

les en el concreto. Los usos del FRC son muchos y variados. Los usos principales son en trabajos de reparación y de mantenimiento. La decisión para utilizar FRC en nuevas construcciones deberá estar basada en su mayor parte en una justificación económica a largo plazo. La mayoría de los esfuerzos que se han hecho relacionados con el FRC en términos de habla inglesa están coleccionados y resumidos en cuatro excelentes documentos.1-4

## REFERENCIAS

- 1.- ACI Committee 544, "Fiber-Reinforced Concrete, State-of-the-Art," Proceedings Journal of the American Concrete Institute, Diciembre de 1973.
- 2.- Gray, G. H., et al, "Fibrous Concrete-Construction Material for the Seventy Conference Proceedings M-28, U. S. Army Construction Engineering Research Laboratory, Champaign, Illinois, Diciembre 1972, (14 trabajos).
- 3.- Fiber-Reinforced Cement Composites, Technical Report 51.067, The Concrete Society, Cement and Concrete Association, London, Julio 1973.
- 4.- Fiber-Reinforced Concrete, ACI Publication SP-44, 1974 (30 trabajos).

Traducción: Raymundo Rivera Villarreal.  
Revisión de traducción: Oscar González Garza.

## MAMPOSTERIA DE CONCRETO A FLEXION.

Horacio Ramírez de Alba\*

## RESUMEN.

Investigación encaminada a detectar los mejores procedimientos constructivos y las características más apropiadas del mortero, refuerzo y concreto -- fluido en la mampostería de concreto.

Para esto se parte del estudio experimental de 54 vigas de bloques de concreto con refuerzo interior solicitadas por carga concentrada en el centro -- del claro. Los bloques usados cumplen con las normas de la DGN y se pretende que sean representativos de los comúnmente usados en México.

Con el propósito de aportar datos para el diseño de este tipo de -- elementos, se hace una comparación de los datos obtenidos en los ensayos con respecto a los obtenidos mediante el cálculo.

\* Investigador del Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C.

MAMPOSTERIA DE CONCRETO A FLEXION.

Con esta investigación la que presentamos ahora como conferencia, iniciamos un ciclo para dar a conocer cuál es el comportamiento de la mampostería de concreto como elemento resistente a cargas. El tema es importante, pues en la actualidad hay una práctica generalizada de utilizar la mampostería de concreto como material de relleno. Muchos piensan que los bloques de concreto son de baja calidad, pues desconocen las propiedades del material. Hay, sin embargo, fabricantes que producen bloques, los cuales pueden ser sometidos satisfactoriamente a las pruebas que exigen las normas de calidad.

Cuando los constructores utilizan la mampostería de concreto como material de relleno, desperdician sus calidades y limitan su aplicación. La solución radica en detectar los procedimientos constructivos más adecuados, y en definir las características del mortero, refuerzo y concreto fluido en la mampostería del concreto a flexión.

Con tal propósito, se realizó un estudio experimental sobre el comportamiento de 54 vigas de bloques de concreto con refuerzo interior y solicitadas por carga concentrada en el centro del claro. Los bloques utilizados cumplían con las normas que exige la Dirección General de Normas, y eran representativos de los que se usan en México.

Las vigas estaban formadas por varias hiladas de bloques de concreto; se las puede utilizar en dinteles e, incluso, en traves de cierta importancia siempre y cuando los bloques tengan la calidad adecuada. Con el objeto de aportar datos para el diseño de este tipo de elementos, se hizo un análisis comparativo de la información obtenida en los ensayos, y de la que se obtuvo mediante el cálculo de acuerdo con los reglamentos existentes. Sucintamente, resumiré los factores que se ponderaron en la investigación.

Variables y nomenclatura.

Dentro del conjunto de variables que afectan el comportamiento de los elementos sujetos a flexión, se consideró el número de hiladas, el refuerzo horizontal en las juntas de mortero, la forma del refuerzo por cortante, la resistencia del mortero y la resistencia del concreto fluido. La primera variable: número de hiladas, se introdujo para determinar en qué cantidad contribuyen a la flexión de tal manera que se consideren como una viga, y hasta qué altura la viga se comporta a flexión simple o como viga peraltada. Otras variables, como las resistencias del mortero y del concreto fluido, se analizaron por ser los materiales que permiten que la mampostería del concreto trabaje como unidad. Debido a que el refuerzo en las juntas del mortero evita agrietamientos por contracciones, se investigó la influencia del acero a flexión. Finalmente, como la forma y la cantidad de refuerzo transversal afectan directamente la capacidad de carga de los elementos sujetos a flexión, también se los incluyó como otra de las variables.

