



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

29
132

“MODULO DE RUPTURA DEL CONCRETO, INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE LOS ESPECIMENES”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A :

JOSE LUIS MELGOZA CUEVAS





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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA

Señor JOSE LUIS MELGOZA CUEVAS,
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor Ing. Miguel Madinaveitia, para que lo desarrolle como tesis para su Examen Profesional de la carrera de Ingeniero CIVIL.

"MODULO DE RUPTURA DEL CONCRETO, INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE LOS ESPECIMENES"

- I. Introducción al problema.
- II. Objetivos y programa.
- III. Pruebas efectuadas.
- IV. Interpretación de los resultados.
- V. Conclusiones.

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento con 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 Coordinación de la Administración Escolar 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"
Cd. Universitaria, 8 de marzo de 1983
EL DIRECTOR

DR. OCTAVIO A. BASCON CHAVEZ

I N D I C E

Capítulo I	Introducción al Problema.....	1
Capítulo II	Objetivos y Programa.....	7
Capítulo III	Pruebas Efectuadas.....	8
Capítulo IV	Interpretación de los Resultados.....	24
Capítulo V	Conclusiones.....	30
Referencias		34

I) INTRODUCCION AL PROBLEMA

Una de las propiedades del concreto más difíciles de estudiar es seguramente su resistencia a la tensión, además de ser una de las propiedades con menos aplicaciones prácticas, ya que, el ingeniero civil procurará evitar en lo más posible que esfuerzos importantes de tensión sean transmitidos directamente a piezas de concreto sin refuerzo de acero.

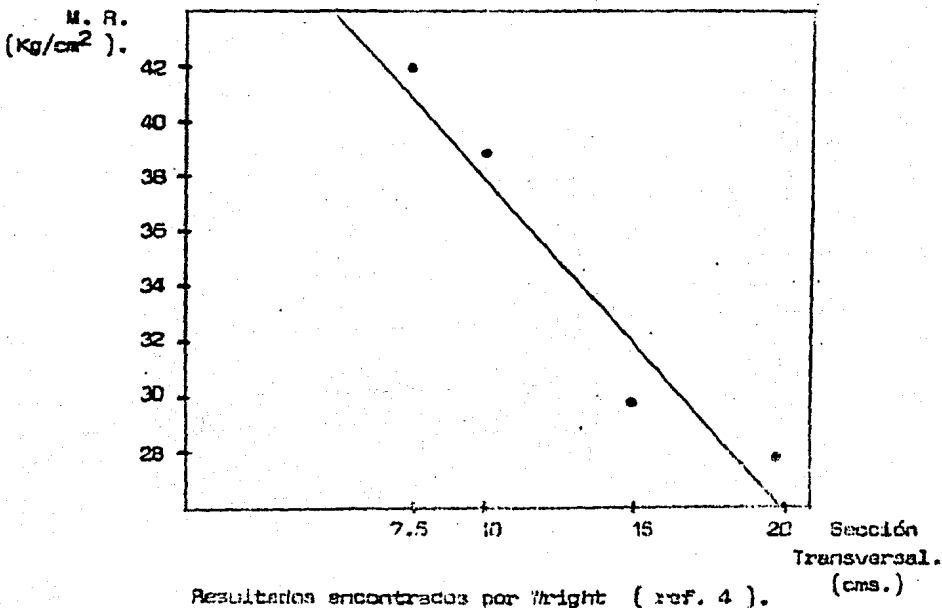
De las pocas aplicaciones prácticas que tiene el conocer la resistencia a la tensión del concreto es en el diseño de los pavimentos rígidos, estos pavimentos construidos con losas de concreto simple (en la mayoría de los casos), están sometidas a flexiones importantes (impuestas por el tránsito) que a su vez producen esfuerzos de tensión.

Para el diseño de los pavimentos rígidos la Portland Cement Association (PCA), ha desarrollado gráficas que permiten la obtención del espesor de la losa contando con los siguientes datos: carga de la rueda de diseño, la presión de inflado de la llanta de diseño, el módulo de reacción, K, y el módulo de resistencia del concreto a la tensión, MR (módulo de ruptura). En estas gráficas se observa que el espesor de la losa está en función directa del valor del MR del concreto a utilizar. El módulo de ruptura se expresa como un esfuerzo y puede determinarse experimentalmente probando una viga estándar, pero es más frecuente obtenerlo a partir de correlaciones con el valor de f'_c (ref. 1), resistencia del concreto a la compresión simple con 28 días de fraguado.

