

5521

---

FACULTAD DE INGENIERIA

**Desarrollo de Tecnología para Microconcreto  
Ensayos Preliminares**

**DESCARTE**

**T E S I S**

Que para obtener el título de :

**I N G E N I E R O C I V I L**

**p r e s e n t a :**

**ESTEBAN AARON BARRERA HERNANDEZ**





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A mis queridos padres,

Sr. Esteban Barrera de Alba.  
Sra. Alicia Hernández de Barrera.

Con inmenso cariño, deseando  
que este trabajo sea para ellos el  
cumplimiento de uno de sus más  
grandes anhelos.

A mis compañeros y amigos.

Agradezco al Instituto de Ingeniería la oportunidad de realizar este estudio, especialmente al personal que intervino, directa e indirectamente, en la elaboración de esta tesis.

Al M. en I. Oscar Hernández Basilio, con aprecio y gratitud por su ayuda desinteresada en la dirección con la cual fué posible llevar a cabo el presente trabajo.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

Al Pasante señor ESTEBAN AARON BARRERA HERNANDEZ,  
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor Ing. Oscar Hernández Basilio, para que lo desarrolle como tesis en su Examen Profesional de Ingeriero CIVIL.

"DESARROLLO DE TECNOLOGIA PARA MICROCONCRETO.  
ENSAYES PRELIMINARES"

1. Introducción
2. Análisis dimensional
3. Materiales
  - a) Microconcreto
  - b) Acero
4. Ensayes de adherencia
5. Ensayes de modelos
6. Conclusiones

Ruego a usted tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá -- prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de -- seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la -- Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU  
México, D. F., a 30 de julio de 1975  
EL DIRECTOR

ING. ENRIQUE DEL VALLE CALDERON

EVC/GSA/glt.

# C O N T E N I D O

		Pág.	
CAPITULO	1	Introducción.	1
CAPITULO	2	Análisis Dimensional.	3
CAPITULO	3	Materiales.	10
	3.1	Microconcreto.	10
	3.2	Acero.	15
CAPITULO	4	Ensayes de Adherencia.	17
CAPITULO	5	Ensaye de Modelos.	20
	5.1	Consideraciones generales.	20
	5.2	Procedimiento de ensaye.	22
	5.3	Ensaye de vigas en flexión.	23
	5.4	Ensaye de vigas con falla por cortante.	26
CAPITULO	6	Conclusiones.	28
		Referencias.	30
		Tablas y figuras.	31

## 1. INTRODUCCION.

Durante los últimos años se ha incrementado el estudio de modelos para una investigación sistemática de fenómenos estructurales y diseño de estructuras especiales.

Los modelos estructurales pueden ser usados ventajosamente en los campos de educación, investigación, desarrollo, diseño y construcción. En suma, para proveer datos sobre patrones generales de comportamiento estructural y para comprobar experimentalmente los resultados de procedimientos analíticos.

Los ensayos de modelos a escala no deben tomarse solo como un trabajo de investigación sino que tienen ventajas prácticas y económicas cuando las estructuras prototipo son muy costosas.

Este estudio comprende la primera parte de un proyecto cuyo objetivo es estudiar mediante modelos, diferentes variables que no ha sido posible estudiar en ensayos a escala natural por el costo que esto representa y por la dificultad de llevarlos a cabo.

Este trabajo tiene como finalidad desarrollar la tecnología necesaria para llegar a dicho fin.

El desarrollo tecnológico de los modelos implica la fabricación de los materiales y equipos necesarios para reproducir y medir las características del prototipo.

Se desarrollaron morteros cuyo comportamiento es similar al concreto prototipo, asimismo, se determinó para los aceros de refuerzo el tratamiento necesario para reproducir un esfuerzo de fluencia predeterminado. En otras palabras, los materiales que se emplearon en los modelos tienen las mismas características esfuerzo-deformación que el concreto y acero prototipo.

En el capítulo 2 se hace un breve resumen sobre análisis dimensional, y de la forma de proceder para obtener las leyes de similitud que nos permitirán extrapolar al prototipo los resultados del ensaye de los modelos.

En el capítulo 3 se describe la forma como se desarrolló la fabricación de los materiales usados en los modelos. Se presentan las granulometrías empleadas y los proporcionamientos adecuados para lograr una resistencia predeterminada.

En el capítulo 4 se describen ensayes de adherencia en modelos y se comparan los resultados con ensayes en prototipos.

El ensaye en modelos de vigas se presenta en el capítulo 5. Ahí se incluyen vigas subreforzadas y sobreforzadas, tanto simple como doblemente armadas.

En el mismo capítulo se incluyen los ensayes efectuados en vigas sin refuerzo por cortante.

Se comprueba que se puede reproducir el comportamiento y forma de agrietamiento tanto para elementos con fallas por flexión como por cortante.

## 2. ANALISIS DIMENSIONAL .

2.1 Para interpretar los resultados del ensaye de modelos es necesario hacer uso del análisis dimensional y de refinadas técnicas de medición.

La forma de modelar una estructura puede ser a través de modelos analíticos o modelos experimentales, la ventaja de los modelos experimentales es que pueden tomar en cuenta muchos factores indeterminados que se desprecian en los procedimientos analíticos.

La construcción de modelos experimentales tiene varios objetivos:

- a) Analizar el comportamiento estructural; por ejemplo: la forma de la estructura bajo la acción de cargas, puntos de inflexión, modos de pandeo y colapso, etc. También pueden ser útiles para demostrar la eficiencia de una cierta forma estructural.
- b) Verificar la bondad de un procedimiento analítico de análisis.
- c) Predecir el comportamiento de estructuras especiales.

d) Para diseño de estructuras. Esto todavía no es aceptado por muchos códigos como un procedimiento convencional de diseño.

e) Llegar a recomendaciones de diseño y constructivas.

Los modelos se clasifican en dos categorías: Directos e Indirectos.

Los modelos directos son empleados para dar completa similitud de comportamiento hasta el colapso; los indirectos se usan sólo cuando se requiere conocer el comportamiento elástico de la estructura.

Los resultados obtenidos del modelo deben extrapolarse al prototipo; esta extrapolación se efectúa mediante los llamados factores de escala.

Estos factores de escala se obtienen de las leyes de similitud, las que se pueden deducir de dos maneras. En una de ellas, limitada sólo al caso de condiciones estáticas, haciendo uso de las leyes de la mecánica estructural, por ejemplo: equilibrio estático, compatibilidad de deformaciones y relaciones de esfuerzo-deformación. La segunda forma es el análisis dimensional, en el cual pueden incluirse gran cantidad de variables. Después de que se han formulado las variables que gobiernan al fenómeno, el análisis dimensional nos permite obtener una solución parcial y en algunos casos total de cualquier problema.

El propósito básico del análisis dimensional es relacionar las características del modelo con las del prototipo.

Toda variable puede ponerse en función de ciertas entidades físicas como son:  $F$ ,  $L$ ,  $t$ ,  $T$ , entre otras, que representan respectivamente fuerza, longitud, tiempo y temperatura.

Es de utilidad formar productos adimensionales entre las variables; si además son independientes entre sí, el conjunto de productos adimensionales se dice que es completo.

Toda ecuación que relaciona cantidades físicas necesita ser dimensionalmente homogénea, si esto se cumple, se puede hacer uso del teorema Pi de Buckingham que establece en términos generales que el número de productos adimensionales, linealmente independientes, requeridos para expresar una relación entre las variables de cualquier fenómeno es igual al número de variables menos el número de las dimensiones (cantidades físicas) en las que se miden esas variables, y que la ecuación dimensionalmente homogénea, puede ser reducida a una relación entre un conjunto compuesto de productos adimensionales de las variables.

Para la aplicación del análisis dimensional a modelos, y con el fin de determinar las leyes de similitud, es necesario hacer que el valor numérico de cada uno de los productos adimensionales sea el mismo en el modelo que en el prototipo, siendo indispensable que las variables importantes que influyen en el problema sean tomadas en cuenta.

Las variables que se presentan en un problema muy general pueden ser las siguientes:

- a)  $x, y, z$ , coordenadas de los puntos de la estructura.
- b)  $u$ , deformación de cualquier punto de la estructura.
- c)  $\nabla$ , esfuerzo del material en cualquier punto de la estructura.
- d)  $\epsilon$ , deformación unitaria del material.
- e)  $E$ , módulo de elasticidad del material que forma la estructura.
- f)  $\rho$ , la densidad del material.
- g)  $g$ , aceleración de la gravedad.
- h)  $P$ , fuerza aplicada a la estructura.
- i)  $p$ , presión aplicada a la estructura.
- j)  $L$ , dimensión de la estructura.
- k)  $\nu$ , módulo de Poisson.
- l)  $\alpha$ , coeficiente de expansión térmica del material.
- m)  $T$ , temperatura de la estructura.
- n)  $t$ , tiempo.

Estas son 16 variables importantes en el estudio de estructuras y que al mismo tiempo son independientes.

Como toda ecuación que relaciona variables físicas es dimensionalmente homogénea, tenemos que:

$$f(\nabla, \varepsilon, E, \nabla, L, P, p, u, x, y, z, \rho, g, \alpha, t, T) = 0$$

Podemos ahora formar las doce ( $16-4 = 12$ ) productos adimensionales independientes, siendo las dimensiones  $F, L, t, T$ ; cualquier otro producto será una combinación lineal de estos;  $\varepsilon$  y  $\nabla$  son en sí mismos productos adimensionales, por lo que falta determinar los restantes productos; para ello se formará una tabla con las variables expresadas en las dimensiones básicas.

	$\nabla$	$\varepsilon$	$E$	$\nabla$	$L$	$U$	$X$	$Y$	$Z$	$P$	$p$	$\rho$	$g$	$\alpha$	$T$	$t$
$F$	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
$L$	-2	0	-2	0	1	1	1	1	1	0	-2	-4	1	0	0	0
$t$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	-2	0	0	1
$T$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0
	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$	$C_7$	$C_8$	$C_9$	$C_{10}$	$C_{11}$	$C_{12}$	$C_{13}$	$C_{14}$	$C_{15}$	$C_{16}$

Donde  $C_n$  es el exponente de la variable en el producto adimensional que se quiera formar; para que se cumpla que el exponente de la dimensión básica sea nulo es necesario que se cumpla lo siguiente:

- 1)  $C_1 + C_3 + C_{10} + C_{11} + C_{12} = 0$  para  $F$
- 2)  $-2C_1 - 2C_3 + C_5 + C_6 + C_7 + C_8 + C_9 - 2C_{11} - 4C_{12} + C_{13} = 0$  para  $L$
- 3)  $2C_{12} - 2C_{13} + C_{16} = 0$  para  $t$
- 4)  $-C_{14} + C_{15} = 0$  para  $T$

Se forman así cuatro ecuaciones, y se tienen conocidos los valores de  $C_2$  y  $C_4$ , que son nulos; quedando por tanto diez constantes a determinar, que son:

$$C_1, C_5, C_6, C_7, C_8, C_9, C_{10}, C_{11}, C_{12} \text{ y } C_{14}$$

Para determinar el valor de ellos se da un valor unitario a una y cero a las restantes; procediendo de esta forma se encuentran los productos adimensionales.

Por ejemplo:

$$C_5 = C_6 = C_7 = C_8 = C_9 = C_{10} = C_{11} = C_{12} = C_{14} = 0$$

$$1 + C_3 + 0 + 0 + 0 = 0 \quad \therefore C_3 = -1 \text{ de la ec. 1}$$

$$-2 - 2C_3 + 0 + \dots + 0 + C_{13} = 0$$

$$-2 + 2 + C_{13} = 0 \quad \therefore C_{13} = 0 \quad \text{de la ec. 2}$$

$$0 - 2C_{13} + C_{16} = 0 \quad \therefore C_{16} = 0 \quad \text{de la ec. 3}$$

$$-0 + C_{15} = 0 \quad \therefore C_{15} = 0 \quad \text{de la ec. 4}$$

Luego, el primer producto adimensional es el correspondiente a  $C_1 = 1$  y  $C_3 = -1$

$C_1$  es el exponente de  $\nabla$  y  $C_3$  el de  $E$ , por lo que el el producto adimensional formado es  $(\nabla)^1 (E)^{-1} = \frac{\nabla}{E}$

En igual forma se encuentran :

$$\frac{\nabla}{E}$$

$$\frac{e g^2 t^2}{E}$$

$$\frac{L}{gt^2}$$

$$\propto T$$

$$\frac{U}{gt^2}$$

$$\frac{x}{gt^2}$$

$$\frac{y}{gt^2}$$

$$\frac{z}{gt^2}$$

$$\frac{P}{Eg^2 t^4}$$

$$\frac{p}{E}$$

Agregando a estos productos los adimensionales por naturaleza:  $E$  y  $\nabla$ .

Algunas de estas relaciones se pueden expresar en la siguiente forma:

$$\frac{x}{gt^2} = \frac{x}{L} \quad \frac{y}{gt^2} = \frac{y}{L} \quad \frac{z}{gt^2} = \frac{z}{L}$$

$$\frac{u}{gt^2} = \frac{u}{L} \quad \frac{P}{Eg^2t^4} = \frac{P}{EL^2} \quad \frac{p}{E} = \frac{pL^2}{P}$$

$$\frac{eg^2t^2}{E} = \frac{egL}{E}$$

Por lo que se puede decir que para el caso más general, existe una función  $\varphi$ , tal que cumple con:

$$1 \quad 2 \quad 3 \quad 4 \quad 5 \quad 6 \quad 7 \quad 8 \quad 9 \quad 10 \quad 11 \quad 12$$

$$(\varepsilon, \nabla, \frac{x}{L}, \frac{y}{L}, \frac{z}{L}, \frac{L}{gt^2}, \frac{u}{L}, \frac{P}{EL^2}, \frac{p}{E}, \frac{egL}{E}, \frac{\sigma}{E}, \alpha T) = 0$$

6

$$(\varepsilon, \nabla, \frac{x}{gt^2}, \frac{y}{gt^2}, \frac{z}{gt^2}, \frac{L}{gt^2}, \frac{u}{gt^2}, \frac{P}{Eg^2t^4}, \frac{pL^2}{P}, \frac{eg^2t^2}{E}, \frac{\sigma}{E}, \alpha T) = 0$$

Para la similitud en prototipo y modelo, el valor numérico de estos productos adimensionales deben ser los mismos, relacionándolos se pueden determinar los factores de escala que más convengan, del mismo modo, se pueden tomar en cuenta sólo las variables que más influyan en el comportamiento de las estructuras.