Con el objeto de no alargar el estudio, se le dio un valor constante a una serie de variables; las que conforman este grupo son: resistencia del mortero, resistencia del refuerzo longitudinal, cantidad de refuerzo longitudinal y resistencia del refuerzo por cortante.

La nomenclatura se integró dividiendo las 54 vigas en tres grupos de 18, correspondientes a dos, tres y cuatro hiladas. Cada viga se identificó con una letra seguida de dos números. La letra indicaba el número de hiladas (D = 2, T = 3 y C = 4), y el primer número el tipo de refuerzo que se utilizó. Se elaboraron

tres vigas con cada tipo de refuerzo para tener datos representativos de su comportamiento, y el segundo número indicaba a cuál de los tres grupos correspondía la viga. Para ver detalles de la colocación del refuerzo se puede ver la figura 3.

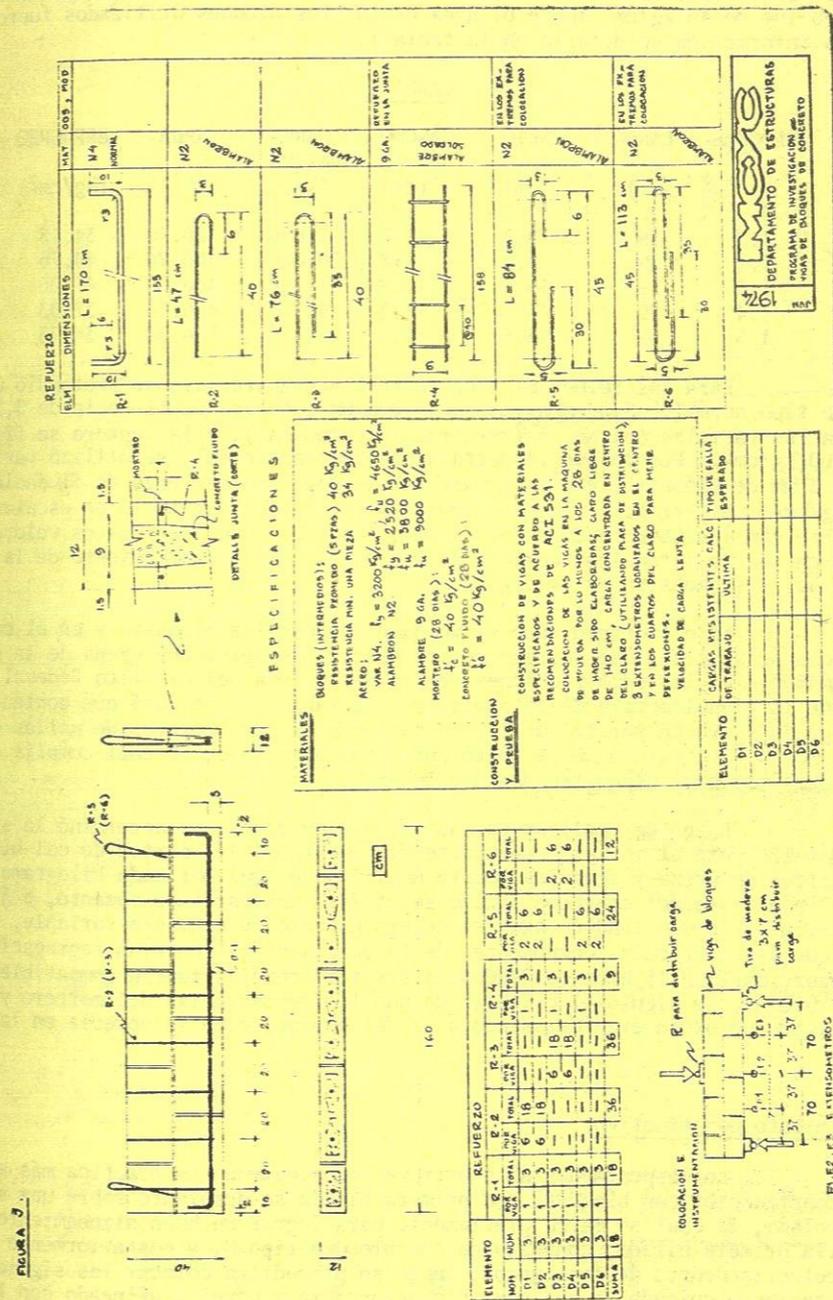


FIGURA 3

### Los pasos en la construcción.

Para la construcción de las vigas, se utilizaron bloques enteros, enteros, medios y del tipo U. Como todos provenían del mismo fabricante, consideró suficiente muestrear el lote una sola vez. La resistencia promedio que se obtuvo fue de 40 kg/cm<sup>2</sup> sobre el área bruta; los bloques utilizados fueron como, y la información se detalla en la tabla 1.

TABLA 1

BLOQUES	LARGO (cm)	ALTO (cm)	ANCHO (cm)	CARGA MAXIMA (kg)	AREA (cm <sup>2</sup> )	ESFUERZO (kg/cm <sup>2</sup> )
1.1	39	18.8	11.7	15,600	456.30	34.18
1.2	39	18.7	11.8	20,600	460.20	44.76
1.3	39	18.8	11.8	21,200	460.20	46.06
1.4	39	18.9	11.7	16,900	456.30	37.03
1.5	39	18.8	11.7	15,850	556.30	34.73

Para los refuerzos longitudinal y transversal, se pretendió usar acero de tipo normal. Sin embargo, se obtuvo un esfuerzo de fluencia de 3,200 kg/cm<sup>2</sup> para las varillas del No. 4 (refuerzo longitudinal), y la ruptura se fijó a los 4,500 kg/cm<sup>2</sup>. Por lo que respecta al acero transversal, se utilizó varilla de 6.3 mm de diámetro; con este material se logró un esfuerzo de fluencia de 2,520 kg/cm<sup>2</sup>. El refuerzo para las juntas horizontales consistió en escalerilla de alambre con resistencia de 9,000 kg/cm<sup>2</sup>, soldado. Con todos estos valores se calcularon las resistencias teóricas de las vigas. El comportamiento de la varilla del No. 4 se muestra en la figura 1.