En lo general el módulo de ruptura varía entre 0.10 y 0.17 f'_c (ref. 1), correspondiendo el valor de 0.10 f'_c a las resistencias de compresión más bajas y el valor de 0.17 f'_c a las resistencias más altas.

Si se desea conocer el valor del M.R. para una resistencia f_c' dada, se pueden realizar pruebas de laboratorio siguiendo las normas americanas del ASTM (ref. 2 y 3). Al realizar los ensayos y cumplir con las especificaciones dadas, nos encontraremos con una especificación que se refiere al espécimen de ensayo y que dice: que debe ser una viga de sección transversal cuadrada, de concreto simple y de dimensiones tales que, la relación claro/paralte sea igual a tres; por lo tanto el ASTM no especifica dimensiones precisas para la viga y hace suponer que cualquier viga que cumpla con esta restricción claro/paralte tendrá el mismo Módulo de Ruptura para diferentes dimensiones de vigas construidas con el mismo concreto.

Sobre este punto Wright (ref. 4) realizó una serie de pruebas con especímenes de 7.5X7.5, 10X10 y 20X20 cms. de sección transversal, encontrando que el valor del Módulo de Ruptura varía con el tamaño de la sección de tal forma que a menor sección transversal, mayor M.R., obteniendo una gráfica como la que a continuación presenta :



De las gráficas vemos que Wright, encontró una variación significativa de los valores del MR conforme varía el tamaño de las vigas de ensaye. El ASTM no hace ninguna mención de este comportamiento, por lo que se pensó hacer un ejercicio al respecto para poder tener una idea de cómo se presentan los resultados del MR al realizar los ensayos con vigas de diferentes dimensiones.

Una prueba estándar indirecta de tensión es el ensaye de vigas de concreto simple a flexión, para el conocimiento de la resistencia del concreto; ésta es conocida como "Prueba del Módulo de Ruptura" y es muy utilizada a pesar de la existencia de otra prueba estándar como la "Brasileña" que es más fácil de efectuar y da resultados que según se cree son más apegados a la verdadera resistencia a la tensión del concreto (ref.5).

La existencia de pruebas indirectas de tensión resultan de la dificultad de aplicar una fuerza directa de tensión, sin excentricidades y sin complicaciones, como las de esfuerzos secundarios inducidos por prensas o por clavijas empotradas y los problemas que presentan hacer estos anclajes.

En el cálculo del MR hay que tomar en cuenta que se considera al concreto como material frágil, aun cuando presenta una pequeña cantidad de acción plástica (ref. 5), por esta consideración la ecuación que se utiliza para la obtención del MR se deriva de un criterio elástico; mientras el dato que se utiliza de carga en esa fórmula es de resistencia última.

El esfuerzo de tensión máximo que se alcanza teóricamente en la fibra del fondo, es lo que se conoce como Módulo de Ruptura. El término "teóricamente" es por la suposición que se hace en el cálculo del MR de que el esfuerzo es proporcional a la distancia del eje neutro de la viga.

mientras que la forma real del bloque de esfuerzos bajo carga que se aproxima al punto de falla es parabólica (ref. 5), por lo tanto en el cálculo del MR se sobrestima la resistencia del concreto a la tensión, y arroja un valor más alto del que se obtendría en una prueba de tensión directa sobre briquetas elaboradas con el mismo concreto.

Según Neville (ref. 5), hay cuatro causas posibles por las que la prueba del MR produce un valor más alto para la resistencia, que una prueba de tensión directa realizada con el mismo concreto:

- 1) La suposición sobre la forma del bloque de esfuerzos (triangular por parabólica).
- 2) Que la excentricidad accidental en una prueba de tensión directa, provoca una resistencia manifiesta menor en el concreto.
- 3) Que bajo tensión directa, el volumen total de la muestra se ve sometido al esfuerzo máximo, de modo que la probabilidad de que un elemento débil se presente, es alta.
- 4) Que en la prueba de flexión, el esfuerzo máximo de fibra alcanzado puede ser más alto que en la prueba de tensión directa, debido a que la propagación de una grieta queda bloqueada por el material menos esforzado que se encuentra más cerca del eje neutro.

Neville da explicaciones del por qué la prueba del MR arroja valores más altos que una prueba de tensión directa, pero no dice nada acerca del por qué se obtienen valores más altos del MR conforme disminuye el tamaño de las vigas de ensaya (como se pueda ver en la gráfica dada por Wright y que él presenta en su libro (ref. 5)). Desde mi punto de vista no encuentro ninguna razón física por la que tenga que suceder esto, tal vez la única que se pudiera dar en este momento sería desde el punto de vista probabilístico, y que es: que a mayor tamaño de la viga, mayor es la probabilidad de que se presente una fibra de menor resistencia que la

máxima y nos cause la falla del espécimen con un esfuerzo menor que el que podría soportar la viga.