La relación entre el material del modelo y del prototipo esta definida por 1, 2 y 11

Si el material no es distorsionado, la reducción en cualquier dirección será la misma y las condiciones 3, 4 y 5 se reducen a  $L_p = S_L L_m$ , donde  $S_L$  es el factor de escala de longitudes.

La condición 12 se refiere a las propiedades térmicas del material en modelo y prototipo. La condición 7 sirve para relacionar las mediciones en el modelo con las

que se tendrían en el prototipo. Las condiciones 8, 9 y 11 son productos adicionales que engloban a las fuerzas en el modelo. 10 es importante si el peso propio de la estructura es un factor determinante en el comportamiento de la misma.

### 3. M A T E R I A L E S .

#### 3.1 Microconcreto.

El concreto es una mezcla de grava, arena, cemento y agua que constituye un bloque monolítico cuyas características acción-respuesta están dadas por su curva esfuerzo-deformación unitaria.

Las propiedades de resistencia de un concreto están dadas básicamente por dos parámetros que son las relaciones agua-cemento y agregado-cemento; en menor grado se ve influida por la relación agregado fino a grueso.

Para efectuar un proporcionamiento de concreto es necesario contar con gráficas o tablas que suministren, para una cierta granulometría, la variación en resistencia debida a los dos parámetros antes mencionados.

Al reducir a escala el tamaño de los agregados de granulometrías prototipo y en cierta forma el del cemento (se empleó cemento tipo III que tiene un grado de molienda más fino que el normal), se tiene como resultado un mortero que, si reproduce las características de resistencia y la curva  $\sigma$ - $\epsilon$  en compresión del concreto, se le denomina microconcreto.

La primera etapa de este estudio se enfocó a encontrar diversos proporcionamientos de agregados, cemento y agua que tuvieran un comportamiento similar al concreto, es decir, que su curva esfuerzo-deformación sea semejante y que la relación entre la resistencia a tensión a la resistencia en compresión sea del mismo orden que la que se tiene en concretos prototipo.

Se utilizaron dos granulometrías prototipo con tamaño máximo de agregado de 3/4", y cada una se escaló en dos valores (1:4 y 1:8). La granulometría No. 1 se obtuvo tomando como base estudios de concretos a escala natural realizados en el laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería de la UNAM. La granulometría No. 2 se derivó de estudios del mismo tipo realizados en la Universidad de Illinois. En la tabla 1 se muestran ambas granulometrías.

Como es de comprenderse, en algunas ocasiones no se tenía el tamaño de malla necesario, por lo que el porcentaje retenido correspondiente se asoció a la más cercana inferior. En el caso de la escala más pequeña, se empleó material de menor diámetro que el correspondiente a la malla # 200, pero en un porcentaje reducido (5%).

Con las dos granulometrías antes mencionadas se ensayaron diversas relaciones agua/cemento, a fin de obtener la variación de la resistencia con estas variables; así como el módulo de elasticidad de las mezclas.

El proporcionamiento de las mezclas se hizo por peso empleando una báscula con aproximación de 0.1 gr., en virtud de que el peso de las mezclas era pequeño (de 0.5 a 4.0 kg.); los agregados, así como el agua empleada en las mezclas, se vigiló que no estuviera contaminada con otros materiales.

El procedimiento para elaborar las mezclas de microconcreto era el siguiente: 1) se pesaban los agregados y se depositaban y mezclaban en una charola. 2) se pesaba el cemento y se mezclaba con los agregados. 3) se pesaba el agua, se añadía a la mezcla anterior y se revolvía nuevamente. El procedimiento de mezclado siempre se efectuó manualmente.

El cemento empleado en la elaboración del microconcreto fué del tipo III (resistencia rápida) con el fin de reducir el tiempo de ensaye, dado el gran número de pruebas que se tuvieron que hacer.

Los cilindros de prueba se hicieron en moldes de 2.5 x 5.0 cm. y 5 x 10 cm. para las escalas 1:8 y 1:4 respectivamente, como se observa, estos cilindros no están a las escalas antes indicadas, si se considera como cilindro prototipo uno cuyas medidas fueran 15 x 30 cms. El tamaño de estos cilindros se escogió en vista de los resultados obtenidos en la referencia (1) en donde se estudió el efecto de escala al colar una misma mezcla en cilindros de varios tamaños y ensayarlos a compresión y tensión. Se encontró que para una misma mezcla la resistencia no variaba si se empleaba un cilindro de control de 1" x 2" respecto a cilindros de menor tamaño. El tamaño 2" x 4" se tomó por ser múltiplo del tamaño anterior.

Los moldes de los cilindros se fabricaron de plástico P.V.C., para el colado se recubrían con grasa grafitada a fin de evitar que el microconcreto se pegara al molde. Antes de ser ensayados los cilindros se cabeceaban con azufre, en igual forma que se hace para cilindros de prueba normales.

Para medir las deformaciones en estos cilindros, se utilizó el aparato que se describe a continuación. Se compone de dos anillos que se montan rodeando al cilindro que se va a probar; la separación entre los dos anillos es de 2.2 cms., el anillo superior tiene dos laines en cantiliver en sentidos opuestos y cada laina tiene un strain gage (medidor de deformaciones); el anillo inferior se mueve con la deformación, obligando a las laines a deformarse y mandar las señales al puente y la interpretación se manifiesta en éste mediante las diferencias de lecturas; en la fig. 1 se muestra la forma de ensaye y los instrumentos empleados. Este aparato se empleó para los cilindros de 2" x 4", para los cilindros de 1" x 2" el sistema de medición fué semejante (fig. 2) sólo que ahora el aparato consistió de dos tornillos de punta, uno de los cuales es fijo y el otro sólo puede girar; al hacerlo se manifiesta ese giro como un cambio de lectura en el aparato de registro, con previa calibración se pudo medir así la deformación de los cilindros pequeños.

Se efectuaron del orden de 500 ensayos de compresión axial y de tensión en prueba brasileña. Estos resultados se muestran gráficamente en las figs. 3 a 6, en donde se puede elegir el proporcionamiento adecuado para lograr una determinada resistencia.

De los valores de la resistencia y deformación de los cilindros se obtuvieron curvas esfuerzo-deformación unitaria como las mostradas en la fig. 7 en donde se compara con un procedimiento prototipo.

En los cilindros se efectuaron pruebas de compresión axial a los 14 y 28 días obteniéndose que la relación entre ambas resistencias fue en promedio de 0.87; que es un valor similar al existente en cilindros de tamaño estándar, tanto para concretos con cemento normal como para cemento de resistencia rápida.

Se calcularon además los módulos de elasticidad y la relación esfuerzo de tensión a esfuerzo de compresión; los primeros se presentan en la tabla 2, en la tabla 3 y en las figuras 8 a 11, la variación de  $f'_t/f'_c$  para las distintas variables estudiadas.

Del análisis de los resultados de la tabla 2 se hacen las siguientes observaciones.

- 1) A menor escala mayor  $E/\sqrt{f'_c}$  (10% de promedio)
- 2) En la granulometría 2 es mayor el valor  $E/\sqrt{f'_c}$  (20% promedio) y menor el coeficiente de variación.
- 3) A catorce días la relación promedio  $E/\sqrt{f'_c}$  es 14500 a veintiún días de 16600 y a veintiocho días de 15750.
- 4) Para la granulometría 2 la relación promedio a 28 días es 16600 mientras que para la 1 es 14900.

Del análisis de los valores presentados en la tabla 3 se observa que la resistencia a tensión depende básicamente de la relación agregado-cemento; no se observó influencia de la relación agua-cemento en la relación  $f'_t/f'_c$ . Esta última relación disminuye con el aumento de resistencia del concreto (disminución de la relación agregado-cemento) y se nota que, para un mismo valor de la relación agregado a cemento, el cociente  $f'_t/f'_c$  no difiere para ambas granulometrías, así también no se observó

influencia de la escala (1:4 ó 1:8) a la que se redujeron las granulometrías. Para finalizar, la relación promedio de  $f'_t/f'_c$  es de 0.12, que aproximadamente es la misma que se tiene para concretos prototipo.

Se trató de medir el posible efecto de escala al ensayar para cada granulometría y escala, cilindros 1" x 2" y 2" x 4"; en estos ensayos se varió la resistencia del microconcreto y se emplearon diferentes relaciones agregado-cemento.

En la tabla 4 se resumen algunos datos de interés que pueden decir algo acerca del efecto de escala. En dicha tabla se tiene la relación de resistencia para un proporcionamiento colado en cilindros pequeños (1) y cilindros grandes (2).

De los resultados de la tabla mencionada pueden hacerse las siguientes consideraciones:

- a) El efecto de escala depende de la granulometría y de la escala con que se trabaje. Esto resulta de comparar los resultados de la columna 1 con las restantes; la granulometría 1, a escala 1:4, tiene mayor resistencia en cilindros grandes; mientras que para la misma granulometría en escala 1:8, consistentemente es mayor la resistencia de los cilindros pequeños. En la granulometría 2, escala 1:4, se tiene mayor resistencia en los cilindros de 1" x 2", una cosa similar puede esperarse para la escala 1:8.
- b) La media de la relación  $\bar{v}_1/\bar{v}_2$  resultó ser, para la granulometría 1, de 0.85 y 1.10 para las escalas 1:4 y 1:8 respectivamente; el coeficiente de variación de 7 y 10%. Para la granulometría 2 escala 1:4 la media es de 1.15 y su coeficiente de variación del 11%.
- c) Tomando los datos como pertenecientes a una misma muestra y población se observa que la media es de 1.05 y coeficiente de variación del 16%.

- d) Se puede afirmar que a mayor cantidad de agregado fino en la granulometría prototipo, mayor será el posible efecto de escala; lo mismo se puede decir para cuando la escala se reduce.

También se observó que a mayor resistencia del microconcreto menor era la diferencia de esfuerzos al ensayarse en cilindros de diferente tamaño.

De los ensayos aquí efectuados parece no ser importante el efecto de escala para los proporcionamientos empleados ya que las variaciones no fueron mayores o menores de 15%. De los resultados que se obtengan de los ensayos de los modelos de podrá ratificar esta aseveración.

### 3.2 Acero.

Otra etapa de este trabajo consistió en reproducir las características de los aceros de refuerzo comúnmente utilizados en elementos de concreto reforzado.

Para ello se utilizaron alambres de distintos calibres disponibles en el mercado, tanto galvanizados como recocidos y acerados. Como se mencionó en un principio, la escala de esfuerzos y deformaciones unitarias se trataría que fueran unitarias.

El principal problema que se tuvo en estos alambres, fue que, en general, son de alta resistencia y por lo tanto no reproducen fielmente la gráfica esfuerzo-deformación del acero de refuerzo prototipo. Para solucionar este problema, fue necesario someter a los alambres a tratamiento térmico con el objeto de modificar sus propiedades.

Este tratamiento consistió en introducir los alambres en un horno eléctrico a una temperatura constante por determinado tiempo, según las características particulares de cada alambre. En dicho horno se sometían los alambres a temperaturas entre 600 y 800 grados centígrados durante un tiempo de 15 a 90 minutos.

Debido a la variedad de alambres y de sus características, en cada uno de ellos era necesario efectuar el procedimiento anterior, a diferentes temperaturas y tiempos de permanencia, para tener un registro completo de la variación de sus propiedades.

Dentro de las características generales observadas durante el tratamiento térmico, se notó que para una misma temperatura, aumentaba la ductilidad con el tiempo de recocido, y que el esfuerzo de fluencia disminuía al aumentar la temperatura.

La disminución en resistencia y el aumento en ductilidad es más notable en los alambres acerados.

Para reproducir el corrugado se siguió el procedimiento de la ref. (3). Para formar el 'corrugado', los alambres fueron sujetos a un proceso de moleteado al pasar estos por un juego de dados, produciéndose en ellos marcas con las que se deseaba mejorar la adherencia con el concreto; también se observó que después de haber sido sometidos a este proceso, aumentaba ligeramente la resistencia, pero que mediante un recocido en horno se daban al acero las características deseadas.

Este trabajo de moleteado reduce el área del alambre, esto se tomó en cuenta determinándose el área real una vez realizado el proceso de moleteado. La forma de hacerlo fue midiendo el volumen promedio de los alambres antes y después del proceso de moleteado, de la igualdad de los mismos se obtenía, al medir la longitud final, el área promedio del alambre; esta área promedio fue la que se utilizó en el cálculo de esfuerzos en los alambres.

En la tabla 5 se presentan los datos de los alambres empleados en este trabajo.

#### 4. ENSAYES DE ADHERENCIA.

##### 4.1 Generalidades.

El reproducir los esfuerzos de adherencia entre acero y concreto es el mejor índice que nos asegura que el agrietamiento del modelo será similar al del prototipo; si además se cumplen las leyes de similitud; el agrietamiento del modelo se asemejará al del prototipo en todo el intervalo de carga.

