

Capitulo /

**Descripción del Proyecto**

# 1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

En este capítulo se hablará, en general, de las geometrías de los especímenes analizados, el tipo de materiales para el proyecto, algunas pruebas preliminares para la verificación de las calidades del concreto y las piezas para la mampostería. Se ejemplificará el mecanismo de prueba, desde la instrumentación, el arreglo con actuadores hidráulicos que simularán carga laterales y el historial de carga a utilizar.

El programa general de ensayos experimentales se planteó en diversas etapas cubriendo varias series de muros a tamaño natural de mampostería confinada incluyendo el uso de piezas macizas de arcilla de fabricación artesanal, piezas extruidas huecas de arcilla y bloques huecos de concreto. En esta etapa sólo se cubrió el estudio de piezas multiperforadas de arcilla extruida.

## 1.1 ESPECÍMENES ANALIZADOS

Las variables y nombres de los modelos estudiados son:

- 1) Modelo ME1: mampostería de tabique extruido multiperforado de arcilla,  $L/H=0.46$ ;
- 2) Modelo ME2: mampostería de tabique extruido multiperforado de arcilla,  $L/H=0.66$ ;
- 3) Modelo ME3: mampostería de tabique extruido multiperforado de arcilla,  $L/H=0.83$ ;
- 4) Modelo ME4: mampostería de tabique extruido multiperforado de arcilla,  $L/H=1$ ;

La nomenclatura significa: “Muro de arcilla Extruida” y un número para diferenciar la relación de aspecto.

Para cada espécimen se detallara su geometría y armado. En estos especímenes se deja una losa de 10 cm de espesor, para su anclaje en una viga de transmisión de cargas, esta losa sobresale 20 cm del ancho efectivo del muro, esta arreglo de losa fue para forzar al agrietamiento en las esquinas superiores de los muros y que este no fuera similar a la realidad.

1.1.1. Geometrías

Para la geometría de los muros se planteo el estudio de muros de distintas longitudes. Por lo tanto se plantearon especímenes con relaciones de aspecto altura a longitud de: 0.46, 0.66, 0.83, 1.0. Se presentan los resultados de los primeros cuatro especímenes.

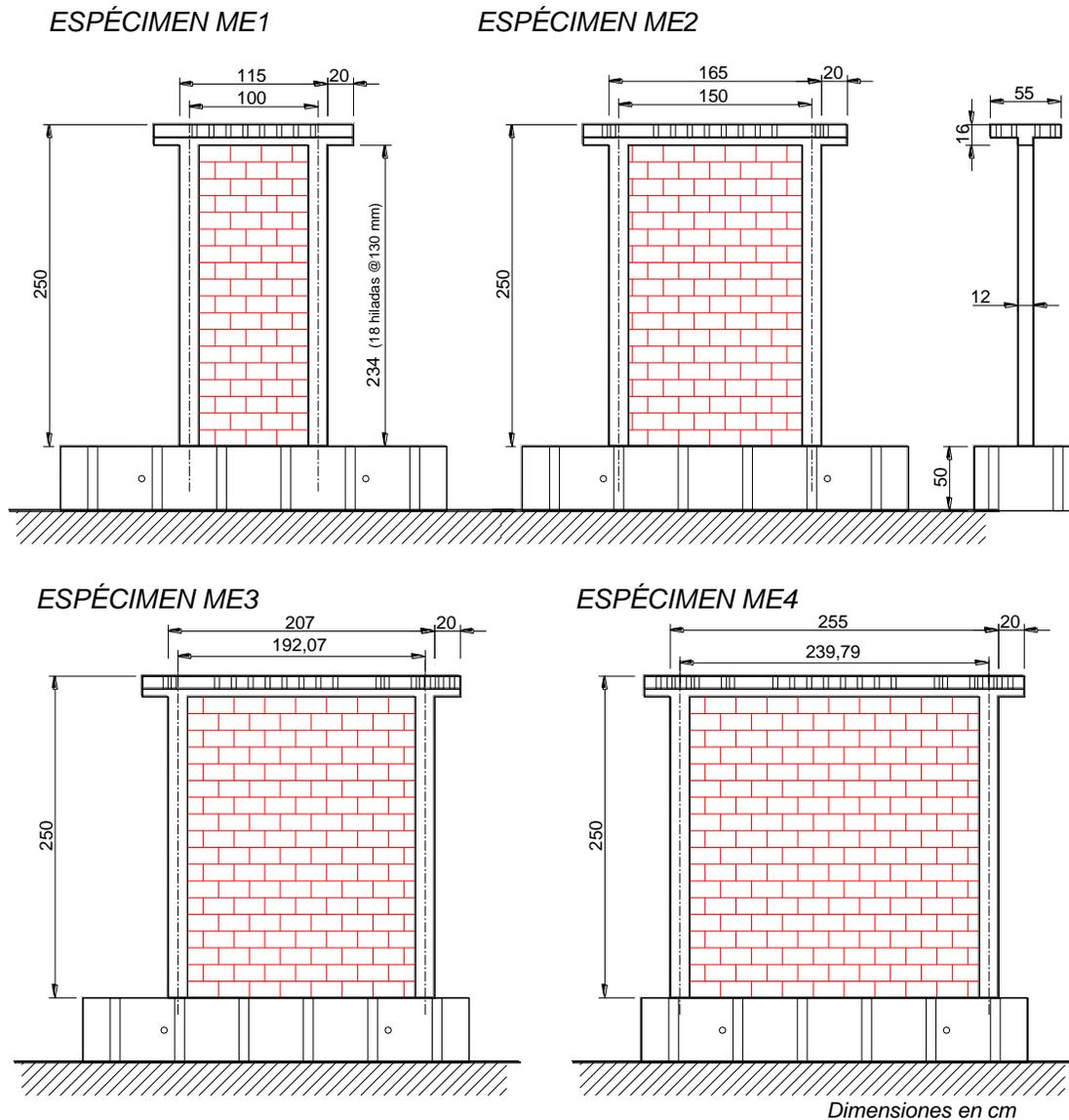
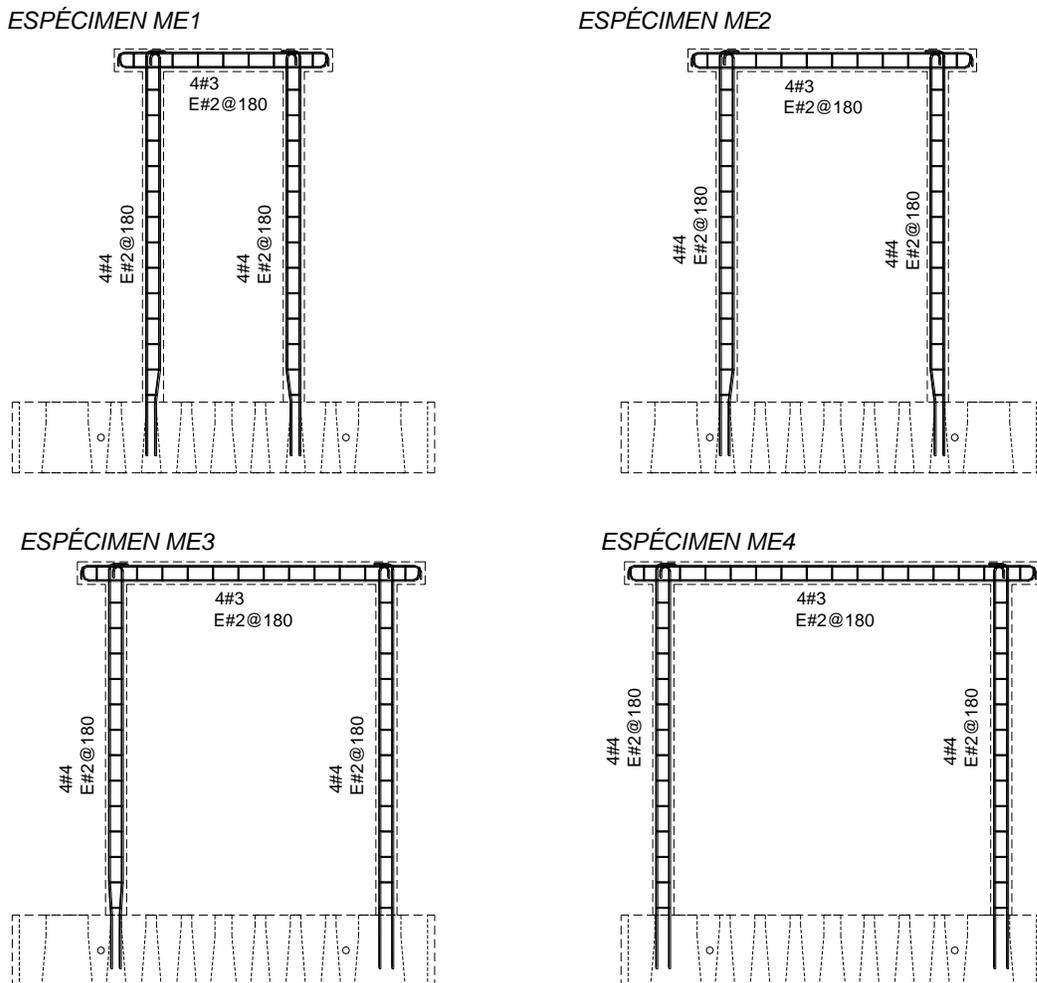


Fig. 1.1. Geometría de los especímenes, acotaciones en cm.

### 1.1.2. Refuerzo Interno

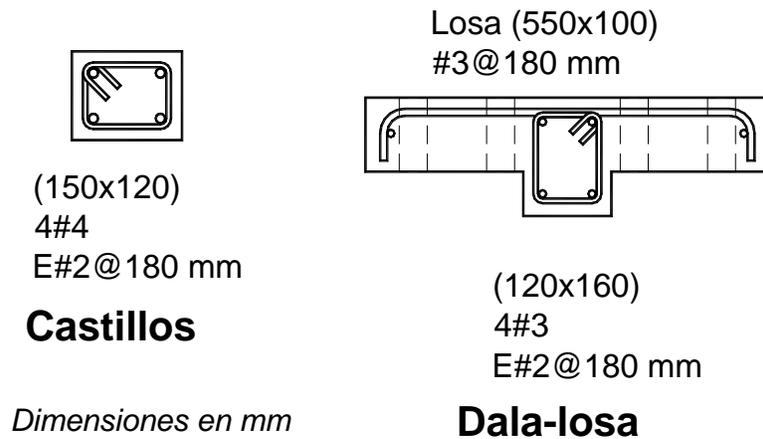
Los armados de castillos se plantearon de cuatro barras del numero 4 (1.27 cm de diámetro), con escuadras de 7 cm en la zona de dala y estribos del numero 2 (0.635 cm) a cada 18 cm. Para los traslapes de dala con los castillos se opto por escuadras de 15 cm.

Se propusieron armados robustos en muros confinados para evitar una posible falla por flexión y obligar a la falla de cortante, de acuerdo a las cargas de diseño de los ensayes. La estimación del área de acero de los castillos se realizó al inicio de la propuesta de ensaye, tomando valores muy altos de la posible resistencia a cortante de las piezas de mampostería. La cuantía de acero transversal mediante estribos y su separación se ajustó a las NTCDF (2004)<sup>1</sup>.



**Fig. 1.2. Armados de los castillos de los especímenes, dimensiones en mm.**

<sup>1</sup> Normas Tecnicas Complementarias del Distrito Federal 2004, Mampostería



*Fig. 1.3. Armado de elementos de concreto*

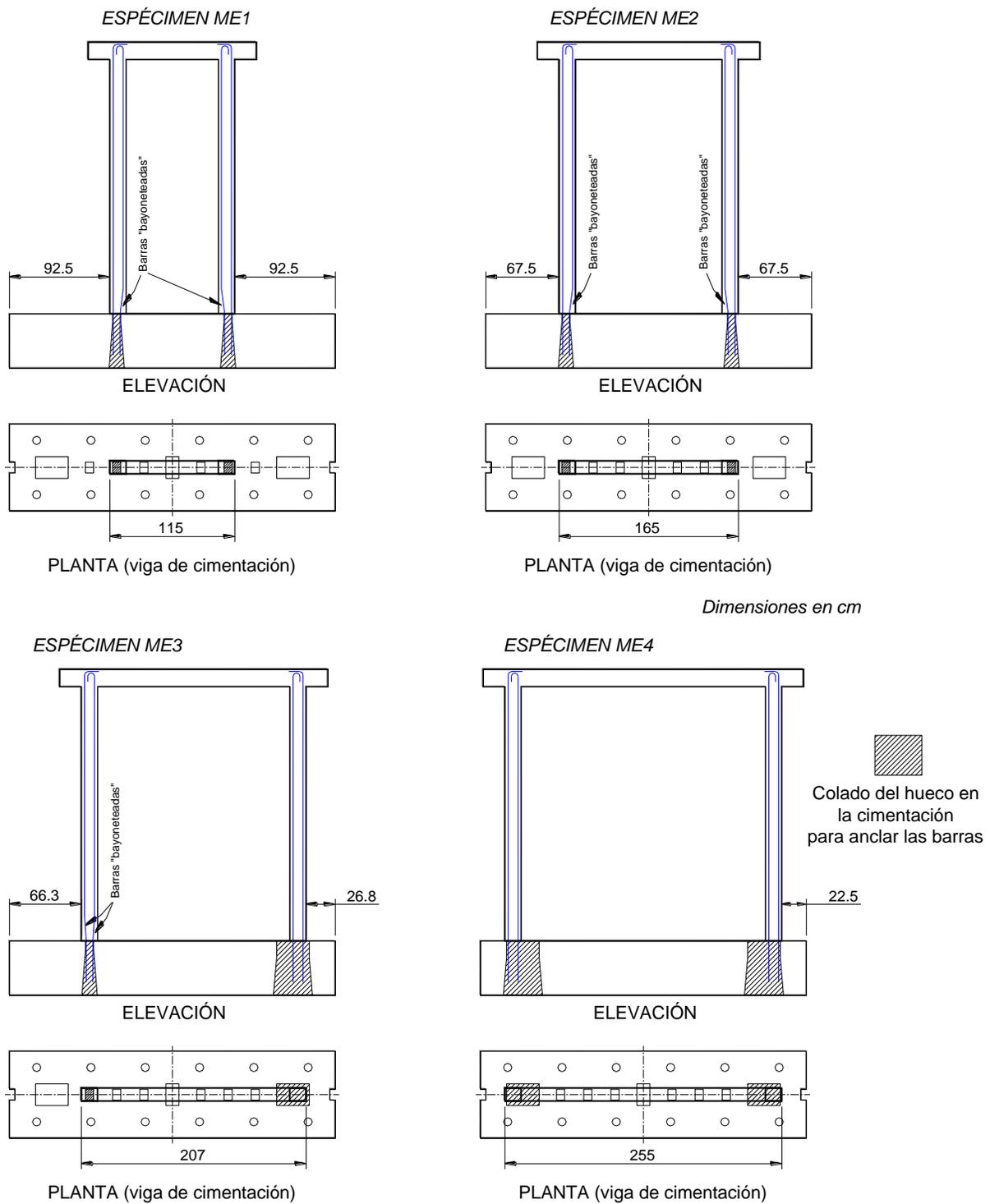
### 1.1.3. Materiales propuestos

Las propiedades de diseño de los materiales propuestos para la construcción de los modelos fueron:

- Concreto de vigas de cimentación,  $f'_c = 300 \text{ kg/cm}^2$
- Concreto de castillos y dala,  $f'_c = 150 \text{ kg/cm}^2$
- Acero longitudinal de castillos y dala  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$
- Alambión de estribos de castillos y dala  $f_y = 2100 \text{ kg/cm}^2$
- Tabique extruido de arcilla,  $f_p^* = 127 \text{ kg/cm}^2$   
 $f_m^* = 55 \text{ kg/cm}^2$   
 $v_m^* = 3.3 \text{ kg/cm}^2$
- Mortero 1:¼:3  $f'_b = 85 \text{ kg/cm}^2$

Cabe señalar que el concreto fue hecho en obra, por medio de revolvedora y la dosificación fue manual, la colocación de concreto en castillos y losa fue la tradicional mediante el uso de recipientes de 20 l. En el caso del mortero se arneó arena necesaria para la dosificación indicada cada vez que se requería tomando muestras y supervisando la dosificación por cada mezcla hecha.





**Fig. 1.5. Colocación del armado de los castillos en los huecos de la viga de cimentación**

Debido a sus dimensiones, que contempla un volumen de  $1.113 \text{ m}^3$  de concreto, el peso estimado del la viga es de  $2.7825 \text{ ton}_f$ , por lo que su transporte es necesario con sistema enganche para grúas. Este sistema de viga de cimentación cuenta con dos orificios de  $5 \text{ cm}$  de diámetro en los extremos, para su transportación. Con esta facilidad de transporte se pudo construir los muros de los ensayos de forma simultánea, y solo se dejaba en sitio el modelo correspondiente a ser analizado, además de su fácil retiro para ubicar el siguiente espécimen en serie del programa de ensayos.

La instalación de los castillos estuvo determinada por las dimensiones de los muros, en algunos casos los huecos de la viga de cimentación no correspondían alas medidas necesarias, por lo cual se opto por arreglos en bayoneta, para su adecuada inclusión. En el caso del espécimen ME3, el modelo resulto asimétrico, por lo que fue necesario un arreglo distinto a los demás, también este muro fue el primero en la serie de ensayos.

Los huecos de la cimentación se rellenaron con concreto  $f'_c = 300 \text{ kg}_f/\text{cm}^2$  hecho en obra, en su totalidad para los que contenían los armados de los castillos, en los otros huecos que no se utilizaron se dejo un tapón de  $10 \text{ cm}$ , con la misma calidad de concreto. El ancho del muro tuvo siempre prioridad sobre los extremos de la cimentación.

### 1.3 MATERIALES UTILIZADOS

Cada uno de los materiales que conforman los ensayos tenía que ser analizado de forma particular, para tener en cuenta su calidad, resistencia, elementos mecánicos y ser contenida en los análisis matemáticos, sobre todo para insertar datos base a la simulación detallada por ordenador. Estos resultados de materiales serán comentados de acuerdo a lo que componían en su etapa de construcción.

#### 1.3.1. Elementos de la mampostería

Aunque la mampostería comprende todo el arreglo de piezas, el material que las une y su confinamiento, este apartado se refiere a solo los componentes como las piezas de arcilla extruida. Estas pruebas contienen la necesidad de encontrar su componente elástica, su componente de cortante, así como la resistencia a la compresión general de las piezas.

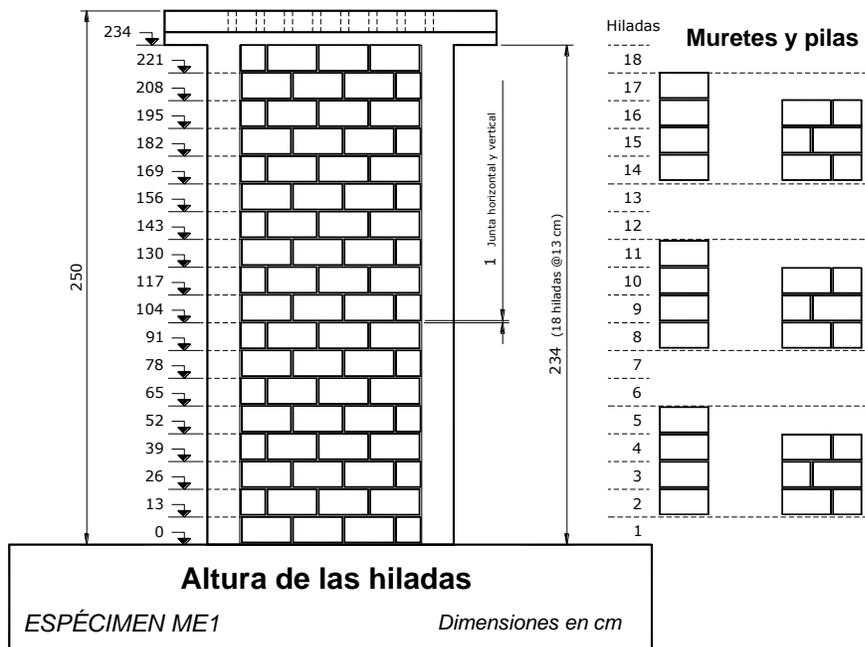
El proceso de ensayos de los materiales para mampostería, se efectuó de acuerdo a las NTCDF (2004) para el diseño y construcción de estructuras de mampostería, para obtener los fundamentos de resistencia a la compresión, a la compresión diagonal así como la calidad del mortero utilizado en la construcción. En esta normativa se aconseja una cierta medida para cada muestra de la mampostería según los datos que se desea obtener, estas medidas establecen el concepto de pilas y muretes. Las pilas es un conjunto de por lo menos tres piezas sobrepuestas, con una relación de altura-espesor entre dos y cinco, de forma en que se analice la componente elástica de este arreglo aplicando carga axial sobre este arreglo. Los muretes son un arreglo de piezas de mampostería donde se tiene una relación de altura-espesor igual a uno, o sea aproximadamente cuadrado, en donde la carga se aplica a los extremos de los muretes en diagonal.



*Fig. 1.6. Detalle de las pilas y muretes en el sitio de construcción.*

Para la selección de las muestras de pilas y muretes, se tomaron las más representativas, considerando la posición de las piezas de acuerdo a las hiladas de mampostería hechas en los especímenes, que en su caso abarcasen la mayor parte de la geometría del muro. Las pilas y muretes eran fabricados al mismo

tiempo que el muro, de hecho, en las hiladas equivalentes se hacían las muestras, de acuerdo al arreglo de la siguiente figura.



**Fig. 1.7. Arreglo de ubicación de muestras de pilas y muretes en los especímenes, ejemplo grafico con ME1.(Flores 2008, et al)**

**1.3.1.1. Piezas a compresión**

De todo el conjunto de piezas de mampostería comprendido, que se utilizo para la construcción de los cuatro especímenes, se tomaron una muestra de 20 piezas, las cuales se midieron, se pesaron y se ensayaron. Las medidas estándar de cada pieza corresponden a 12 x 12 x 23 cm. Se obtuvo una resistencia a la compresión promedio de  $f_p = 190.6 \text{ kg}_f/\text{cm}^2$ , aplicando las recomendaciones para el esfuerzo de diseño de estas piezas se tomo la siguiente expresión:

$$f_p^* = \frac{f_p}{1 + 2.5C_p} \quad \text{donde } C_p > 0.2 \quad (1.1)$$

A pesar de que en los ensayos se tuvo un coeficiente de variación  $C_p = 0.11$ , se toma el  $C_p > 0.2$  debido a que en la elaboración de las piezas existe control de calidad, por su producción industrial.

Esto nos arroja el esfuerzo de diseño  $f_p^* = 127 \text{ kg}_f/\text{cm}^2$ , con el siguiente rango de frecuencias estadísticas de los datos de esfuerzo a compresión.

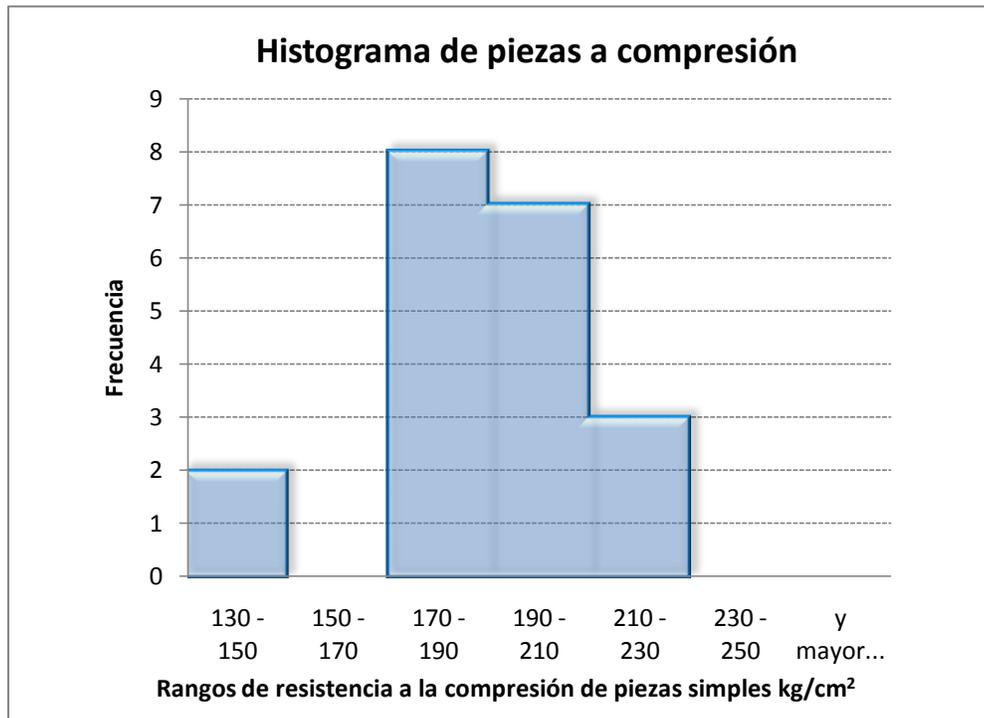


Fig. 1.8. Distribución estadística de las muestras de piezas a compresión

**1.3.1.2. Pilas a compresión**

Las pilas para estas pruebas están diseñadas de acuerdo a recomendaciones de esbeltez de las Normas Técnicas para mampostería<sup>2</sup>, aproximando su relación de esbeltez a 4, buscando el factor correctivo de 1,00. La pila esta conformada por cuatro piezas con medidas de 12 cm, unidas con 0,5 cm de mortero de clase 1, del cual se hablara mas adelante. Con esto la relación de altura espesor llega a 4.16, debido a la altura aproximada de 50 cm.

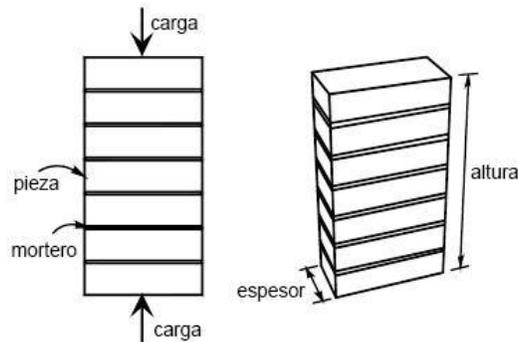


Fig. 1.9. Descripción dimensiones en pila, espesor altura.

<sup>2</sup>NTCDF Mampostería, Capítulo 2.8.1.1 Ensaye de pilas con piezas y morteros que se emplearan en obra.

Para las pruebas, se colocó un sistema de instrumentación formado por dos transductores con carrera de 5 cm, para medir sus desplazamientos de acuerdo a la carga ejercida. Las pilas estaban cabeceadas correctamente con azufre para probarse a compresión, dando tres precargas de 2 ton<sub>f</sub>, esto en la máquina universal de pruebas del Instituto de Ingeniería.