El valor del MR depende en gran medida de la disposición de la carga (ref. 4) , el ASTM marca dos sistemas:

- 1) Una carga concentrada en el centro del claro (ref. 2) que produce una distribución triangular de momentos de flexión, de manera que el esfuerzo máximo se dá en una sola sección de la viga, y
- 2) Dos cargas concentradas colocadas en los tercios del claro (ref. 3) las cuales producen un momento de flexión constante entre los puntos de carga.

Figura 1)

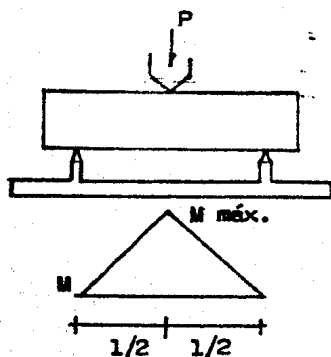
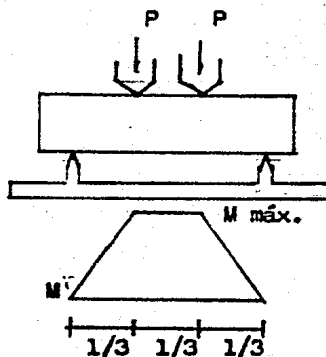


Figura 2)



En este segundo sistema se somete a esfuerzo máximo a la superficie inferior del tercio del claro interior (fig. 2) y el agrietamiento crítico puede aparecer en cualquier sección que carezca de la resistencia necesaria para soportar ese esfuerzo. Por otra parte, con una carga concentrada en el centro del claro (fig. 1), la falla aparece (teóricamente) en general tan solo cuando se agota la resistencia de la fibra situada inmediatamente debajo del punto de carga. Este enunciado no es rigurosamente exacto, pues una fibra sometida a un esfuerzo menor que el máximo, que actúa sobre la viga puede tener también debilidad suficiente para fallar (en general esto último es lo que sucede, es decir, la falla no se presen

ta rigurosamente al centro). Sin embargo es posible ver que la probabili-
dad de que un elemento débil (de cualquier resistencia especificada), es
te sometido al esfuerzo crítico es considerablemente mayor, bajo cargas en
los tercios del claro que bajo la acción de una carga al centro del claro.

Como el concreto está compuesto por elementos de resistencias va-
riables, es de esperarse que dos cargas en los tercios del claro, produz-
can un valor más bajo para el Módulo de Ruptura que en la aplicación de -
una sola carga concentrada; pero con esta última se puede obtener exacta-
mente la ubicación de la fibra de menor resistencia (donde se presenta la
falla), y con eso el valor del momento flexionante real del esfuerzo que
produce la ruptura de la viga. En este ejercicio se utilizó el sistema de -
carga al centro del claro por permitimos observar con mayor claridad si -
en realidad existe una marcada diferencia entre los valores del MR para -
piezas de diferentes tamaños fabricadas con el mismo concreto.

II) OBJETIVOS Y PROGRAMA

1°) Hacer un ejercicio que de una idea de cual es la variación y sus causas, de los resultados de las pruebas de tensión para la obtención del Módulo de Ruptura propuestas por el A.S.T.M.- Se utilizarán especímenes - - (vigas) de diferentes secciones transversales que guarden la relación $\frac{c}{r}$ = 3.

2°) Comparar los resultados con los obtenidos por Wright (Ref. 4).- Se aplicará un método matemático para observar si en este ejercicio hay variación o no, entre piezas grandes y pequeñas.

3°) Investigar si hay influencia por causa del tamaño del agregado - grueso en el Módulo de Ruptura, haciendo para ello colados de arena-cemento y comparando sus resultados con los de concreto.

4°) Comparar los resultados obtenidos con especímenes de relación $\frac{c}{r}$ = 6, de sección transversal rectangular y dimensiones de: - - 15 X 7.5 y 5 X 2.5 cms., con los resultados en las piezas de 15 X 15 y 5X5-cms. respectivamente.

5°) Presentar resultados obtenidos de pruebas de tensión directa realizados con briquetas de mortero según norma C-190 del A.S.T.M. y compararlos con los obtenidos con la prueba del Módulo de Ruptura, y con los que da Wright (Ref. 6).