Para lograr lo anterior es necesario que el acero de refuerzo del modelo tenga un cierto corrugado que haga que se desarrollen esfuerzos de adherencia similares al prototipo. Este corrugado se logró, como se mencionó en el capítulo anterior, sometiendo al acero a un proceso de moleteado.

Para determinar los esfuerzos de adherencia se ensayaron especímenes consistentes en cubos de microconcreto de tres diferentes tamaños (5 cm., 2.4 cms. y 1.6 cm. por lado), en cuyo centro se ahogó un alambre de un diámetro igual a la décima parte del lado del cubo, este alambre estaba en contacto con el microconcreto únicamente en una longitud igual a la mitad del lado del cubo. El ensaye se realizó aplicando una fuerza de tensión al extremo libre de la varilla, o sea, tratando de extraer la varilla.

de la masa de concreto. Este tipo de ensaye se ilustra en la fig. (13) y es el mismo que se empleó en la ref. (9) para concretos y varillas normales.

El ensaye de extracción da una idea del concepto de esfuerzo de adherencia que se desarrolla entre la varilla y el concreto. En el extremo cargado de la varilla existen esfuerzos de tensión ( $f_s = T/A_s$ ), mientras que el otro extremo de la varilla está libre de esfuerzos, por lo tanto, los esfuerzos de varilla cambian desde  $f_s$  hasta cero a lo largo de la longitud ahogada en concreto.

Para el colado de los cubos se usaron cimbras de lucita, las cuales se cubrieron con una capa de grasa grafitada con el fin de evitar que el microconcreto se pegara a la cimbra. También se tuvo mucho cuidado de que el acero que se iba a emplear estuviera totalmente limpio de grasa y de óxido suelto, para ello, los alambres se limpiaron con acetona. Los cubos se curaron a los dos días de colocados y se envolvieron en jergas húmedas durante siete días y dejándolos otros siete días al aire. De cada mezcla empleada se sacaban seis cilindros de control.

Para la fabricación del microconcreto se utilizó la granulometría No. 1, en virtud de que los resultados de estos ensayos se iban a comparar con los que se obtuvieron en pruebas a escala natural realizados en el laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería de la UNAM. Se emplearon tres resistencias nominales de microconcreto: 150, 225 y 300 kg/cm<sup>2</sup>. en escalas 1:4 y 1:8

Los resultados de estas pruebas fueron muy satisfactorios, ya que fueron del orden de los obtenidos en los prototipos; por lo que se dedujo que con que el acero tuviese cierta "corrugación", no importando la forma de la misma, era suficiente para lograr adherencia con el concreto, siendo esta adherencia en los modelos suficiente para que concreto y acero trabajasen en conjunto. Estos resultados se pueden ver gráficamente en la fig. (14)

También se efectuaron los mismos ensayos, en las mismas escalas, para la granulometría 2. Los resultados obtenidos se muestran en la fig. (15)

Se observa de las figuras (14) y (15) que la granulometría 2 logra desarrollar mejores esfuerzos de adherencia, observándose en general que las granulometrías escaladas tienen esfuerzos de adherencia menores que los desarrollados por el prototipo cuando la resistencia del concreto es menor de 200 kg/cm<sup>2</sup>, para resistencias mayores los esfuerzos desarrollados son semejantes.

## 5. ENSAYE DE MODELOS.

### 5.1 Consideraciones Generales.

Debido a los pocos recursos que se tenían para llevar a cabo esta investigación, no se efectuó el ensaye de prototipos sino que se reprodujeron algunos ensayes descritos en otros estudios (7) y (8); en los modelos se trató de reproducir al mínimo detalle las características geométricas, de materiales y de ensaye.

El objetivo en esta etapa era observar si era posible reproducir toda la etapa de comportamiento, elástica e inelástica, de elementos de concreto reforzado con fallas por flexión y por cortante.

Para dar la resistencia del concreto, se escogió la mezcla de microconcreto cuya granulometría se asemejase mejor a la del prototipo y que la relación agregado-cemento fuera lo más cercana posible; de esta forma se entraba a las gráficas de las figuras (3) a (6) y se determinaba la relación agua-cemento para alcanzar la resistencia deseada.

En los aceros se trató de proporcionar el esfuerzo de fluencia del prototipo, así como el área debidamente escalada; cuando no fué posible dar estas caracte-

rísticas al mismo tiempo, el criterio a seguir fué:

- a) Proporcionar el  $f_y$  en forma "exacta", aunque se suministrara una cantidad ligeramente mayor o menor de área de acero.
- b) Proporcionar el  $A_s f_y = P_y$ , fuerza de fluencia del acero de refuerzo, cuando no era posible el punto a).

Se hicieron pruebas con alambres utilizados durante la construcción de las vigas, obteniéndose variación respecto a los ensayos iniciales, haciendo necesaria la corrección de los resultados de las pruebas en los modelos; lo mismo aconteció con la resistencia del concreto al momento de ensaye.

El criterio para llevar a cabo las correcciones de los resultados pueden establecerse como sigue:

1) Fallas por flexión.-

a) Aquí el parámetro importante es la fuerza que desarrolla el refuerzo de las vigas; la carga total resistida por estas se incrementa o disminuye proporcionalmente a la relación  $A_s f_y$  del modelo según fuera esta menor o mayor que la correspondiente del prototipo, escalada debidamente, además la pendiente de la curva se mantenía igual, es decir que las deformaciones se modificaban proporcionalmente.

b) La corrección de las deformaciones se hizo en base a la relación de los módulos de elasticidad de los concretos prototipo y modelo, de la siguiente forma:

$$E_m = k_m \sqrt{f'_{cm}} \quad E_p = k_p \sqrt{f'_{cp}}$$

Como se supone y se comprueba de los resultados obtenidos del capítulo 3 que ambas curvas de comportamiento son iguales, se tiene que  $k_m = k_p$ , por lo que la correlación a las deformaciones serán proporcionales a la relación de la raíz cuadrada de las resistencias.

$$\text{corrección de deformaciones} = \sqrt{\frac{f'_{cp}}{f'_{cm}}}$$

2) Fallas por cortante.-

Se ha observado que este tipo de falla es directamente proporcional a la raíz cuadrada de la resistencia a compresión del concreto; por lo que la corrección de la carga y de los desplazamientos es proporcional a la relación de la raíz cuadrada de la resistencia de los concretos prototipo y modelo.

3) Fallas por compresión.-

Esta forma de falla se alcanza cuando hay exceso de refuerzo llegándose al aplastamiento del concreto aún antes de la fluencia del acero; es una falla típica en elementos sobrerreforzados, por lo que si hay diferencia entre la resistencia del concreto prototipo y modelo, la corrección es proporcional a la relación de resistencia de ambos.

$$\text{Corrección de la carga.} = \frac{f'_{cp}}{f'_{cm}}$$

5.2 Procedimiento de ensaye.

La carga aplicada se midió con celdas de carga y la deflexión al centro de las vigas con un micrómetro de carátula de aproximación 0.01mm.

Para cada viga se colaban nueve cilindros de control (de 1" x 2" ó 2" x 4" según la escala de la viga, 1:8 ó 1:4) ensayándose tres o más inmediatamente después del ensaye de la viga correspondiente.

En cada ensaye se tomaron entre 20 y 30 lecturas que definían completamente el rango de comportamiento de las vigas. En las figuras (16) a (30) se muestran las

curvas carga-deflexión obtenidas tanto para prototipos como para modelos en escala 1:4 y 1:8.

### 5.3 Ensaye de vigas en flexión.

#### 5.3.1 Generalidades.

Se modelaron vigas ensayadas en la Universidad de Illinois (7) y en el Instituto de Ingeniería. La mayoría de las vigas estaban bajo cargas concentradas en los tercios del claro.

Las vigas simplemente armadas están identificadas como T1 Lb, T2 La, T5 L, T11 Ly T2 Mc; las tres primeras tienen fallas dúctiles ya que su porcentaje de acero es menor que el balanceado, la viga T11 L representa una falla por compresión al estar sobrerreforzada; finalmente la viga T2 Mc tiene una falla por cortante, tensión diagonal, seguida por deslizamiento del acero en tensión, esta viga se describirá en 5.4

Las vigas doblemente armadas se identifican como 1-1, C2Xm, C3Yna, C4Zn y C6Xm; se diferencian por el porcentaje de acero de refuerzo, siendo en todas ellas menor que el balanceado y por tanto la falla es de tipo dúctil. En la tabla 6 se muestran las características de los prototipos y modelos.

Inicialmente se ensayaron tres vigas escala 1:8 para observar las dificultades que se tendrían para efectuar los ensayos, probándose los sistemas de carga y medición antes mencionados y el funcionamiento del marco de carga.

#### 5.3.2 Ensaye de vigas simplemente armadas.

A continuación se hará una breve descripción de los ensayos efectuados en los modelos a escala 1:4 y 1:8

y de su semejanza con el prototipo correspondiente. La comparación se hace con los modelos ya corregidos con los criterios descritos anteriormente.

#### 5.3.2.1 Viga T1Lb

En la figura (16) se muestran tanto la curva prototipo como la de los modelos a escala 1:4 y 1:8, se nota una mejor concordancia con la escala 1:4, pero en ambos modelos se observa que se alcanza la fluencia para cargas bastante cercanas a la del prototipo y se tiene un comportamiento similar después de la fluencia.

#### 5.3.2.2 Viga T2 La

En esta viga no se logra una buena concordancia con el prototipo, como se muestra en la figura (17) Sin embargo se observa que ambos modelos dan curvas muy parecidas, por lo que hace pensar que en los datos de la viga prototipo existe alguna equivocación en la presentación de los resultados; se observa, asimismo, que se alcanza la fluencia del prototipo y se asemeja bastante el comportamiento después de la misma.

#### 5.3.2.3 Viga T5 L

El porcentaje de acero de esta viga está cercano al balanceado. Se observa que el comportamiento antes de la fluencia es parecido en ambas escalas, siendo mejor para la 1:4. Se nota también que el comportamiento en los modelos es prácticamente el mismo para deformaciones entre tres y cuatro cms., en este tramo ocurre una disminución drástica de la resistencia. Esto mismo ocurre en el prototipo para una deformación de 3 cms.; o sea que ambos modelos presentan un poco más de ductilidad que el prototipo. Ver fig. (18)

#### 5.3.2.4 Viga T11 L

Esta viga tiene exceso de refuerzo longitudinal y transversal por lo que su comportamiento es frágil como se muestra en la figura (19). De esta figura se observa que el comportamiento de modelos y prototipo es

muy semejante, pero al igual que en la viga anterior, se nota en los modelos una ductilidad ligeramente mayor, antes de que se alcance el aplastamiento del concreto.

### 5.3.3 Ensayo de vigas doblemente armadas.

#### 5.3.3.1 Viga 1 - 1

Se ensayaron dos modelos escala 1:8 y uno a escala 1:4, en la figura (20) se muestran las curvas de respuesta correspondientes así como también la del prototipo. Se observa que existe aceptable concordancia en todo el intervalo de carga.

#### 5.3.3.2 Viga C2Xm

En la figura (21) se muestra la respuesta de los modelos y el prototipo. Se observa que a la inversa de lo acontecido para vigas simplemente armadas, se tiene ahora menor ductilidad antes de que se alcance el aplastamiento del concreto. Sin embargo para factores de ductilidad del orden de 6 el comportamiento es idéntico.

#### 5.3.3.3 Viga C3Yna

Se observa de la figura (22) que se tiene una buena similitud para ambos modelos con el prototipo, tanto antes como después de la fluencia del acero de refuerzo.

#### 5.3.3.4 Viga C4Zn

También en esta viga se logra una buena concordancia en todo el rango de comportamiento, como se muestra en la figura (23)

#### 5.3.3.5 Viga C6Xm

En la figura (24) se muestran las curvas de respuesta de modelos y prototipo; las de los modelos son muy parecidas y bastante aproximadas al prototipo.

#### 5.3.4 Comentarios.

En la tabla (6) se resumen los datos de resistencia más importantes. Se observa que las cargas máximas no varían en más de un 10%, que puede ser atribuido a la dispersión propia de los ensayos.

También se puede concluir que existe una gran similitud de los ensayos de modelos respecto a los prototipos. En el caso de las vigas C2xm, T5L y T11L, la diferencia entre los modelos en dos escalas diferentes y el prototipo, es sistemática, lo que lleva a pensar que:

a) Se efectuó el mismo error durante el ensayo de los modelos; pero el caso es que en unos ensayos se tiene una mayor ductilidad y en otros menor.

b) Existe error en la presentación de datos de las vigas prototipo mencionadas.

En la mayoría de los casos se tuvo un agrietamiento parecido y una forma de falla idéntica al del prototipo, como puede verse en las figuras (25) a (27). Sin embargo, se nota un menor número de grietas, esto puede ser debido a que el agrietamiento marcado en el modelo era el que se detectaba a simple vista.

#### 5.4 Ensayo de vigas con falla por cortante.

##### 5.4.1 Generalidades.

Durante estos ensayos se trató de reproducir la forma de falla de vigas sin refuerzo.

Se escogió para reproducir la viga cuyas características se encuentran en la tabla (6) y que fue tomada de la referencia (7).

La viga T2MC es similar a las descritas en 5.2 pero no cuenta con refuerzo transversal.

En los prototipos se presentan fallas de tensión

diagonal y compresión por cortante; siendo entonces importante reproducirlas en modelos.

La falla por tensión diagonal se define como aquella que ocurre en forma súbita al aparecer la primera grieta por cortante. La falla de compresión por cortante se desarrolla cuando, al aparecer la grieta diagonal, el elemento aún resiste carga hasta que la zona de concreto efectiva para resistir compresión es tan pequeña que falla por aplastamiento. El tipo de falla depende principalmente de la relación distancia del apoyo al punto de aplicación de carga, entre el peralte efectivo de la viga ( $a/d$ , ó claro de cortante) y de la cantidad de refuerzo transversal.

