



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERS
DE CAMINS, CANALS I PORTS DE BARCELONA



ESTUDIO EXPERIMENTAL
DEL COMPORTAMIENTO DEL HORMIGÓN
CONFINADO SOMETIDO A COMPRESIÓN

Tesis Doctoral de:
Carlos Aire Untiveros

Dirigida por:
Ravindra Gettu
Joan Ramon Casas Rius

Barcelona, Septiembre 2002

CAPÍTULO 2

PROGRAMA EXPERIMENTAL

2.1 INTRODUCCIÓN

Como se mencionó en el capítulo anterior, uno de los principales objetivos de la tesis es generar información experimental sobre probetas cilíndricas de hormigón sometidas a dos tipos de confinamiento: pasivo y activo. Para alcanzar este objetivo se ha desarrollado un programa de laboratorio que comprende aspectos relacionados con los materiales empleados y la metodología de los ensayos realizados. Este capítulo presenta el programa experimental referente a los materiales componentes de los hormigones fabricados, detalle de los tipos de confinamiento empleados, los diseños de mezcla, detalle de las probetas, así como el tipo y sistema de instrumentación, y los equipos empleados en los ensayos.

Se ha estudiado el comportamiento de probetas cilíndricas de hormigón de resistencia normal y de alta resistencia, sometidos a 2 tipos de confinamiento. Las resistencias características de diseño de los hormigones fueron de 25 y 60 MPa. Los materiales empleados en la fabricación del hormigón, tales como, cemento, áridos y aditivos son disponibles localmente.

Para el confinamiento pasivo, se emplearon dos tipos de material: tubos de acero, y polímeros reforzados con fibras (FRP) de carbono (C) y vidrio (V). El nivel de confinamiento fue impuesto por el espesor del tubo y el número de capas de los polímeros reforzados con fibra (FRP). Se emplearon 3 diferentes espesores de tubo de acero; y 1 a 6 capas de FRP para el hormigón de baja resistencia y 1 a 12 capas de FRP para el hormigón de alta resistencia.

Para el confinamiento activo, se empleó una célula triaxial, donde se somete la probeta a diferentes niveles de presión hidrostática de confinamiento que es proporcionada por una bomba de presurización.

Para caracterizar el comportamiento tensión-deformación, se instrumentaron las probetas con galgas extensométricas y medidores de desplazamiento. Se presenta en forma general, el procedimiento de cada tipo de instrumentación.

Finalmente, se presentan los equipos necesarios para la realización de los ensayos, y para la adquisición de datos.

2.2 MATERIALES

2.2.1 Componentes del hormigón

En todas las mezclas se usó cemento tipo CEM I 52.5 R (UNE 80.301:96 IRC-97), fabricado por Cementos Molins Industrial S. A. En las mezclas de alta resistencia se adicionó además humo de sílice de tipo densificada (UNE 83460), fabricado por Ferroatlántica. Como áridos se emplearon una grava triturada de origen calizo con tamaño máximo de 12 mm (densidad: 2.63 kg/lit, coeficiente de absorción: 0.84%) y una arena de origen calizo con módulo de finura 3 (densidad: 2.58 kg/lit, coeficiente de absorción: 1.61%).

Para obtener la trabajabilidad deseada se empleó un aditivo superplastificante, denominado Daracem 205 (base naftaleno, densidad: 1.17 kg/lit, contenido de sólidos: 35%), fabricado por Grace Construction Products. Adicionalmente, en una de las mezclas, se empleó un aditivo reductor de retracción, denominado Eclipse (densidad: 0.91 kg/lit), fabricado por Grace Construction Products.

2.2.2 Materiales de confinamiento

Se emplearon dos tipos de material de confinamiento: tubos de acero y materiales compuestos constituidos por polímeros reforzados con fibras (FRP).

2.2.2.1 Tubos de acero

Se emplearon tubos de acero (ST-52) de 143.3 mm de diámetro interior y 168.3 mm de diámetro exterior que fueron mecanizados en torno para obtener los espesores de confinamiento deseados. La Tabla 2.1 presenta las dimensiones de la geometría final de los tubos de acero. De acuerdo a los fabricantes las propiedades mecánicas del tubo de acero son: tensión de fluencia $f_y = 355$ MPa y tensión de rotura $f_u = 450$ MPa.

Tabla 2.1 Geometría de los tubos de acero empleados

Identificación	Espesor (mm)	Diámetro exterior (mm)	Diámetro interior (mm)	Altura (mm)
A	1.8	153.6	150	300
B	4.5	159.0	150	300
C	7.6	165.2	150	300

2.2.2.2 Materiales compuestos

Los materiales compuestos empleados fueron polímeros reforzados con fibra (FRP) embebidos en una matriz de resina. Se emplearon 2 tipos de polímeros reforzados con fibra: de carbono (FRPC) y de vidrio (FRPV), suministrados por Bettor MBT. La Tabla 2.2 presenta información proporcionada por los fabricantes sobre las propiedades de los FRP empleados. Las FRPC, identificada como CF120, son hojas de fibra de carbono unidireccional, mientras que las FRPV, identificada como GAR 90/10 son hojas de fibra de vidrio bidireccional resistente a álcalis.