III) PRUEBAS EFECTUADAS

Se hicieron 6 colados en total, tres de concreto y tres de arenamiento. En los especímenes de concreto se guardó la relación en peso de una parte de cemento por 2.25 de arena y 2.75 de grava; se buscó un revenimiento entre 8 y 10 cms. y se tomó como peso volumétrico del concreto fresco 2200 Kgs./m³, de los cuales 200 litros se consideraron como el agua necesaria para la obtención del revenimiento requerido; siendo 0.22 m³ el volumen necesario, la dosificación total a la que se llevó fue de:

GRAVA 3/4"	: 201.67 Kg.
ARENA	: 164.99 Kg.
CEMENTO	: 73.34 Kg.
AGUA	: 44.00 Kg.

La forma para obtener la dosificación del mortero es la siguiente: la arena a utilizar tiene un peso volumétrico de 1.4 Ton/m³, considerando que la arena en su estado suelto tiene un volumen de vacíos de aproximadamente el 40% del volumen total, y que el volumen que se necesita es de 0.23 entonces necesitaremos cubrir el 40% de 0.23 m³ de cemento y agua; proporcionándonos una relación en peso de agua-cemento = 0.5 para tener un mortero de alta resistencia, nos encontraremos que la dosificación de las vigas de mortero es de:

ARENA	: 322.00 Kg.
CEMENTO	: 115.00 Kg.
AGUA	: 57.50 Kg.

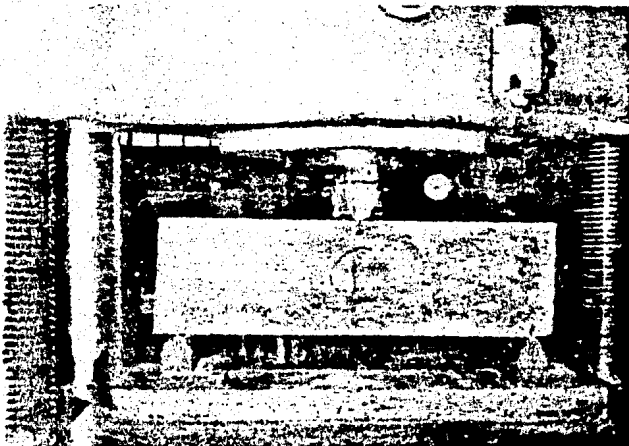
Se obtuvo de cada colado cuatro especímenes de 20X20X66 cms.; cuatro de 15X15X51 cms.; cuatro de 10X10X36 cms.; cuatro de 5X5X21 cms. y cuatro cilindros de 15 cms. de diámetro para la obtención de la resistencia del concreto y del mortero a la compresión.

Para lograr el volumen de mezcla necesaria en la fabricación de los especímenes, fue necesario para cada colado, distribuir el volumen total en cuatro ollas, las que al vaciarse juntas se palearon para lograr la máxima homogeneidad de la mezcla.

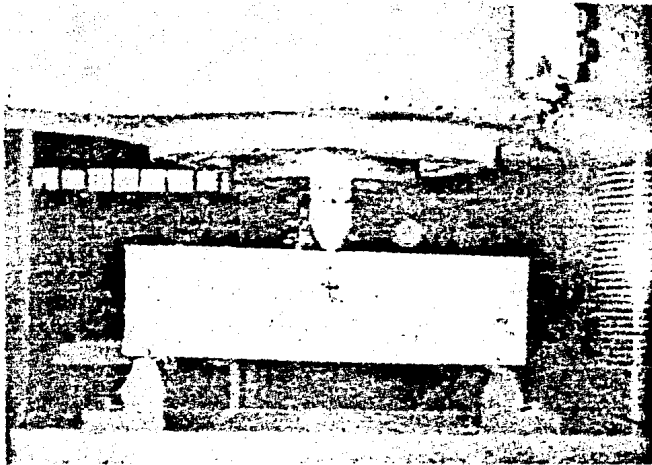
Todos los especímenes fueron vibrados en sus cisternas mediante una masa vibradora, después fueron tapados con papel de costales de cemento, — los que se empaparon de agua continuamente durante 48 horas. Pasadas éstas, se procedió al desclabrado y al paso de los especímenes a la cámara de curado, en la que permanecieron a humedad y temperatura adecuada hasta que se ensayaron.

Para la obtención de las diferentes resistencias los especímenes fueron ensayados a 7, 14 y 28 días (por causa de huelga los de 28 días fueron de 39 y 38 días, para el mortero y el concreto respectivamente).