En el mortero -que sirve para juntar los bloques- y en el concreto fluido que se utilizó como relleno de los huecos, se aprovechó arena de la que se usa comúnmente en las construcciones dentro de la zona del Distrito Federal. Al verificar la granulometría de la arena -ver la tabla 2-, se notó que contenía grsados gruesos, razón por la cual se la tuvo que cribar a través de mallas del No. 8 y del No. 4. De este modo se logró una arena aceptable, la cual cumplía con las normas para morteros especificadas por la ASTM.

Luego de realizar varias pruebas de cubos, se determinó la siguiente proporción para el mortero: una parte de cemento, 1 1/4 partes de cal hidratada y 6 3/4 partes de arena y aproximadamente un litro de agua por cada kilogramo de cemento. En el caso del concreto fluido se utilizó una parte de cemento, 6 3/4 partes de arena y la cantidad de agua se determinó como un elemento variable, de tal suerte que las partículas componentes de la mezcla no presentaran segregación. Estas proporciones se fijaron cuidando que sus resistencias fueran compatibles con las del bloque; se siguió el criterio de que las resistencias del mortero y el concreto fluido no excedieran demasiado a la del bloque, como se aprecia en la tabla 3.

### Procedimiento constructivo.

Los especímenes se construyeron, siguiendo la práctica más aceptada en la construcción con bloques. La primera hilada se desplantó sobre una superficie nivelada, la cual se marcó previamente para lograr un buen alineamiento. Se juntó la primera hilada, constituida con bloques tipo U, y posteriormente se colocó el refuerzo dentro de los huecos; luego se procedió a colocar las siguientes hiladas, teniendo cuidado de que cada bloque quedara a nivel y alineado con los bloques más. Para realizar esta operación se recurrió a una regla de nivel grande; esto sirvió, además, para rectificar la distancia correcta entre las juntas.