A continuación se hará una breve descripción de las características de la viga prototipo y su comparación con los modelos.

#### 5.4.2 Viga T2MC

Es una viga sin refuerzo transversal, claro de cortante del orden de 3 y cargas en los tercios. Los modelos tuvieron falla por tensión diagonal seguida de deslizamiento en los apoyos. En la figura (28) se muestran los ensayos para ambas escalas, dos ensayos para cada una, y el prototipo. En un ensayo a escala 1:4, el primero, se dejó gancho como anclaje en el refuerzo longitudinal; en el prototipo y demás modelos el refuerzo se cortaba sobre el apoyo de la viga. Se observa de la figura (28) que el efecto del gancho fue impedir el deslizamiento de la varilla y confinar al concreto entre la grieta diagonal y el gancho, dando en esta forma "ductilidad" a la viga y pasando el tipo de falla de tensión diagonal a compresión por cortante.

Por lo demás se observa excelente concordancia entre el prototipo y los modelos, tanto en carga como en comportamiento, agrietamiento y forma de falla, esto último se ve en las figuras (26) y (27).

## 6. CONCLUSIONES.

Se ha comprobado la factibilidad de reproducir el comportamiento de elementos con falla por flexión y por cortante de estructuras de concreto reforzado.

Los resultados aquí obtenidos muestran que aún para una escala 1:8 es posible reproducir la configuración de agrietamiento y de falla.

El microconcreto aquí desarrollado asegura que se alcanzará un comportamiento similar al de un concreto prototipo. Se proporcionan gráficas para obtener una resistencia predeterminada para dos diferentes granulometrías y varias relaciones agregado-cemento y agua-cemento, esto para escalas 1:4 y 1:8 de concretos prototipo con tamaño máximo de agregado 3/4".

Al acero de refuerzo en los modelos se le dieron tratamientos térmicos mediante los cuales alcanzaba el esfuerzo de fluencia deseado. Asimismo, se le proporciona un cierto moleteado para tratar de reproducir el corrugado de los aceros prototipo. Se observó que si la resistencia del concreto era superior a 200/kg/cm<sup>2</sup>., los esfuerzos de adherencia en los modelos eran similares a los obtenidos de ensayos prototipo.

Del ensaye de vigas simple y doblemente armadas y con falla por flexión se observó que se puede producir tanto el agrietamiento como el comportamiento en todo el intervalo de carga.

También se puede decir lo mismo para las fallas por cortante en vigas sin refuerzo transversal.

Se comprobó que existe el denominado efecto de escala y que depende principalmente de la granulometría empleada y de la escala a que esta se reduce. Se observó que al ensayar especímenes más pequeños no siempre se obtienen mayores resistencias, sino que depende de los parámetros antes mencionados.

Por los resultados obtenidos no se tomó en cuenta el efecto de escala cuando la resistencia de los microconcretos se midió en cilindros de 2.5 x 5 cms. y 5 x 10 cms. para las escalas 1:8 y 1:4 respectivamente.

Por todo lo anterior puede asegurarse que los resultados obtenidos en modelos construidos con estos "microconcretos" serán representativos de los prototipos; siendo entonces factible el uso de modelos para el estudio de las variables que afectan el comportamiento de prototipos, porque los resultados serán cualitativamente comparables y cuantitativamente confiables.

R E F E R E N C I A S

1. Allan H. Mattock "Structural Model Testing Theory and Applications". Portland Cement Association Research and Development Laboratories. (Sept. 1962)
2. "Models of Concrete Structures" Preprints ACI Committee 444 at the Annual Convention of the American Concrete Institute. (Mar. 1972)
- 3.- "Models for Concrete Structures" ACI publication SP-24 (Mar. 1968)
- 4.- H.G. Harries, G.M. Sabnis, R.N. White "Small Scale Direct Models of Reinforced and Prestressed Concrete Structures" A Research Project Sponsored by the National Science Foundation Grant. GP-2622. (Sept. 1966)
- 5.- R.E. Rowe, G.D. Base "Model Analysis and Testing as a Design Tool". Cement and Concrete Association (Mar. 1965)
- 6.- R. Paul Johnson "Strength tests on scaled-down concretes suitable for models, with a note on mix design" University of Cambridge, Department of Engineering
- 7.- Gaston, J.O. y Siess C.P. "An investigation of the Load Deformation Characteristics of Reinforced Concrete Beams up to the Point of Failure" Civil Engineering Studies, University of Illinois. (Jun. 1969)
- 8.- R. Meli, O. Hernández, "Vigas de Concreto reforzadas con placas exteriores" Instituto de Ingeniería, UNAM, rep. 312, Abril 1973.

FIGURAS Y TABLAS.

TABLA 1

Granulometría	Escala	Porcentaje retenido en malla número.							
		8	10	16	20	30	50	100	charola
1	1:4	40	—	—	20		35	5	—
	1:8	—	—	25	10	20	20	20	5
2	1:4	31	16	—	21	7	10	10	5
	1:8	6	15	10	16	21	7	20	5

GRANULOMETRIAS USADAS EN LOS MODELOS

TABLA 2

Escala	Edad días	GRANULOMETRIA 1		GRANULOMETRIA 2	
		$\frac{E}{\sqrt{f_c}}$	Coef. Var. %	$\frac{E}{\sqrt{f_c}}$	Coef. Var. %
1:4	14	12100	21	15400	12
	21	13000	26	16200	8
	28	14700	22	17100	18
1:8	14	11600	24	18900	30
	21	16000	15	21200	16
	28	15100	33	16100	19
1:4	28	15900			
1:8	28	15600			

VARIACION DE  $\frac{E}{\sqrt{f_c}}$  PARA LAS DIFERENTES VARIABLES

TABLA 3 RELACIONES  $f'_t/f'_c$

GRANULOMETRIA 1

AGREGADO CEMENTO	28	14
7	0.15	0.15
	0.14	0.14
	0.15	0.10
	0.10*	0.14*
	0.17*	0.13*
	0.14	0.13
6	0.15	0.12
	0.12	0.12
	0.12	0.14
	0.15*	0.11*
	0.16*	0.14*
	0.15*	0.14*
	0.14*	0.11*
	0.14	0.13
5	0.13	0.13
	0.14	0.12
	0.12*	0.10*
	0.14*	0.16*
	0.13	0.13

GRANULOMETRIA 2

AGREGADO CEMENTO	28	14
5	0.11	0.15
	0.11	0.11
	0.11	0.13
	0.14	0.12
	0.10*	0.16*
	0.13*	0.14*
	0.13*	0.16*
	0.12	0.14
4	0.11	0.12
	0.10	0.14
	0.09	0.12
	0.14*	0.14*
	0.12*	0.12*
	0.11	0.13
	0.10	0.14
	0.09	0.11
3	0.10	0.14
	0.12	0.10
	0.11	0.11

4	0.10	0.13
	0.10	0.13
	0.12	0.14
	0.12	0.11
	0.12	0.11
	0.13*	0.10*
	0.12*	0.16*
	0.10*	0.13*
	0.11	0.13

\*cilindro escala 1:8

3	0.13*	0.13*
	0.10*	0.13*
	0.12*	0.10*
	0.08*	0.11*
	0.08*	0.11*
	0.10	0.12
2.5	0.10	
	0.11	
	0.09	
	0.11	
	0.09*	
	0.12*	
	0.10	

TABLA 4

GRANULOMETRIA 1		GRANULOMETRIA 2	
Escala 1:4	Escala 1:8	Escala 1:4	Escala 1:8
$\sqrt{1/\sqrt{2}}$	$\sqrt{1/\sqrt{2}}$	$\sqrt{1/\sqrt{2}}$	$\sqrt{1/\sqrt{2}}$
0.80	0.93	0.99	
0.75	1.25	1.28	
0.92	1.03	0.97	
0.87	1.09	1.37	
0.85	0.99	1.08	
	1.01	1.19	
	1.17	1.12	
		1.30	
0.84	1.07	1.16	Promedio
7	10	11	Coef. Var.(%)

RELACION DE ESFUERZOS ENTRE CILINDROS DE

1" x 2" Y 2" x 4"

$\sqrt{1}$  resistencia en cilindro de 1" x 2"

$\sqrt{2}$  resistencia en cilindro de 2" x 4"

TABLA 5 CARACTERISTICAS DE LOS ALAMBRES UTILIZADOS EN ESTE TRABAJO

iden- rif.	mm Ø	Area cm <sup>2</sup>	f <sub>y</sub> kg/cm <sup>2</sup>	f <sub>u</sub> kg/cm <sup>2</sup>	As P <sub>y</sub> kg	As f <sub>u</sub> kg	Recocido	Observaciones
10	.3175	.079173	4370	4673	346	370		Semi dúctil
10	1/8"		4545	5050	360	406		Moletado Semi dúctil
10			4496	5077	356	402	600°C/30'	Moletado Semi dúctil
10			4421	5153	350	408	/60'	Moletado Semi dúctil
10			4446	5052	352	400	/90'	Moletado Semi dúctil
12	.2778	0.060612	3897	4587	236	278		Liso Semi dúctil
12	7/64"		5073	5692	308	345		Moletado Semi dúctil
12			5213	6104	316	370	600°C/30'	Moletado Semi dúctil
12			5362	5772	325	362	/60'	Moletado Semi dúctil
12			5280	5972	320	362	/90'	Moletado Semi dúctil
12			5289	5790	318	351	800°C/0'	Moletado Semi dúctil
12			5066	5609	307	340	/15'	Moletado Semi dúctil
12			5098	5691	309	345	/30'	Moletado Semi dúctil
13	.2381	0.044526	5359	6199	239	276		Liso Galvanizado
13	3/32"		5233	6266	233	279		Moletado Semi dúctil
13			4177	5008	186	223	600°C/30'	Moletado Dúctil
13			4267	4716	190	210	/60'	Moletado Dúctil
13			3683	4492	164	200	/90'	Moletado Dúctil
13			3144	2817	85	196	800°C/0'	Muy Dúctil
13			2403	3818	85	170	/15'	Muy Dúctil
13			2313	3818	81	170	/30'	Muy Dúctil

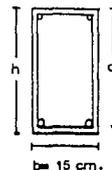
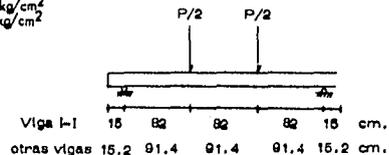


TABLA 6 CARACTERÍSTICAS DE PROTOTIPOS Y RESULTADOS EN MODELOS

Identificación	$f_c$ kg/cm <sup>2</sup>	h cm	d (d')	A <sub>s</sub> cm <sup>2</sup>	$f_y$ kg/cm <sup>2</sup>	A <sub>s</sub> cm <sup>2</sup>	$f_y$ kg/cm <sup>2</sup>	Separación est. (cm)	Tipo de falla	ESCALA 1:4				ESCALA 1:8				
										P <sub>max</sub> /ton	P <sub>um</sub> /ton	P <sub>um</sub> /P <sub>yp</sub>	P <sub>um</sub> /P <sub>up</sub>	P <sub>um</sub> /ton	P <sub>um</sub> /tn	P <sub>um</sub> /P <sub>up</sub>	P <sub>um</sub> /P <sub>up</sub>	
I I	350	30	26.5 (3.5)	2 # 5	4420	1.42	4500	# 12 C 12	T	11.3	12.0	1.23	0.88	11.3	12.8	1.12	0.88	0.93
T1 Lb	180	30.5	27.2	2 # 4	3230	—	—	# 15 C 15	T	4.7	6.2	1.01	1.06	49	5.7	1.05	0.98	—
T2 La	150	30.5	27.0	2 # 5	2840	—	—	# 15 C 15	T	6.2	6.3	1.00	0.96	62	65	1.00	0.92	—
T5 L	175	30.5	26.3	2 # 9	2630	—	—	# 10 C 10	T	14.0	16.7	0.96	1.04	14.1	15.7	0.96	0.98	—
T11 L	235	30.5	23.4	4 # 9	3190	—	—	# 3 C 3	C	—	19.3	—	0.95	—	19.7	—	0.97	—
C2Xm	285	30.5	26.9 (3.3)	2 # 6	3750	2 # 4	3300	# 15 C 15	T	10.2	12.1	0.89	0.91	11.2	12.8	0.97	0.96	—
C3Yna	234	30.5	26.7 (3.4)	2 # 7	3185	2 # 5	3940	# 12 C 12	T	11.9	13.2	0.96	0.87	12.1	14.2	0.97	0.94	—
C4Zn	250	30.5	26.3 (3.0)	2 # 9	2900	2 # 7	3270	# 7.5 C 7.5	T	17.3	20.2	0.96	0.93	18.1	20.0	1.11	0.93	—
C6Xm	260	30.5	27.8 (4.1)	4 # 8	2940	2 # 8	2830	# 3 C 3	T	22.7	26.2	0.88	1.01	21.9	26.3	0.85	1.01	—
T2MC	315	30.5	26.7	2 # 7	3290	—	—	—	S	—	11.1	—	0.98	—	11.9	—	1.05	—

+ T falla por fluencia del acero de refuerzo  
 C falla por aplastamiento del concreto  
 S falla por tensión diagonal

