	
1	CR	Cerámica
2	ES	Estocado
3	MM	Mármol
4	PA	P. Artificial
5	PN	Piedra Natural
6	RE	Revocado
7	TV	Obra Vista
8	VD	Vidriado

(e)

ID	TIPO6 – PISO	
1	CC	Cerámica
2	FO	Hormigón
3	GR	Granito
4	MM	Madera
5	MO	Mosaico
6	PQ	Parquet
7	ST	Sintéticos
8	TE	Terrazos

(f)

Tablas 5.8. Nomenclatura utilizada para describir el tipo de material utilizado en las diferentes partes de un edificio.

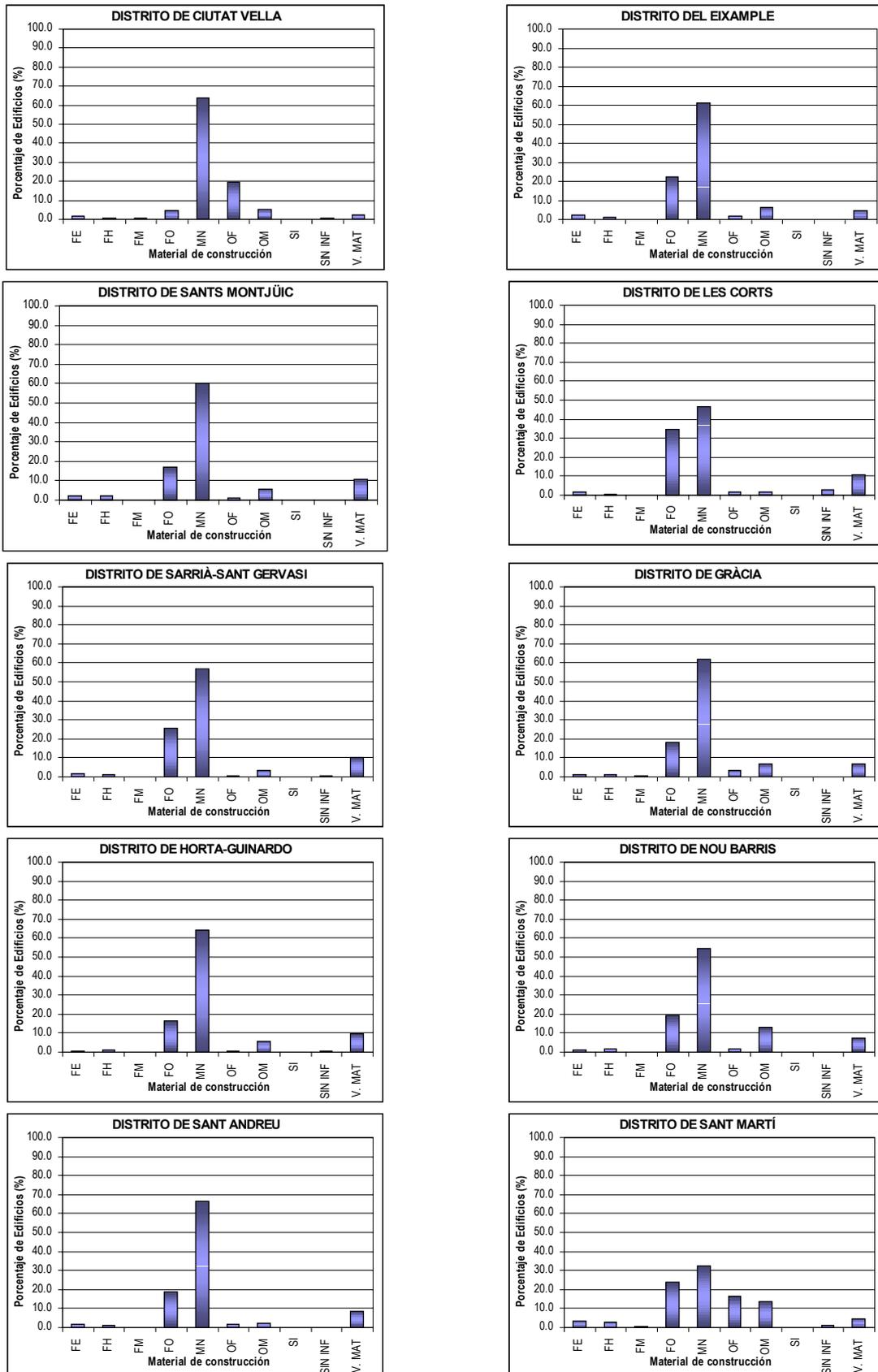


Figura 5.15. Porcentaje de parcelas de acuerdo al material de construcción por distrito.

La Figura 5.15, muestra la distribución de los edificios según el material de construcción que se utilizó en el sistema resistente para todos los distritos de la ciudad. Se puede observar de una manera generalizada que el material de construcción más utilizado en los distritos es la mampostería (MN), con un porcentaje aproximado del 60%, a excepción de los distritos de Les Corts y Sant Martí, en donde está por debajo del 50%, seguido de los edificios de hormigón (FO), en donde el porcentaje es mayor precisamente para estos dos distritos. Por otro lado, el distrito en donde se encuentran las parcelas con más de un material de construcción utilizado en el sistema resistente es Sants Montjuïc, con un valor del 10 % lo que indica, al ser pequeño este porcentaje, una gran homogeneidad en las tipologías.

Agrupando las gráficas del material de construcción que se utilizó en el sistema resistente (Figura 5.16), puede apreciarse que la mampostería es el material más empleado en todos los distritos, seguido del hormigón armado, piedra en obra y madera, y en menor medida el acero. Este mismo análisis se realiza con los materiales en las otras partes de los edificios, mostrando los resultados en las Figuras 5.17 – 5.21.

En la Figura 5.17, se muestra la distribución del material de construcción en los muros divisorios, en donde se puede apreciar claramente que en todos los distritos el más utilizado es el ladrillo macizo (TM), seguido de material en obra (OB) y existiendo para el resto de los materiales casi un uso nulo. En la Figura 5.18, se muestra la distribución del material en los forjados, existiendo en este caso una mayor variedad de uso, entre las que se encuentran las viguetas de madera (RU), viguetas de hormigón (RO) y viguetas de acero (RE). Además se puede apreciar que en el distrito de Ciutat Vella, el uso de las viguetas de madera es de aproximadamente el 70 %, coincidiendo con la mayor cantidad de edificios de mampostería y piedra en obra en el mismo distrito, aspecto congruente con esta tipología. En la Figura 5.19, se muestra la distribución del material utilizado en la cubierta, distinguiendo dos tipos predominantes: la terraza y catalana (TE y TC) y en un menor porcentaje el fibrocemento (FI), aunque con una mayor variedad en el uso de distintos materiales en una misma parcela. El resto de los materiales es prácticamente nulo. En la Figura 5.20, se muestra el material de la fachada, distinguiéndose dos tipos principales: el revocado (RE) en un porcentaje alto y el estocado (ES) en un porcentaje menor. Aquí se puede apreciar que las parcelas construidas con más de un material igualan casi al porcentaje del revocado, lo que es un aspecto lógico en la construcción de un edificio. Finalmente en esta parte de análisis, la Figura 5.21, muestra la distribución del material del piso, en este caso el mosaico (MO) es el material que más predomina seguido de los terrazos (TE) y del hormigón (FO). Este caso es similar al material de la fachada, su condición de acabado, hace que se utilicen diferentes tipos de material en un mismo edificio.

En las Figuras 5.22a – 5.22f, se muestran los resultados del estudio para la ciudad completa, tratando de distinguir claramente los materiales de construcción más utilizados. Por ejemplo para el sistema resistente de los edificios el material de construcción más utilizado es la mampostería con un 57,69 %, seguido del hormigón armado con un 19,42 %, mampostería y acero con un 6,74 %, mampostería y madera con un 4,54 %, acero con un 1,81 %, y en un porcentaje muy pequeño el resto de los materiales. En el caso de los muros divisorios, se puede observar el uso generalizado del ladrillo macizo en el 72,75 % de los edificios. Ya en el caso de los forjados y cubierta, se utilizan una mayor variedad de materiales y la variabilidad de materiales en una misma parcela es mayor. Por último, en la fachada y piso, también existe un uso claro de algunos materiales, pero la variabilidad de los materiales en una parcela es muy alta, debido a su estado final que será el de acabado.