Tabla 2.2 Propiedades de los polímeros reforzados con fibra (FRP) empleados

	FRPC CF 120	FRPV GAR 90/10 A
Espesor	0.117 mm	0.149 mm
Peso	200 gr/m ²	400 gr/m ²
Ancho	300 mm	680 mm
Densidad	1.7 gr/cm ³	2.68 gr/cm ³
Módulo de elasticidad	240 GPa	65 GPa
Resistencia a tracción	3.9 GPa	3 GPa
Elongación última	1.55%	4.3%

2.3 DETALLE DE LAS MEZCLAS DE HORMIGÓN

El programa experimental comprende el estudio del confinamiento de probetas cilíndricas de hormigón de resistencia normal y de alta resistencia. El programa experimental se desarrolló en 2 etapas. En la primera etapa, se fabricaron 3 series de hormigón: una serie de hormigón de resistencia normal (25 MPa), identificada como H30; y dos series de alta resistencia (60 MPa), identificadas como H70, y HE70. La serie HE70 es similar a la H70 mas la inclusión de un aditivo reductor de retracción. En la segunda etapa, se fabricaron 2 series de hormigón: una serie de hormigón de resistencia normal (25 MPa), identificada como HF30; y una serie de alta resistencia (60 MPa), identificada como HF70. Los ensayos de confinamiento con

presión hidrostática y tubo de acero se hicieron con probetas de la primera etapa, es decir, con las series H30, H70 y HE70; y los ensayos de confinamiento con polímeros reforzados con FRP se hicieron con probetas de la segunda etapa, es decir, con las series HF30 y HF70. La Tabla 2.3 muestra la dosificación de las mezclas estudiadas.

En hormigones con bajos contenidos de agua, como es el caso de los hormigones de alta resistencia, la autodesecación debido a la hidratación del cemento produce retracciones significativas. Con el fin de evaluar la incidencia de esta posible retracción en el efecto del confinamiento, se decidió incorporar el aditivo reductor de retracción (ARR) en la mezcla de alta resistencia de la primera fase. Además el ARR mejora la plasticidad de la mezcla, con lo cual se consigue una reducción en el consumo del superplastificante, manteniendo la relación agua/cemento (Gettu et al., 2000). De esta manera, la cantidad de ARR corresponde al 1.5% en peso del cemento, como se muestra en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3 Dosificación (por m³) de las mezclas utilizadas

Componente	Hormigón		
	H30-HF30	H70-HF70	HE70
Cemento, kg	349	480	480
Arena, kg	873	840	840
Grava, kg	978	921	921
Humo de sílice, kg	-	48	48
Agua, lt	205	161	161
Relación agua/cemento (a/c)	0.59	0.34	0.34
Reductor de retracción, lt	-	-	7.9
Superplastificante, lt	2.1	23	12
Asentamiento, cm	17.5-20	23-26	9

2.3.1 Fabricación

Para la fabricación de los hormigones se empleó una amasadora de 250 litros de capacidad, de alimentación automática. La secuencia del mezclado fue la siguiente: Previo al pesado de los materiales, se hizo la corrección de humedad y absorción de los áridos. Enseguida se incorporaron a la amasadora la arena, grava, y cemento (ó cemento + humo de sílice); y se dejó mezclar durante 1 minuto. Después se le añadió el agua de mezclado, dejándose mezclar durante 1 minuto adicional. Finalmente, se incorporó el superplastificante, y se dejó mezclar durante 3 minutos. En el caso de la mezcla de la serie 3, HE-70, que incluye el reductor de retracción, se dejó mezclar durante 2 minutos adicionales posterior a la inclusión de este aditivo.

A continuación se moldearon cilindros metálicos de 150×300 mm y los tubos cilíndricos de acero (ver dimensiones en la Tabla 2.1). En la parte interna de los tubos de acero se colocó una lámina de teflón de 0.1 mm para evitar la fricción entre el tubo de acero y la probeta de hormigón, durante los ensayos de compresión. Todas las probetas fueron moldeadas en dos capas y la compactación se hizo en una mesa de vibrado. El tiempo de vibrado de cada capa fue de 7 segundos.

A las 24 horas de amasado, se desmoldaron los moldes y tubos. En el caso de los tubos de acero rellenos de hormigón sólo se desmoldaron las bases. Enseguida fueron llevados al cuarto de curado a temperatura (20°C) y humedad relativa (100%) controlados, donde permanecieron hasta la fecha de ensayo.

2.4 PROGRAMA DE ENSAYOS

El alcance del programa comprende estudiar el comportamiento del hormigón sometido a dos tipos de confinamiento (pasivo y activo) y evaluar la mejora en resistencia y ductilidad. El confinamiento pasivo viene dado por el hormigón confinado con tubo de acero y confinado con polímeros reforzados con fibra (FRP de carbono y vidrio); y el confinamiento activo por el hormigón confinado con presión hidrostática (en célula triaxial). La Tabla 2.4 describe el programa general de ensayos, así como las variables estudiadas. Se eligieron espesores de tubo y número de capas de confinamiento FRP que representan esfuerzos de confinamiento comparables a los ensayos de confinamiento con presión hidrostática.

Tabla 2.4 Programa experimental de ensayos

Hormigón	Tipo de confinamiento y variables			
	En célula triaxial	Tubo de acero	Polímero reforzado con fibra (FRP)	
	Presión (MPa)	Espesor (mm)	Carbono (C) Número de capas	Vidrio (V) Número de capas
H30	0 a 35	0, 1.8, 4.5, 7.6		
HF30			0, 1, 3, 6	0, 1, 3, 6
H70, HE70	0 a 50	0, 1.8, 4.5, 7.6		
HF70			0, 1, 3, 6, 9, 12	0, 1, 3, 6, 9, 12

Todas las probetas fueron ensayadas bajo compresión axial; sin embargo, las probetas confinadas con presión hidrostática están sometidas a tensiones triaxiales dentro de la célula triaxial. Para todos los casos, la velocidad de aplicación del ensayo fue de 0.005 mm/seg, independientemente del sistema de control. La Figura 2.1 muestra un esquema de las

configuraciones de ensayo. En esta figura, σ_1 es la compresión axial a la que está sometida la probeta de hormigón durante el ensayo; mientras que $\sigma_2=\sigma_3$, igual en todas las direcciones, es la presión de confinamiento, a la que está sometida la probeta de hormigón dentro de la célula triaxial, que se mantiene constante durante el ensayo de compresión.