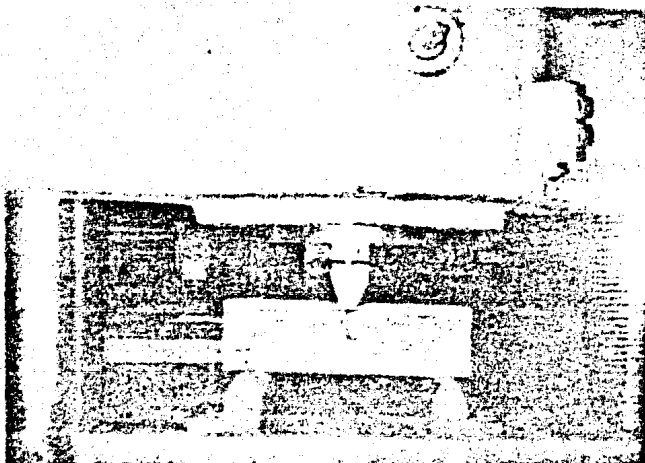
En las siguientes fotos se puede apreciar la forma de ensayar los diferentes tamaños de especímenes.



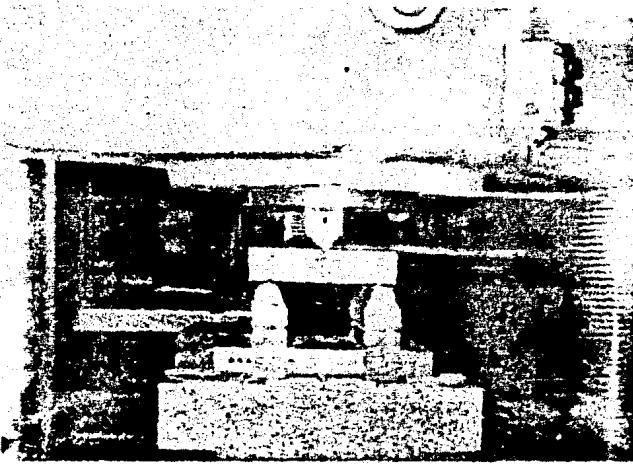
Especimen de 20X20X66 cms. colocado en la máquina de ensaye y listo para ser ensayado.



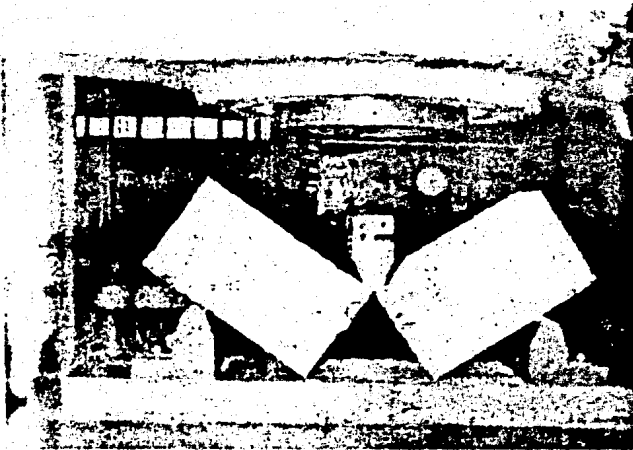
Especimen de 15X15X51 cms. colocado para su ensaye.



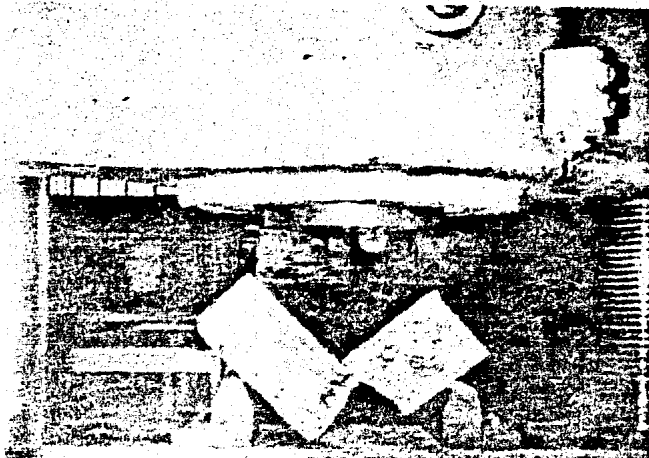
Especimen de 10X10X36 cms. colocado para su ensaye.



Especimen de 5X5X21 cms. listo para el ensayo.



Tipo de falla al centro del claro.