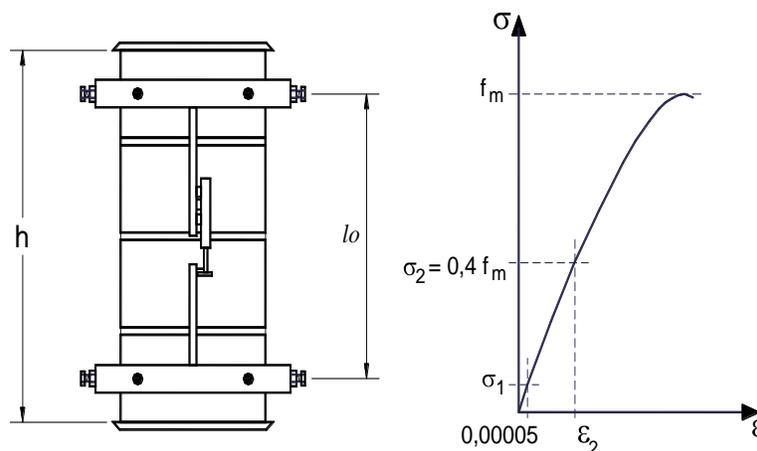
Los resultados obtenidos arrojan un promedio de  $f_m = 76.18 \text{ kg/cm}^2$ , con un coeficiente de variación de  $C_m = 0.10$ , pero se utiliza el  $C_m \geq 0.15$  debido a que su fabricación es de tipo industrial. Se utiliza la siguiente expresión para el esfuerzo de diseño<sup>3</sup>.

$$f_m^* = \frac{f_m}{1 + 2.5C_m} \quad \text{donde } C_m > 0.15 \quad (1.2)$$

Teniendo, por lo tanto un esfuerzo de diseño de  $f_m^* = 56.35 \text{ kg/cm}$ , tomando los promedios de cada espécimen.

Para la componente elástica se tomaron los datos los transductores mediante el sistema de adquisición TDS. Este sistema realiza una lectura de datos cada 2 s, a todos los instrumentos conectados a la pila, sea los transductores para desplazamiento vertical como la misma celda de carga de la máquina universal. Con estos datos se obtiene la curva esfuerzo-deformación unitaria, con lo que se obtiene la componente elástica de la mampostería en conjunto.

Las recomendaciones generales para el establecimiento de la elástica son mediante un rango de datos de acuerdo al promedio de esfuerzo bruto de las pilas. En este caso se toma el intervalo de datos de el punto  $(\sigma_1, 0.00005)$  a el punto  $(\sigma_2 = 0.4f_m, \epsilon_2)$  para la aproximación lineal, que da como resultado la componente elástica.



**Fig. 1.10. Consideraciones generales para el establecimiento de la elástica en la curva de esfuerzo-deformación unitaria.**

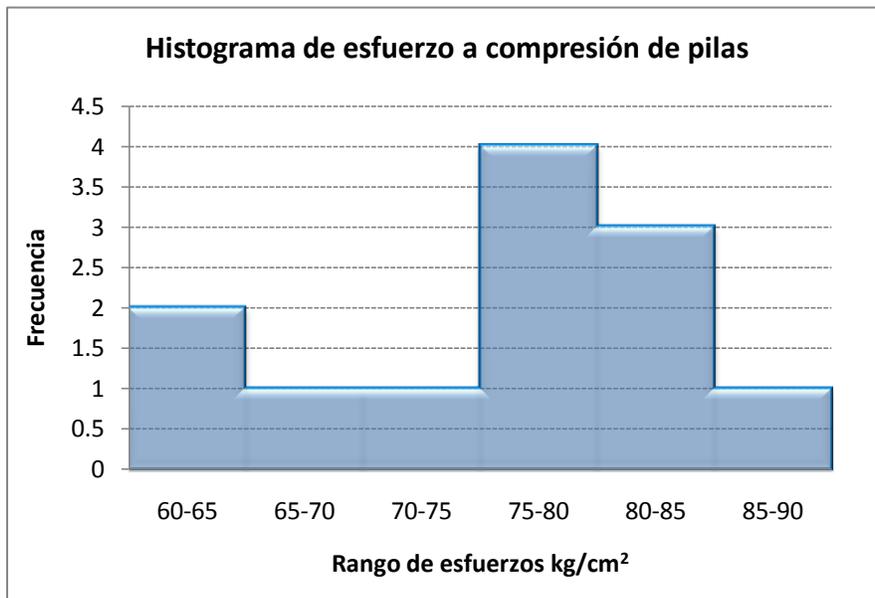
Los resultados generales promediados, para su utilización en los modelos matemáticos son los siguientes:

<sup>3</sup> ONNCE 2002 Anteproyecto de Norma Mexicana- Resistencia a compresión y modulo de elasticidad de pilas de mampostería de barro y concreto.

Muro	$f_{m_p}$ kg/cm <sup>2</sup>	$f_{m^*_p}$ kg/cm <sup>2</sup>	$E_{m_p}$ kg/cm <sup>2</sup>
ME1	76.09	56.4	43347.00
ME2	72.44	52.7	44557.00
ME3	76.48	56.8	43715.66
ME4	79.71	59.5	44065.66

*Tabla 1.1. Esfuerzo a compresión y modulo elástico de la mampostería promedio, para los modelos matemáticos*

La distribución estadística de los resultados de pilas se muestra a continuación, tomando en cuenta la prueba a esfuerzo a compresión.



*Fig. 1.11. Distribucion estadistica de los resultados de las muestras de pilas a compresion*

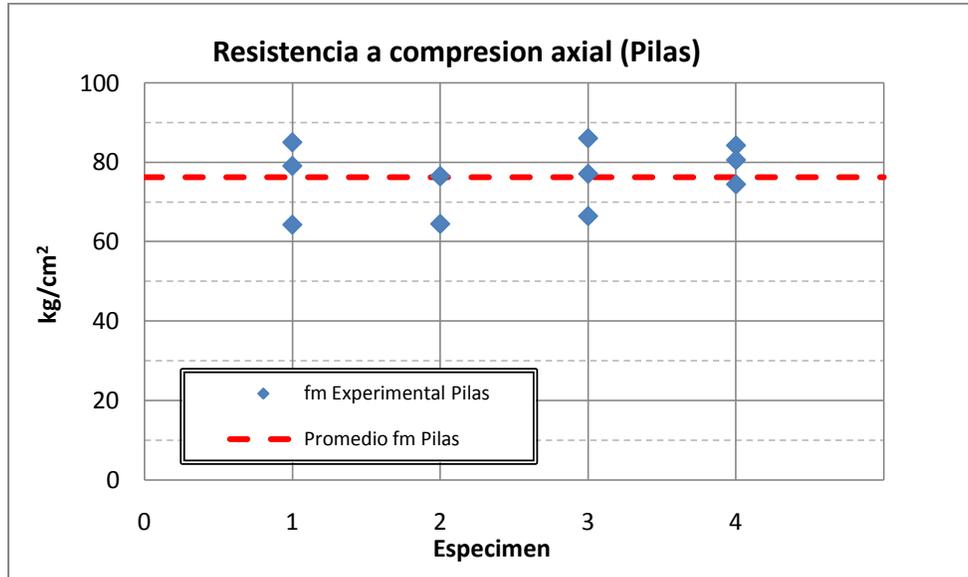


Fig. 1.12. Resultados de las muestras de pilas a compresion por especimen

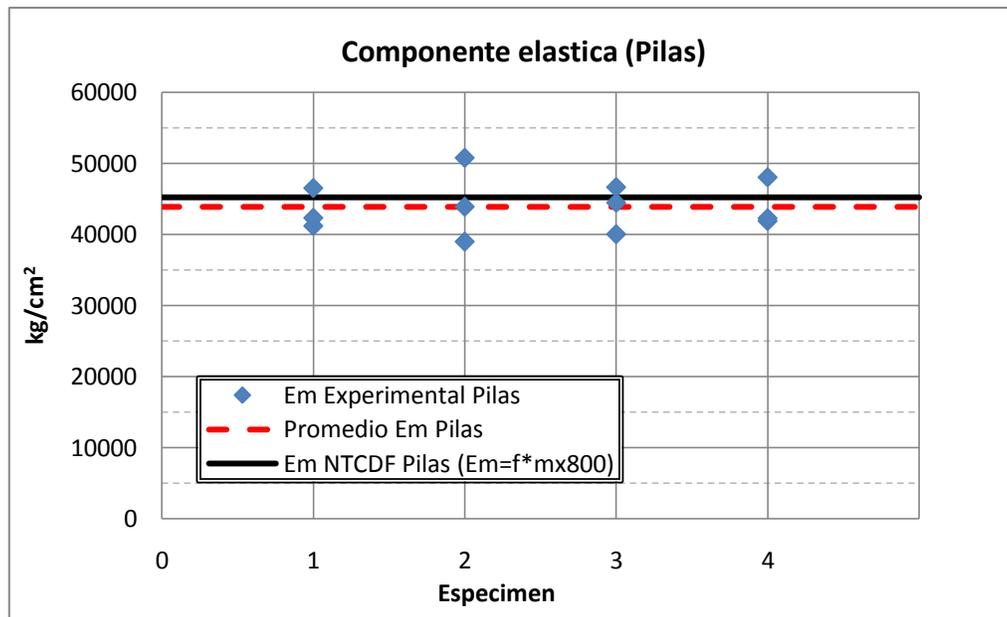
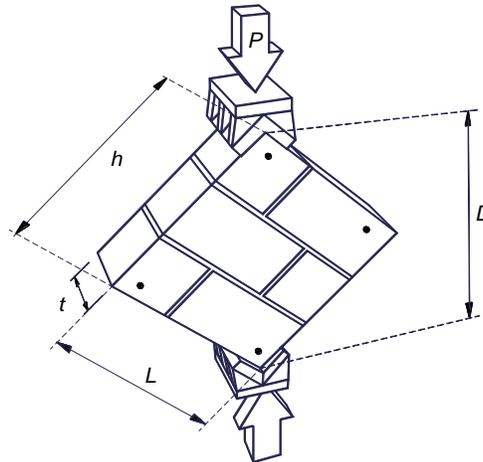


Fig. 1.13. Componentes elasticas de las pilas, por especimen

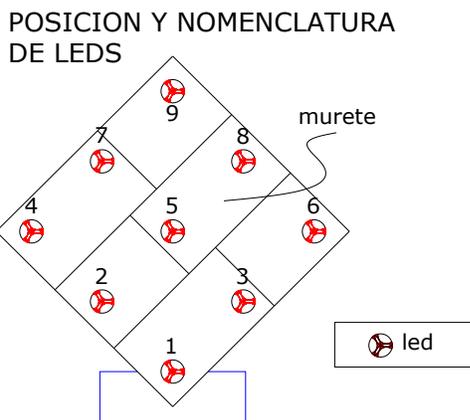
**1.3.1.3. Muretes a compresión diagonal**

El procedimiento para la obtención del valor de esfuerzo cortante de diseño, consiste en unan prueba de muretes cuadrados a compresión diagonal. Esto es aplicando carga en dos esquinas opuestas mediante cabezales de acero. Al igual que las pilas, estas piezas están unidas con mortero de clase I. La relación altura-longitud debe tender o ser 1, es por ellos que las dimensiones de estos muretes son de 37.63 x 37.69 x 11.85 cm en promedio.



**Fig. 1.14. Posicionamiento del murete para las pruebas de compresión diagonal.**

Para la instrumentación de los muretes se requirió de un sistema óptico de adquisición de datos, que es la cámara Krypton 600. En este caso se colocaron leds en las zonas de los muretes más convenientes para medir su deformación vertical y horizontal, en la figura 1.15 se observa el arreglo general para muretes. Del sistema óptico de leds se hablara mas adelante.



**Fig. 1.15. Esquema de instrumentación óptica en muretes**

Se obtuvo un esfuerzo cortante promedio de  $V_m = 4.98 \text{ kg}_f/\text{cm}^2$ , debido a la recomendación el coeficiente de variación se toma mayor a 0.2. Así se tiene un esfuerzo a cortante de diseño de  $V_m^* = 3.32 \text{ kg}_f/\text{cm}^2$ , tomando la siguiente recomendación.

$$V_m^* = \frac{V_m}{1 + 2.5C_m} \quad \text{donde } C_m > 0.2 \quad (1.3)$$

También se analizaron los módulos de cortante (G), contemplando una zona de comportamiento elástico en las deformaciones obtenidas con los leds. Estas componentes G, son muy pequeñas y no corresponden a un modulo de Poisson en rango elástico, comparándolas con los módulos elástico en las pilas. Cabe señalar que normalmente en pruebas de mampostería a tensión diagonal estas componentes son bajas y ocurre lo antes mencionado.