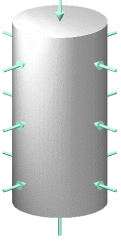


Hormigón sin confinar	Hormigón confinado en célula triaxial	Hormigón confinado en tubo de acero	Hormigón confinado con FRP
σ_1  σ_1	σ_1  σ_1	σ_1  σ_1	σ_1  σ_1

Figura 2.1 Configuraciones de ensayo

Durante los ensayos de compresión, para minimizar el efecto de la fricción entre las placas de acero de carga y la probeta de hormigón, se colocó en la interface una combinación de teflón/grasa/teflón (teflón de 0.1 mm).

2.5 EQUIPOS DE ENSAYO

2.5.1 Equipo de ensayo a compresión

La adquisición de la respuesta completa tensión-deformación del ensayo a compresión axial, requiere una máquina de ensayo muy rígida y un sistema de control que permita obtener información del postpico (Hudson et al., 1972; Gettu et al., 1996). Por esta razón, en todas las configuraciones de ensayo se ha empleado una prensa servohidráulica con capacidad de 4.5 MN, conformado por un marco muy rígido controlado por un sistema analógico de lazo cerrado (MTS 458). Un sistema por lazo cerrado, permite a la prensa controlar la carga, el desplazamiento y velocidad de desplazamiento (Gettu et al., 1996).

2.5.2 Célula triaxial

Los ensayos de hormigón confinado por presión hidrostática fueron realizados en una célula triaxial, marca Wykeham Farrance, con una capacidad máxima de 140 MPa. En esta célula es posible inducir un campo de tensión hidrostática bien definido en una probeta cilíndrica de hormigón y es generado por un equipo de presurización. De esta manera la probeta de ensayo estará sometida a un estado de tensiones triaxial y una tensión de compresión axial proporcionado por la prensa (MTS 458).

La célula triaxial es de tipo de presión hidráulica de aceite y se presurizó con una bomba hidráulica de alta presión, marca ENERPAC, capaz de suministrar 700 bares de presión. La Figura 2.2 muestra un esquema de la célula triaxial empleada. Está fabricada para resistir presiones de confinamiento interno de hasta 140 MPa. La célula consiste de 3 partes principales: una base, una sección cilíndrica que incluye la cámara principal de presión, y un pistón para aplicar la carga axial desde una prensa externa.

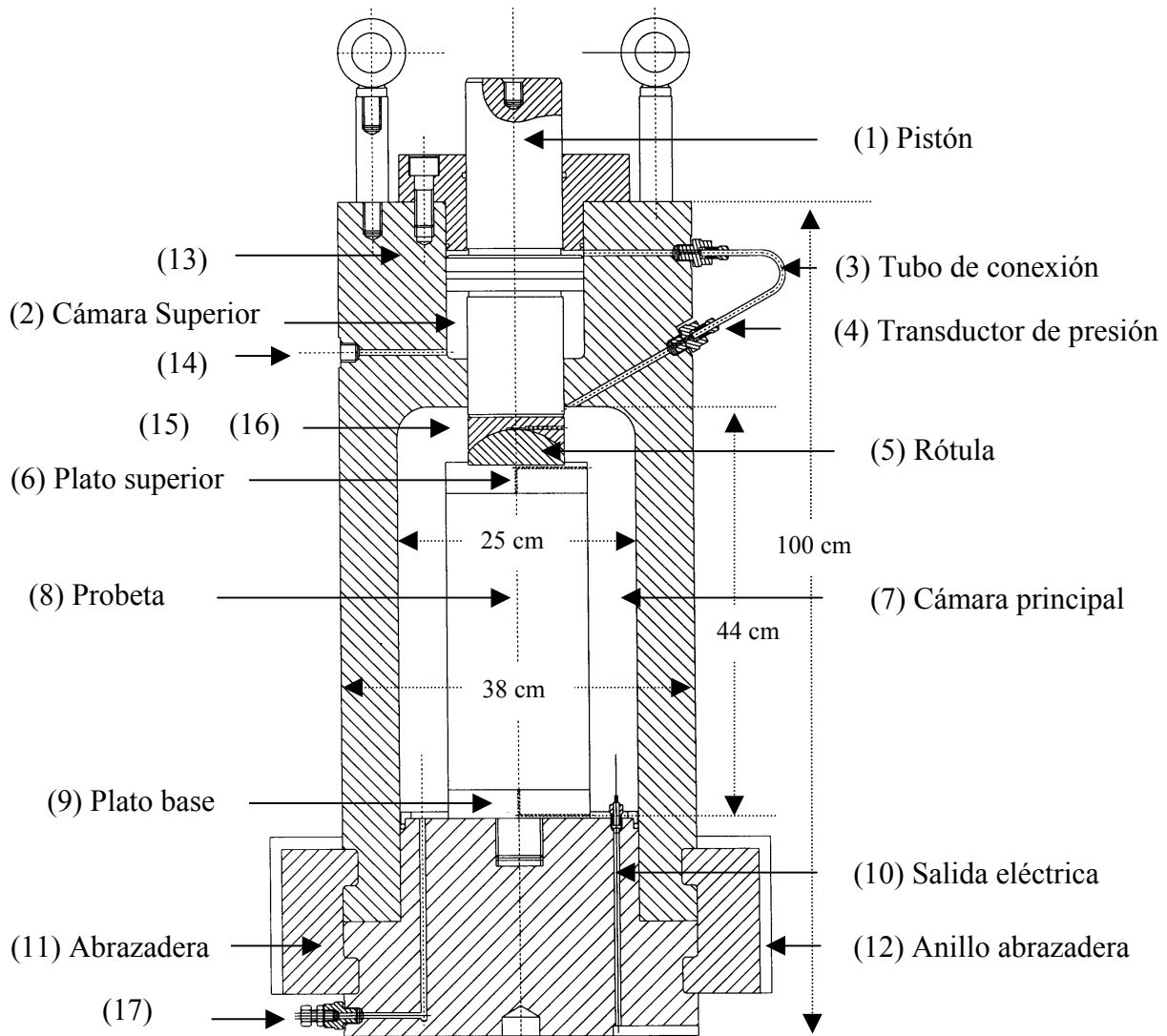
La base tiene 2 funciones. Principalmente como plato base para colocar una placa de acero (9) sobre el cual se monta la probeta de ensayo (8), y como tope inferior de la cámara principal de aceite. Además, la base tiene un orificio (17) para llenar la célula con aceite y un conducto para salida eléctrica (10).