\*  $f_y = 2530$  kg/cm<sup>2</sup>  
 \*\*  $f_y = 3859$  kg/cm<sup>2</sup>



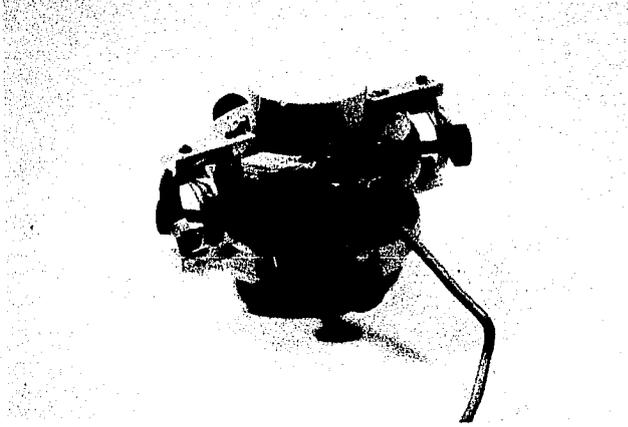


Fig 1. Sistema de medición de deformaciones en cilindros de 2" x 4"

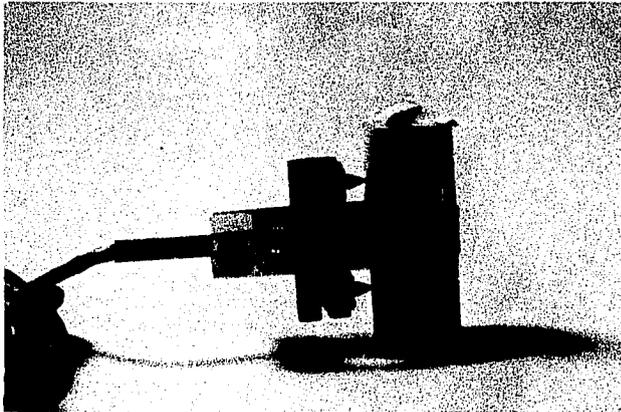


Fig 2. Sistema de medición de deformaciones en cilindros de 1" x 2"

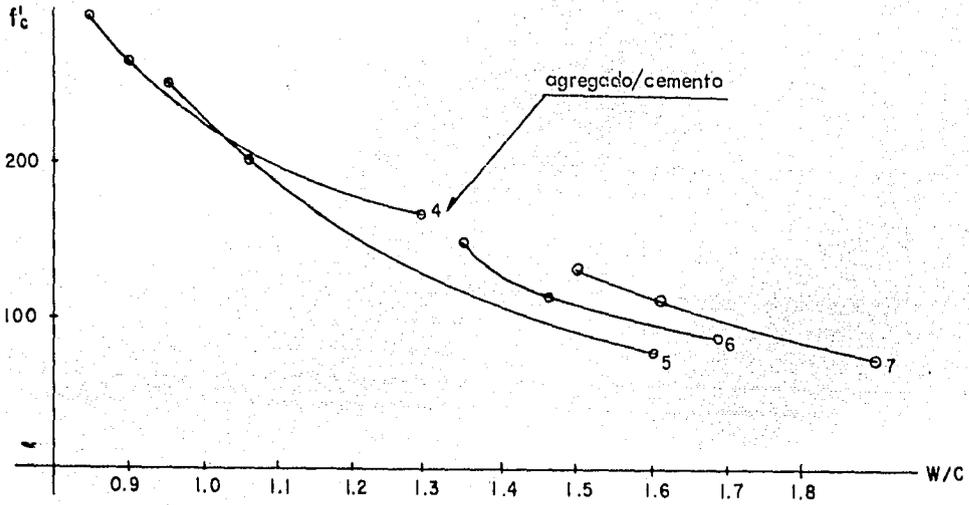


Fig 3 Variación de la resistencia a compresión con las relaciones agua-cemento y agregado-cemento. Granulometría 1, escala 1:4, ensaye a 28 días.

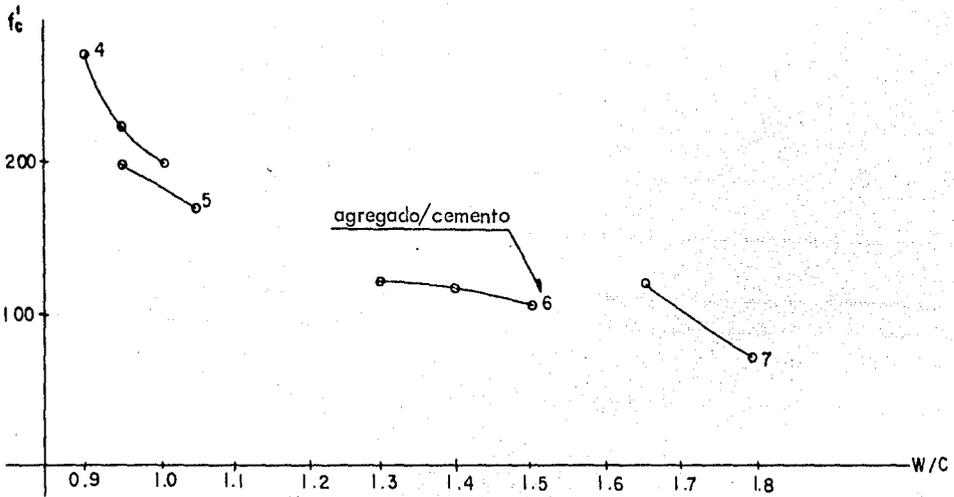


Fig 4 Variación de la resistencia a compresión con las relaciones agua-cemento y agregado-cemento. Granulometría 1, escala 1:8, ensaye a 28 días.

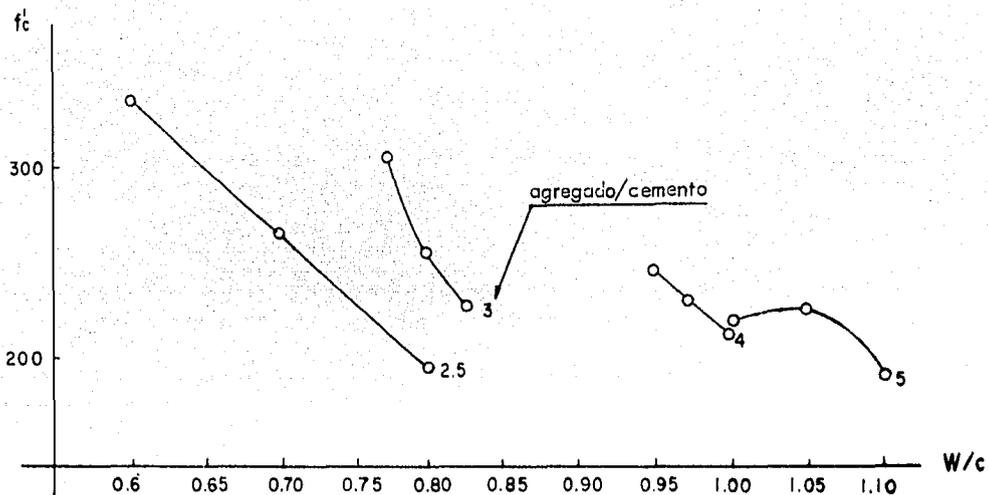


Fig 5 Variación de la resistencia a compresión con las relaciones agua-cemento y agregado-cemento. Granulometría 2, escala 1:4, ensaye a 28 días.

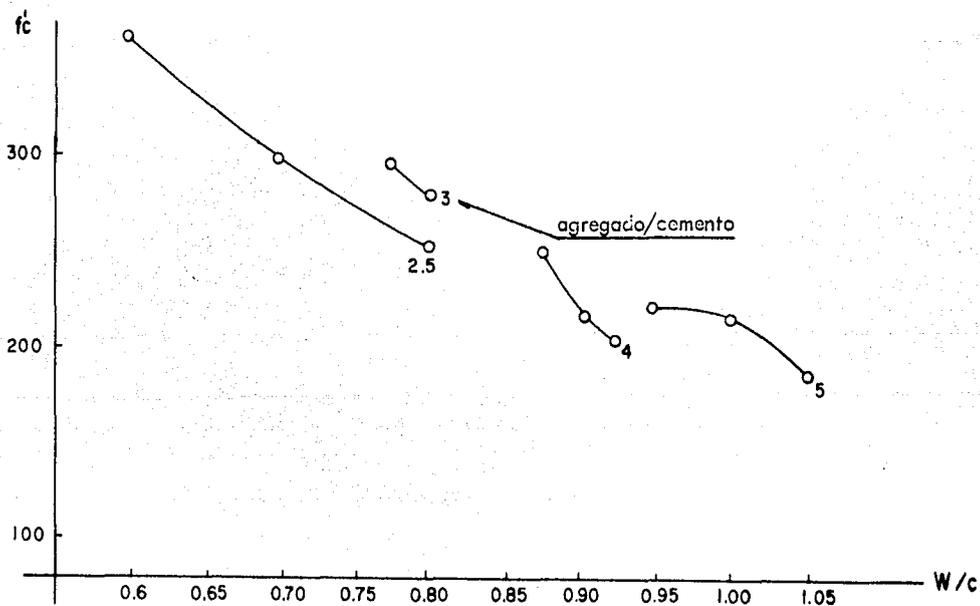
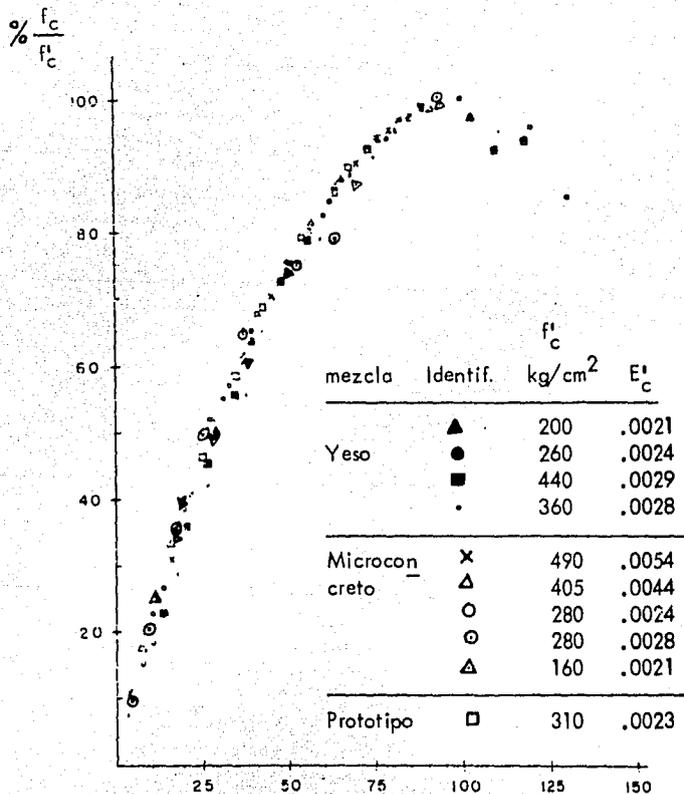


Fig 6 Variación de la resistencia a compresión con las relaciones agua-cemento y agregado-cemento. Granulometría 2, escala 1:8, ensaye a 28 días.



Porcentaje de la deformación unitaria respecto a la del esfuerzo máximo

Fig 7. Curvas esfuerzo-deformación unitarias para diversas mezclas

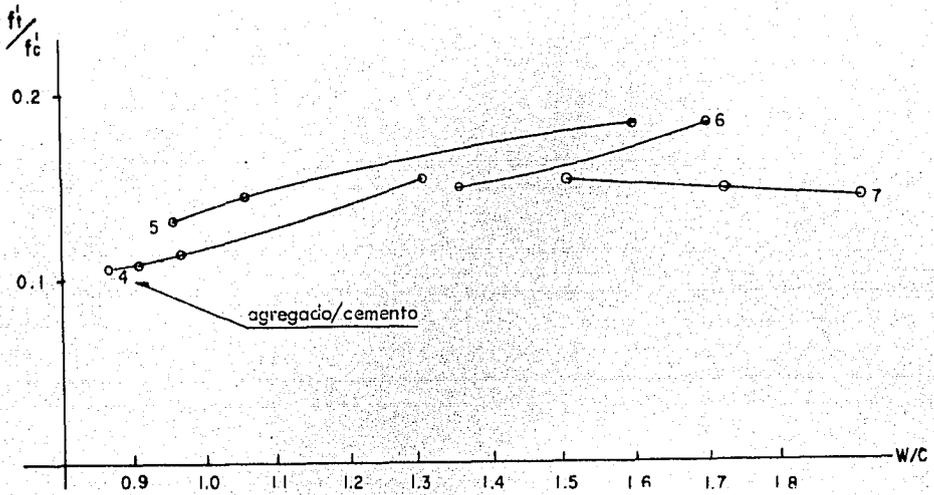


Fig 8 Variación de  $f_t/f_c$  con las relaciones agua-cemento y agregado-cemento. Granulometría 1, escala 1:4, ensaye a 28 días.

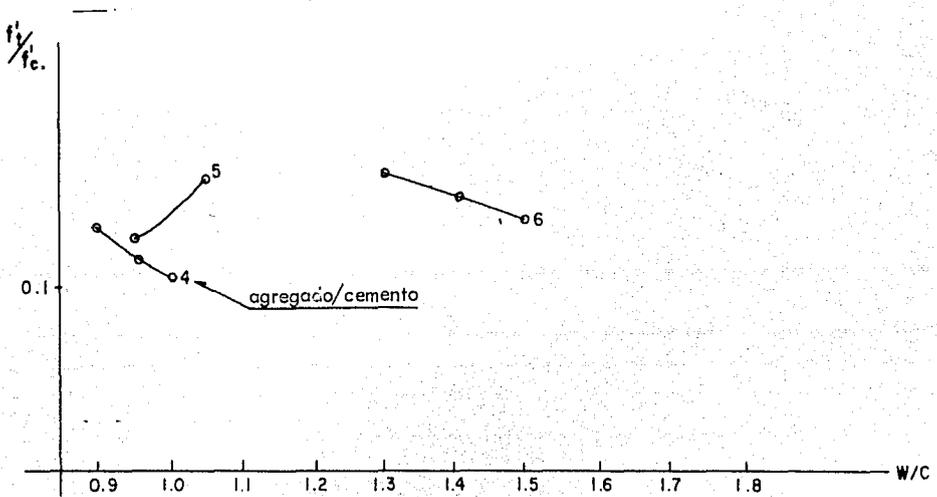


Fig 9 Variación de  $f_t/f_c$  con las relaciones agua-cemento y agregado-cemento. Granulometría 1, escala 1:8, ensaye 28 días.