Especimen	Vmp kg/cm <sup>2</sup>	Vm* <sub>p</sub> kg/cm <sup>2</sup>	Gm kg/cm <sup>2</sup>
ME1	4.66	3.1	4772.10
ME2	5.01	3.34	4623.69
ME3	5.28	3.52	6484.02
ME4	4.95	3.3	4718.81

Tabla 1.2. Valores promedio de esfuerzo a compresión diagonal, por espécimen

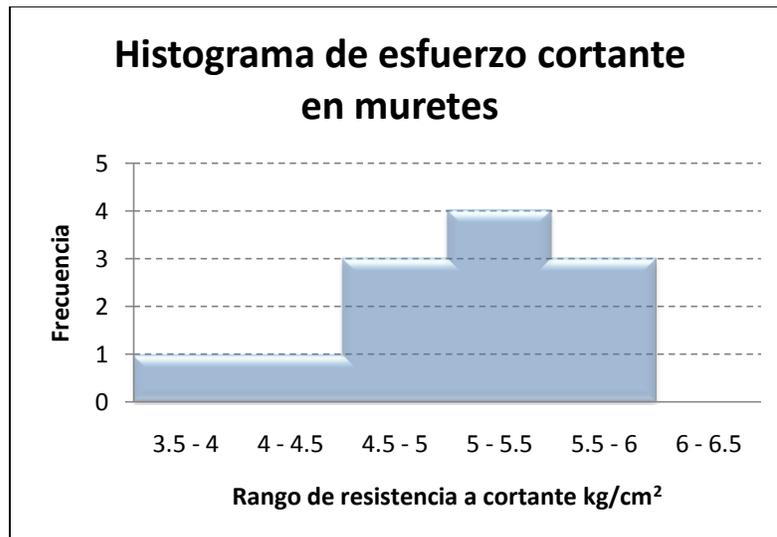


Fig. 1.16. Distribución estadística de la resistencia a cortante de la mampostería

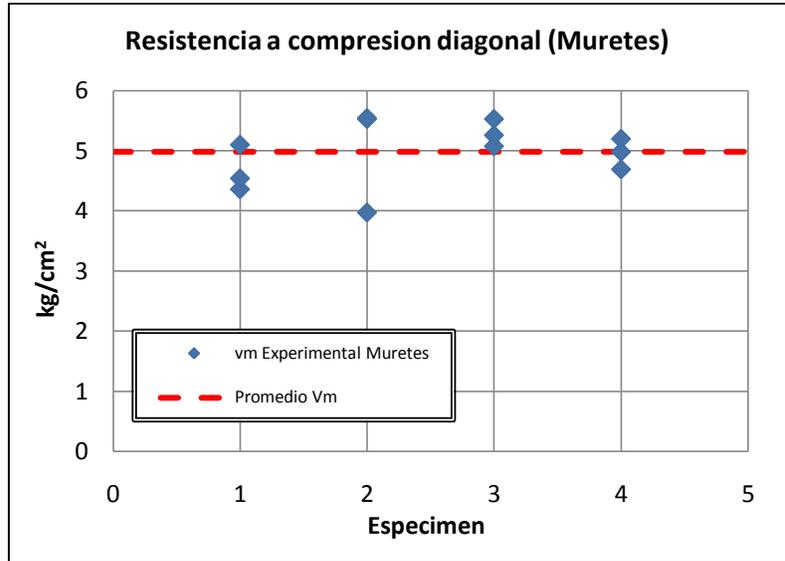


Fig. 1.17. Resistencia a la compresion diagonal por especimen

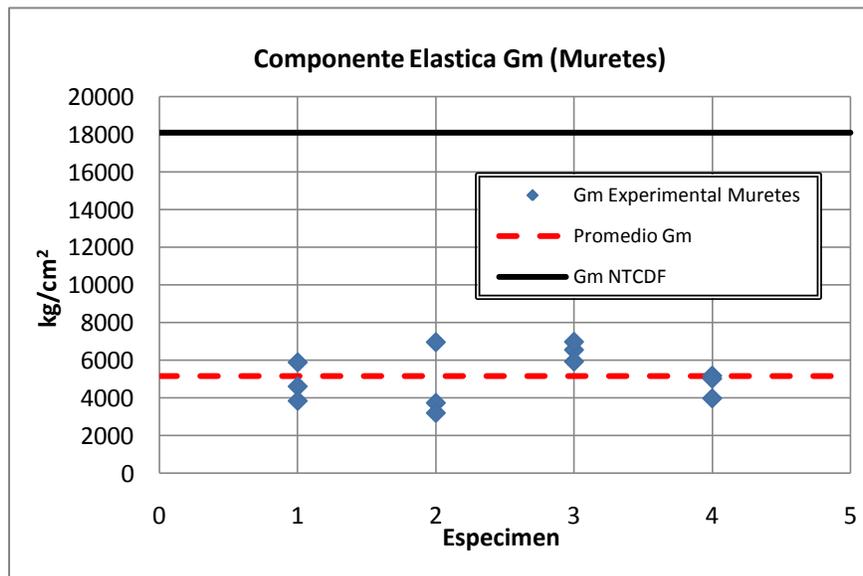


Fig. 1.18. Componentes elasticas Gm por especimen

**1.3.1.4. Mortero**

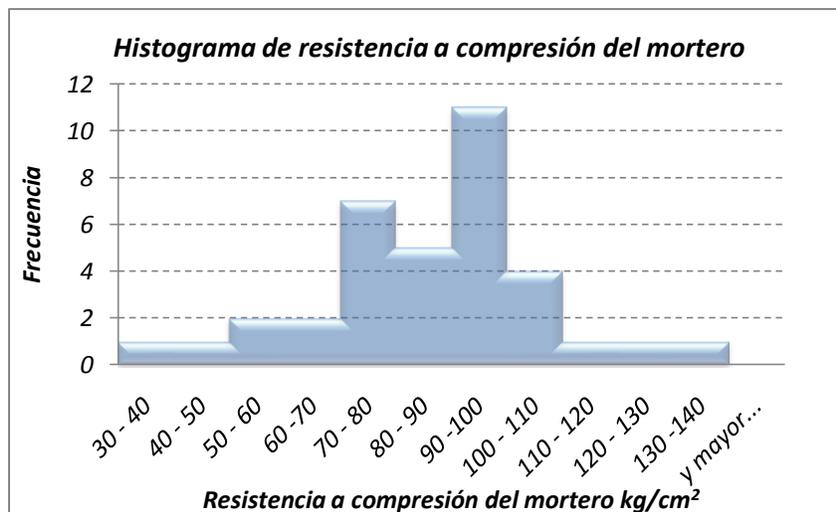
El mortero es parte esencial para la mampostería, y de la calidad de este depende las características a comparar de la mampostería. El diseño de la mezcla se baso en el mortero **clase I**, el cual tiene la siguiente dosificación de 1 : ¼ : 3, esto significa las fracciones correspondientes de cemento: cal: arena, o sea, por cada unidad de cemento de tendrá un cuarto de cal y tres de arena.



*Fig. 1.19 Moldes de bronce para muestras de mortero<sup>4</sup>.*

Las muestras consisten en recabar mezcla de mortero para en tres cubos de 5 cm de arista, en moldes de bronce impregnados con aceite desmoldante. Cada muestra se toma por cada mezcla de mortero realizada para la construcción de los muros, además de hacer referencia a que hiladas de cada muro corresponden.

Se realizaron 12 muestras de mortero durante toda la construcción de los cuatro muros, para la ubicación en los muros de la mezcla donde fueron tomadas, se puede observar en la figura 1.22 los diagramas de ubicación respecto a hiladas.



*Fig. 1.20. Distribución estadística de resistencia del mortero a compresión.*

<sup>4</sup> Pinzuar.com, Molde triple para cubos de cemento PC-111

Los resultados de las muestras arrojan una resistencia al esfuerzo a compresión promedio de  $f_b=84.6$   $\text{kg}/\text{cm}^2$ , que utilizando la consideración para esfuerzo de diseño, de acuerdo a la norma NMX-C-128-1997 ONNCE, se tiene:

$$f_j^* = \frac{f_b}{1 + 2.5C_j} \quad \text{donde } C_j > 0.2 \quad (1.4)$$

Esta consideración, da el resultado de esfuerzo a compresión de diseño de  $f_j^*= 52.3$   $\text{kg}/\text{cm}^2$ .

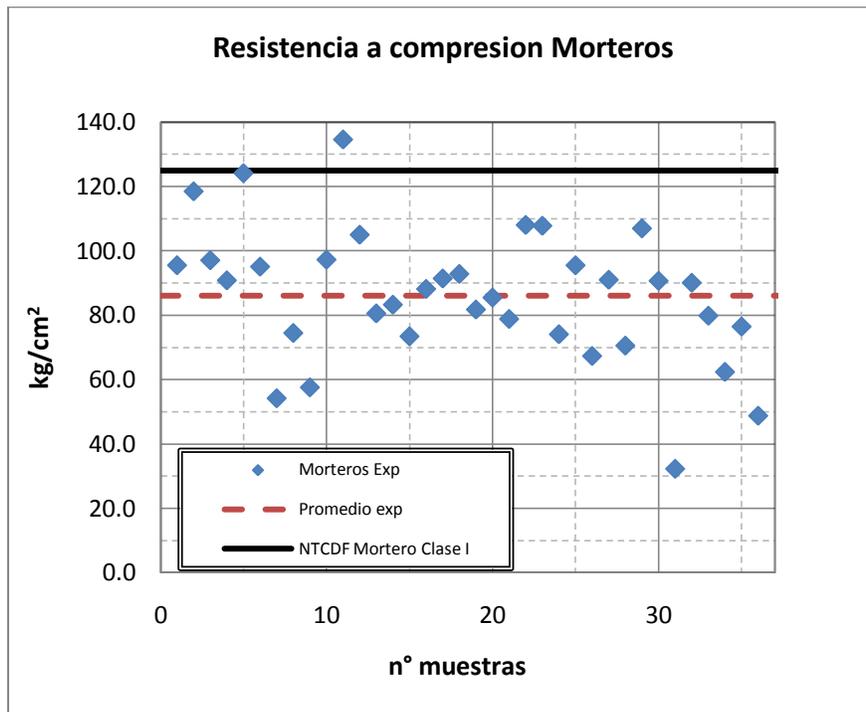
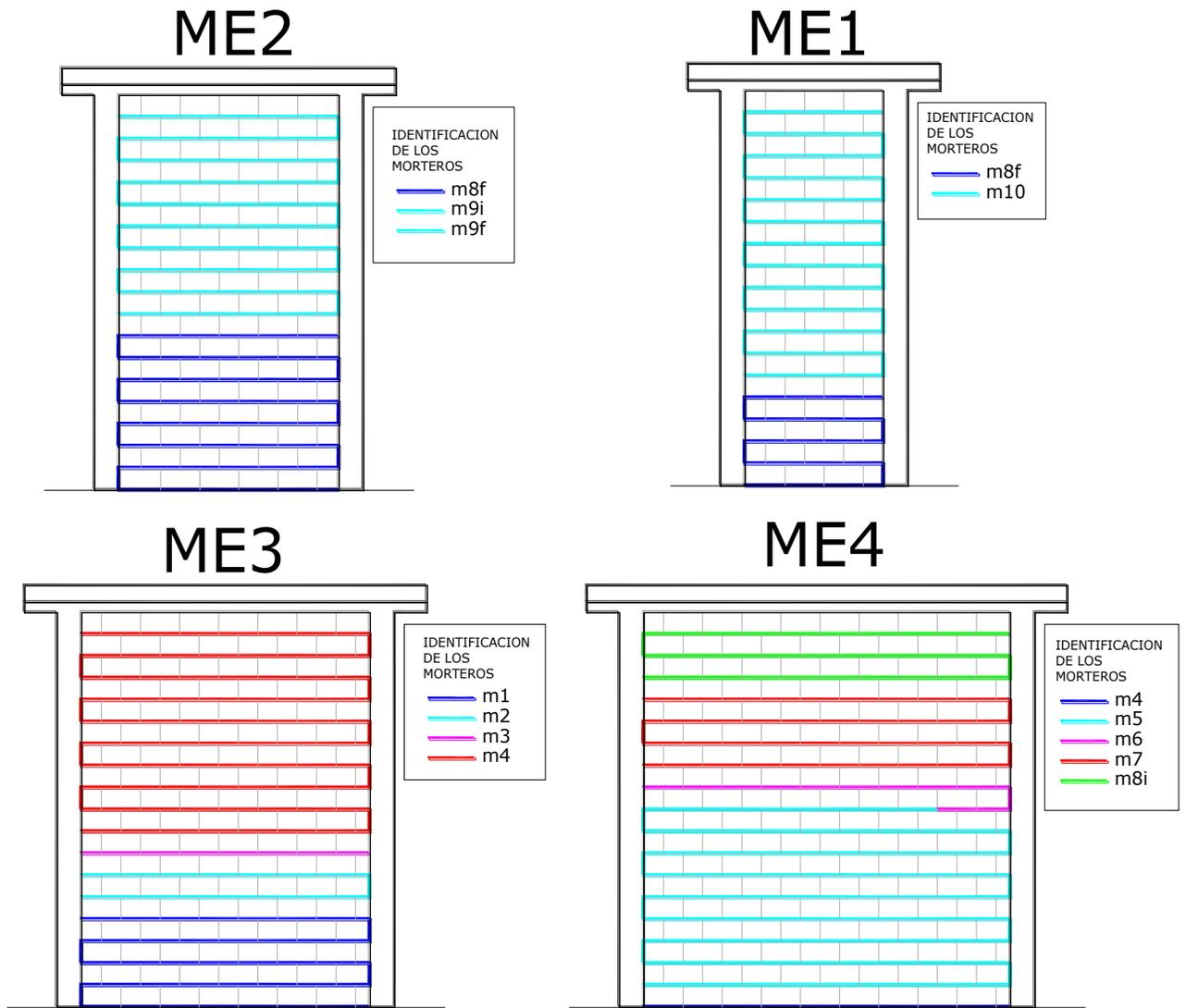


Fig. 1.21. Resultados generales de la resistencia del mortero



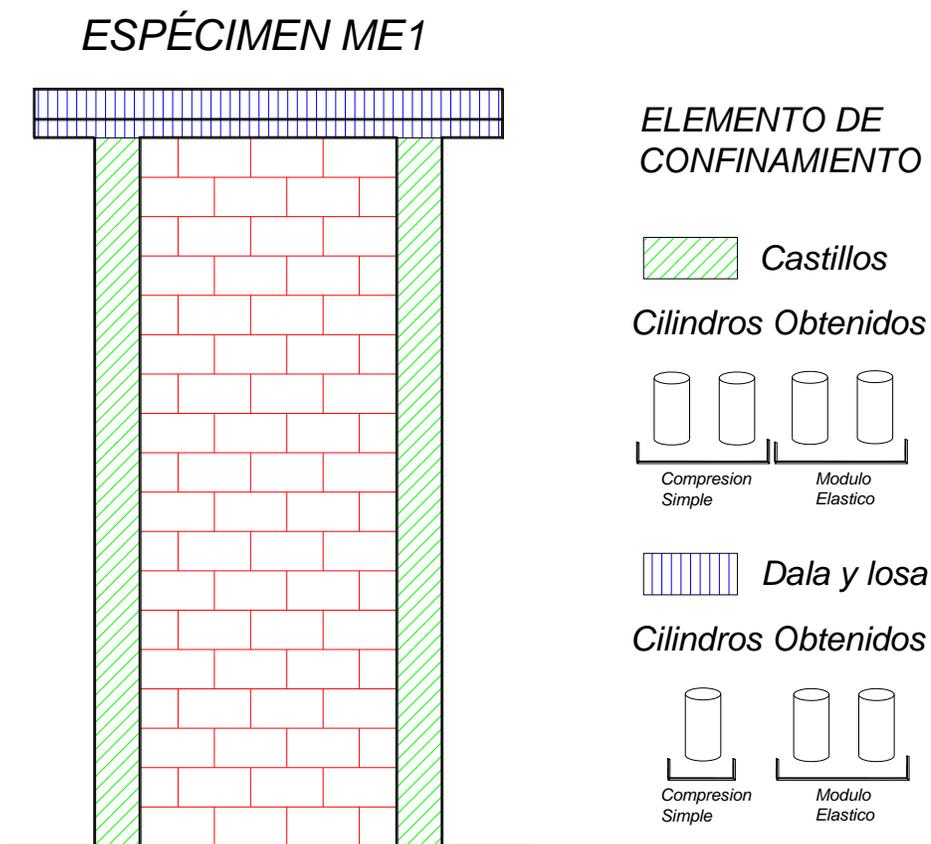
*Fig. 1.22. Distribución de las muestras de mortero respecto a las hiladas de construcción de los especímenes.*

### 1.3.2. Elementos de confinamiento

Los elementos de confinamiento de la mampostería corresponden a los castillos y dala. En este caso, para la transmisión de la carga fue necesario construir una pequeña losa para el anclaje de la viga de acero que conecta a los actuadores.