Después que la probeta de ensayo (8) ha sido colocada sobre el plato base (9) y ha sido acondicionada con un número de capas de membrana de butilo, se añade el plato superior (6). Sobre este plato se coloca una rótula (5) para asegurar que la probeta sea cargada uniformemente. Enseguida se coloca la sección cilíndrica y se fija a la base con 3 abrazaderas (11). Finalmente, se coloca un anillo circular (12) que asegura la correcta posición de las abrazaderas, previniendo que se muevan. La interface entre la sección cilíndrica y la base es sellada mediante un empaque de caucho y un anillo de latón. El anillo de latón tiene una sección transversal triangular, y se asienta sobre una pestaña angular alrededor de la superficie superior de la base. Bajo presión, el anillo de latón es forzado hacia abajo, contra la sección de la base; y hacia fuera, contra la sección del barril, y por lo tanto formando un sello efectivo. Los ensayos han mostrado que el sello es completamente efectivo en todas las presiones.

El pistón se mueve hacia 2 cámaras de aceite: la cámara principal (7) donde está colocada la probeta de ensayo y la cámara superior (2). Dentro de la cámara superior se incrementa el diámetro del pistón, de manera que el área resultante del collar iguale el área de la cara del pistón que entra a la cámara principal. La cámara principal y superior están conectados por un tubo de alta presión (3), de manera que la presión es igual en ambas cámaras. Este diseño asegura que ninguna fuerza resultante está actuando sobre el pistón cuando se eleva la presión de aceite. El acceso a la cámara superior de a aceite se consigue a través de un cabezal en la

parte superior de la célula. El cabezal está sujeta a la sección cilíndrica por 12 tornillos de alta resistencia. Este cabezal sólo se quita para propósitos de mantenimiento.

Además, la sección cilíndrica está provista con varios puntos de entrada/salida (13-17). Los puntos (15) y (16) se ubican diametralmente opuestos. El puerto dentro de la cámara principal (17) se usa para elevar la presión de aceite durante los ensayos. El puerto (13) se usa como puerto de extracción de aire para asegurar que todo el aire ha sido eliminado de la célula durante el llenado.



(13-16): Puertos de extracción de aire (Purgar).

(17): Puerto de entrada y salida de aceite.

Figura 2.2 Esquema de la célula triaxial

2.5.3 Sistema de adquisición de datos

El registro de la carga, deformaciones y presión de confinamiento fue realizado en forma automática y continua durante todo el ensayo mediante un sistema de adquisición de datos. La carga aplicada que se registra a través de una célula de presión (MTS 660.23A) es acondicionada por el módulo MTS 458.11 DC del controlador. La señal de los transductores de desplazamiento tipo LVDT (Linear Variable Differential Transformers), recibida en voltaje fue acondicionada por un módulo MTS 458.13 AC del controlador. Y para las galgas extensométricas, la señal de voltaje es amplificada por un acondicionador de señales de tipo VISHAY 2120A. Todos los sensores fueron conectados a un sistema de adquisición de datos Hewlett Packard 3497A, para registrar sus voltajes de excitación y salida. Finalmente, un programa de cómputo, escrito en BASIC, permite el registro de señales en las unidades apropiadas para cada sensor.

2.6 INSTRUMENTACIÓN UTILIZADA EN LOS ENSAYOS

Con el fin de obtener el registro de deformaciones longitudinales y transversales durante los ensayos, las probetas se instrumentaron con galgas extensométricas y transductores de desplazamiento, tipo LVDT. Las galgas extensométricas se colocan sobre la superficie de la probeta de hormigón, mientras que los transductores de desplazamiento se colocan entre los platos de carga de la máquina de ensayo.