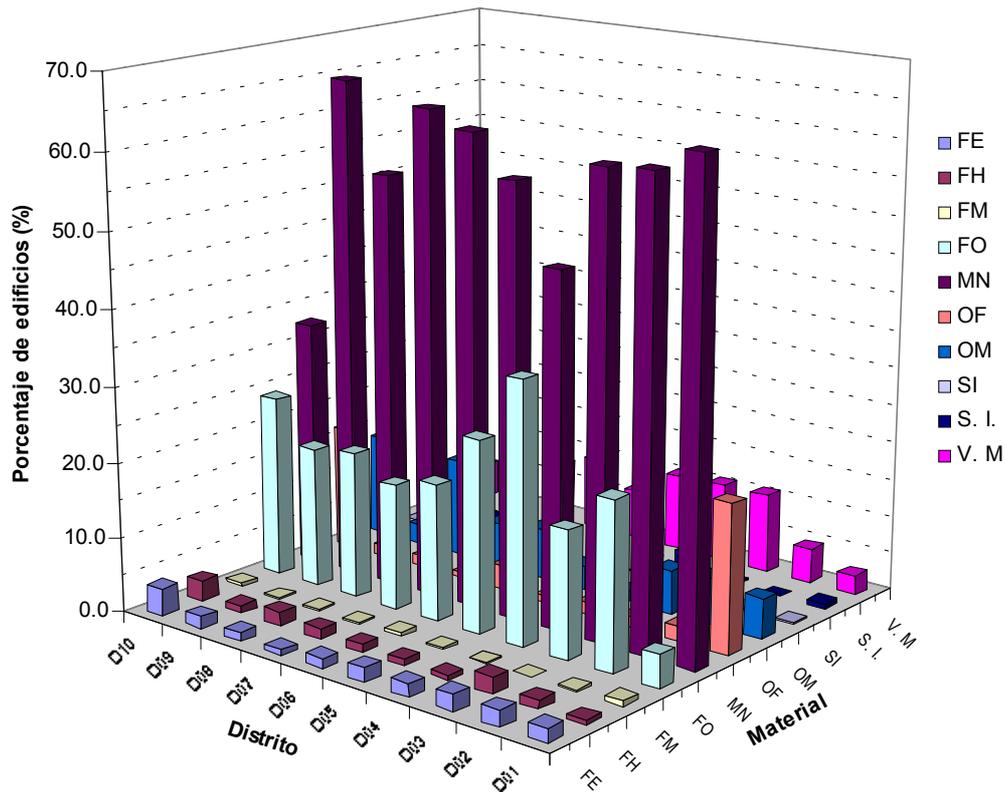


Figura 5.16. Distribución de los edificios de acuerdo al material utilizado en el sistema resistente.

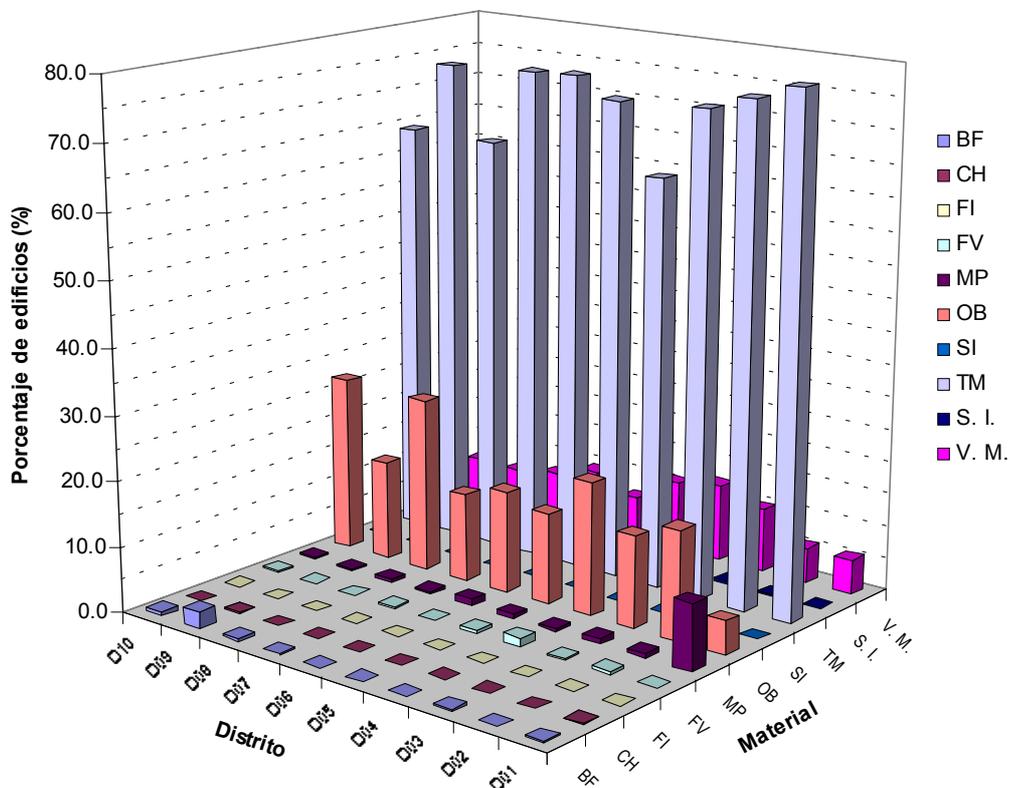


Figura 5.17. Distribución de los edificios de acuerdo al material utilizado en las paredes.

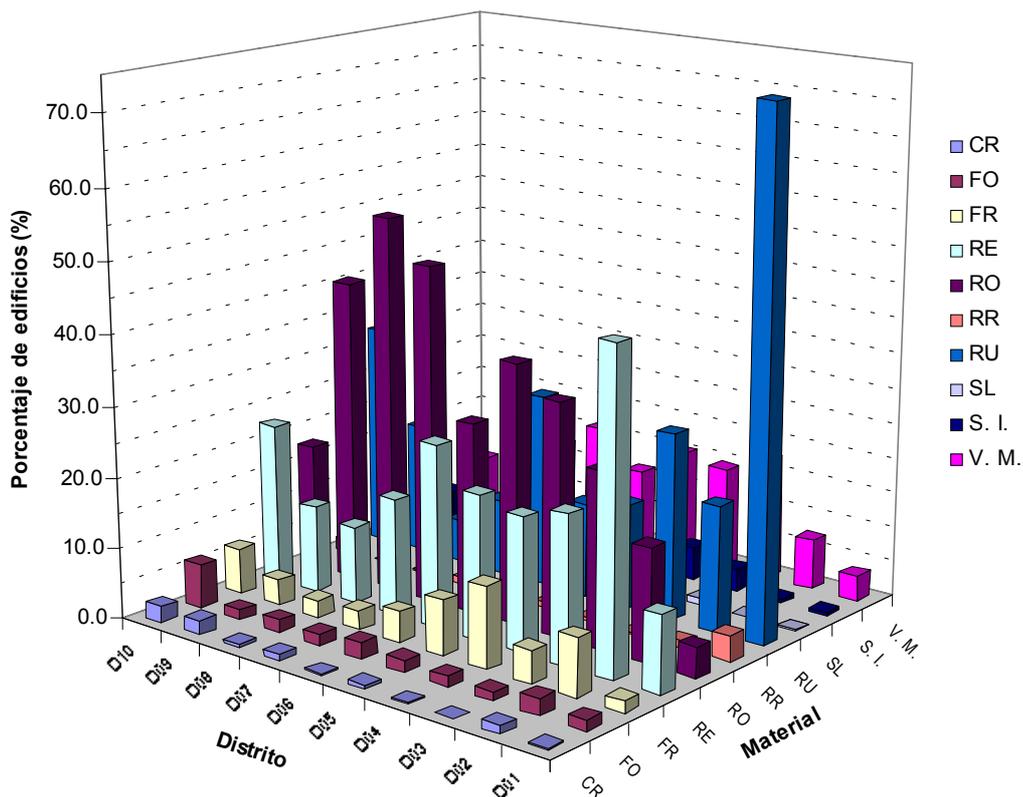


Figura 5.18. Distribución de los edificios de acuerdo al material utilizado en el forjado.