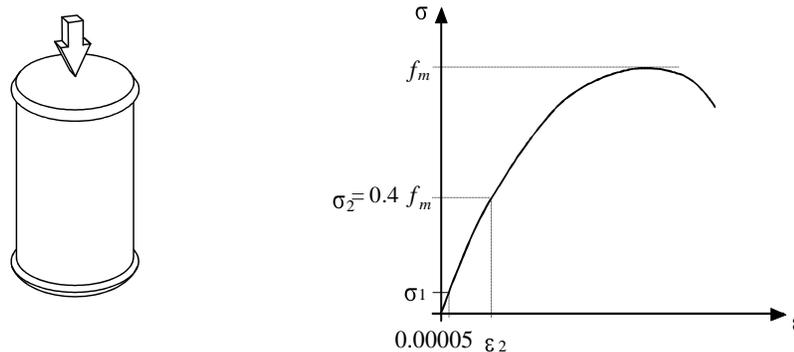
El muestreo fue por muro y se baso en recabar muestras de los elementos castillos, dala y losa al momento de ser colados durante la construcción de los especímenes en el laboratorio. De los elementos castillos se tomaron cuatro muestras y del elemento dala y losa solo tres, esto, debido a que realmente de estos concretos el que será analizado en el espécimen final seria el de los castillos.

Cabe señalar que estos concretos fueron hechos en obra, con un proporcionamiento 1: 2: 2 ½: ¾ utilizando una revolvedora con capacidad de ½ bulto de concreto (100 l), para un esfuerzo ultimo de diseño de  $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$ .



**Fig. 1.23. Procedimiento de muestreo de los cilindros en el ensaye, ejemplo ME1.**

Para los cilindros de concreto, ya sea de castillos o dala y losa, se obtuvieron componentes elásticas de acuerdo a el procedimiento de las normas NMX-C-109-2004 ONNCE, referente al cabeceo y curado de los cilindros y NMX-V-128-1997 ONNCE que refiere la determinación del modulo de elasticidad y relación de Poisson. El procedimiento es básicamente, una aproximación lineal a los datos recabados en cada prueba de modulo elástico, ubicando sus limites numéricos de acuerdo a la figura 1.24.



**Fig. 1.24. Determinación del modulo de elasticidad en cilindros de concreto, con los acotamientos indicados.**

Para la prueba fueron utilizados dos transductores: uno de 5 cm de carrera para la variación de los desplazamientos verticales y el otro de 2.5 cm de carrera ubicado en forma horizontal para la relación Poisson. En este caso el arreglo de la instrumentación de los cilindros se tiene solo un transductor vertical con un resorte en el costado opuesto al cilindro, esto hace que los datos de desplazamiento sean divididos entre dos para poder traducirlos correctamente como el desplazamiento total sufrido por el cilindro.



**Fig. 1.25. Medición y peso de los cilindros de concreto.**

### 1.3.2.1. Castillos

Para el concreto de los castillos se busco la resistencia  $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$ , con un volumen para dos castillos y cuatro cilindros de pruebas. Por lo tanto, existen cuatro cilindros por espécimen, de los cuales dos cilindros fueron destinados a prueba a compresión simple y los restantes para pruebas de componente elástica. Cada cilindro tiene 15.172 cm de diámetro por 30.37 cm de altura en promedio, y fueron probados después de 28 días del colado de los castillos. Su nomenclatura fue C1,...,4 de acuerdo a su pertenencia a algún espécimen.

Cabe señalar que todos los castillos tienen las dimensiones de 12 x 15 x 234 cm. En las pruebas para los cuatro cilindros se seleccionaron solo dos para la determinación de la componente elástica y otros dos para el esfuerzo a compresión y de diseño.

Muro	Cilindros	$f'c$ kg/cm <sup>2</sup>	$E_c$ kg/cm <sup>2</sup>	$f'c_p$ kg/cm <sup>2</sup>	$E_{c_p}$ kg/cm <sup>2</sup>
ME1	C1	341.51		334.63	116075
	C2	335.61	112624		
	C3	326.67			
	C4	334.74	119526		
ME2	C1	201.56	107525	216.42	103394.5
	C2	225.41			
	C3	214.25	99264		
	C4	224.48			
ME3	C1	184.73		184.68	100737
	C2	183.44	101323		
	C3	187.63			
	C4	182.92	100151		
ME4	C1	250.60	110933	233.52	110211
	C2	235.56			
	C3	223.54	109489		
	C4	224.36			

*Tabla 1.3. Valores promedio para componente elástica en el concreto de los castillos.*

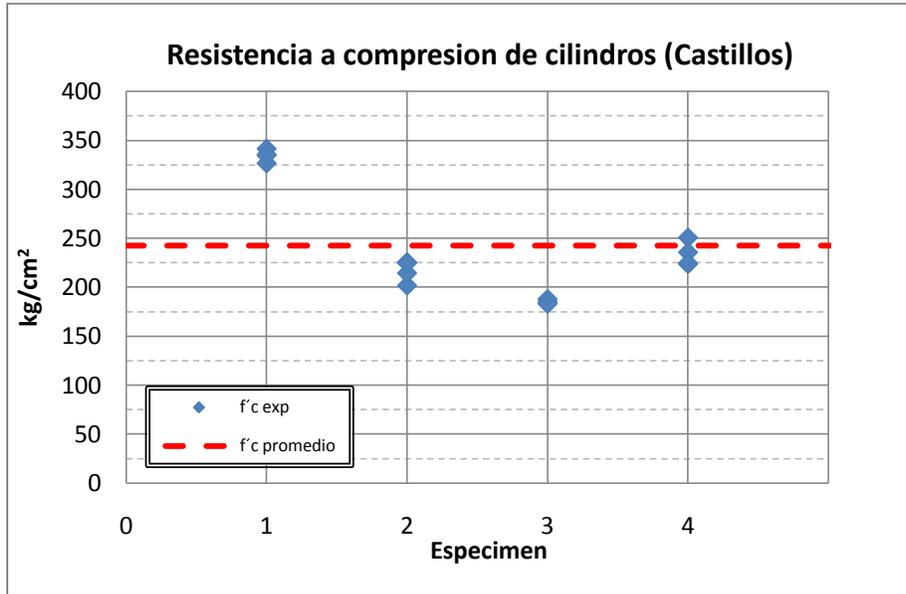


Fig. 1.26. Resistencia a compresión de los cilindros de concreto para castillos, por espécimen.

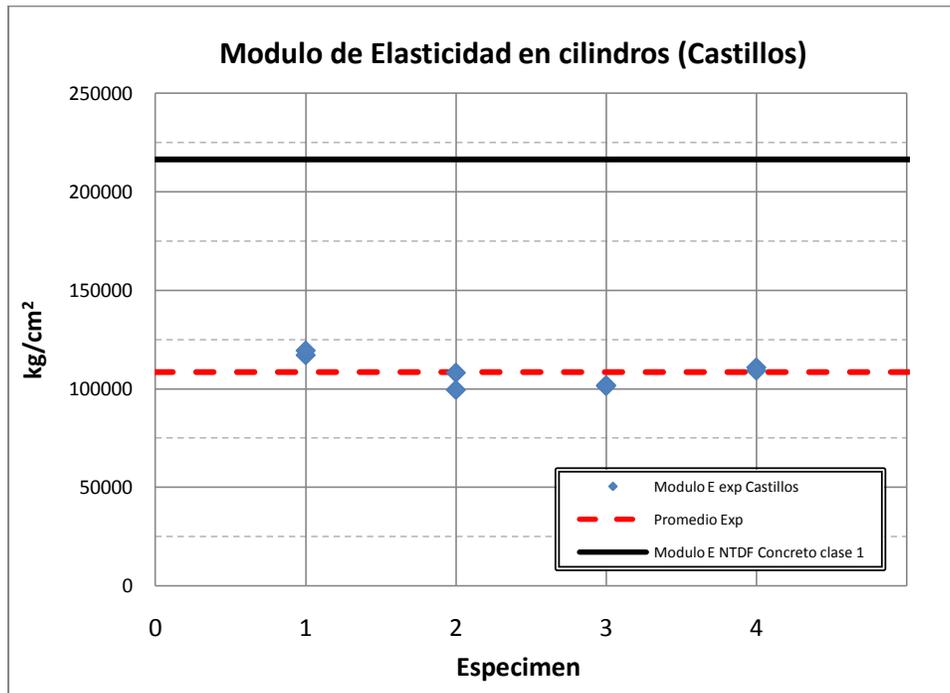


Fig. 1.27. Componente Elástica de cilindras de concreto, por espécimen..

**1.3.2.2. Dalas y losa**

De acuerdo al sistema constructivo, después del colado de los castillos se deja un pequeño remate para el colado de la dala, en este caso se incluyó con el colado de la losa. En este caso se diseñó un concreto para  $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ , debido a que se está buscando una rigidez superior para que no influya en como se deforme el muro.



*Fig. 1.28. Cimbrado de la losa y detalle de la tarima superior para anclaje.*

De cada colado del sistema dala y losa se incluyó volumen para tres cilindros de prueba, de los cuales se les probó para su esfuerzo a compresión. Las dimensiones de los cilindros fueron 15.24 cm de diámetro y 30.442 cm de altura en promedio. Los resultados generales de esfuerzo a compresión son los siguientes:

Muro	Cilindro	$f'c$ kg/cm <sup>2</sup>	$E_{cal}$ kg/cm <sup>2</sup>	$f'c_{prom}$ kg/cm <sup>2</sup>	$E_{prom}$ kg/cm <sup>2</sup>
ME1	LZC1	278.78	243587.91	281	216972.59
	LZC2	275.05			
	LZC3	289.57	190357.28		
ME2	LZC1	317.48	278459.99	292	261438.86
	LZC2	341.73			
	LZC3	216.35	244417.73		
ME3	LZC1	329.15	259968.64	327	281076.86
	LZC2	320.20			
	LZC3	333.08	302185.08		
ME4	LZC1	250.96	285132.83	276	274482.77
	LZC2	350.64			
	LZC3	225.41	263832.70		

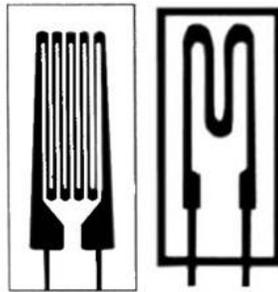
*Tabla 1.4. Resultados de esfuerzo a compresión, de los cilindros de dala y losa*

## 1.4. INSTRUMENTACIÓN UTILIZADA PARA LAS PRUEBAS

Para cada ensaye se utilizo un arreglo específico de instrumentación para los desplazamientos más significativos para los análisis posteriores. Estos arreglos comprenden desde transductores para la medición de desplazamientos en arreglos de forma horizontal, vertical y diagonal, así como galgas extensométricas para la comprobación de los esfuerzos de fluencia del acero en el interior de los castillos. Una de las virtudes de este análisis fue la utilización de instrumentos ópticos para medir desplazamientos con amplia precisión en la parte central de los especímenes.

### 1.4.1. Galgas extenso métricas

Las galgas extensométricas, conocidas también como *strain gauges*, son elementos metálicos en forma de placa que contienen un pequeño circuito eléctrico, y funcionan debido a las variaciones en la resistencia eléctrica cuando las piezas a las que están sujetas son deformadas.