Especimen que presenta falla un poco desviada del centro, por lo que el valor del Módulo de Ruptura tendrá que ser corregido.

El valor del Módulo de Ruptura se obtiene de la siguiente expresión:

$$M.R. = \frac{3 P C}{2 b h^2}$$

donde:

P : carga con la que se produjo la falla (Kg)

C : claro entre apoyos de la viga (cms)

b : ancho de la viga (cms)

h : peralte de la viga (cms)

M.R. : Módulo de Ruptura en Kg/cm²

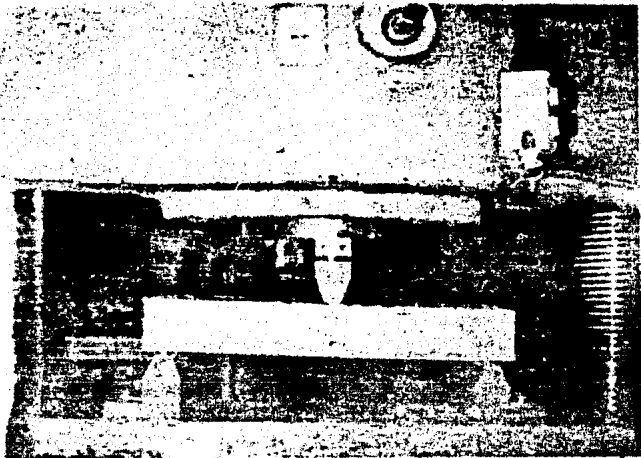
Esta fórmula considera que la ruptura del espécimen se presenta al centro del claro, para especímenes que presenten desviaciones de la falla (ya sea a la izquierda o a la derecha), el valor obtenido con la expresión ante-

rier se corrigió tomando la distancia a la que realmente se presentó la rug- tura en la viga.

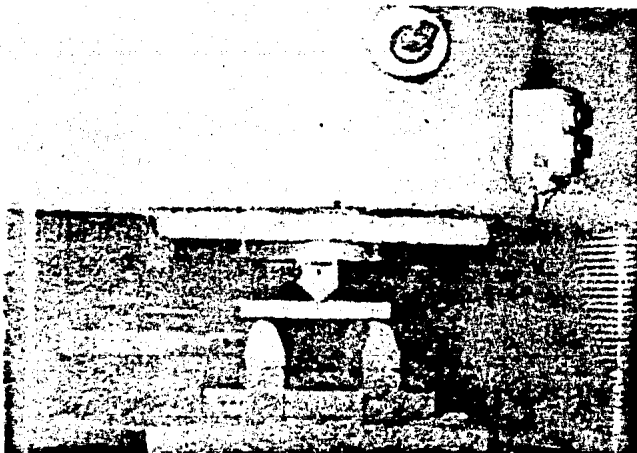
Para decidir si los tamaños de los especímenes eran los adecuados primeramente se realizaron dos colados, uno de concreto y otro de arena-ce- mento, los que se probaron a 14 días, ésto fue con el objeto de observar si los tamaños propuestos nos daban una buena diferencia en los valores del Mó- dulo de Ruptura. Realizados los ensayos de estos especímenes por los resul- tados obtenidos se decidió seguir adelante con estos tamaños y además se — pensó en la conveniencia de hacer especímenes en los que se pudiera obser- var la influencia del paralte en los resultados; para esto se fabricaron — por cada colado restantes (4 en total), 2 especímenes de 15X7.5X51 cms. y 4 de 5X2.5X21 cms.— Junto con lo anterior se fabricaron para los 2 colados de mortero restantes, briquetas para la prueba de tensión directa (norma - C-190), para así tener valores que se pudieran comparar con los de la prue- ba del Módulo de Ruptura obtenidos del mismo material. A continuación se — presenta una tabla esquemática de las pruebas realizadas:

P R U E B A S	E S P E C I M E N E S						Briquetas
	20X20	15X15	10X10	5X5	15X7.5	5X2.5	
Módulo de Ruptura	19	23	24	24	8	13	-
Velocidad de Aplicación de carga	5	1	-	-	-	-	-
Tensión Directa	-	-	-	-	-	-	16
Influencia del Paralte	-	16	-	16	8	13	-
Influencia del agrega- do grueso	19	23	24	24	-	-	-