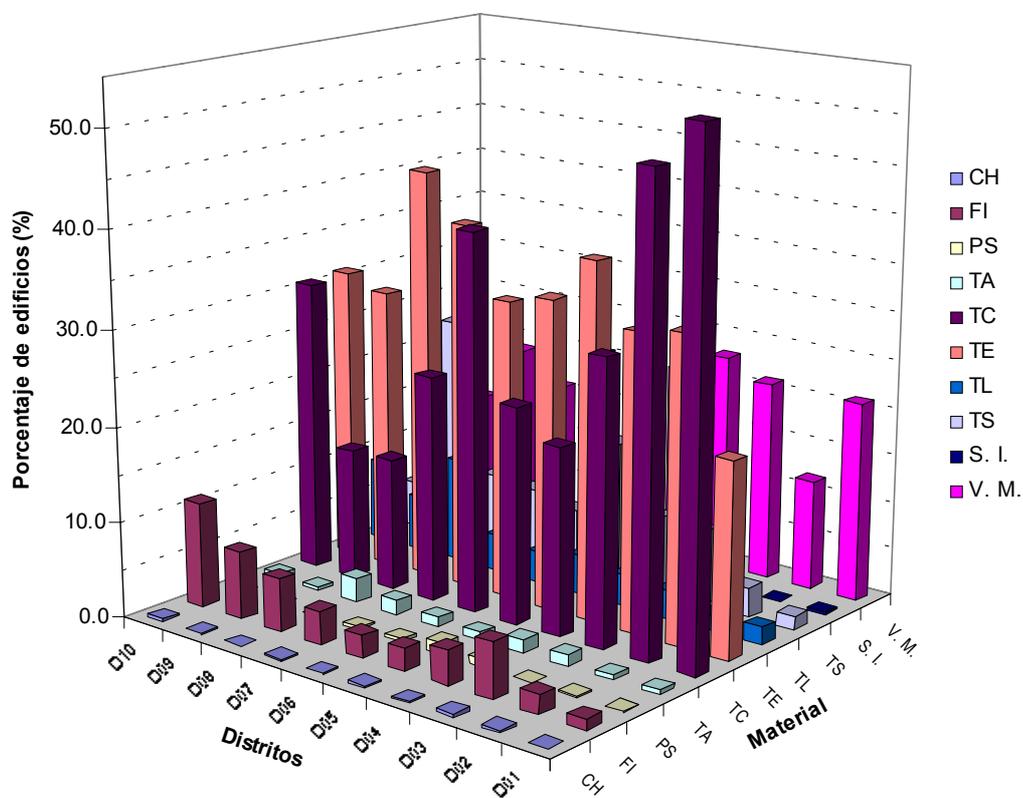


Figura 5.19. Distribución de los edificios de acuerdo al material utilizado en la cubierta.

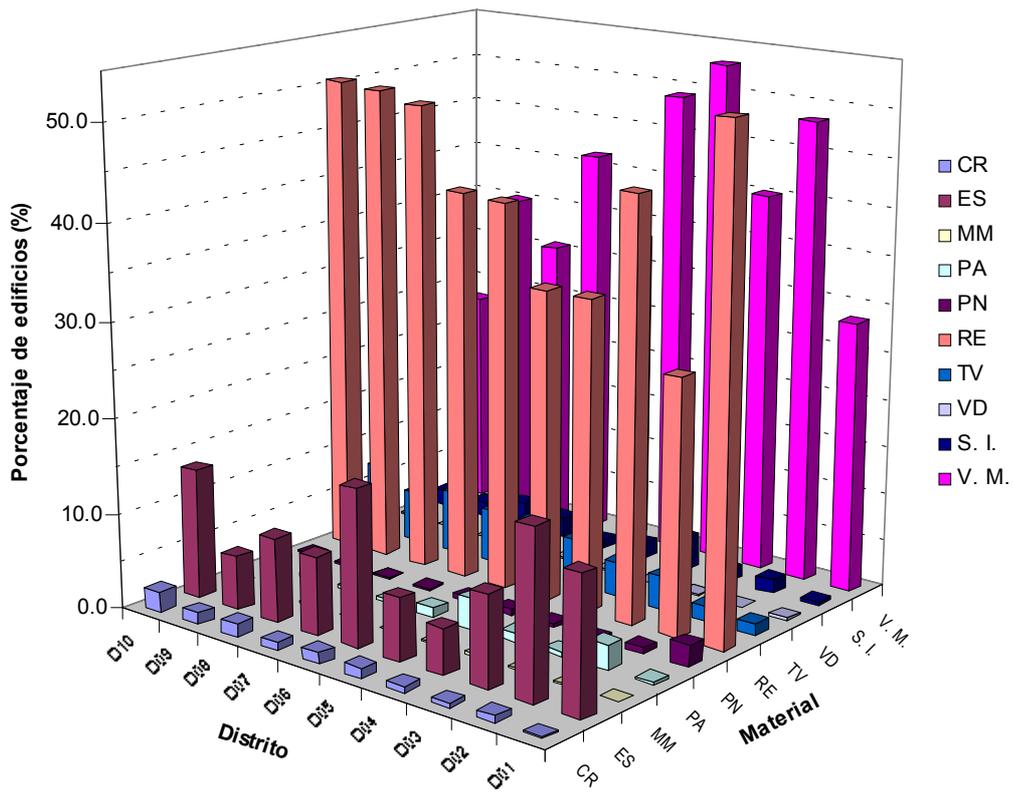


Figura 5.20. Distribución de los edificios de acuerdo al material utilizado en la fachada.

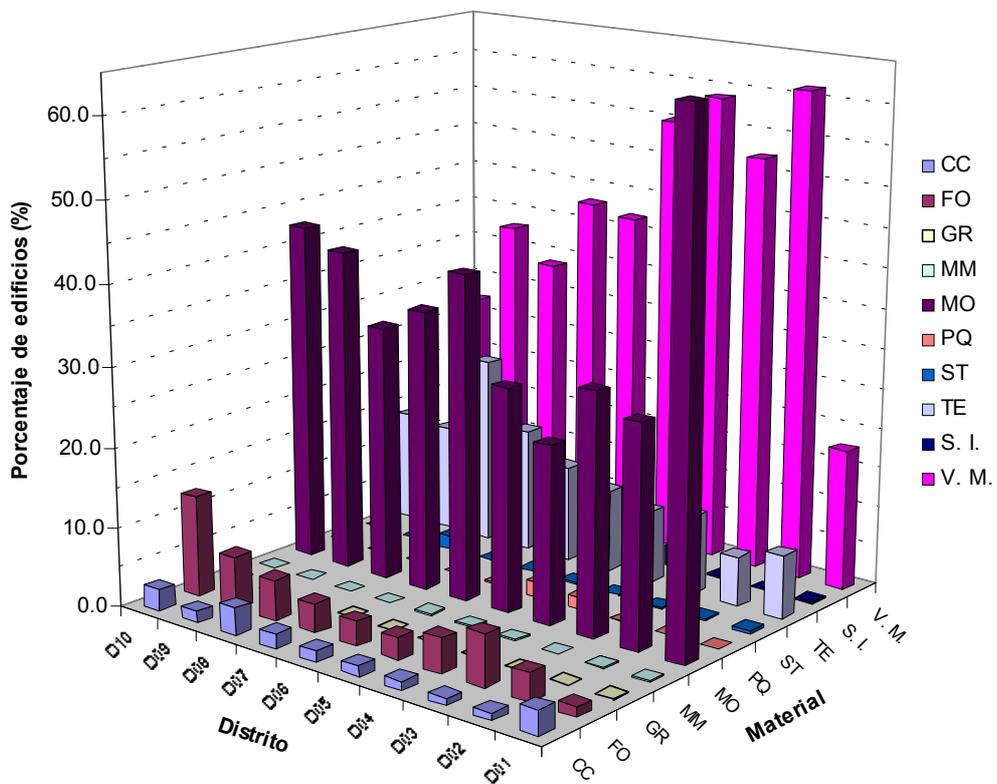


Figura 5.21. Distribución de los edificios de acuerdo al material utilizado en el piso.

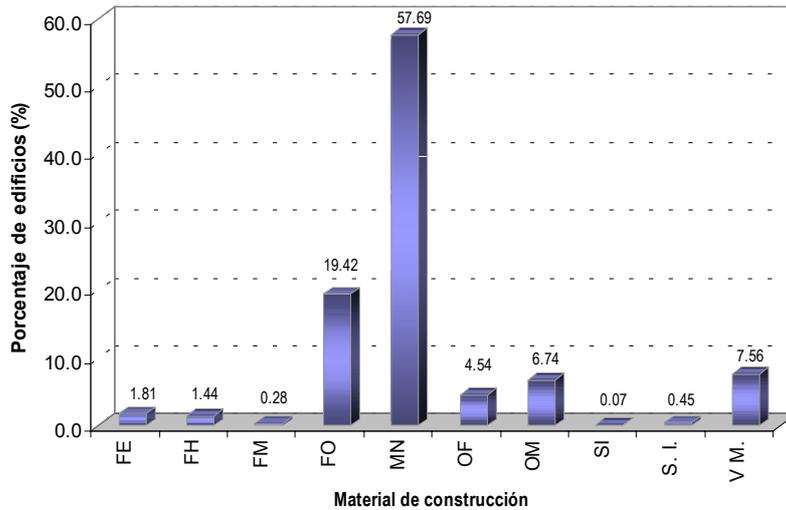


Figura 5.22a. Material de construcción utilizado en el sistema resistente para toda la ciudad.