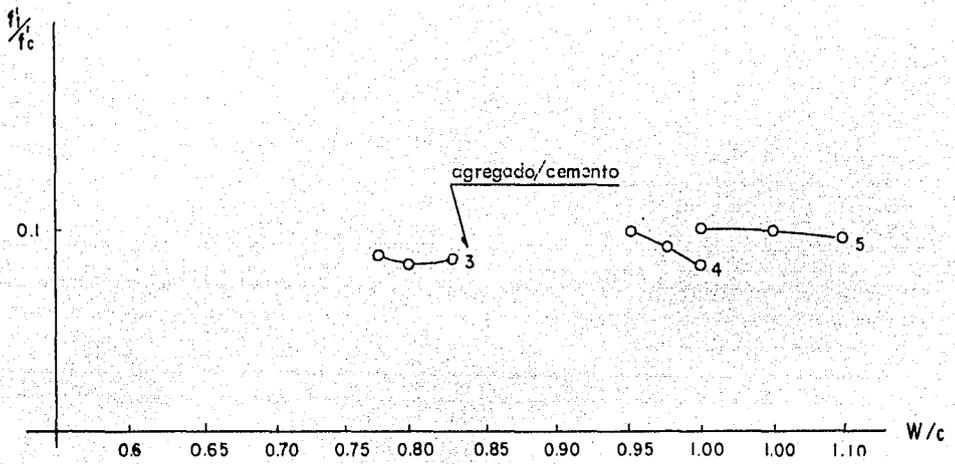


Fig 10 Variación de  $f_t/f_c$  con las relaciones agua-cemento y agregado-cemento. Granulometría 2, escala 1:4, ensaye a 28 días.

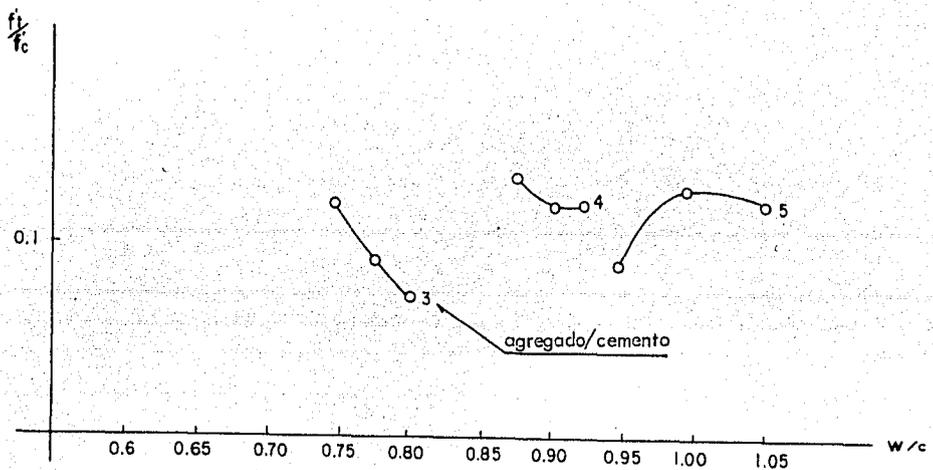


Fig 11 Variación de  $f_t/f_c$  con las relaciones agua-cemento y agregado-cemento. Granulometría 2, escala 1:8, ensaye a 28 días.

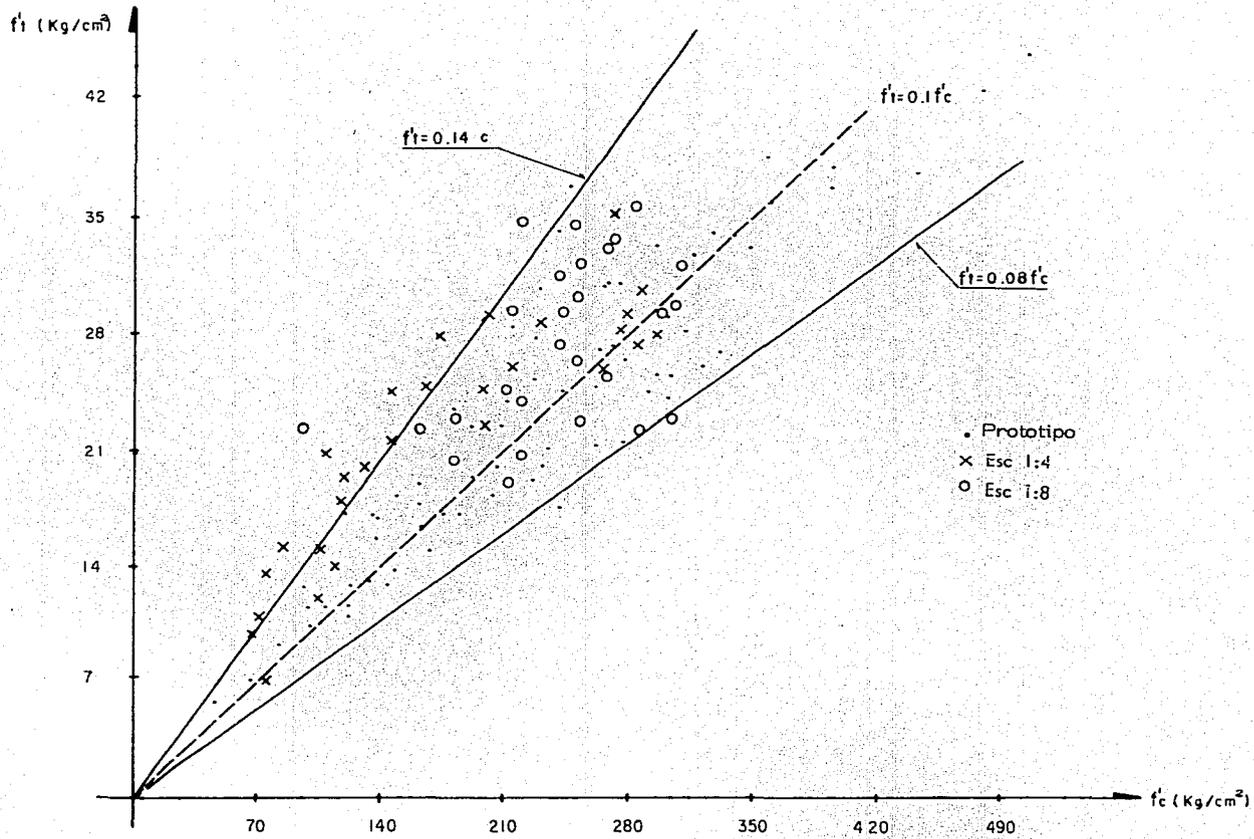


Fig 12. Relación entre esfuerzos de tensión ( $f_t$ , en prueba brasileña) versus esfuerzos de compresión axial ( $f_c$ )

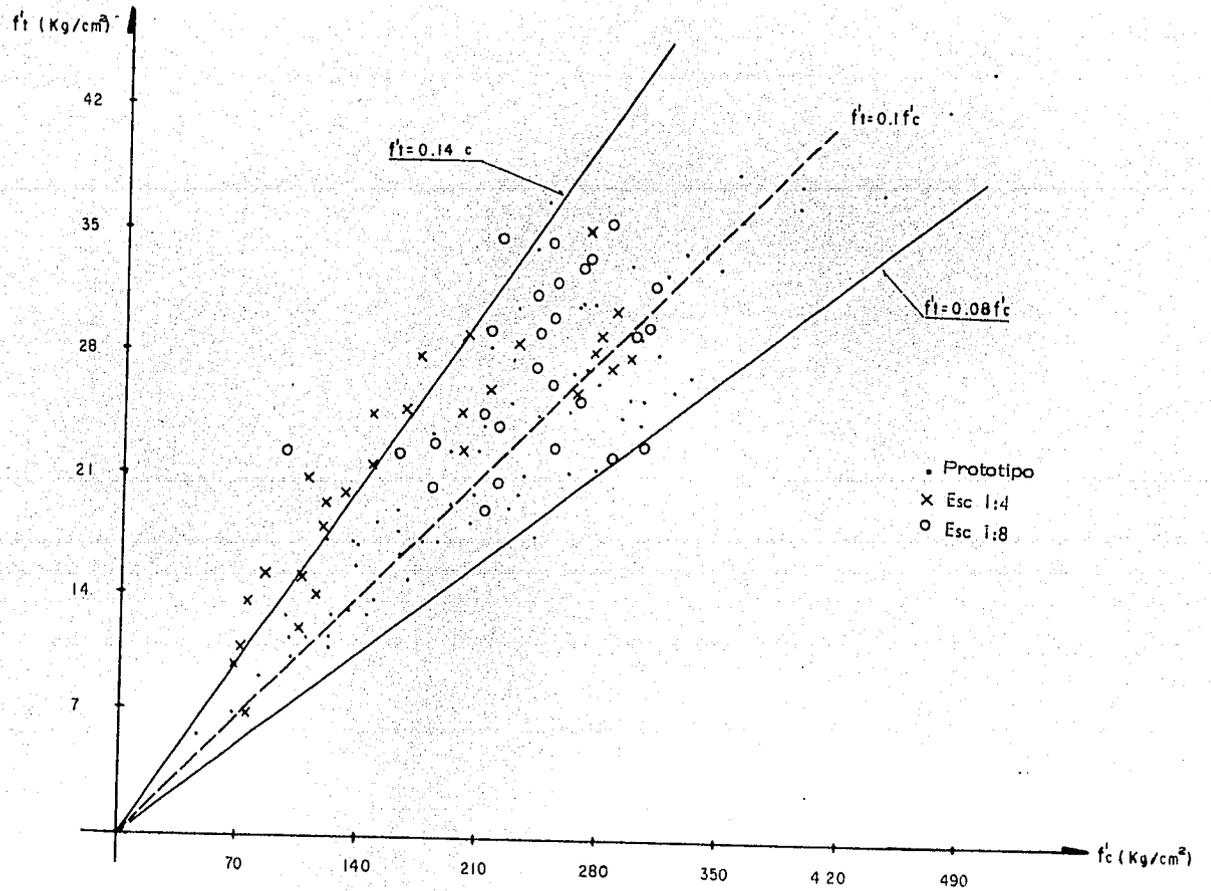


Fig 12 Relación entre esfuerzos de tensión ( $f_t$ , en prueba brasileña) versus esfuerzos de compresión axial ( $f_c$ )