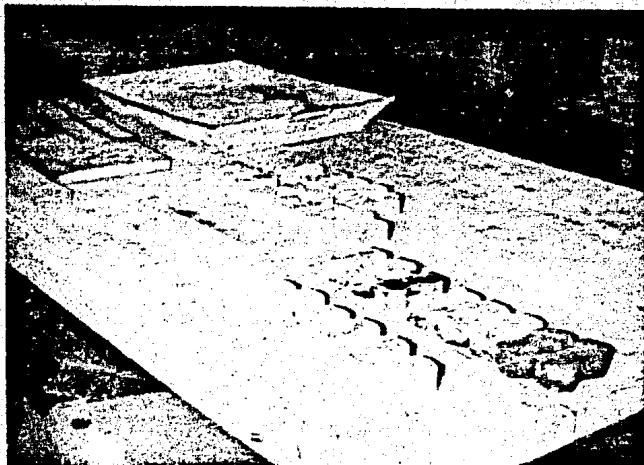
En las siguientes fotos se puedan apreciar los especímenes ante- riormente mencionados:



Especimen de 15X7.5X61 cm. listo para ensayarse.



Especimen de 5X2.5X21 colocado para su ensayo.



Briques de mortero ya ensayadas.

Los ensayos se realizaron como marca la norma C-293 (Ref. 2) - del A.S.T.M., cuidando que la velocidad de carga aplicada no sobrepasara de $10 \text{ Kg/cm}^2/\text{min}$ (Ref. 2 y 3). Los resultados obtenidos en especímenes a los que se le aplicó mayor velocidad de carga, no fueron tomados en cuenta para la obtención de los estadísticos muestrales. (media y coeficiente de variación), se le dió mayor velocidad de carga a algunos especímenes (por lo general un espécimen de sección de $20 \times 20 \text{ cms.}$ en cada colado), para comparar su resultado con el obtenido en las otras tres piezas del mismo tamaño y así poder discernir si a mayor velocidad de carga las piezas soportan mayor carga. Por los resultados obtenidos y que se pueden observar más adelante en las tablas, se vió que no se llegó a nada claro, razón por la que no fueron incluidos entre los objetivos de este ejercicio.

Para mayor facilidad en el manejo de los resultados obtenidos, inmediatamente se presentan tablas con los datos de cada ensayo y posteriormente se encontrarán tablas con la obtención de los estadísticos muestrales.

ESPECIMENES DE CONCRETO A LOS 7 DIAS

No. Ident.	Ancho (cm)	Peralte (cm)	Claro (cm)	Max. Carga Aplicada (Kg)	Módulo de Ruptura (Kg/cm ²)
1	20	20	59	2330	25.62
2	20	20	59	2410	23.31
3	20	20	59	2150	23.56
4	20	20	59	2300	24.01
1	15	15	44.8	1220	24.15
2	15	15	44.8	1210	22.48
3	15	15	44.8	1350	25.04
4	15	15	44.8	1300	23.60
1	10	10	29.2	740	31.60
2	10	10	29.2	740	26.38
3	10	10	29.2	790	33.83
4	10	10	29.2	790	29.13
1	5	5	15	160	26.74
2	5	5	15	140	24.00
3	5	5	15	155	23.91
4	5	5	15	145	25.85
1	15	7.5	44.8	350	27.61
2	15	7.5	44.8	280	22.00
1	5	2.5	15	50	34.11
2	5	2.5	15	45	29.01
3	5	2.5	15	50	35.83
4	5	2.5	15	48	33.74

ESPECIMENES DE CONCRETO A LOS 14 DIAS DE ELABORADOS

No. Ident.	Ancho (cm)	Peralte (cm)	Claro (cm)	Máx. Carga Aplicada (Kg)	Módulo de Ruptura (Kg/cm ²)
1	20	20	59	2500	26.53
2	20	20	59	2530	24.55
3	20	20	59	2540	27.44
* 4	20	20	59	3190	33.13
1	15	15	44.8	1550	28.67
2	15	15	44.8	1510	25.64
3	15	15	44.8	1340	25.31
4	15	15	44.8	1425	27.77
1	10	10	29.2	330	35.37
2	10	10	29.2	310	35.43
3	10	10	29.2	320	32.53
4	10	10	29.2	350	34.90
1	5	5	15	165	28.43
2	5	5	15	180	32.25
3	5	5	15	195	29.84
4	5	5	15	205	35.88

* Mayor Velocidad de Carga

(De 904 a 4000 Kg/Min.)