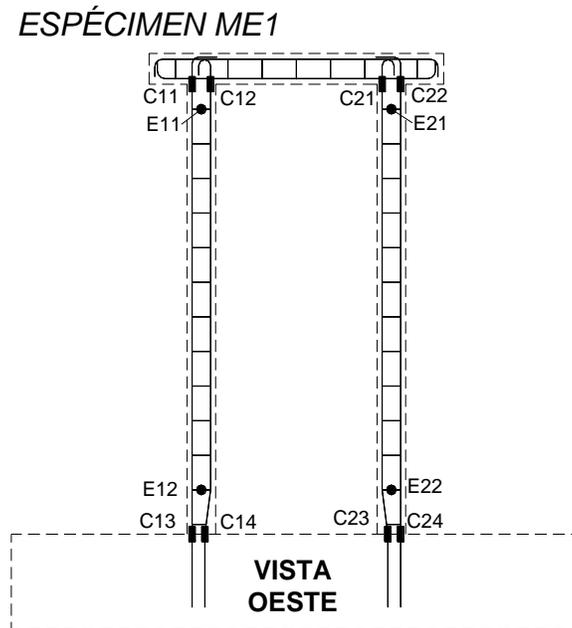
*Fig. 1.29. Detalle de circuito de galga extenso métrica*

Cabe señalar que estos sensores son utilizados en el rango elástico debido a la limitante del material que normalmente es metálico.



*Fig. 1.30. Colocación de las galgas en los las varillas de los castillos.*

Para el experimento se utilizaron arreglos de seis galgas por castillo de confinamiento, o sea, 12 galgas en los extremos de los castillos, prácticamente en las esquinas de los muros, ya que ahí comienza la falla general del muro.



*Fig. 1.31. Ubicación de las galgas en el armado del castillo, este arreglo es similar a todos los especímenes.*

#### 1.4.2. Micrómetros y Transductores

Los transductores son elementos mecánico eléctricos, que traducen un desplazamiento físico de un vástago, en impulsos eléctricos, esto debido al fenómeno de la inductancia.

En este caso, para la prueba se utilizaron dos tipos de transductores, unos son los micrómetros, que funcionan de forma mecánica, de forma que se pueden leer en tiempo real debido a una caratula que poseen, pero a su vez, registran los desplazamientos en archivos de datos, y los transductores normales, los cuales no tienen caratula, y solo se pueden leer por la adquisición de datos. Las medidas de la carrera de sus vástagos fueron de 25, 50, 100 y 200 mm, de acuerdo a su posición en el muro de acuerdo a su posible desplazamiento.



*Fig. 1.32. Transductores utilizados micrómetro (DDP-50<sup>a</sup>), y los transductores CDP<sup>5</sup>*

<sup>5</sup> Tokyo Sokky Kenkyujo, Transductores de desplazamiento, ficha técnica DDP, CDP

### 1.4.3. Arreglos de instrumentación

Los arreglos generales constan de un sistema de transductores, a la que se llamo instrumentación física, en donde se instrumenta el espécimen de las zonas donde es primordial analizar sus desplazamientos.

Este arreglo general se toma de acuerdo a las dimensiones del tablero del modelo. En los casos de los muros ME1 y ME2 se toma un acomodo con dos crucetas en las zonas inferior y superior del tablero para su deformación diagonal, esto debido ala esbeltez que tienen. En los casos ME3 y ME4, esta instrumentación diagonal se basa en solo una cruceta general. En estos sistemas de pistones, se mide también el abombamiento general del muro, que se va presentando a lo largo de la prueba, se le denomina con el micrómetro AB, ubicado en la parte media del muro de acuerdo a su altura. De acuerdo a su utilidad en la prueba cada instrumento tiene su nomenclatura, *ver Tabla 1.5.*

<b>Nomenclatura</b>	<b>Dispositivo</b>	<b>Mide</b>
<b>H</b>	Transductor	Desplazamiento horizontal
<b>V</b>	Micrometro	Desplazamiento vertical
<b>D</b>	Micrometro	Desplazamiento diagonal interno
<b>AB</b>	Micrometro	Abombamiento
<b>R</b>	Transductor	Rotación superior
<b>MIC</b>	Micrometro	Rotación inferior
<b>DES</b>	Transductor	Deslizamiento base
<b>CIM</b>	Transductor	Cimentación

*Tabla 1.5. Nomenclatura general para los dispositivos de medición.*

Para los desplazamientos laterales fue necesario el uso de 4 transductores a diferentes alturas del muro, pero de mas importancia los transductores denominados H1 y H2, ya que estos miden el desplazamientos superior del muro, o general, en el caso de los demás transductores horizontales son para verificar las variaciones de los desplazamientos respecto a la altura.

Las mediciones verticales, evalúan los efectos de la carga a compresión ejercida en algunos puntos de la prueba, así como para ver su rotación con las cargas a compresión combinadas con las de cortante.

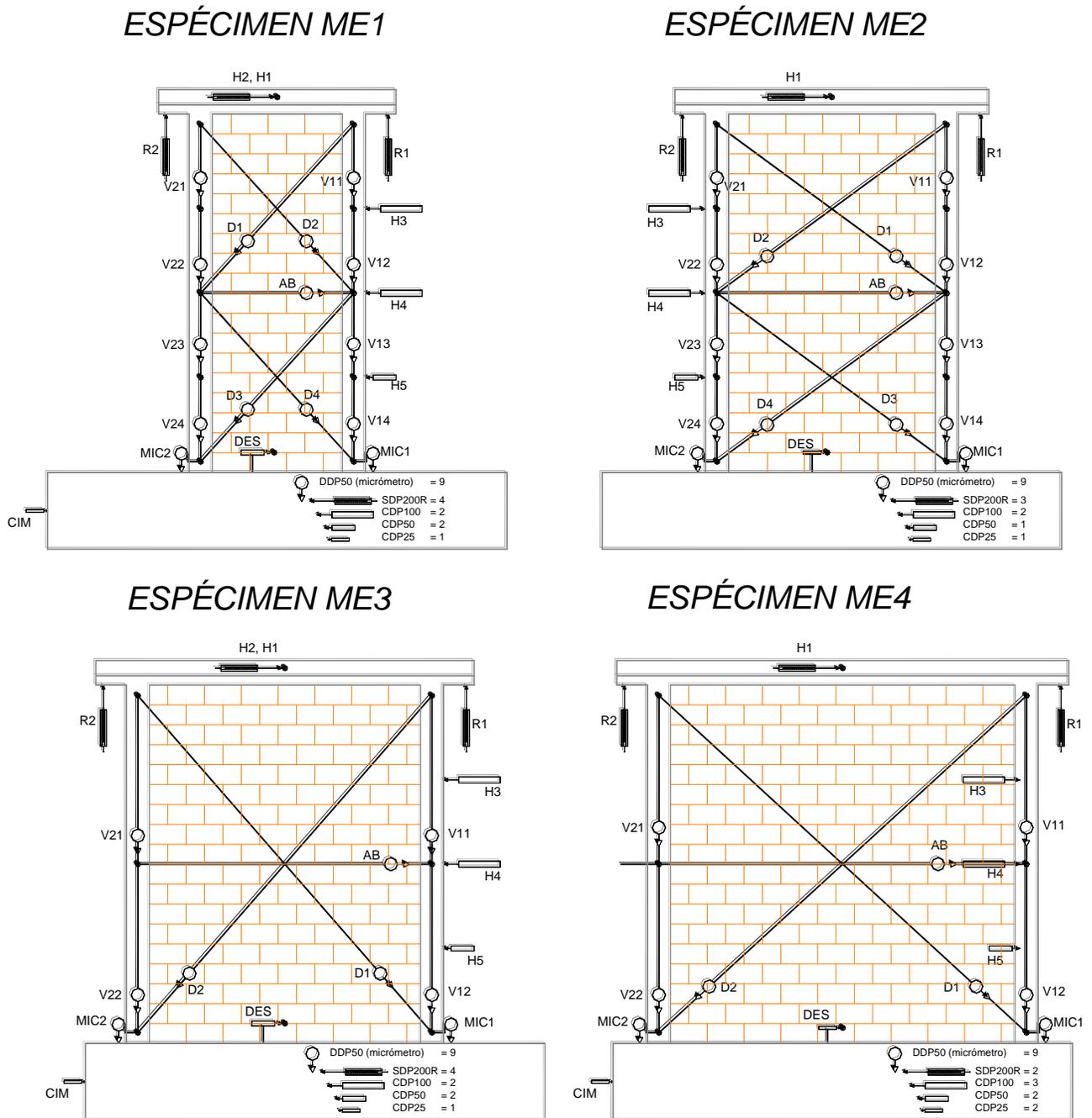
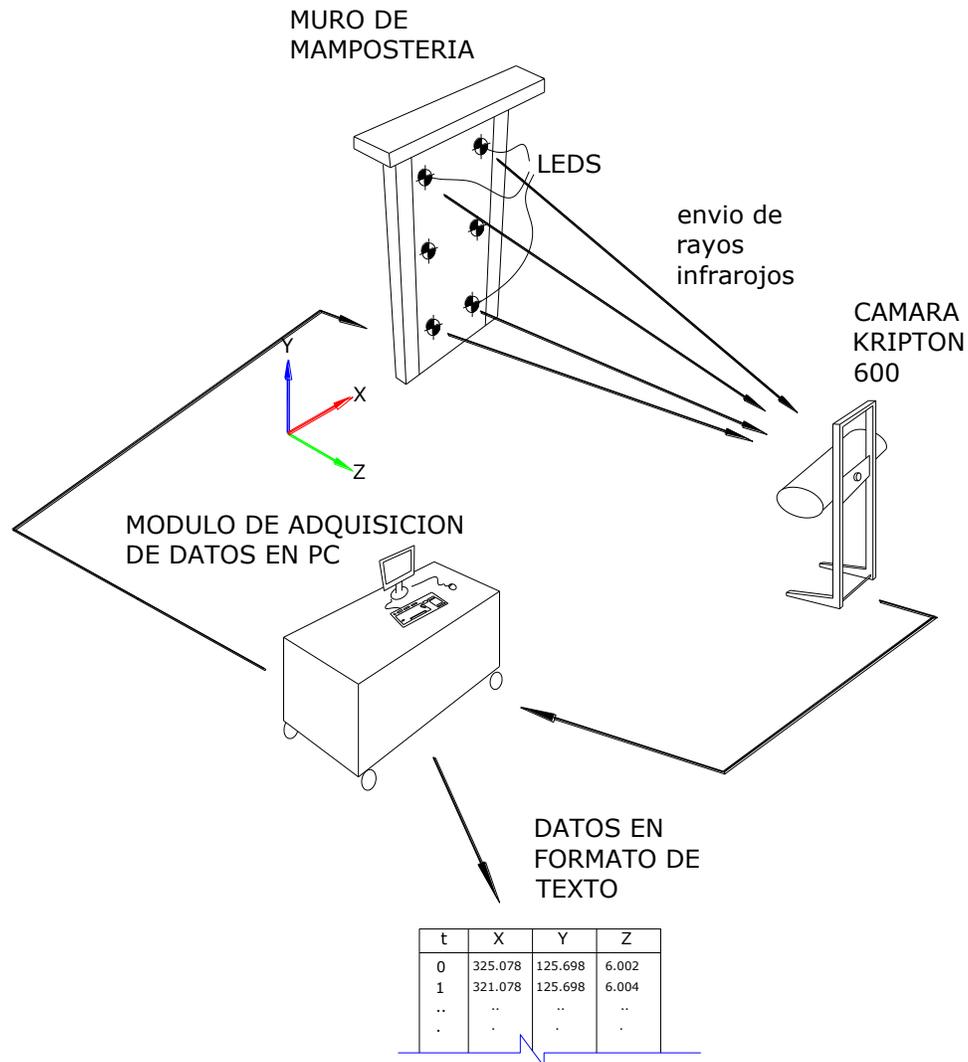


Fig. 1.33. Arreglos generales de instrumentación en los cuatro muros. (Flores, et al. 2008)

### 1.4.4. Elementos Ópticos

La instrumentación óptica se contempla por tres partes principales: leds de posición en el espécimen, la cámara y el modulo de adquisición de datos.



**Fig. 1.34. Modo de operación de la cámara de leds en los ensayos.**

El funcionamiento es el siguiente, los leds son elementos que se basan en el manejo de la luz infrarroja y mandan pulsaciones a una cámara que recibe su posición en tres dimensiones, y esta es registrada en la computadora, así durante el transcurso del experimento se toman datos de posición de todos los leds que se hayan conectado al sistema óptico a razón de 10 lecturas cada segundo, o sea 10 lecturas de posición en tres dimensiones cada segundo en cada led que se haya incluido en el ensayo.

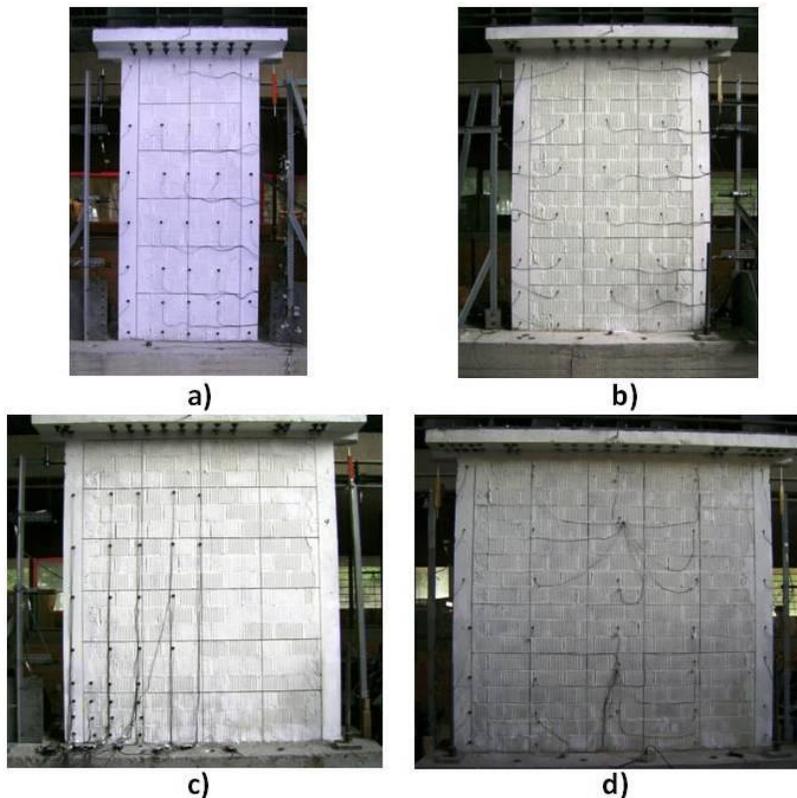
La cámara tiene un sistema coordinado en el cual el plano XY representa la superficie del espécimen a analizar, y el eje Z es simplemente una distancia de posición de la cámara respecto al muro.