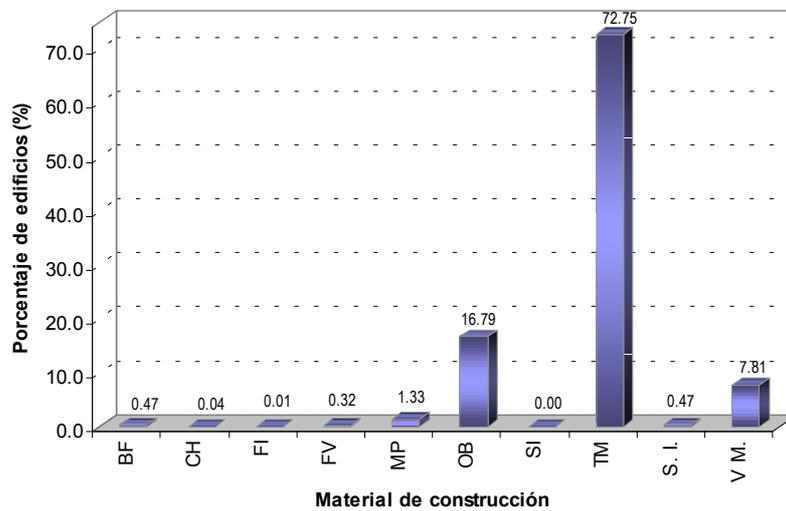


Figura 5.22b. Material de construcción utilizado en los muros divisorios para toda la ciudad.

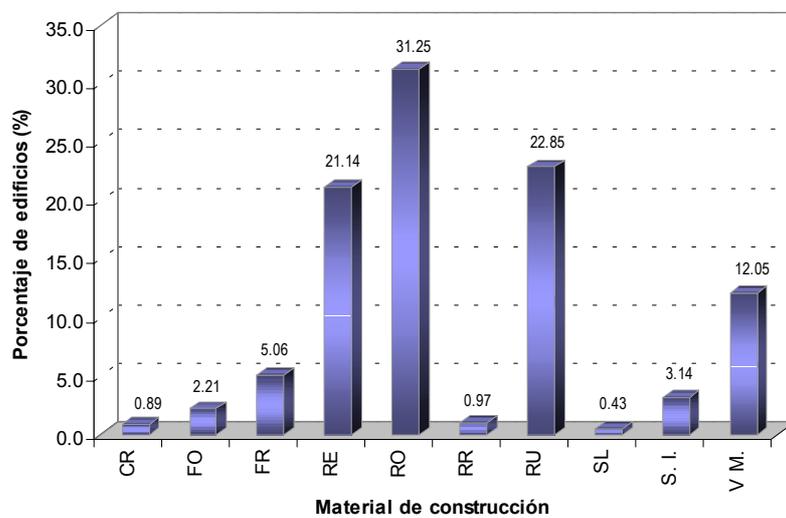


Figura 5.22c. Material de construcción utilizado en los forjados para toda la ciudad.

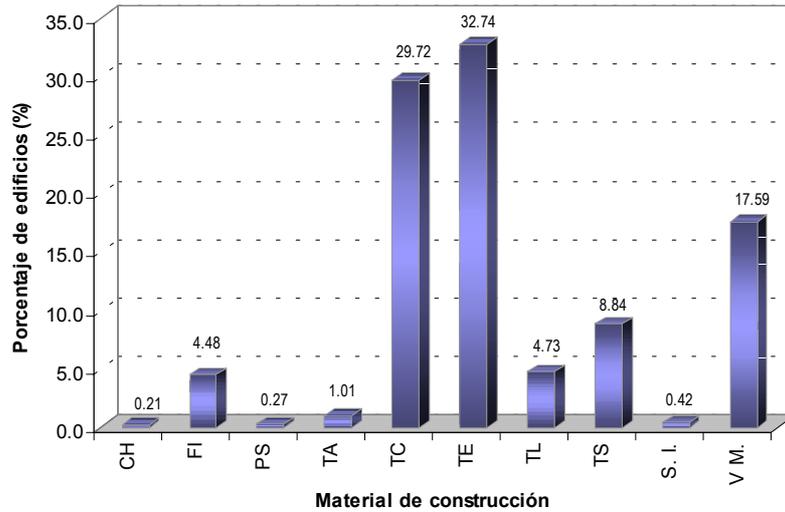


Figura 5.22d. Material de construcción utilizado en la cubierta para toda la ciudad.

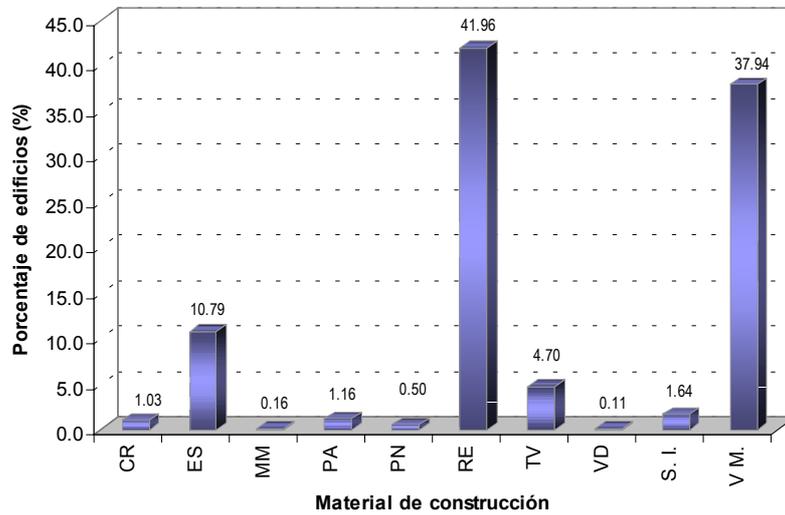


Figura 5.22e. Material de construcción utilizado en las fachadas para toda la ciudad.

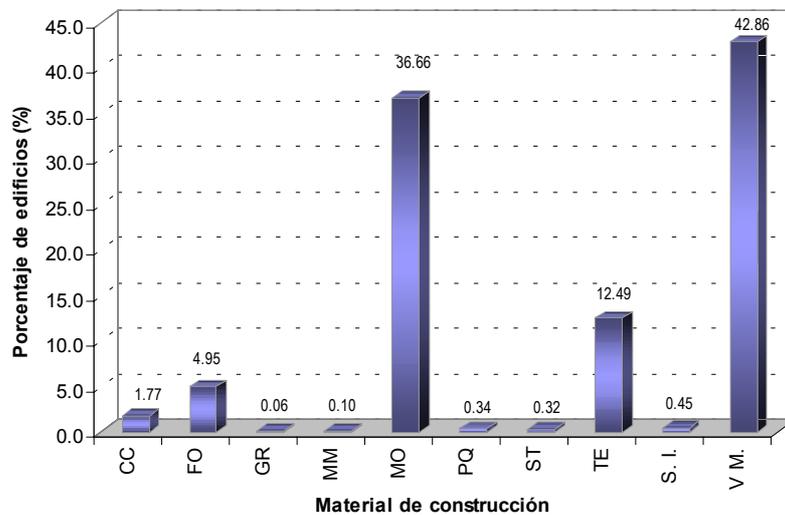


Figura 5.22f. Material de construcción utilizado en los pisos para toda la ciudad.

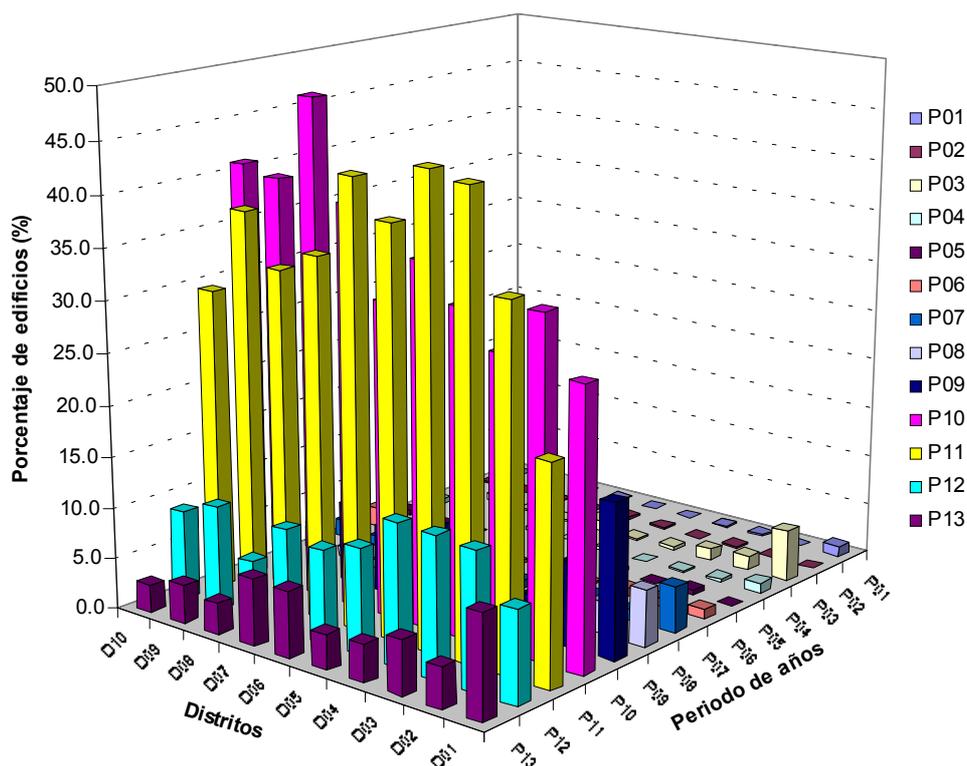


Figura 5.23. Distribución del hormigón como material de construcción utilizado en el sistema resistente por periodo de años y distritos.