2.6.1 Hormigón sin confinar

2.6.1.1 Galgas extensométricas

Las probetas de hormigón sin confinar se instrumentaron con galgas extensométricas, marca Tokyo Sokki Kenkyujo, tipo PL-60-11-1L de 120 Ω de resistencia y 60 mm de longitud. Se colocaron 3 longitudinalmente y 3 transversalmente, al centro de la probeta y a 120° una de otra. Para la preparación e instalación de las galgas se emplearon productos de la marca Measurements Group (MG) y Tokyo Sokki Kenkyujo (TSK). Un procedimiento típico de montaje de galgas es:

- Retirar las probetas de la cámara húmeda y dejar secar.
- Trazar con un lápiz los ejes de referencia de colocación de las galgas.
- Preparar el área de pegado con lijas de grano suave (MG: SCP-1 220, SCP-2 320).
- Lavar y dejar secar.
- Aplicar desengrasante (MG: CSM-1A), sobre la superficie lijada, y sin dejarlo evaporar se seca con una gasa limpia (MG: GSP-1) y de una sola pasada. Se repite esta operación hasta que la gasa quede limpia.
- Marcar nuevamente los ejes.

- Aplicar una película delgada de adhesivo (TSK: PS).
- Dejar secar 1 día.
- Limpiar con gasa y alcohol.
- Colocar la galga con la ayuda de su envase original, aplicando la cantidad necesaria del adhesivo (TSK: CN).

2.6.1.2 Transductores de desplazamiento

Se utilizaron transductores de desplazamiento, tipo LVDT (Linear Variable Differential Transformers) de ± 7.5 mm de rango, para el registro de los desplazamientos longitudinales. Se colocaron 3, y a 120° uno de otro, haciendo coincidir su ubicación con la posición de las galgas extensométricas longitudinales. Además, se colocó un extensómetro circunferencial MTS 632.11F-20 de 12.5 mm de rango, para efectos del control del ensayo.

2.6.1.3 Control del ensayo

El ensayo de las probetas de hormigón sin confinar se hizo por control de desplazamiento circunferencial, para lo cual se colocó un extensómetro circunferencial MTS 632.11F.20 de 12.5 mm de rango. El control del ensayo se hace por apertura de grieta que va apareciendo durante el ensayo, y permite obtener información postpico. La Figura 2.3 muestra un detalle de la instrumentación de una probeta sin confinar.

2.6.2 Hormigón confinado en célula triaxial

2.6.2.1 Transductores de desplazamiento

El ensayo de hormigón confinado en célula triaxial consiste en introducir una probeta de hormigón dentro de una célula y someterla a una presión hidrostática de confinamiento, lo que se consigue con un adecuado equipo de presurización. En estas condiciones y sobre la máquina de ensayo a compresión, el conjunto se instrumenta con 3 LVDTs de ± 7.5 mm de rango. Los LVDTs se colocan sobre la parte superior de la célula triaxial a 120° uno de otro y registra los desplazamientos longitudinales del conjunto probeta-pistón. Adicionalmente, se colocó un transductor de presión para el registro de la presión de confinamiento a la que están sometidas las probetas de hormigón dentro de la célula triaxial. Este valor debe mantenerse constante durante todo el ensayo. Si hay variaciones, se debe corregir y ajustar al valor inicial, mediante la válvula de alta presión que se encuentra en el equipo de presurización.

2.6.2.2 Control del ensayo

El ensayo de hormigón confinado en célula triaxial se hizo por control de desplazamiento del pistón de la prensa. La Figura 2.4 muestra un detalle de la instrumentación.