Una de las principales ventajas de este sistema es la precisión de 0.0001 de mm, por la cual en tres dimensiones parece apta para desplazamientos pequeños ó imperceptibles.



**Fig. 1.35. Cámara receptora, y modulo de adquisición de datos del sistema Krypton-600<sup>6</sup>**

Para el experimento se utilizaron cerca de 32 led's para analizar la parte central de los paneles de cada muro.

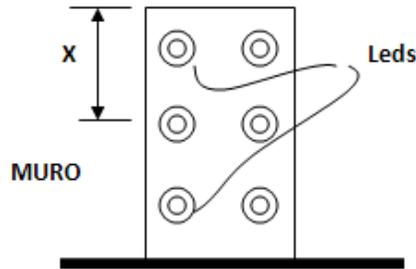


**Fig. 1.36. Arreglo de Led's para las pruebas de muros, para a) ME1, b) ME2, c) ME3 y d) ME4.**

Como se puede observar, la posición de los leds fue en una especie de cuadrícula. De este arreglo podemos tomar franjas horizontales como referencia a las distancias desde la parte superior de los

<sup>6</sup> Krypton Electronic Engineering NV, Guía de Software

muros hasta su base. Estos leds tienen una numeración, y no en todos tuvo un orden de acuerdo a su ubicación y numero consecutivo. La tabla 1.6 muestra la numeración de los leds por franja asociados a la distancia X.



*Fig. 1.37. Ubicación de los leds por franjas, de acuerdo a una distancia desde la parte superior de un muro.*

<b>ME1</b>	<b>leds asociados</b>	<b>ME2</b>	<b>leds asociados</b>
<b>x cm</b>		<b>x cm</b>	
<b>10.311</b>	1,2,3,4	<b>9.396</b>	1,2,3,4,5
<b>60.116</b>	5,6,7,8,9	<b>60.151</b>	6,7,8,9,10
<b>98.915</b>	10,11,12,13,14	<b>98.226</b>	11,12,13,14,15
<b>139.547</b>	15,16,17,18,19	<b>138.453</b>	16,17,18,19,20
<b>175.463</b>	20,21,22,23,24	<b>175.995</b>	21,22,23,24,25
<b>203.654</b>	25,26,27,28,29	<b>203.6</b>	26,27,28,29,30
<b>229.558</b>	30,31,32,33,34	<b>228.95</b>	31,32,33,34
<b>240</b>	35	<b>240</b>	35

<b>ME3</b>	<b>leds asociados</b>	<b>ME4</b>	<b>leds asociados</b>
<b>x cm</b>		<b>x cm</b>	
<b>44.406</b>	26,27,28,29,33	<b>8.063</b>	21,1,2,3,27
<b>85.078</b>	23,24,25,30,34	<b>59.29</b>	22,4,5,6,28
<b>122.95</b>	20,21,22,31	<b>98.86</b>	23,7,8,9,29
<b>162.972</b>	17,18,19,32	<b>136.89</b>	24,10,11,12,30
<b>188.316</b>	13,14,15,16	<b>178.82</b>	25,13,14,15,31
<b>201.988</b>	9,10,11,12	<b>203.8</b>	26,16,17,18,32
<b>213.942</b>	5,6,7,8	<b>227.72</b>	34,19,20,33
<b>227.121</b>	1,2,3,4	<b>240</b>	35
<b>240</b>	35		

*Tabla 1.6. Distancia de posición de los leds desde la parte superior, y leds asociados.*

## 1.5. APLICACIÓN DE CARGA

En este apartado se explicara la forma de aplicación de cargas sobre los especímenes, así como el historial llevado a cabo durante las pruebas.

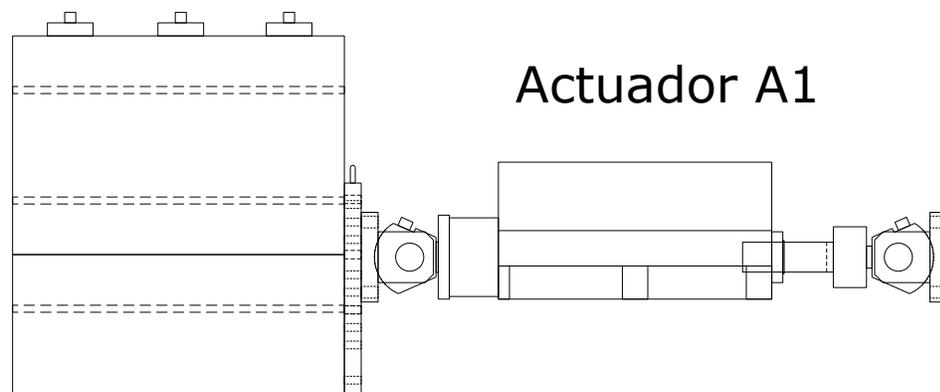
### 1.5.1. Marco de Carga

Para la adecuada aplicación de las cargas continuas, que se dispusieron a lo largo las pruebas se resolvió un arreglo estructural donde se dispondrán de ciertos elementos que ejercerán carga, la transmitirán o simplemente servirán de conexión. Los elementos que conforman el marco de carga, se denominaran de acuerdo a la función que realizan en los ensayos.

#### 1.5.1.1. Elementos para la aplicación de la carga

- **Actuador hidráulico MTS (A1)**, manipulado por ordenador, con capacidad de 200 ton, con 41.5 cm de carrera. Esta fijado al muro de reacción mediante un sistema de tres varillas enroscadas de 5.08 cm de diámetro, pretensadas en 20.0 ton<sub>f</sub> a una placa conexión de acero A-36 con dimensiones de 114.8 X 64.8 cm y de 7.62 cm de espesor, la cual esta ranurada de forma múltiple en cuadrícula, y con cuerda para tornillos de de 3.81 cm de diámetro con la cual se adhiere el actuador, mediante cuatro tornillos antes indicados. Este arreglo sirve para la aplicación de la carga lateral en los ensayos conectando el cabezal del actuador en la viga de unión para la loza de los especímenes. Denominación de este arreglo es A1. Ver Fig. 1.38.

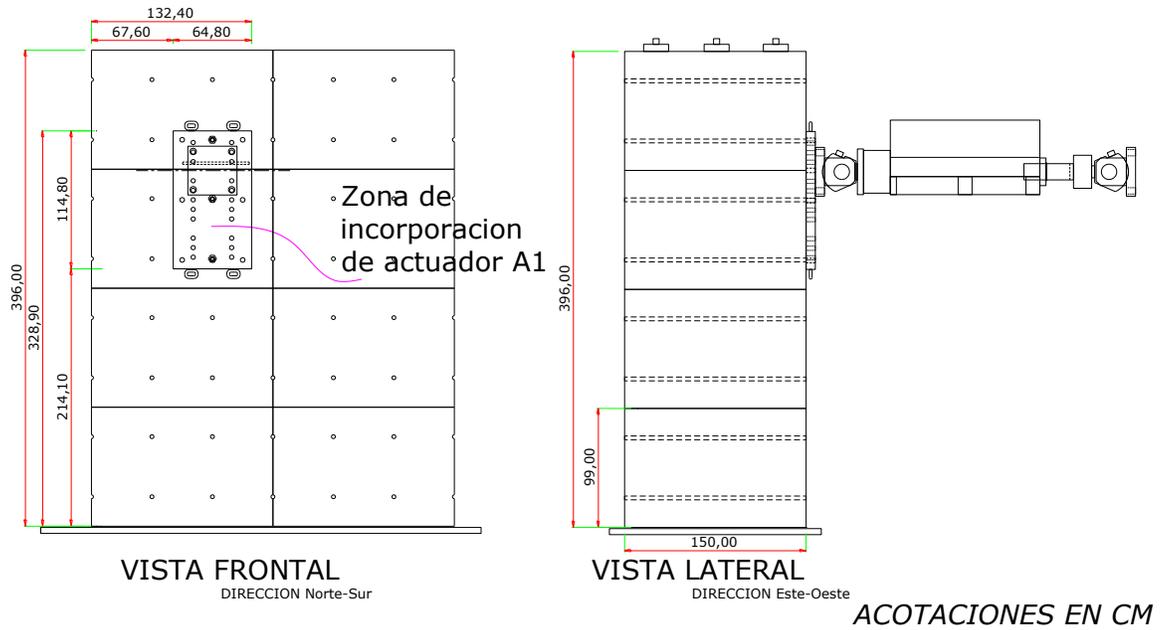
## MURO DE REACCION



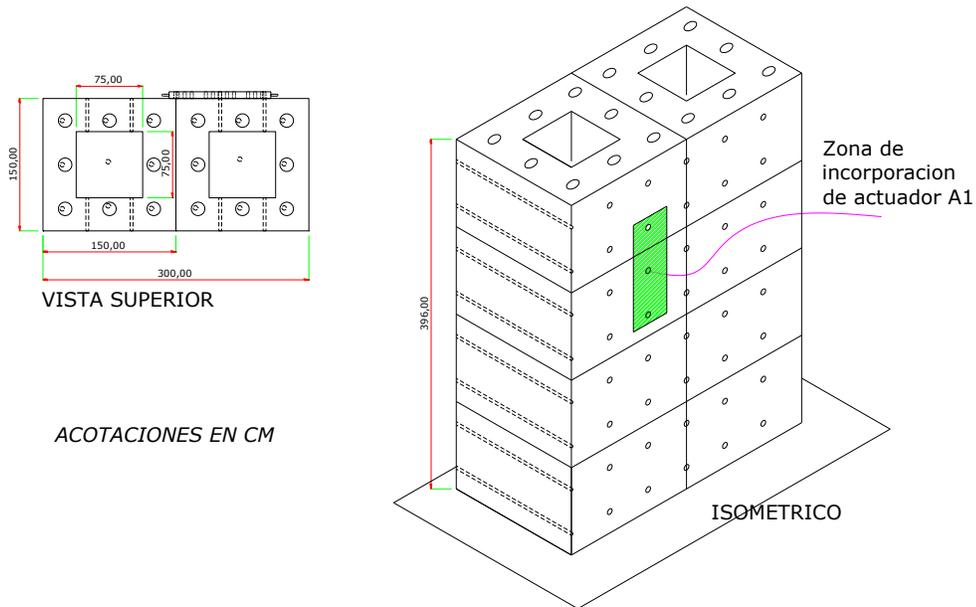
*Fig. 1.38. Actuador A1 empotrado en el muro de reacción en posición horizontal.*

- **Muro de de reacción**, el cual consta de ocho bloques de concreto con dimensiones de 1.5 x 1.5 x 1.0 m, con huecos internos de 0.643 x 0.617 x 1.0 m. En este muro de amplia rigidez se incorporo el actuador A1 para carga lateral. Debido a la amplia diferencia de rigideces y masa

del muro de reacción con respecto a la de los modelos, se dispuso a que fuese simulado como un empotramiento.



*Fig. 1.39. Arreglo frontal y lateral del muro de reacción.*



*Fig. 1.40. Dimensiones superiores y vista isométrica del muro de reacción.*

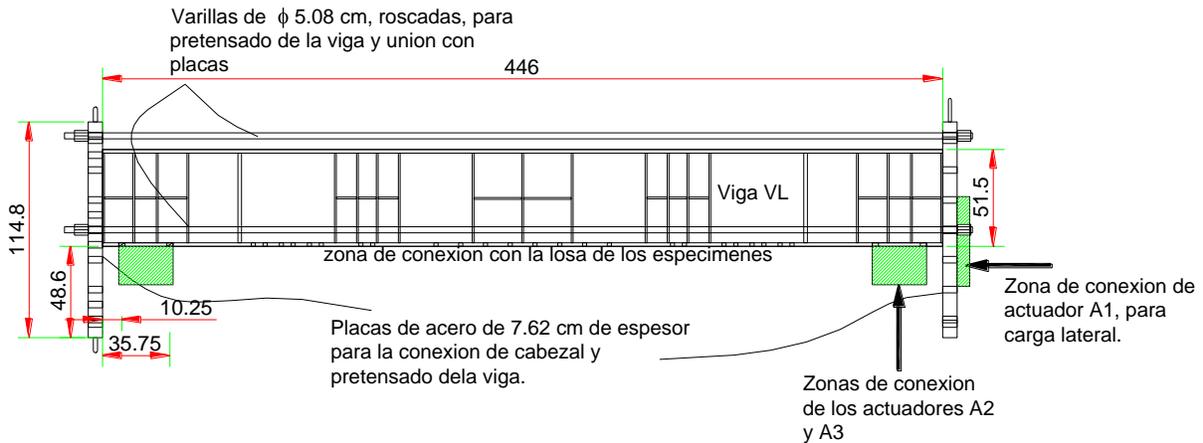
- **Dos actuadores hidráulicos MTS (A2, A3)**, manipulados por ordenador, ambos con capacidad de 50.0 ton<sub>f</sub>, y con 27.05 cm de carrera. Esta fijado a la losa de reacción del laboratorio (nivel de piso) en una base de concreto de 20.0 cm de espesor en la que descansa una placa conexión de acero A-36 con dimensiones de 114.8 X 64.8 cm y de 7.62 cm de espesor ranurada en cuadrícula, con cuerda para tornillos de 3.81 cm de diámetro, esta base esta anclada a la losa de reacción mediante varillas roscadas, con la cual se anclan los actuadores de forma vertical. Estos actuadores están articulados en su parte inferior de modo tal que permiten el giro, por ende el desplazamiento lateral, mas no el movimiento en a los costados Los cabezales de estos actuadores se conectaran a la viga de unión de la losa para los especímenes, con la función de transmitir carga axial. La aplicación de la carga será sincronizada para evitar en lo menor posible momentos de flexión en el los especímenes debido a la ubicación de los actuadores en los extremos de los especímenes. Denominación A2 y A3.