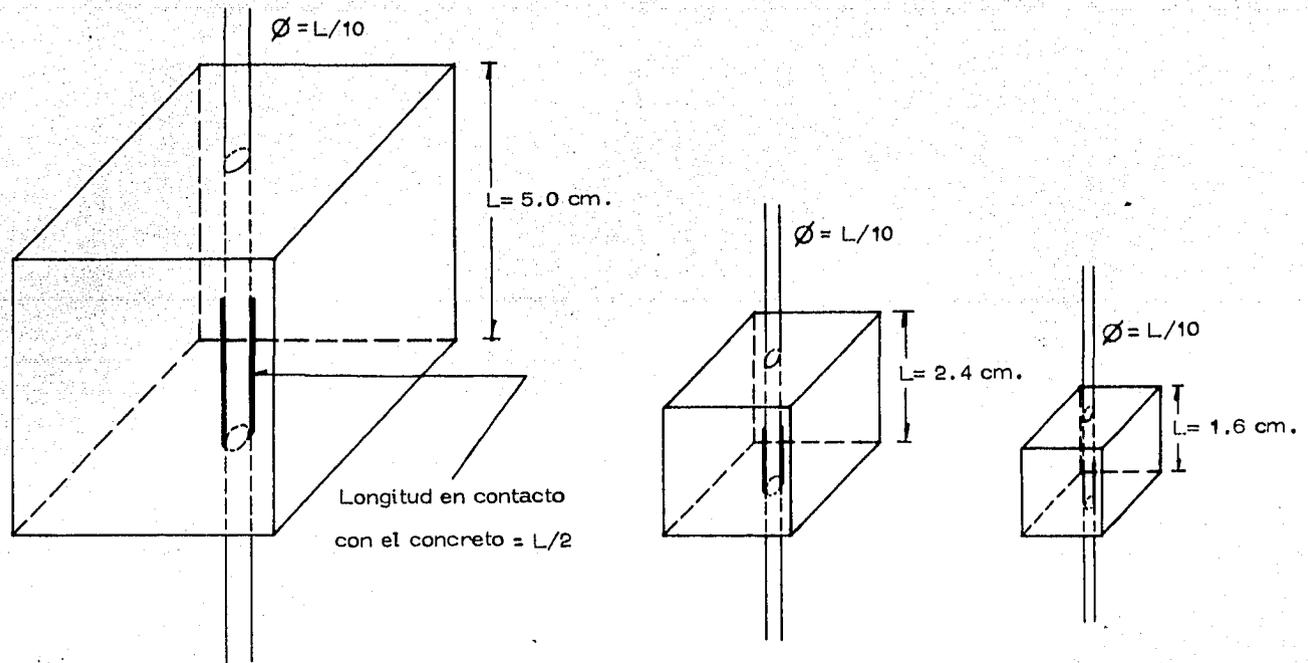


Fig 13. Especímenes para ensayos de adherencia

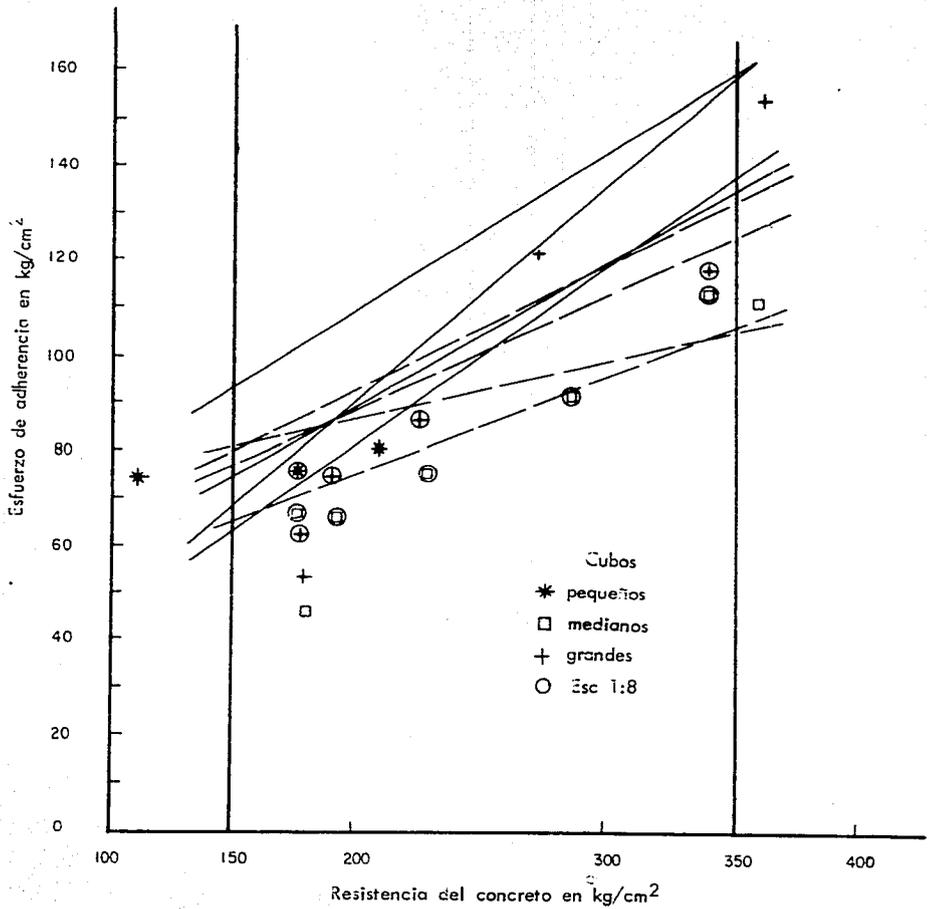


Fig 14 Esfuerzos de adherencia para microconcretos con granulometría 1.

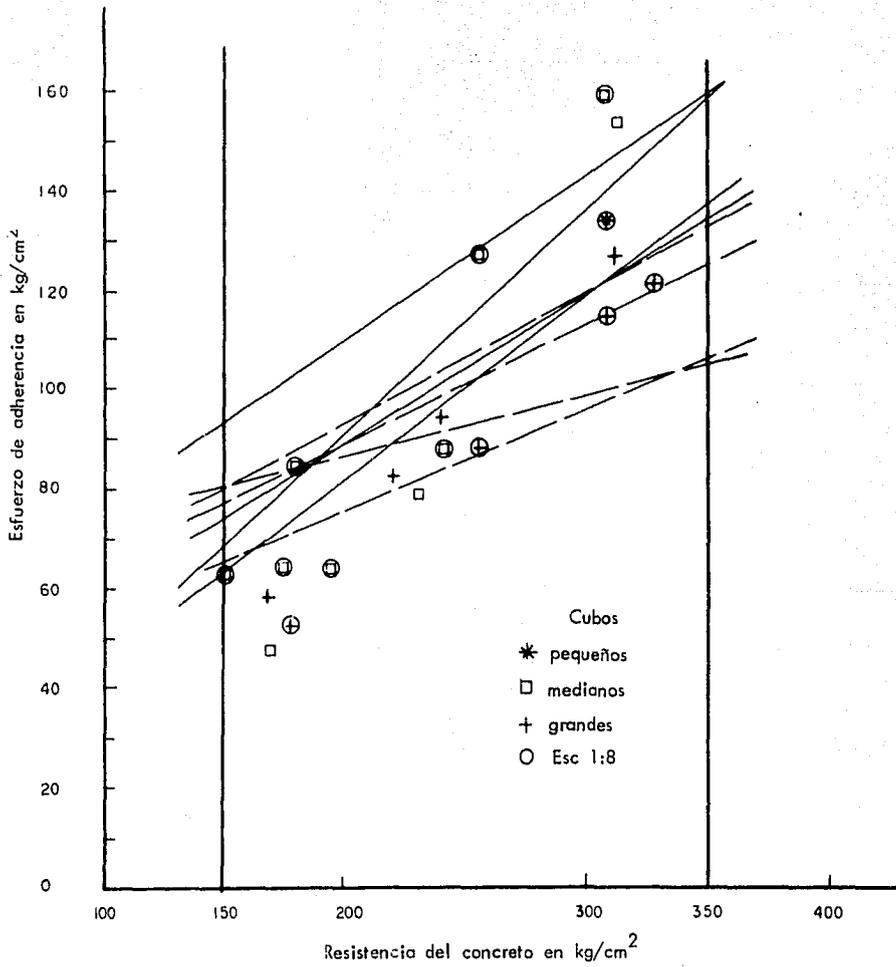


Fig 15. Esfuerzos de adherencia para microconcretos con granulometría 2.