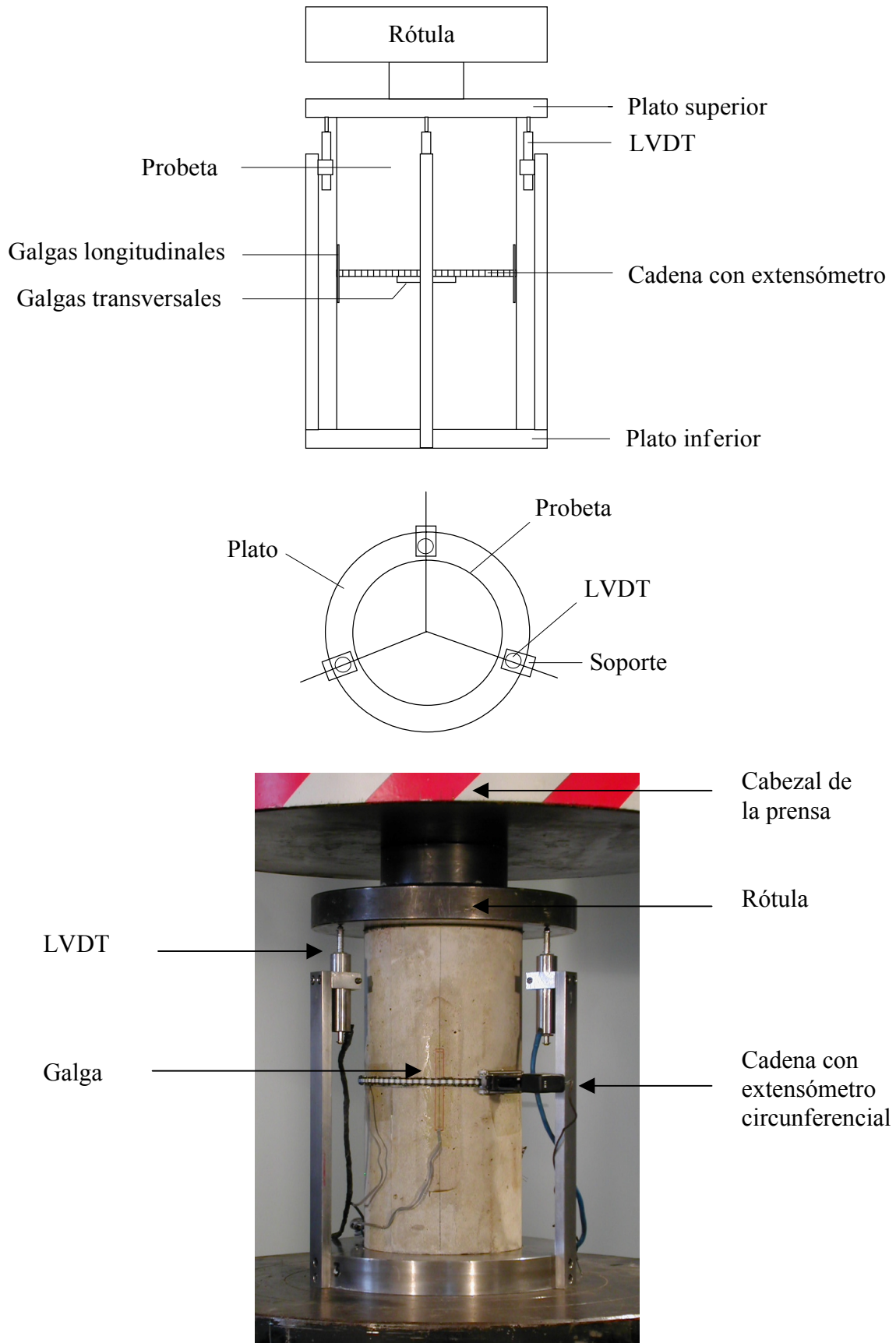


Figura 2.3 Instrumentación de probetas para ensayo de hormigón sin confinar

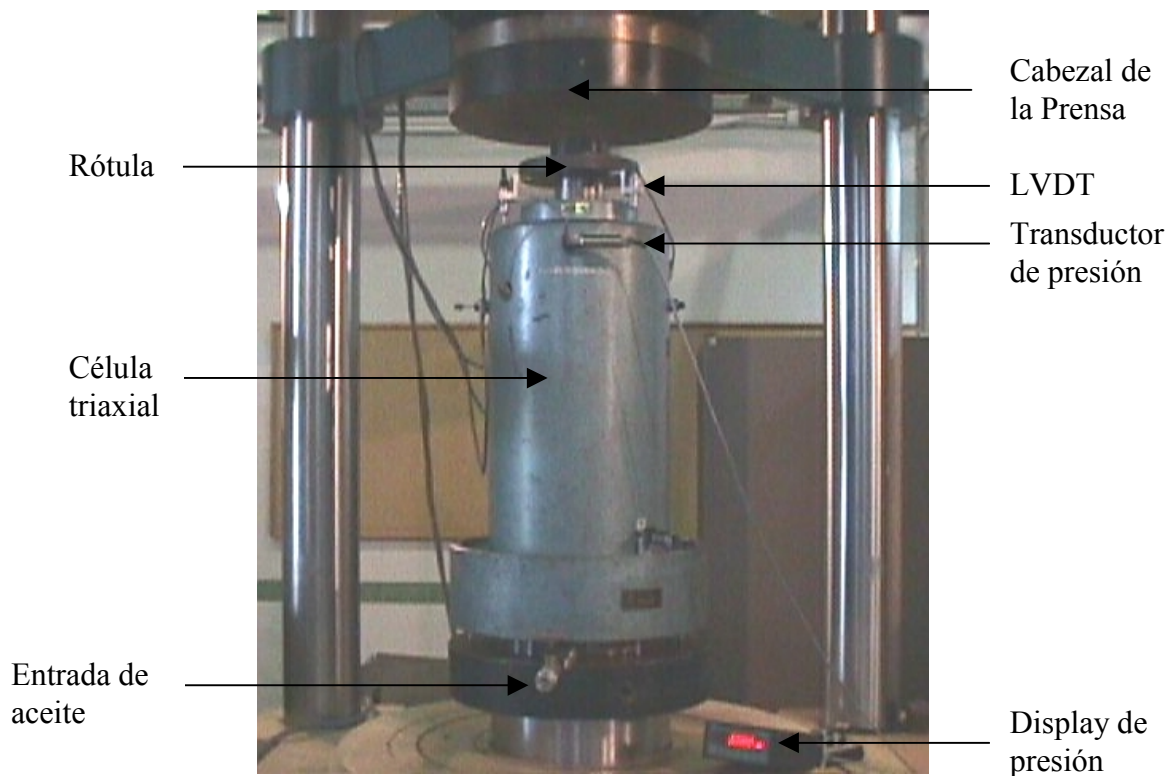


Figura 2.4 Instrumentación de probetas para ensayo de hormigón confinado en célula triaxial

2.6.3 Hormigón confinado con tubo de acero

2.6.3.1 Galgas extensométricas

Las probetas de hormigón confinado con tubo de acero se instrumentaron con galgas extensométricas, marca Measurements Group, tipo CEA-06-240UZ-120 de 120 Ω de resistencia y 6 mm de longitud. Se colocaron 3 longitudinalmente y 3 transversalmente al centro de cada probeta y a 120° una de otra. El proceso de colocación consistió en:

- Marcar con un bolígrafo de punta fina la posición de cada galga.
- Aplicar desengrasante (MG: CSM-1A).
- Aplicar ácido (MG: M-PREP MCA-2) con gasa (MG: GSP-1).
- Preparar las zonas de pegado con lija (MG: SCP-2 320). Lijar a 45° en ambos lados.
- Aplicar neutralizador (MG: M-PREP MN5A-2) con gasa (MG: GSP-1).
- Marcar nuevamente los ejes.
- Colocar la galga sobre un cristal y cogerlo con una cinta autoadhesiva (MG: PCT-2A).
- Situar la cinta y la galga sobre el punto de colocación. Fijar un extremo y levantar el otro.
- Depositar 1 ó 2 gotas de adhesivo (TSK: CN). Bajar la cinta y con un dedo hacer ligera presión. Dejar secar.
- Extraer la cinta adhesiva.