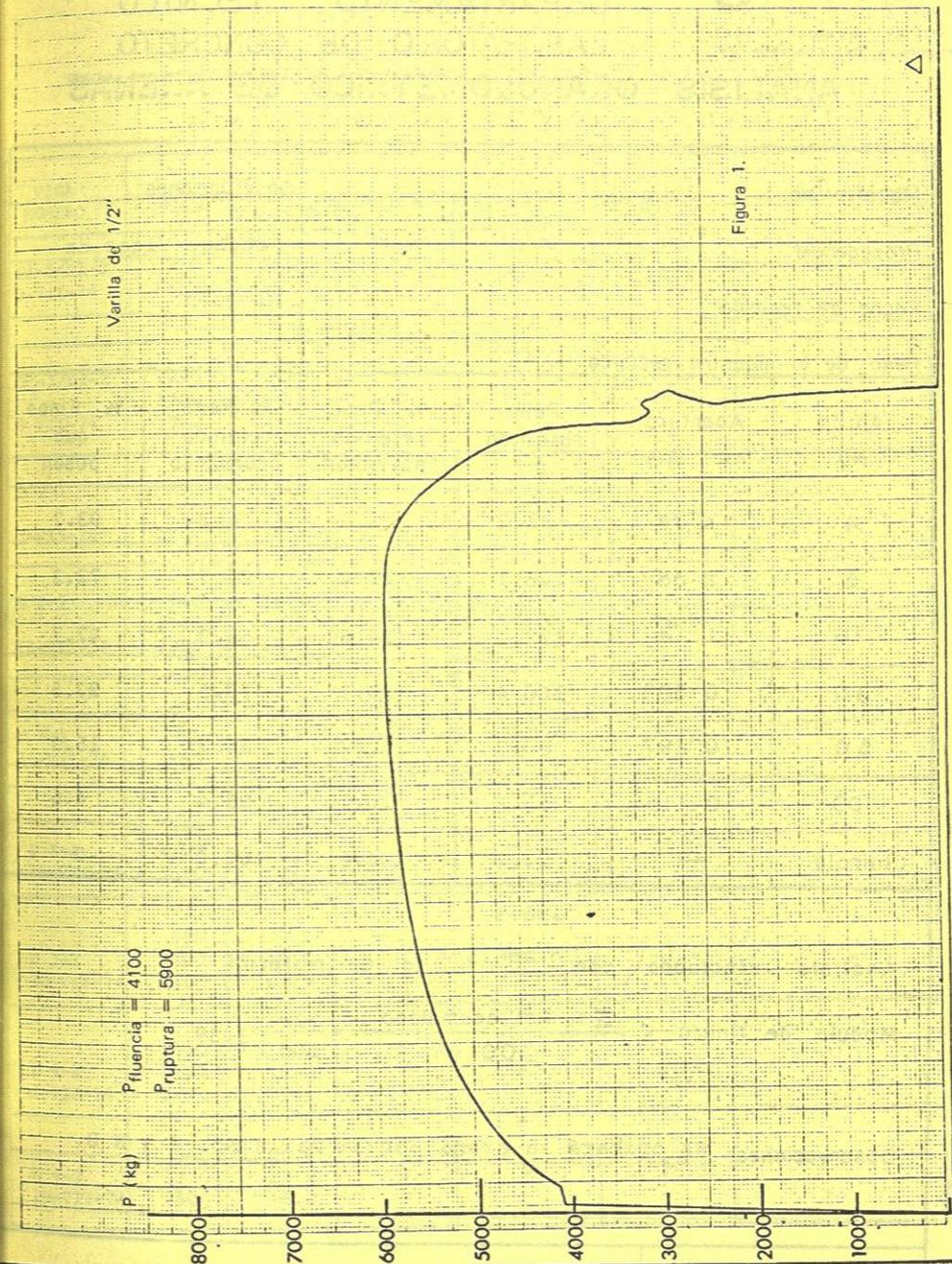




TABLA 2

DEPARTAMENTO TECNICO  
LABORATORIO DE CONCRETO  
ANALISIS GRANULOMETRICO DE ARENAS

Muestra No. 1						Observaciones:
Procedencia						Pruebas Vigas de
Fecha de recibido						bloques
Peso de la muestra recibido						
Malla No.	Abertura en mm	Peso retenido g	% Peso retenido individual	% Peso retenido acumulado	% Finos que pasan	
4	4.76	31.2	06.3	6.3	93.7	
8	2.38	106.1	21.4	27.7	72.3	
16	1.19	122.1	24.6	52.3	47.7	
30	0.595	100.4	20.2	72.5	27.5	
50	0.297	60.3	12.2	84.7	15.3	
100	0.149	53.2	10.7	95.4	4.6	
Charola	—	23.2	04.6	100.0	0	
496.5						
Análisis efectuado con 496.5 g de material						
Módulo de finura = $\frac{\sum \% \text{ Ret. acumulado}}{100} = \frac{339}{100} = 3.39$						
Observaciones: Se cribará la arena por la malla No. 4 y N 8.						
Fecha 4 Jul. 74		Laboratorista Miguel Angel		Aprobó Ing. Alamo		