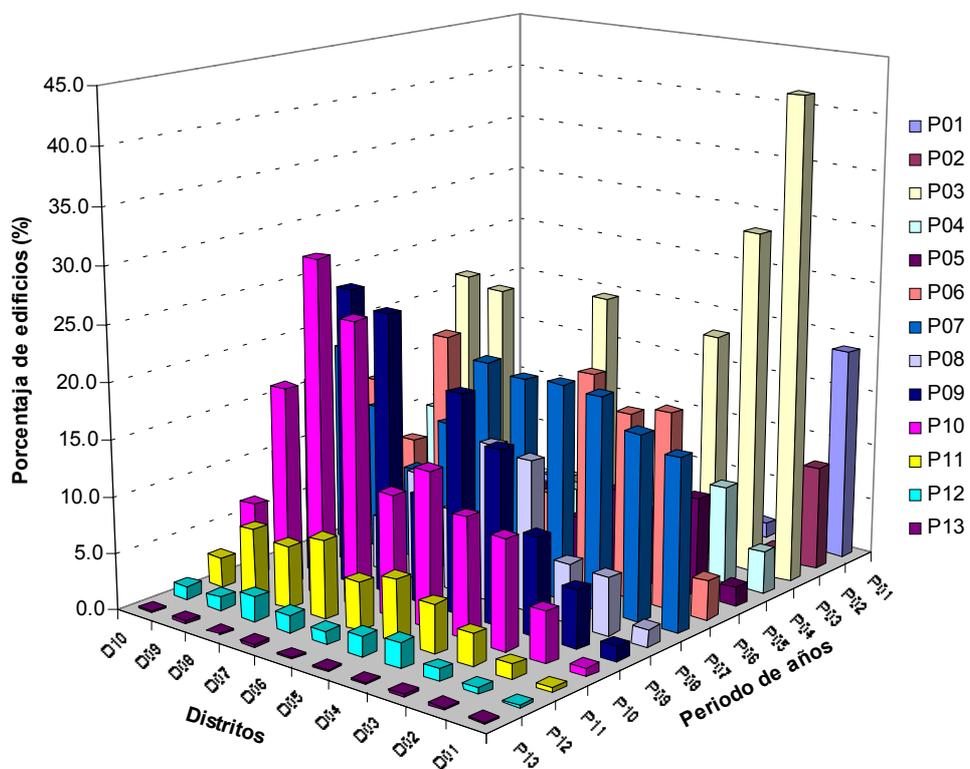


Figura 5.24. Distribución de la mampostería como material de construcción utilizado en el sistema resistente por periodo de años y distritos.

La Figuras 5.23 y 5.24, muestran una relación interesante entre el uso de los materiales de hormigón y mampostería en el sistema resistente, y el crecimiento de cada distrito de la ciudad. Utilizando los mismo periodos de años mostrados en la Figura 5.13, se puede observar en la Figura 5.25, que el uso del hormigón como material de construcción del sistema resistente comenzó de una forma más amplia a partir de los años 20 alcanzando un valor de casi el 9 %, respecto a los edificios construidos con este material en los 70, igualando a los edificios de mampostería a partir de ese periodo con el mismo porcentaje de construcción (Figura 5.26).

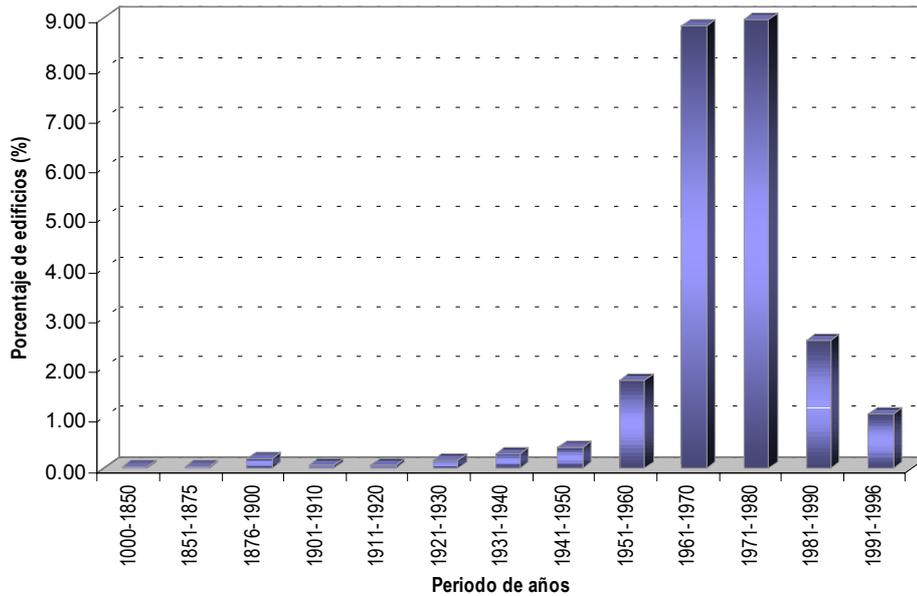


Figura 5.25. Distribución del hormigón armado como material de construcción utilizado en el sistema resistente por período de años.

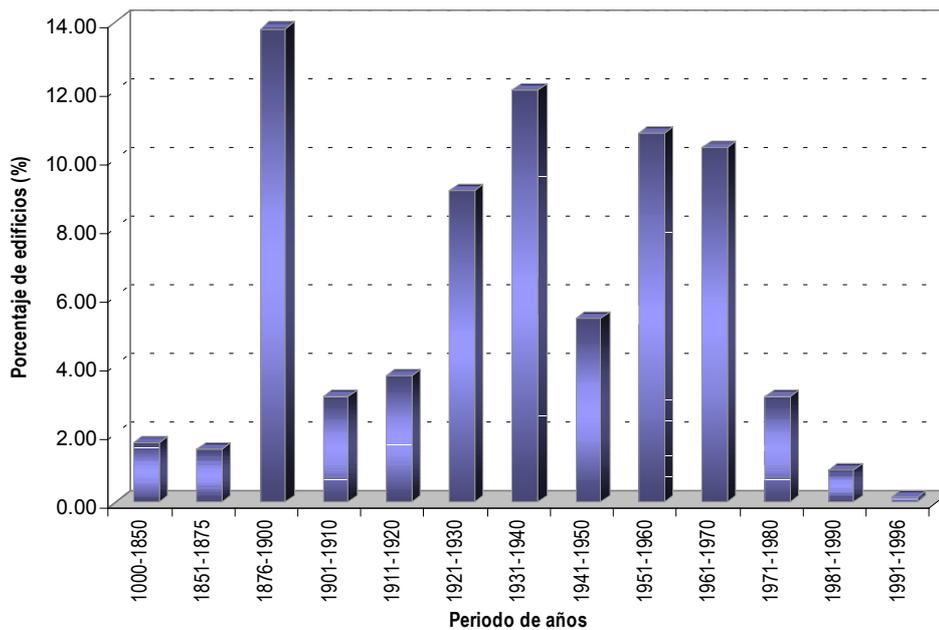


Figura 5.26. Distribución de la mampostería como material de construcción utilizado en el sistema resistente por período de años.