Enseguida se procede al cableado de las galgas. Para tal efecto, se utilizó un soldador de temperatura ajustable. Los pasos a seguir son:

- Preparar el cable (MG: 326-DFV 3). Quitar el protector plástico a un tramo del cable.
- Estañar el cable de tramo preparado (MG: M-L 361A-20R).
- Depositar una pequeña gota de soldadura, sin aportar excesivo calor que pueda desprender la galga del soporte. Esta operación no debe durar mas de 2 segundos.
- Presentar el cable ya preparado (estañado) y sin aporte de soldadura, solamente manteniendo limpio y caliente la punta del soldador.
- Fijar los cables a los terminales de la galga.

2.6.3.2 Transductores de desplazamiento

Se utilizaron transductores de desplazamiento, tipo LVDT de ± 7.5 mm de rango, para el registro de los desplazamientos longitudinales. Se colocaron 3, y a 120° uno de otro, haciendo coincidir su ubicación con la posición de las galgas extensométricas longitudinales.

2.6.3.3 Control del ensayo

El ensayo de hormigón confinado con tubo de acero se hizo por control de desplazamiento del pistón de la prensa. La Figura 2.5 muestra el detalle de la instrumentación de las probetas de hormigón confinado con tubo de acero.

2.6.4 Hormigón confinado con polímero reforzado con fibra (FRP)

2.6.4.1 Galgas extensométricas

Las probetas de hormigón confinadas con polímero reforzado con fibras se instrumentaron con galgas extensométricas, marca Tokyo Sokki Kenkyujo, tipo PFL-10-11 de 120Ω de resistencia y 10 mm de longitud. Se colocaron 3 longitudinalmente y 3 transversalmente al centro de cada probeta y a 120° una de otra. Además, para el cableado de las galgas se utilizó un conector marca, Tokyo Sokki Kenkyujo, tipo TF-2MS de 6 mm de longitud.

La colocación de las galgas se hizo inmediatamente después de aplicar a las probetas la última capa de confinamiento y cuando la resina de saturación aún estaba fresca. El procedimiento de colocación consistió en:

- Marcar la posición de las galgas en la cara superior de las probetas.
- Embeber la galga con 1 ó 2 gotas de resina.
- Presentar la galga en el lugar de colocación.
- Fijar la posición de la galga con ayuda de una escuadra.
- Colocar una banda de plástico antiadherente sobre la galga.

- Ejercer una ligera presión sobre la galga con ayuda del envase de plástico de la galga.
- Tener cuidado de que los cables de la galga queden libres de resina, para lo cual previamente se doblan.
- Corregir la ubicación, si fuera necesario, con ayuda del plástico antiadherente.
- Asegurar que la galga quede embebida por una pequeña película de resina.
- Quitar plásticos antiadherentes.

Para la colocación de los terminales (conectores), se siguieron dos procedimientos:

A. Conectores en las probetas confinadas con FRP de carbono

- Colocar el conector sobre una superficie limpia (vidrio o metal) y cogerlo con una cinta adhesiva (MG: PCT-2A).
- Situar el conector sobre el punto de ubicación, fijando un extremo de la cinta adhesiva y levantando el otro.
- Depositar 1 ó 2 gotas de adhesivo (TSK: CN). Se va bajando la cinta y con un dedo se aplica una ligera presión.
- Dejar secar.
- Extraer la cinta adhesiva.

B. Conectores en las probetas confinadas con FRP de vidrio

La textura del acabado de las probetas confinadas con FRP de vidrio es más rugosa, en comparación que las probetas confinadas con FRP de carbono, por lo que fue necesario utilizar una pasta para la colocación de los conectores. Se utilizó un producto de endurecimiento rápido. El procedimiento es similar al caso anterior (Caso A), variando la preparación del adhesivo, que es como sigue:

- Mezclar una cantidad suficiente del componente B (polvo), con unas cuantas gotas del componente A (líquido) de adhesivo (Rapid Adhesive X60, Hottinger Baldwin Messtechnik). Como ejemplo, para una medida del componente B, es suficiente 1 ó 2 gotas de componente A.

Enseguida se procede al cableado de las galgas. El procedimiento es bastante similar al caso del hormigón confinado con tubo de acero. En este caso los cables de las galgas se conectan a terminales (conectores) y no directamente a los cables.

Los terminales constan de 4 puntos de conexión, unidos 2 a 2. La operación consiste en colocar cada cable de la galga a cada par de terminales del conector.

En esta operación, hay que tener especial cuidado en no depositar demasiada soldadura en los puntos, ya que se puede soldar mas de 2 conexiones.

2.6.4.2 Transductores de desplazamiento

Se utilizaron transductores de desplazamiento, tipo LVDT de ± 7.5 mm de rango, para el registro de los desplazamientos longitudinales. Se colocaron 3, y a 120° una de otra, haciendo coincidir su ubicación con la posición de las galgas extensométricas longitudinales.

2.6.4.3 Control del ensayo

El ensayo de hormigón confinado con polímeros reforzados con fibras (FRP) se hizo por control del desplazamiento del pistón de la prensa. El detalle de la instrumentación de las probetas confinadas con polímeros reforzadas con fibra se muestra en la Figura 2.6.