FORMA

TABLA 3 .- RESISTENCIAS DEL MORTERO Y CONCRETO FLUIDO UTILIZADO  
EN LA CONSTRUCCION DE ALGUNAS VIGAS DE DOS HILADAS

VIGA NUMERO	RESISTENCIA DEL MORTERO			RESISTENCIA CONCRETO FLUIDO A 28 DIAS	OBSERVACIONES
	CARGA (Kg)	ESFUERZO Kg/cm <sup>2</sup>	EDAD A LA PRUEBA dias		
D1-1/D1-2 5-VII-74	975	37.8	3	55	87.8
	1420	55	7		
D1-3/D2-2 9-VII-74	1210	46.9	8	76	74.2
	1200	46.5	8		
	1960	76.0	42		
D 2-1 3-VII-74	350	13.6	3	38.7	65.9
	700	27.1	7		
	1000	38.7	33		
D 2-3 18-VII-74	740	28.6	4	73.6	41.1
	1040	40.3	7		
	1900	73.6	32		
D 3-1 10-VII-74	900	34.8	7	87.6	57.9
	900	34.8	7		
	2260	87.6	44		
D 3-2 26-VII-74	800	31.0	3	62.0	46.8
	1300	50.4	7		
	1600	62.0	55		
D 3-3 30-VII-74	780	30.2	3	62.0	47.6
	1260	48.8	8		
	1600	62.0	51		
D 4-1 4-VII-74	1000	38.7	5	67.4	67.7
	1260	48.8	7		
	1740	67.4	33		
D 4-2 19-VII-74	940	36.4	3	96.9	28.5
	1320	51.2	7		
	2500	96.9	48		

El mortero que se usó, fue mezclado con pala sobre una charola metálica. Se elaboró la cantidad suficiente para construir toda una viga, garantizando de este modo la uniformidad de las juntas en cada espécimen. Del mismo mortero se elaboraron tres cubos de muestra, con el objeto de llevar un control de calidad; los cubos se curaron en un cuarto de curado con humedad y temperatura controlada y se ensayaron a los tres y a los siete días, así como en el día que se realizó la prueba con el espécimen. Terminada la pieza, se acabaron las juntas de mortero con el objeto de dar una apariencia agradable al espécimen y hacer más notoria la aparición de grietas durante su ensaye.

Transcurridas 24 horas a partir del momento en que se juntaron los bloques, los especímenes se rellenaron con concreto fluido, el cual fue elaborado en una revoladora. Se obtuvo un cubo de muestra. Con el objeto de tomar en cuenta la absorción de agua por el bloque seco; se formó el molde para el cubo de muestra con cuatro bloques, dispuestos como se aprecia en la figura 2. Rellenados los huecos, se procedió a marcar el espécimen con la fecha y la clave correspondiente; luego el espécimen se cubrió con un plástico y se curó durante 24 horas.

A los siete días de haberse elaborado los especímenes, se almacenaron hasta el día de la prueba; durante ese lapso no se movieron del lugar donde fueron construidos para evitar daños prematuros. Con el objeto de facilitar el traslado de las vigas del lugar de construcción al de almacenamiento, así como para izarlos a la máquina de prueba, se dejaron ganchos en los extremos de cada una de ellas.

#### La forma de ensaye y el procedimiento.

Para ensayar los especímenes, se utilizó una máquina de Prueba Universal Amsler 100 ton f tipo SZD; su capacidad de carga es de 100 toneladas, pero cambiando los resortes se pueden fijar 50, 20 ó 10 toneladas. La máquina está formada de una viga metálica que sirve como sostén de los apoyos libres donde descansan los especímenes de prueba. La viga metálica, ya con el espécimen, se puede desplazar sobre unos rieles hasta el émbolo de aplicación de la carga. Los apoyos libres, que consisten en dos rodillos de acero, se desplazan sobre la viga metálica para proporcionar claros variables. En esta serie de pruebas se utilizó un claro de 1.40 m. Para la aplicación de la carga se cuenta con un cabezal superior, el cual está dotado de un rodillo de acero, similar a los de la viga inferior, que se hace coincidir con el centro del claro del espécimen.