5.5.3 Datos utilizados en el estudio

En forma resumida en la Tabla 5.9 se presentan el número de datos contenidos en las coberturas de las parcelas. Por una parte en las primeras tres columnas se muestran los datos extraídos directamente de las fuentes de información, en donde la columna (a) muestran las parcelas totales extraídas del catastro sin hacer distinción de su contenido; en la columna (b), las parcelas con información de edad y en la columna (c), las parcelas con información del material utilizado en la construcción del sistema resistente. Las siguientes cinco columnas muestran las parcelas cuyos datos son más específicos, es decir, en la columna (d) se encuentran las parcelas con información de número de niveles sobre la superficie, número de sótanos y tipo de azotea, que sirven para definir el edificio; en la columna (e) se muestran las parcelas que tienen información de edad, tipología e información de la columna (d); en la columna (f) se muestran las parcelas cuyo material de construcción es la mampostería no reforzada y hormigón armado; en la columna (g) se muestran las parcelas cuya tipología es la mampostería reforzada y hormigón armado, y además contienen información de edad y altura, por último en la columna (h), se muestran las parcelas con las que finalmente se trabajará en el siguiente apartado, es decir, además de contener la información de la columna (h), en la parcela sólo existe una única construcción. Esta consideración se debe a que existen varias parcelas en donde hay más de una construcción, lo que impide aplicar la metodología del índice de vulnerabilidad. Estos resultados, coinciden con la información estadística del Ayuntamiento (AB, 1991 y AB, 2002), lo que permite corroborar la base de datos de las coberturas construidas para el estudio.

Como puede observarse en la Tabla 5.9, no todos los edificios definidos con la información del catastro (columna d) se utilizarán para realizar el estudio de riesgo sísmico. En este trabajo, sólo se usarán las parcelas cuya información defina el edificio, tenga edad, el material de construcción del sistema resistente sea la mampostería no reforzada y hormigón armado, y exista sólo una construcción (columna, i), con lo cual el porcentaje final de edificios que se utilizarán es de aproximadamente el 60 %.

Distrito	Nombre	Parcelas (a)	Edad (b)	Tipología (c)	Edificios (d)	(b)+(c)+(d) (e)	M y H (f)	(e) y (f) (g)	(g) + v=1 (h)	(h) / (d) (i)	(h) / (d+e) (k)
01	Ciutat Vella	6341	5701	5686	5996	5411	3953	3742	3364	56.10	4.62
02	Eixample	8990	8447	8742	8790	8326	7580	7222	6074	69.10	8.34
03	Sants Montjuïc	8215	6673	7270	7596	6415	6085	5423	4399	57.91	6.04
04	Les Corts	3071	2348	2656	2662	2290	2346	2062	1802	67.69	2.48
05	Sarria Sant G.	9814	7151	8091	8109	7026	7168	6241	5142	63.41	7.06
06	Gràcia	7536	6712	7050	7135	6605	5933	5541	4497	63.03	6.18
07	Horta-G.	11402	9261	9914	10015	9050	8485	7749	6547	65.37	8.99
08	Nou Barris	8863	5850	7295	7454	5675	5639	4814	4216	56.56	5.79
09	Sant Andreu	8077	5512	7271	7471	5368	6500	4789	4107	54.97	5.64
10	Sant Martí	8417	6979	7316	7571	6611	4299	3808	3166	41.82	4.35
	Total	80726	64634	71291	72799	62777	57988	51391	43314	59.60	

Tabla 5.9. Comparación de la información obtenida por las diferentes fuentes de datos, contenida en las coberturas de las parcelas. El valor de la columna (i) es el porcentaje de edificios por distrito utilizados para el estudio de Riesgo Sísmico correspondiente a la relación de la columna (h) y la columna (d). El valor de la columna (k) es el porcentaje de edificios a nivel ciudad utilizados en el estudio correspondientes a la relación de la columna (h) y el total de edificios de la columna (d).

5.6 Coberturas del tipo de suelo y zonificación sísmica

Continuando con la recopilación de datos para la realización del estudio, se ha recurrido a la información referente al tipo de suelo de la ciudad y al Mapa de zonificación propuesto por Cid, 1999. Un aspecto importante en los estudios de Riesgo Sísmico es el efecto local que puede ocurrir en una zona, como consecuencia de un movimiento sísmico. Estos efectos locales dependen principalmente de las características del suelo existentes en el lugar (tipo de material, espesor de los estratos, así como sus propiedades mecánicas, dinámicas, etc.) y de las posibles alteraciones que se hayan realizado (explotación indebida del agua, alteración de los cauces del río, rellenos incontrolados, etc.).

5.6.1 Mapa geotécnico de Barcelona

En la ciudad de Barcelona existen diversos trabajos que permiten elaborar mapas geotécnicos, definiendo el comportamiento del terreno ante diversas sollicitaciones. Esta información, en general es de poca utilidad para el caso de estudios en donde se necesite conocer las características de resistencia en un lugar específico, sin embargo, de gran utilidad para los estudios a nivel urbano. Uno de estos trabajos es el realizado por el grupo LOSAN, (1978) presentando un Mapa Geotécnico de Barcelona, a escala 1:25.000, con la predeterminación de las características geotécnicas del terreno (Fig. 5.27), que sin embargo, debido a las importantes variaciones existentes en la composición y propiedades del subsuelo de Barcelona, tanto en el sentido horizontal como el vertical, provocan la irrepresentabilidad a escala del mapa de algunas de estas propiedades. Existe una revisión de este trabajo realizado por el Instituto Cartográfico de Cataluña (ICC, 2000) en formato digital, en donde se agregan datos más detallados del suelo de la ciudad de Barcelona.

La ciudad de Barcelona se encuentra situada entre los deltas de los ríos Besós y Llobregat, extendiéndose sobre un llano que, suavemente inclinado hacia el mar, desciende desde los relieves montañosos de la Sierra de Collserola cuya máxima altitud se alcanza en el Tibidabo (516 m.). Estos relieves forman parte de la Cordillera Litoral Catalana y siguen sensiblemente en forma paralela la línea de la costa. La continuidad del llano se interrumpe por otra línea montañosa de menor altura que la anterior y a la que se le une el Coll dels Penitents. Esta línea está formada por los Serrats de la Rovira, que engloban la serie de colinas que desde el Turó de la Peira y de la Rovira (267 m.) se dirige hacia el Turó del Putget y el Monterols. Hacia el sudeste de la ciudad se alza el bloque Terciario de Montjüic (172 m.) claramente disimétrico, con una pendiente suave hacia la ciudad y un escarpe abrupto provocado por una falla, en su vertiente marítima (Morrot). Esto permite distinguir tres tipos principales de materiales que componen los suelos de la ciudad de Barcelona:

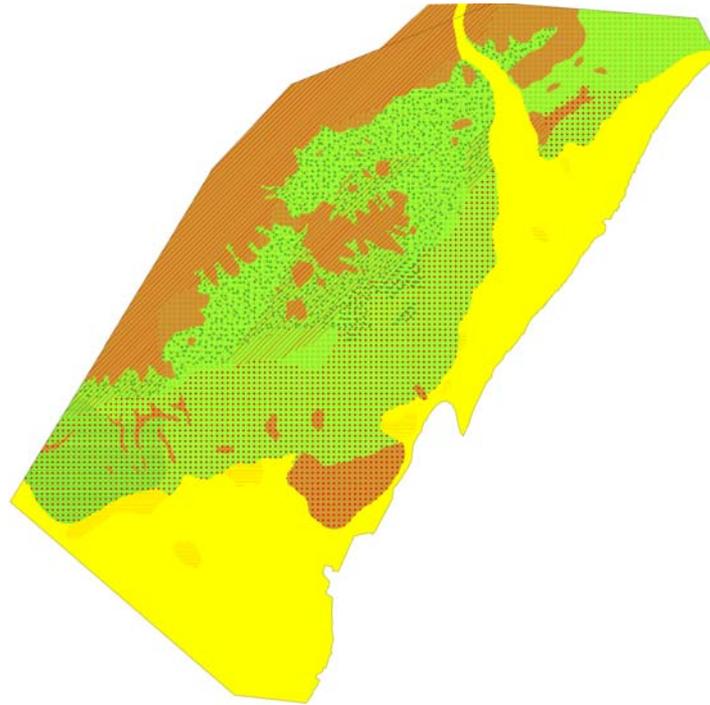


Figura 5.27. Mapa geotécnico original de Barcelona, elaborado por el grupo LOSAN, (Losan, 1978; ICC, 2000).