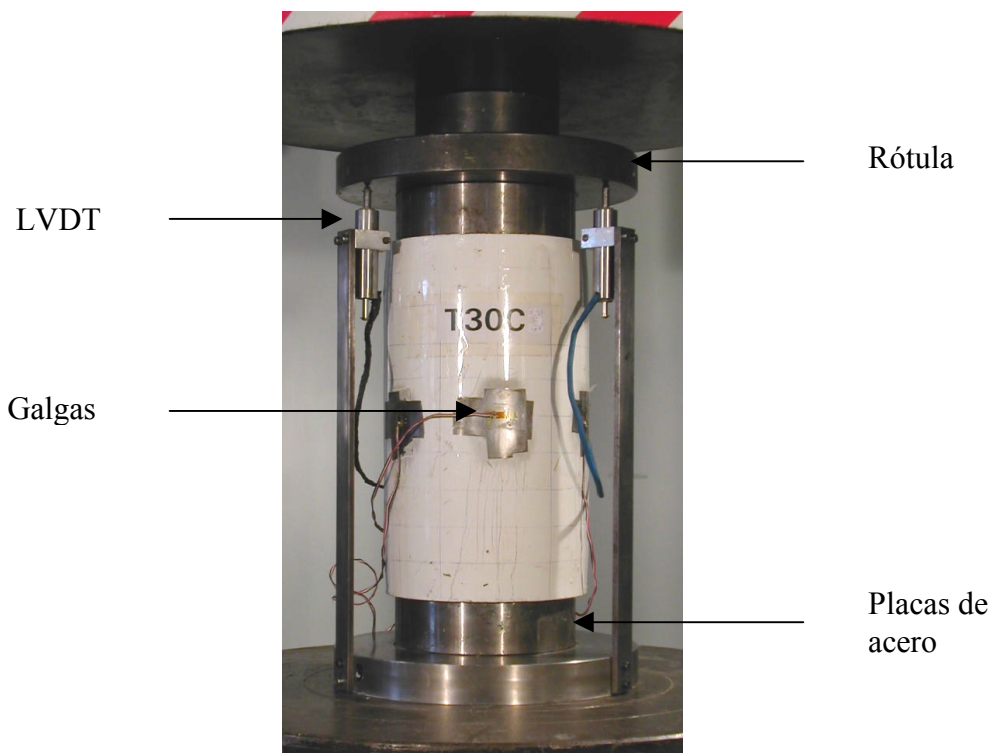


Figura 2.5 Instrumentación de probetas para ensayo de hormigón confinado con tubo de acero

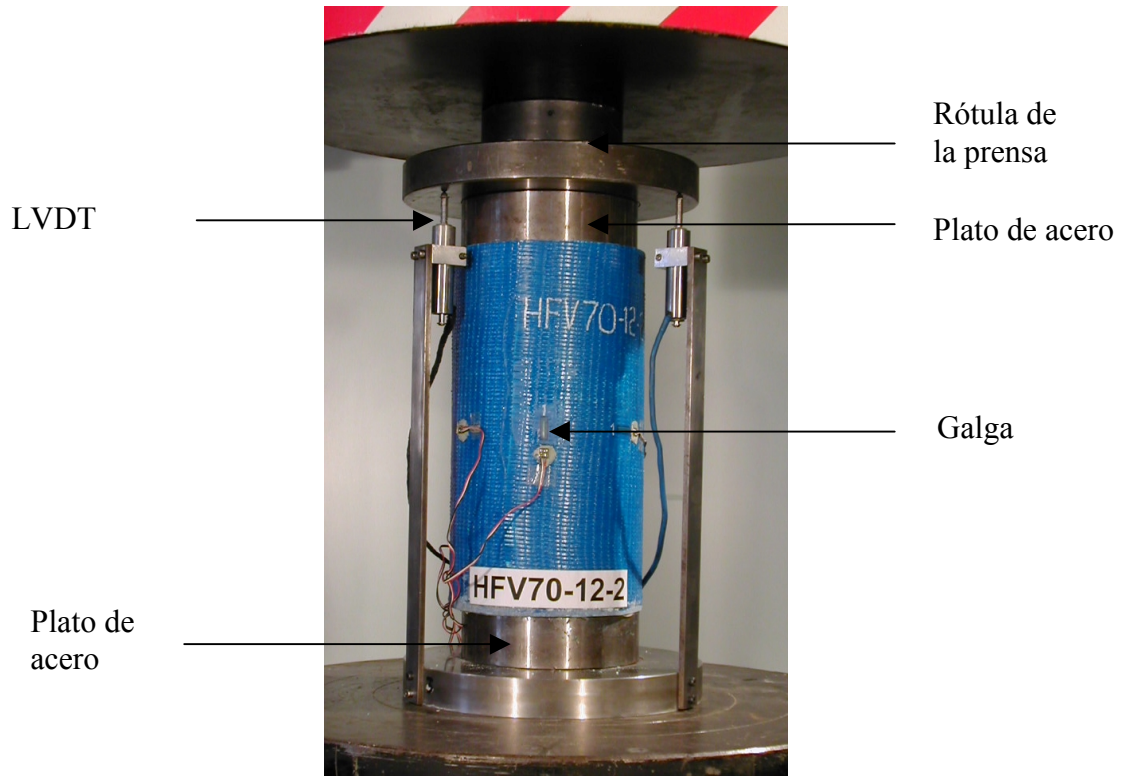


Figura 2.6 Instrumentación de probetas para ensayo de hormigón confinado con polímeros reforzados con fibra