#### 1.5.1.2. Elementos para la transmisión de carga

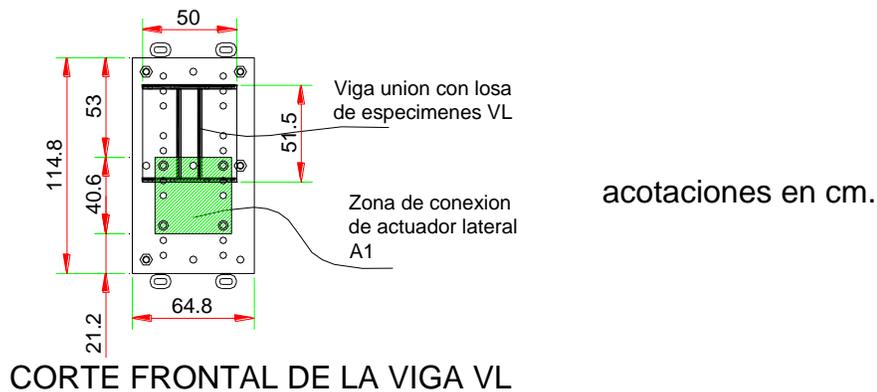
- **Viga unión para losa (VL)**, de acero A-36 Doble I, de fabricación en taller, con un peralte de 51.5 cm, un ancho de patín de 50.0 cm y 446.0 cm de longitud. Sus espesores son de 1.905 cm en sus patines y 0.95 cm en sus almas, las cuales están separadas 10.25 cm una de la otra. Esta conformada por atiesadores intermedios, y orificios de 1 pulgada (2.54 cm) para anclajes. La viga de acero forma parte del laboratorio de materiales del Instituto de Ingeniería y se ha utilizado previamente para diferentes experimentos, se tuvo que adecuar la losa de los especímenes para que la viga se pudiera utilizar en los ensayos.

El anclaje de la viga a los especímenes será con un juego de tornillos de 1.58 cm de diámetro (5/8 pulg) y longitud de 15.2 cm, con acero de alta resistencia (grado 60) con tuerca y rondana. Durante la construcción de los muros se adecuaron los orificios que existen en la viga a la losa de cada espécimen, copiando detalladamente su ubicación para concordaran perfectamente. Además de los tornillos se manejo de una lechada de concreto para incrementar la superficie de contacto entre la losa y la viga. Con esto se tendría agregado a la conexión de los tornillos una componente de fricción que garantiza la adecuada transmisión de carga.

Para la conexión del cabezal del actuador A1, se agregaron dos placas de acero en los extremos de la viga, que además sirven para el pretensado a 5 ton<sub>f</sub> de la viga. La transmisión de la carga lateral se dará en la intersección del patín inferior de la viga con la losa, de acuerdo a la posición de la conexión del actuador A1. La transmisión de carga axial será con los actuadores A2 y A3 en donde sus cabezales se conectaron directamente a la viga en los extremos de esta, mediante tornillos de acero de alta resistencia de 5.08 cm de diámetro. Denominación VL.



VISTA LATERAL DE LA VIGA VL, CON SUS PLACAS DE PRETENSADO.

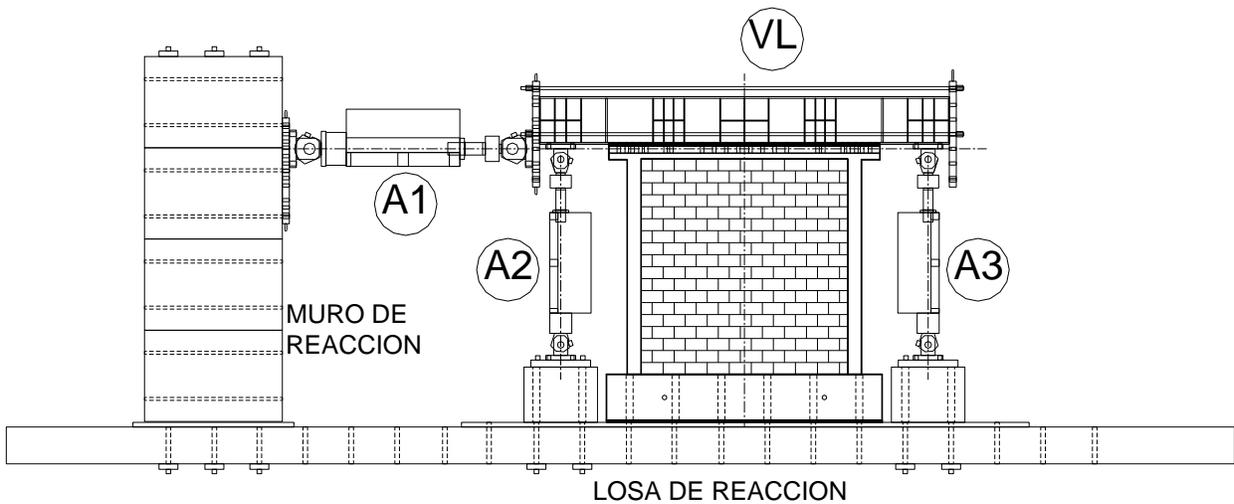


CORTE FRONTAL DE LA VIGA VL

*Fig. 1.41. Viga VL, con corte frontal y arreglo de unión con actuadores.*

La nomenclatura de ubicación dentro del laboratorio fue de acuerdo a la convención de rumbos geográficos, así pues, el muro de reacción se ubica en la zona sur del laboratorio, y la cabina de mando en la dirección este.

El arreglo del marco de carga está dispuesto para simular las acciones de carga lateral y ejercer una carga axial durante las pruebas. Su colocación general en todas las pruebas se muestra en la figura 5, en donde se establece la posición de los actuadores respecto al espécimen.



*Fig. 1.42. Arreglo general de ensayos.*

El actuador A1 se encarga de la aplicación sistemática de la carga lateral en los muros, la carga es transmitida a la viga VL, y esta con la conexión a la losa del muro lo trasmite en su eje superior. Los actuadores ejercen una carga axial o contraponen el peso de la viga según sea el caso especial en el programa de ensayos, estos actuadores permiten el desplazamiento horizontal del espécimen durante el ensaye.

**1.5.2. Historial de cargas**

Para el procedimiento de prueba se tuvo que proponer las cargas laterales que se iban a ser adecuado, para analizar los modelos de forma pausada, respecto a su etapa de prueba, sea la etapa elástica como la plástica. Se sugiere en el apéndice A.7 de las NTCDF referentes a mampostería, un protocolo de ensayos, basados en cargas calculadas de esfuerzos de fluencia de la mampostería, en el caso de la etapa elástica en fracciones de este. Para la etapa plástica se recurre a manejar el ensaye por distorsiones, con tal de llevar los modelos al máximo posible de repeticiones de carga.

ESPECIMEN	L <i>cm</i>	t <i>cm</i>	A <sub>T</sub> <i>cm<sup>2</sup></i>
ME1	115	12	1380
ME2	207	12	2484
ME3	210	12	2520
ME4	255	12	3060

*Tabla 1.7. Área transversal bruta por espécimen, contando el área de castillos.*

Para el historial de cargas aplicadas, se baso en la suposición de la cortante de diseño sobre área bruta ( $v_m^*$ ), para lo que a los modelos se les tomo el valor de  $v_m^* = 1.7 \text{ kg/cm}^2$  para ME1 y ME2,  $v_m^* = 3 \text{ kg/cm}^2$  para ME3 y ME4, teniendo variación de la carga axial sobre todos los muros de  $\sigma = 0, 2.5, 5$  y  $10 \text{ kg/cm}^2$  para la etapa elástica, y al final se establecía la carga axial de  $\sigma = 5 \text{ kg/cm}^2$  para la etapa plástica o destructiva.

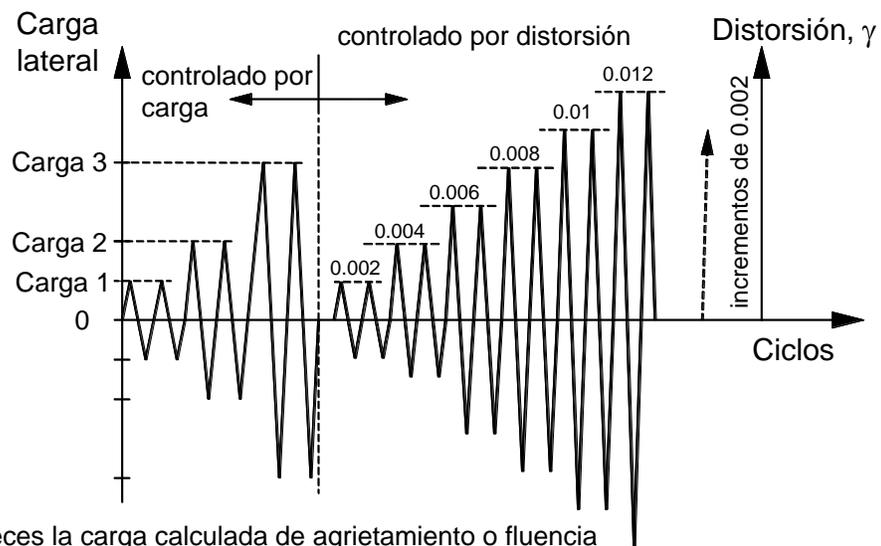
Con los datos de  $v_m^*$ , la carga axial y el área bruta basados en la geometría de los muros, se utiliza la ecuación que recomiendan las NTCDF referentes a mampostería en su capítulo 6.4.2 referente a cargas laterales:

$$V_{mR} = F_R (0.5v_m^* A_T + 0.3P) \leq 1.5F_R v_m^* A_T \tag{1.5}$$

Donde  $F_R = 0.7$  Factor de resistencia recomendado (1)

- $V_{mR}$**  Fuerza cortante de diseño resistente que toma la mampostería (kg)
- $v_m^*$**  Cortante de diseño sobre área bruta, supuesta ( $\text{kg/cm}^2$ )
- $A_T$**  Área bruta de la sección transversal del muro ( $\text{cm}^2$ )
- $P$**  Carga axial sobre el muro (kg)

Estas suposiciones de la fuerza cortante  $V_{mR}$  fueron las que se tomaron como aplicación, con la recomendación de  $\frac{1}{4}$  y  $\frac{1}{2}$  de la carga para aplicación real. Estas aplicaciones fueron cíclicas, están determinados como negativos y positivos de acuerdo a la dirección de aplicación en el historial de cargas. Por ejemplo el ciclo +1, contenía la aplicación de la carga lateral en un sentido y otro que se le denominaba ciclo -1, misma que se repetía en el ciclo +/-2 con solo el  $\frac{1}{4}$  de la carga de  $V_{mR}$  supuesta. Así con los siguientes ciclos se daba un incremento en fracciones de  $V_{mR}$  hasta el valor estimado.



Carga 1 = 0.25 veces la carga calculada de agrietamiento o fluencia  
 Carga 2 = 0.5 veces la carga calculada de agrietamiento o fluencia  
 Carga 3 = carga de agrietamiento o primera fluencia (experimental)

**Fig. 1.43. Historia de cargas laterales y distorsión**

En el momento en que se supera la carga **VmR** de agrietamiento se termina la fase elástica del ensaye, durante este periodo el espécimen se va deteriorando y se hace llegar a la falla total.

A continuación se muestra las tablas resumidas de historial de cargas, cabe señalar que cada ciclo tiene su parte negativa y positiva, de acuerdo a la dirección de la aplicación.

Etapa	Ciclos	Carga Axial $\sigma$ <i>kg/cm<sup>2</sup></i>	VmR <i>kg</i>	Carga Lateral Ejercida <i>kg</i>		
<b>ME1</b>						
<i>Elástica</i>	1-4	$\sigma=0$	1100	275	-	550
	5-8	$\sigma=2.5$	2100	525	-	1050
	9-12	$\sigma=5$	3100	775	-	1550
	13-16	$\sigma=10$	5100	1275	-	2550
<i>Plástica</i>	16-des	$\sigma=5$	3100	775	-	1550
<b>ME2</b>						
<i>Elástica</i>	1-4	$\sigma=0$	1600	400	-	800
	5-8	$\sigma=2.5$	3100	775	-	1550
	9-12	$\sigma=5$	4500	1125	-	2250
	13-16	$\sigma=10$	7300	1825	-	3650
<i>Plástica</i>	16-des	$\sigma=5$	4500	1125	-	2250
<b>ME3</b>						
<i>Elástica</i>	1-4	$\sigma=0$	7000	1750	-	3500
	5-8	$\sigma=2.5$	8900	2225	-	4450
	9-12	$\sigma=5$	10800	2700	-	5400
	13-16	$\sigma=10$	14600	3650	-	7300
<i>Plástica</i>	16-des	$\sigma=5$	10800	2700	-	5400
<b>ME4</b>						
<i>Elástica</i>	1-4	$\sigma=0$	4600	1150	-	2300
	5-8	$\sigma=2.5$	6900	1725	-	3450
	9-12	$\sigma=5$	9200	2300	-	4600
	13-16	$\sigma=10$	13800	3450	-	6900
<i>Plástica</i>	16-des	$\sigma=5$	9200	2300	-	4600

**Tabla 1.8. Cargas laterales aplicadas, resumen de historial de cargas.**