➤ **Substrato:** lo forman los relieves montañosos de la ciudad constituidos por:

- a) *Materiales paleozoicos.* Su litología es muy variada, pues se encuentran representados por casi todos los pisos de esta era, formada por pizarras, calizas en menor abundancia e intercalaciones de cuarcitas, areniscas, rocas metamórficas, etc.
- b) *Granito.* Esta roca plutónica está formada por cristales de cuarzo, feldespato ortosa, biotita y plagioclasa, aflorante en toda la vertiente Sur del Macizo del Tibidabo, formando una estrecha franja cerca del contacto con el cuaternario. Constituye el substrato rocoso de Horta y Sarriá, y la mayor parte de los relieves situados al NW de Badalona. Generalmente el granito se encuentra alterado en la superficie debido al clima mediterráneo.
- c) *Material terciario.* Estos yacen discordantemente sobre el zócalo granito – paleozoico, más antiguo. Dentro del Terciario se pueden distinguir el Mioceno que forma el bloque de Montjuïc y el Plioceno, más reciente, que constituye el substrato del Cuaternario en la zona central del Eixample y parte baja de la ciudad y que llega a aflorar en algunos puntos como en el Mont-Tàber. Litológicamente el Mioceno está formado por una potente serie marina en la que se intercalan bancos de margas azuladas, fosilíferas, areniscas rojogrisáceas y algún nivel de microconglomerados. El Plioceno está constituido por un tramo inferior, de facies Plasenciense, con margas azul-verdosas y numerosos fósiles, y un tramo superior con margas arenosas y arenas pardamarillentas, de facies Astiense.

- **Cuaternario.** Lo forman la totalidad de los materiales del llano de Barcelona. Dentro del llano se puede aún separar en dos unidades geomorfológicas bien diferenciadas por su origen y su topografía. La primera es la plataforma que suavemente inclinada hacia el mar, se extiende por todo el sector medio de la ciudad (Eixample) y que constituye una llanura de piedemonte. La segunda esta separada de la anterior por un talud abrupto de unos 20 a 30 m de desnivel, al pie del cual se extiende la planicie actual de los ríos Besòs y Llobregat.
- a) *Cuaternario antiguo.* Mejor conocido como Triciclo, yace sobre un substrato rocoso que puede ser Granito, Paleozoico o Terciario según los sectores. La superficie del substrato rocoso es accidentada sobre todo cuando el substrato esta constituido por margas y arenas pliocenas. En general la profundidad de estos materiales se encuentra entre 18 y 25 metros de potencia, aunque en algunos puntos llega hasta los 50. Las características geotécnicas del Triciclo presentan una capacidad de carga admisible de mediana a elevada, taludes estables, terrenos sensibles a la humedad e irregularidades importantes. La alternancia litológica que se presenta en un ciclo de estos materiales es de abajo hacia arriba:
- Arcillas rojas compactas que a veces incluyen cuñas más detríticas del mismo color, según la proximidad de la montaña.
 - Limos amarillentos de origen eólico que constituyen un verdadero Loess en el que abundan nódulos calcáreos.
 - Costra calcárea de estructura zonar, que generalmente tiene de 20 a 30 cm de espesor como media (Tortorà).
- b) *Cuaternario reciente.* Los sedimentos cuaternarios pertenecientes a los depósitos deltaicos de ambos ríos reposan sobre un basamento pliocénico en el caso del Llobregat con espesor de alrededor de 100 m y sobre zócalo de granito, paleozoico o plioceno en el caso del Besòs con espesor de aproximadamente 50 m. Siguiendo los diferentes trazados longitudinales de las rieras y torrentes que atraviesan el Llano de Barcelona, podemos encontrar depósitos de arenas y gravas fluviales, prácticamente actuales, con una granulometría grosera, de cantos pocos rodados y de litología paleozoica o granítica. Su grosor y anchura vienen condicionadas por las rieras que los originó. Destacan también como materiales recientes los rellenos antrópicos. En cuanto a sus características tienen una carga admisible de mediana a muy baja. Taludes inestables, con problemas hidrológicos (nivel freático y filtraciones) y asentamientos apreciables e irregulares.
- **Modificaciones artificiales.** En este tipo de suelo las características geotécnicas son las más desfavorables de los cuatro grupos debido a la heterogeneidad de materiales, lo que puede provocar asentamientos importantes e incontrolables.

El proceso para la construcción de la cobertura de suelos de la ciudad, se inicio con la digitalización del mapa geotécnico de LOSAN, utilizando como referencia un mapa de la ciudad elaborado a partir de las coberturas de los distritos. La digitalización se realizó con el programa AUTOCAD colocando en diferentes capas las características del suelo, exportando

los archivos a formato *.dxf. Un vez realizado esto, se construyó una cobertura de polígonos representando los diferentes tipos de suelo, con la información descrita anteriormente. Esta cobertura (Figura 5.28) se superpone con la cobertura de la topografía para obtener una representación más real del suelo sobre la superficie de la ciudad (Figura 5.29).

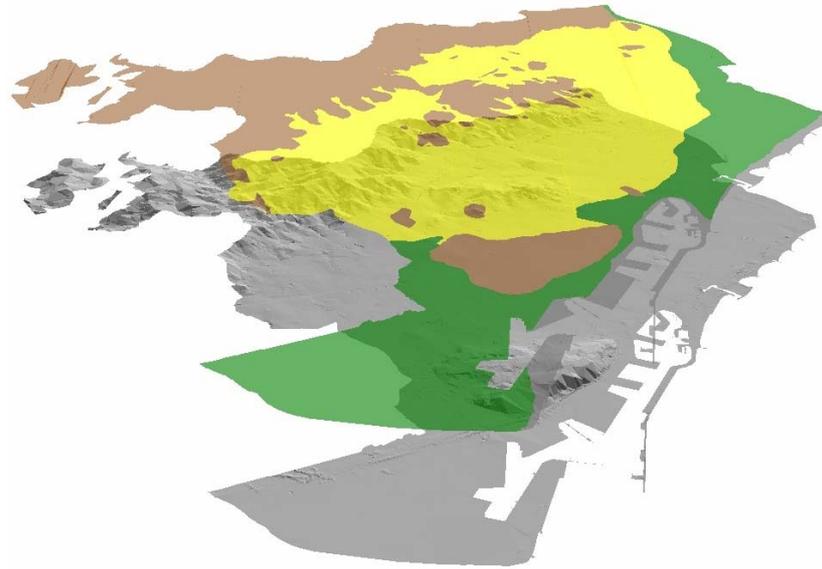


Figura 5.28. Superposición de la cobertura del tipo de suelo con la cobertura de la topografía.

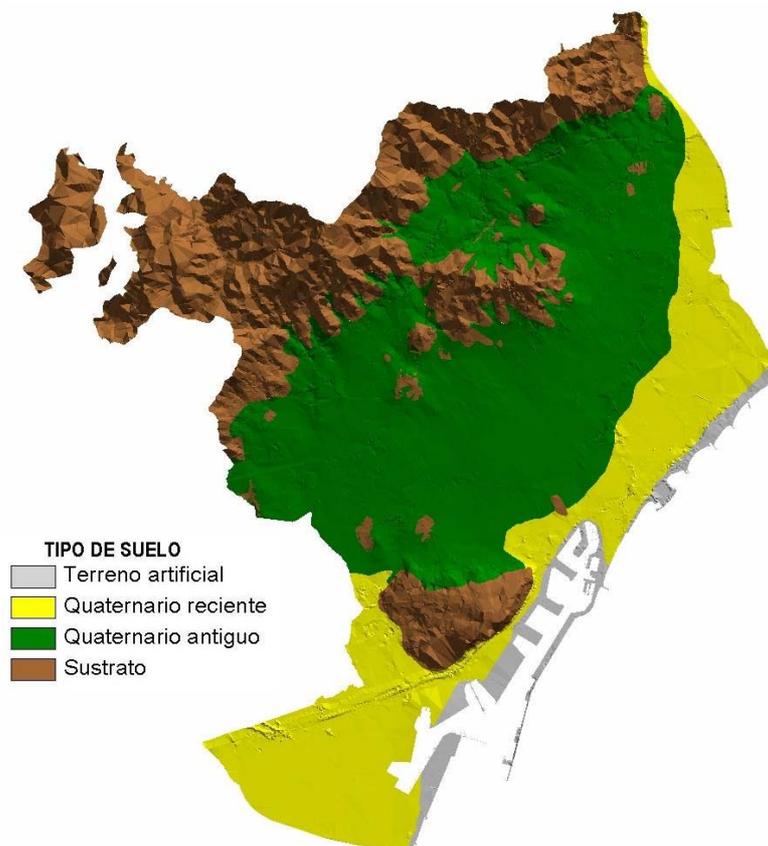


Figura 5.29. Clasificación del tipo de suelo de Barcelona de acuerdo al Mapa geotécnico de LOSAN (Losan, 1978).

5.6.2 Mapa de zonificación sísmica

Este mapa es el resultado del estudio realizado por Cid, (1999), para zonificar la ciudad de Barcelona en base a la simulación numérica del movimiento del suelo, formando parte de los trabajos de Riesgo Sísmico de la ciudad. Este trabajo pretende resolver algunas de las incertidumbres más comunes de los efectos locales del suelo, como son el potencial de amplificación o el período natural del terreno, cuya influencia en los mapas de peligrosidad sísmica generalmente queda excluida.