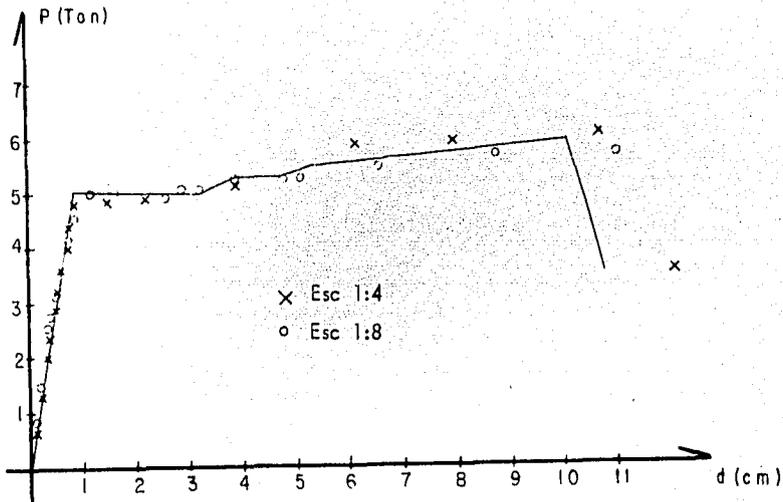


Fig 16 **Viga T1Lb**

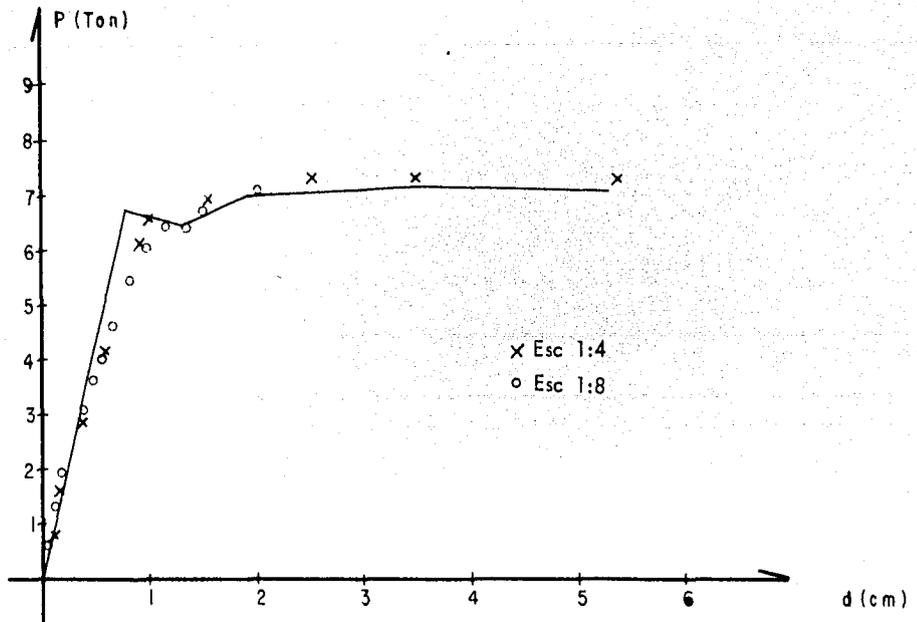


Fig 17 **Viga T2La**

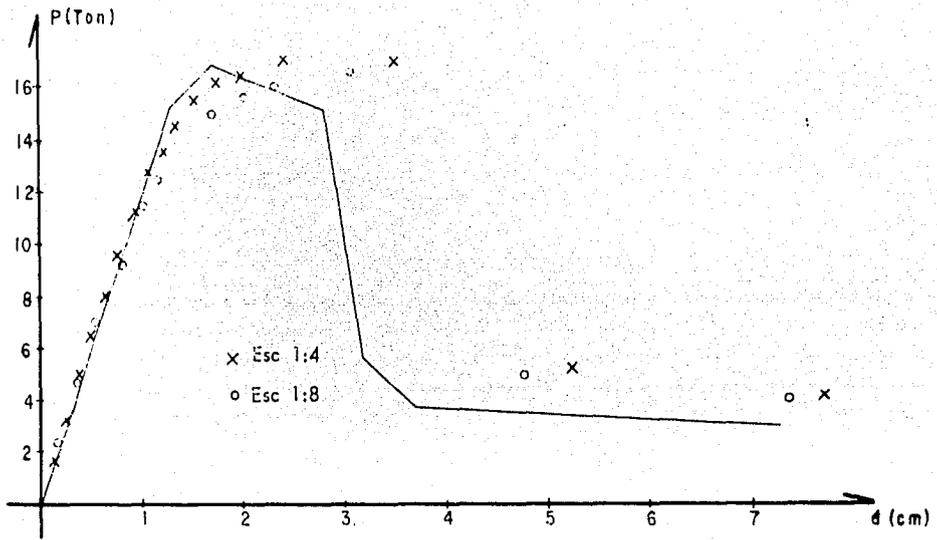


Fig 18

Viga T5L

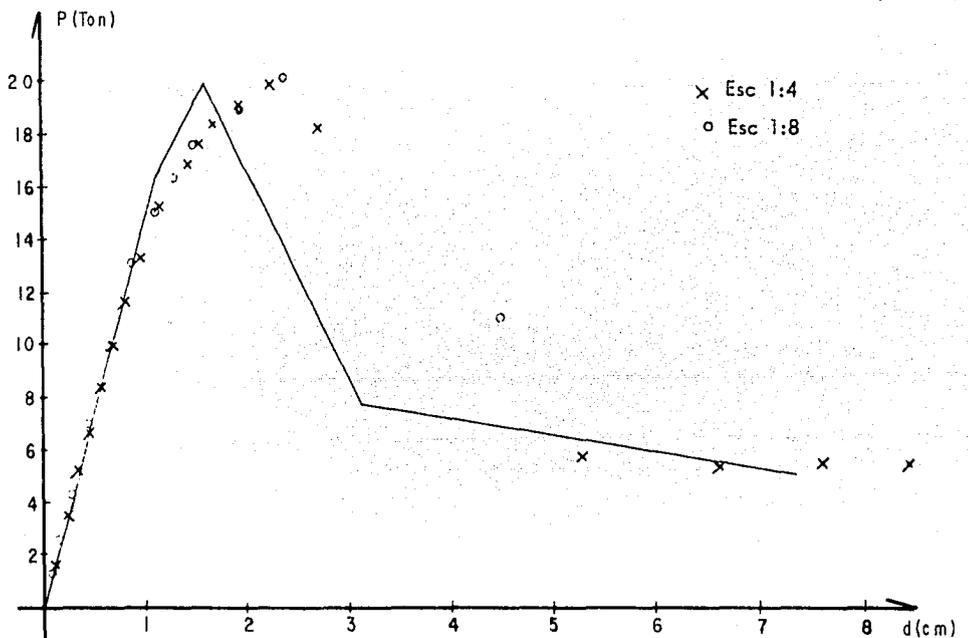


Fig 19

Viga T11L

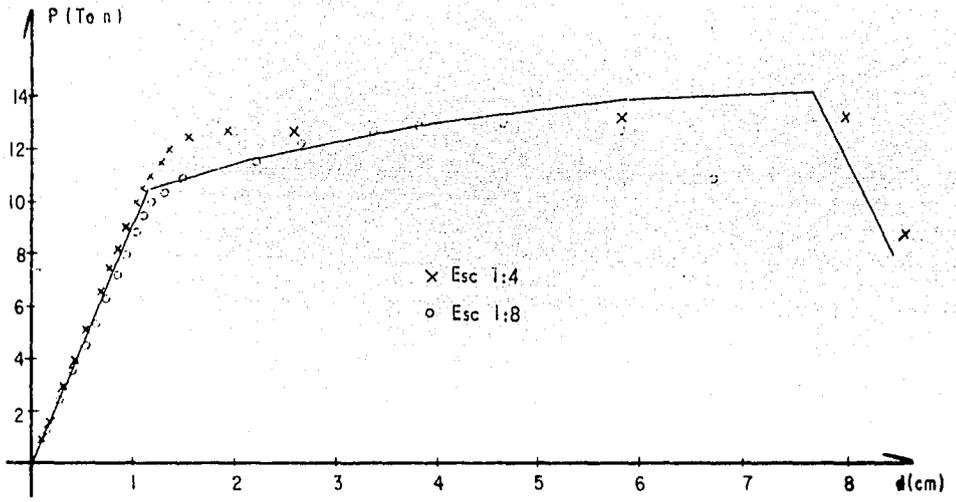


Fig 20) **Viga I-I**

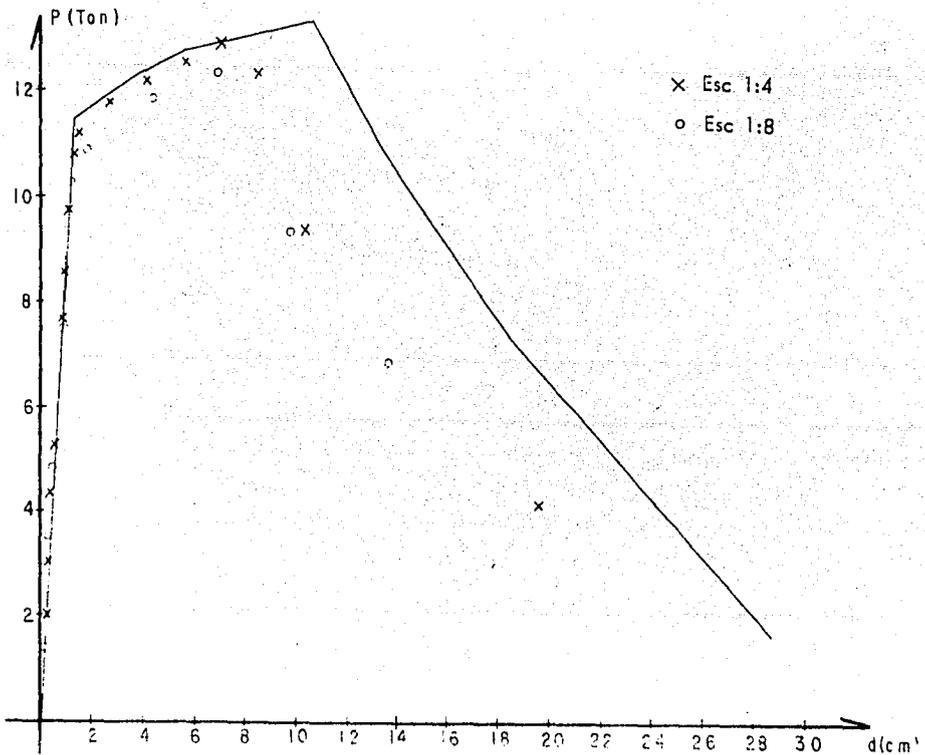


Fig 21) **Viga C2 X m**

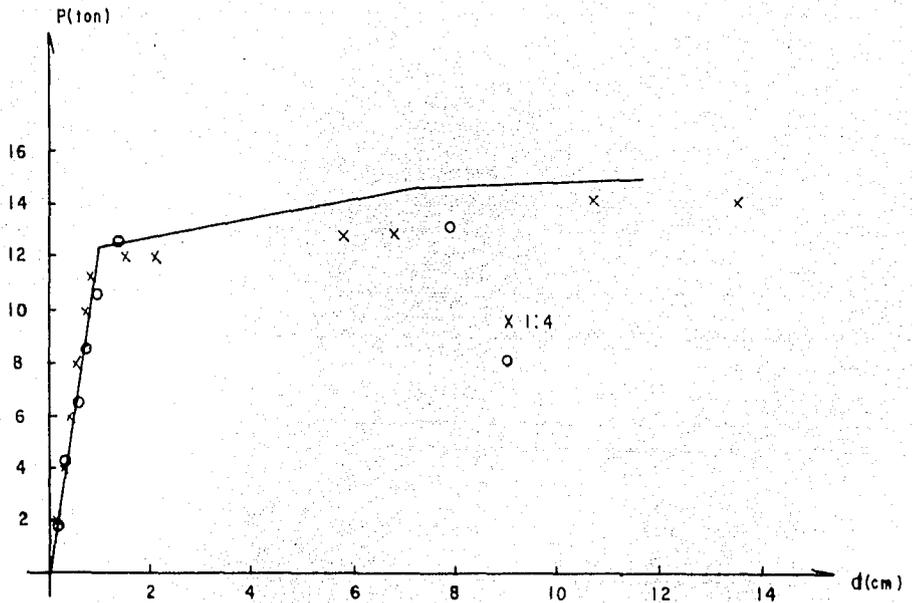


Fig 22

Viga C3Vna

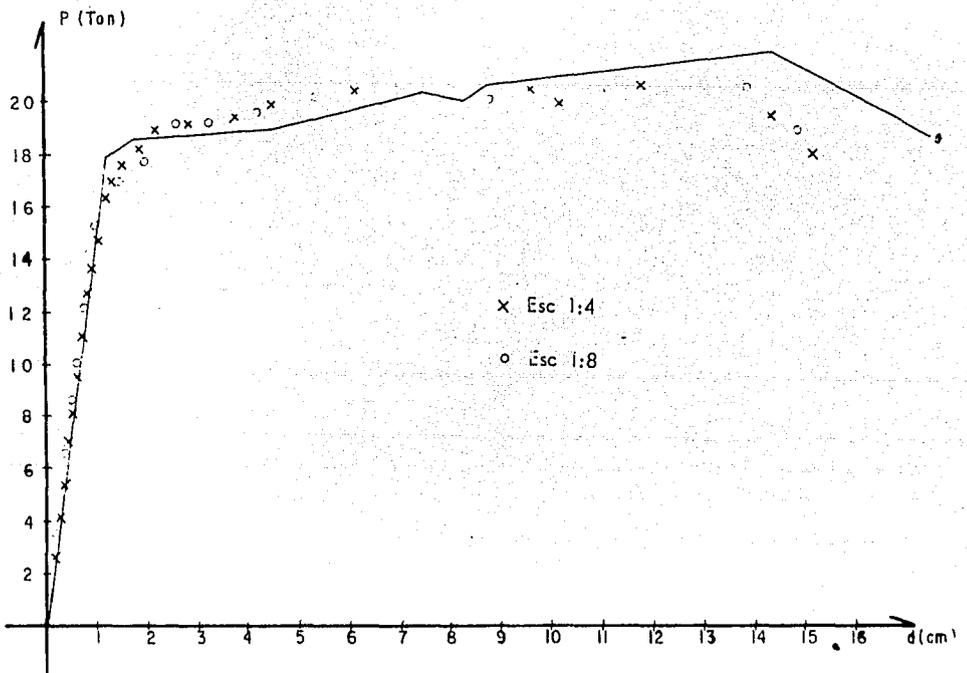


Fig 23

Viga C4Zn

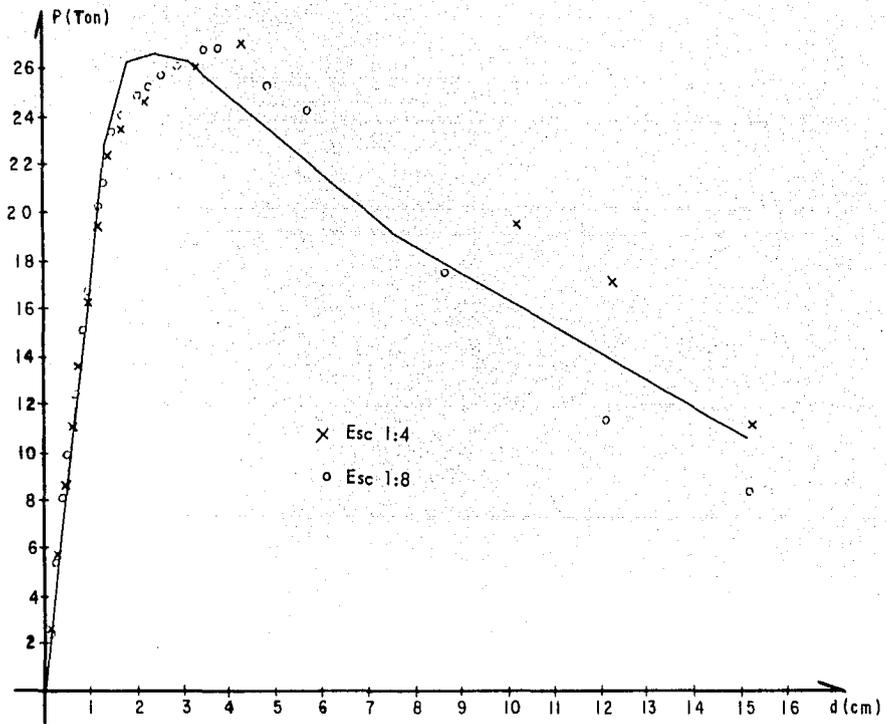
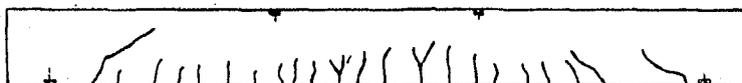


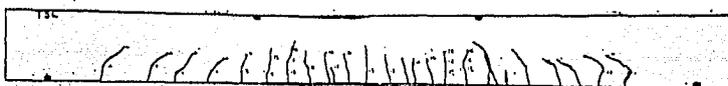
Fig 24 **V i g a C 6 X m**



Prototipo



escala 1:8



escala 1:4

Modelo

Fig 25 Configuración de agrietamiento de la viga T5L

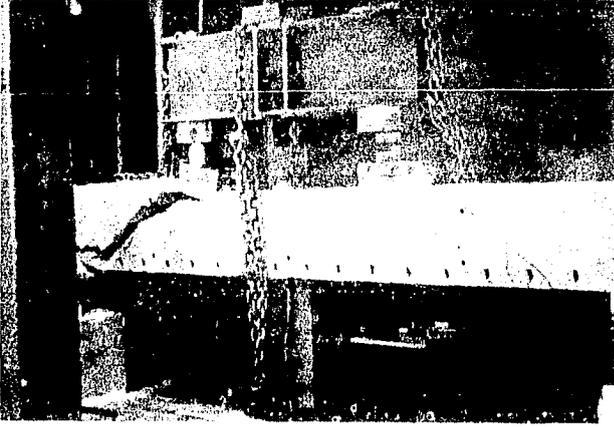


Fig 26 Prototipo de la viga T2Mc

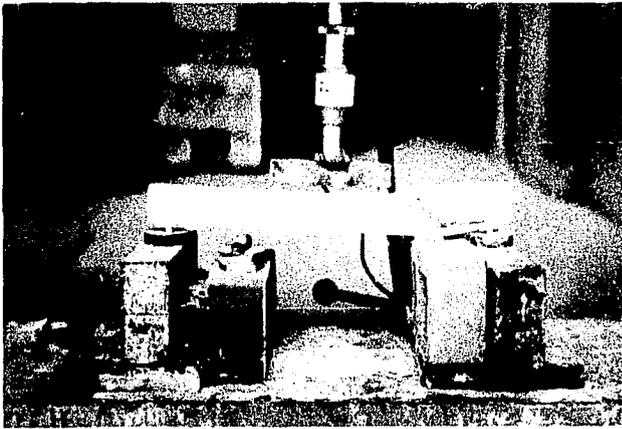


Fig 27 Modelo escala 1:8 de la viga T2Mc

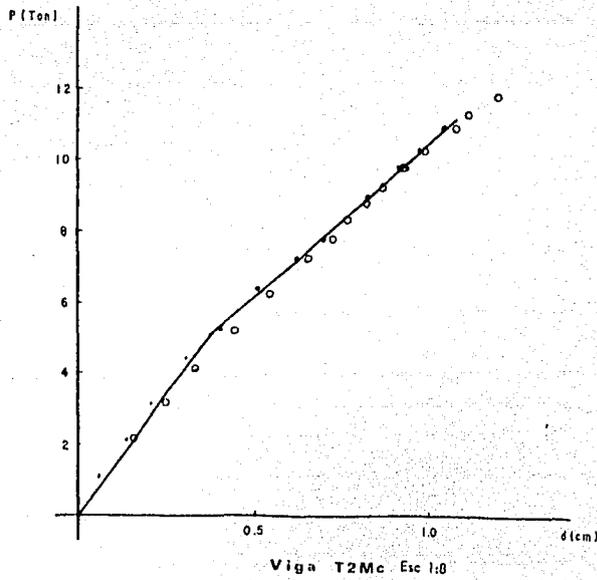
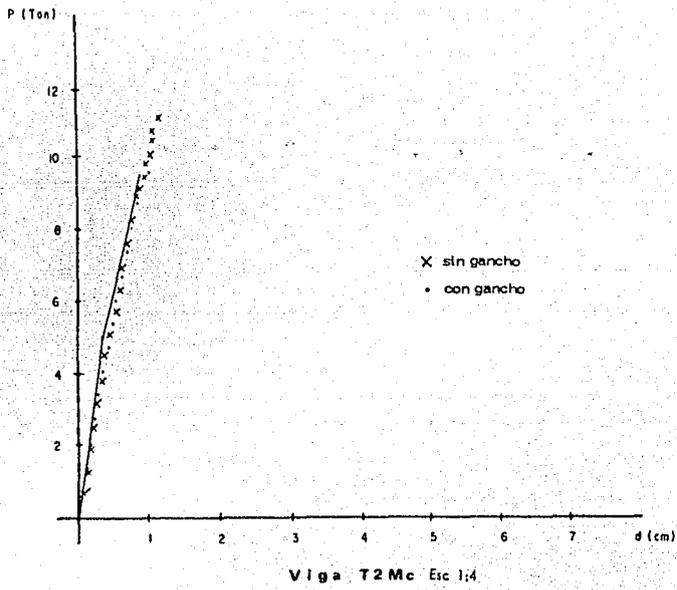


Fig 28 Viga T2Mc, falla por tensión diagonal