La carga fue aplicada en el centro del claro con el objeto de tener una combinación de esfuerzos normales y cortantes similar a la que se presenta en la práctica. Para no tener problemas de esfuerzos de apoyos altos y evitar fallas locales por penetración, se colocó una placa en cada rodillo de aplicación de carga, para ampliar la superficie de apoyo. El control de las deformaciones del espécimen durante la etapa de carga, se realizó con tres extensómetros; éstos se colocaron aproximadamente en los cuartos y uno en el centro del claro. La lectura de los extensómetros, se realiza durante la prueba a cada intervalo de carga; además como la máquina tiene un dispositivo que grafica cargas contra deformaciones, se pudo determinar el comportamiento del espécimen, y comparar la información obtenida con los extensómetros y el graficador. Lo anterior se puede apreciar en la figura 4.

La velocidad con que se aplicó la carga, permitió marcar y controlar la aparición de las grietas. Estas se indicaron con números progresivos, con el objeto de observar en las fotografías su propagación, así como la aparición de otras.

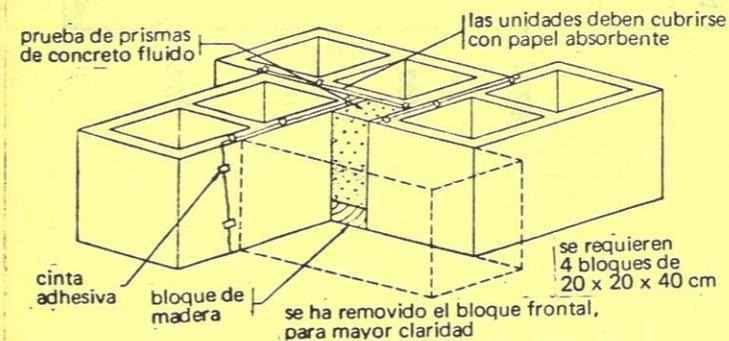
#### Los resultados.

Los resultados de los extensómetros se pasaron a origen cero y se

T A B L A 1

BLOQUES	LARGO (cm)	ALTO (cm)	ANCHO (cm)	CARGA MAXIMA (Kg)	AREA (cm <sup>2</sup> )	ESFUERZO (Kg/cm <sup>2</sup> )
1.1	39	18.8	11.7	15 600	456.30	34.18
1.2	39	18.7	11.8	20 600	460.20	44.76
1.3	39	18.8	11.8	21 200	460.20	46.06
1.4	39	18.9	11.7	16 900	456.30	37.03
1.5	39	18.8	11.7	15 850	556.30	34.73