El estudio se realizó utilizando 70 columnas representativas de suelo divididas en 42 zonas de la ciudad, en donde se dispone de información geotécnica cuyas propiedades dinámicas se determinaron a partir de correlaciones empíricas recopiladas de varios trabajos e hipótesis planteadas para la zonificación, necesarias para la simulación numérica utilizando el programa unidimensional lineal-equivalente SHAKE-91.

Los resultados obtenidos de la simulación se agruparon basándose en su similitud de acuerdo a los criterios sísmicos considerados en este trabajo, encontrando equivalencias de los resultados de estas zonas con la estructura geológica de la ciudad (Figura 5.30 y 5.31). De esta manera se definen las siguientes zonas sísmicas de la ciudad:

- **Zona 0**, corresponde al afloramiento paleozoico y terciario en la que no se esperan efectos de amplificación, por corresponder a un suelo firme.
- **Zona I**, corresponde al afloramiento holoceno, cuya función de transferencia presenta un pico de amplificación máxima próximo a los 2.5 Hz, con un valor de amplificación en torno a 2.5. La amplificación de la aceleración máxima del suelo respecto al estrato firme es de 1.7.
- **Zona II**, corresponde al afloramiento pleistoceno con substrato Terciario de espesor lo suficientemente grande como para que influya en la respuesta. La función de transferencia presenta un pico de amplificación máxima próximo a 5 Hz, con un valor de amplificación en torno a los 2.5. La amplificación de la aceleración máxima del suelo respecto a la correspondiente al basamento es de 1.65.
- **Zona III**, corresponde al afloramiento pleistoceno sin substrato Terciario de espesor lo suficientemente grande como para que influya en la respuesta. La función de transferencia presenta un pico de amplificación máximo próximo a 5 Hz, con un valor de amplificación en torno a 2.25, y una desamplificación de las bajas frecuencias. La amplificación de la aceleración máxima del suelo respecto al estrato firme es 1.4

La construcción de la cobertura de la zonificación sísmica se elaboró apoyándose en la cobertura de suelos, siguiendo las conclusiones obtenidas por Cid. (1999). Por lo tanto, el único proceso que se siguió en esta cobertura, fue cambiar la información descriptiva que se asigna a los polígonos para obtener el mapa de zonificación. El paso final fue superponer esta cobertura con la de la topografía como en el caso anterior para obtener la superficie real del mapa (Figura 5.31).

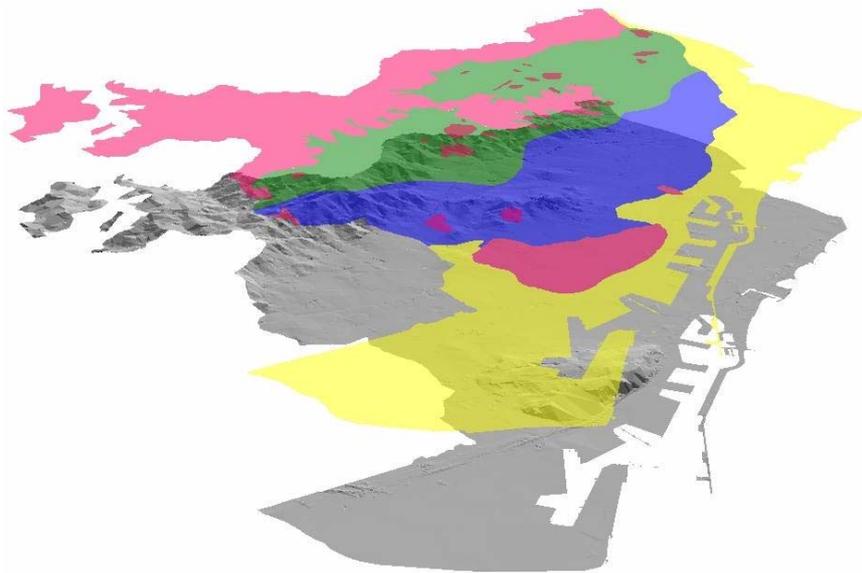


Figura 5.30. Superposición de la cobertura de la zonificación sísmica y la cobertura de la topografía.

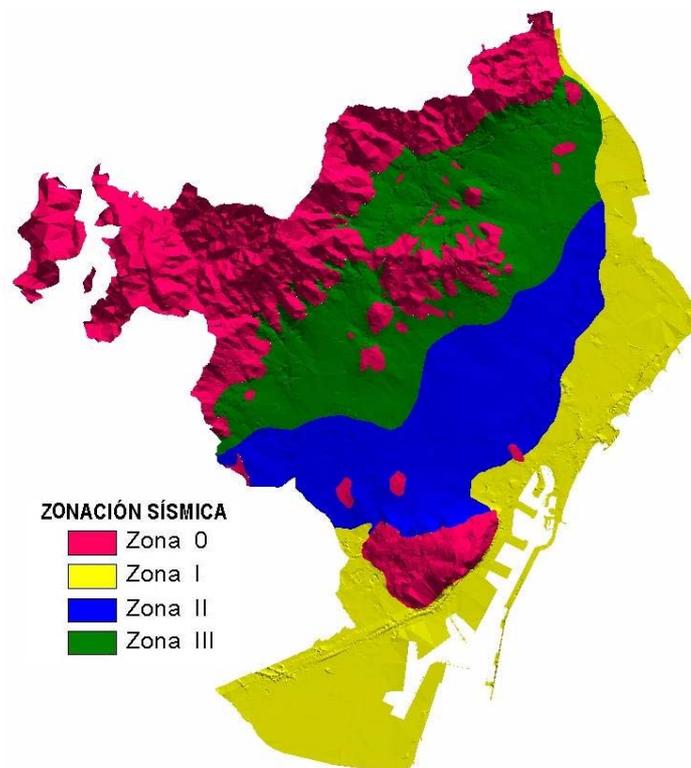


Figura 5.31. Zonificación sísmica basada en métodos de simulación numérica de efectos locales de acuerdo a Cid, (1999).

5.7 Resumen

En este capítulo se ha explicado los procedimientos utilizados en la obtención, tratamiento, depuración y construcción de la base de datos de los edificios utilizando el Sistema de Información Geográfica ARCINFO, necesarios para la realización del estudio de Riesgo Sísmico de la ciudad de Barcelona.

El proceso comenzó con la construcción de las coberturas básicas de la ciudad correspondientes a los distritos, las manzanas y las parcelas, representando estas últimas los edificios de la ciudad que se utilizaron para el estudio. La construcción de las coberturas se realizó a partir de la información catastral proporcionada por el Ayuntamiento de Barcelona, utilizando diferentes programas elaborados en lenguaje AML de ARCINFO y lenguaje FORTRAN. Debido a la gran cantidad de información existente, se decidió trabajar a nivel de distrito para facilitar los cálculos que se realizan en la superposición de las diferentes capas, así como en la visualización de los resultados obtenidos.

La información de altimetría contenida en los archivos, se utilizó para construir la cobertura de la topografía, que sirve para representar la superficie real de la ciudad y realizar cálculos básicos como el cálculo de la pendiente, las curvas de nivel, volúmenes, etc. Además, esta cobertura sirve como base para la construcción de las coberturas del tipo de suelo y la zonificación sísmica de la ciudad.

Una vez construidas las coberturas básicas de los edificios, se agregó la información correspondiente a la edad de la construcción de las parcelas utilizando como columnas de relación la manzana y la parcela. Esta edad está asignada a la parcela por lo que no se hace distinción de los diferentes solares existentes, facilitando así la unión de los datos con la información de la cobertura. Posteriormente se agregó la información correspondiente a la tipología o material de construcción de las partes principales de un edificio, es decir, el sistema resistente, los muros divisorios, los forjados, la cubierta, la fachada y el tipo de piso. Los datos en este caso están asignados a los solares lo que requirió un estudio previo para la asignación correcta del material, que se utilizó en la parcela.

Una parte importante en cualquier estudio de Riesgo Sísmico es conocer las características del suelo en el que se encuentran localizados los edificios del estudio. Para esto se construyeron las coberturas del tipo de suelo, tomando como base la información proporcionada por el trabajo de LOSAN, en el cual hace un descripción a nivel urbano de las características principales del suelo. Además se construyó la cobertura de la zonificación sísmicas, basándose en el trabajo realizado por Cid, (1999), quien realizó un estudio exhaustivo de los posibles efectos locales del suelo, dividiendo la ciudad en cuatro zonas sísmica de cuerdo al nivel de amplificación del suelo.