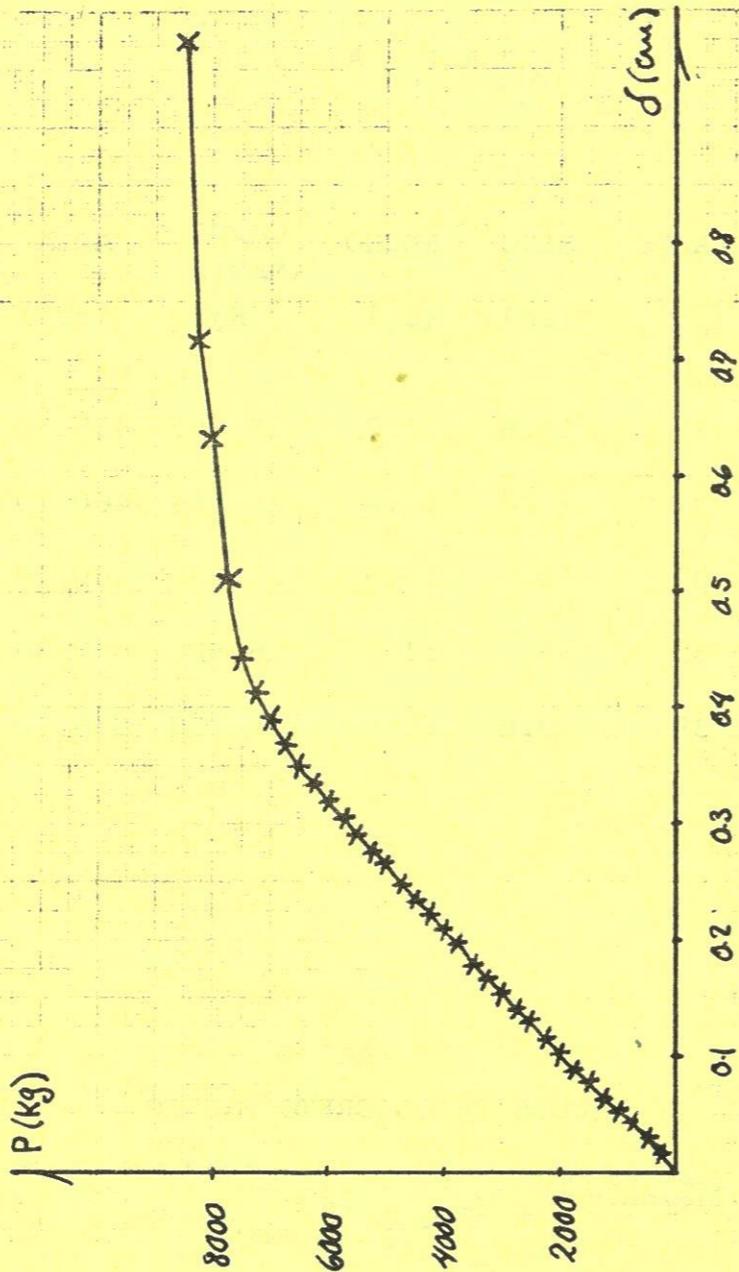
FIGURA 2  
CUBO DE CONCRETO FLUIDO



concreto 73.4 kg/cm<sup>2</sup>  
 mortero 65.9 kg/cm<sup>2</sup>

+ 2-1

Figura 4



transformaron al sistema métrico decimal. Como ejemplo presentamos dos tablas: -- una original y una corregida, las cuales se identifican con los número 4 y 5. Al realizar esos cambios, teniendo en cuenta que las deformaciones corresponden a las flechas de la viga para las cargas correspondientes, se pudo obtener el diagrama P - Δ en forma simple. El diagrama P - Δ del extensómetro central se comparó con el obtenido mediante el graficador, tratando de inferior el grado de precisión en la toma de lecturas. En la figura 4 se presenta un diagrama P - Δ a modo de ejemplo.

Para obtener la curvatura en la sección central, se utilizaron las lecturas de los tres extensómetros considerando la distancia que hay entre ellos. En la fórmula siguiente se expresa esa relación:

$$\phi = \frac{\Delta_1}{2d_2} \left( \frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2} \right) + \frac{\Delta_2}{2d_2^2}$$

donde:

- φ - curvatura de la sección central.
- Δ<sub>1</sub> - promedio de las lecturas de los extensómetros colocados en los cuartos del claro.
- Δ<sub>2</sub> - lectura del extensómetro central.
- d<sub>1</sub> - distancia del apoyo al primer extensómetro
- d<sub>2</sub> - distancia entre los extensómetros central y el anterior.

La forma como se obtuvo la expresión anterior, se determina en el anexo 1.

El momento actuante en la sección central para todas las etapas de carga, se puede obtener con la carga P registrada por la máquina, aplicando la expresión para el momento flexionante en una viga apoyada con carga en el centro del claro. Su representación es: M = PL/4. Los valores φ y M, por otra parte, también se graficaron, y se presenta un ejemplo en la figura 5.

Cálculo de cargas y cargas elásticas.

La carga elástica de cada espécimen, se calculó a partir del momento resistente de la sección. Este fue valuado con base en las siguientes ocho hipótesis:

- 1.- Las secciones son planas antes y después de la deformación.
- 2.- Los esfuerzos son proporcionales a las deformaciones.
- 3.- El módulo de elasticidad es constante a través de todo el elemento.
- 4.- Los bloques de concreto no resisten tensiones.
- 5.- El calor del elemento es más grande que su peralte.
- 6.- Los bloques de concreto, el mortero, el concreto fluido y el acero de refuerzo se combinan en un elemento homogéneo e isótropo (lo cual quiere decir que las dos, tres o cuatro hiladas se