ESPECIMENES DE CONCRETO A 38 DIAS

No. Ident.	Ancho (cm)	Peralte (cm)	Claro (cm)	Max. Carga Aplicada (Kg)	Módulo de Ruptura (Kg/cm ²)
1	20	20	58.5	3200	33.98
2	20	20	58.5	3170	32.24
3	20	20	58.5	3060	33.41
* 4	20	20	58.5	3320	34.60
1	15	15	44.6	1650	28.35
2	15	15	44.6	1780	30.85
3	15	15	44.6	1920	33.13
** 4	15	15	44.6	2000	34.82
1	10	10	29.2	770	31.48
2	10	10	29.2	910	32.09
3	10	10	29.2	870	30.23
4	10	10	29.2	980	41.01
1	5	5	15	280	45.84
2	5	5	15	200	35.14
3	5	5	15	210	37.52
4	5	5	15	200	34.46
1	15	7.5	44.6	400	28.49
2	15	7.5	44.6	470	35.30
1	5	2.5	15	70	49.44
2	5	2.5	15	60	72.79
3	5	2.5	15	85	57.70

* Mayor Velocidad de Carga

(De 904 a 4000 Kg/Min.)

** Mayor Velocidad de Carga

(De 904 a 3000 Kg/Min.)

ESPECIMENES DE MORTERO A 7 DIAS

No. Ident.	Ancho (cm)	Peralte (cm)	Claro (cm)	Max. Carga Aplicada (Kg)	Módulo de Ruptura (Kg/cm ²)
1	20	20	58.5	3490	37.06
2	20	20	58.5	3760	39.18
3	20	20	58.5	3350	33.30
* 4	20	20	58.5	3540	34.71
1	15	15	44.4	2070	40.53
2	15	15	44.4	1920	37.03
3	15	15	44.4	2030	36.92
4	15	15	44.4	1960	37.92
1	10	10	29.2	1290	43.79
2	10	10	29.2	1050	43.95
3	10	10	29.2	1050	45.73
4	10	10	29.2	1000	35.77
1	5	5	15.0	300	47.06
2	5	5	15.0	270	45.36
3	5	5	15.0	260	44.57
4	5	5	15.0	230	39.43
1	15	7.5	44.4	500	35.14
2	15	7.5	44.4	580	42.19
1	5	2.5	15.0	80	57.5
2	5	2.5	15.0	70	44.9
3	5	2.5	15.0	90	57.7
4	5	2.5	15.0	90	64.2

* Mayor Velocidad de Carga

(De 904 a 4000 Kg/Min.)

ESPECIMENES ARENA-CEMENTO A LOS 14 DIAS DE ELABORADOS

No. Ident.	Ancho (cm)	Peralte (cm)	Claro (cm)	Max. Carga Aplicada (Kg)	Módulo de Ruptura (Kg/cm ²)
* 1	20	20	59	4800	50.36
2	20	20	59	4280	46.63
3	20	20	59	3815	40.28
4	20	20	59	3170	33.10
1	15	15	44.8	1890	36.89
2	15	15	44.8	1975	37.62
3	15	15	44.8	1875	36.45
4	15	15	44.8	1790	34.52
1	10	10	29.2	1250	47.60
2	10	10	29.2	1120	47.01
3	10	10	29.2	1140	49.38
4	10	10	29.2	1050	43.31
1	5	5	15.0	250	41.79
2	5	5	15.0	240	37.65
3	5	5	15.0	240	40.53
4	5	5	15.0	230	40.02

* Mayor Velocidad de Carga

(De 904 a 4000 Kg/Min.)

ESPECIMENES DE MORTERO A LOS 39 DIAS

No. Ident.	Ancho (cm)	Peralte (cm)	Claro (cm)	Max. Carga Aplicada (Kg)	Módulo de Ruptura (Kg/cm ²)
1	20	20	58.5	4210	45.41
2	20	20	58.5	4030	38.98
3	20	20	58.5	4145	44.78
* 4	20	20	58.5	4340	45.36
1	15	15	44.6	2225	43.41
2	15	15	44.6	2080	40.42
3	15	15	44.6	2115	40.69
4	15	15	44.6	1950	31.53
1	10	10	29.2	1240	51.44
2	10	10	29.2	1190	46.66
3	10	10	29.2	1140	49.31
4	10	10	29.2	1080	46.25
1	5	5	15.0	320	57.05
2	5	5	15.0	310	54.21
3	5	5	15.0	300	41.14
4	5	5	15.0	300	52.97
1	15	7.5	44.6	600	45.33
2	15	7.5	44.6	655	51.52
1	5	2.5	15.0	90	58.63
2	5	2.5	15.0	90	63.26

* Mayor Velocidad de Carga

(De 904 a 3000 Kg/Min.)

ESPECIMENES DE CONCRETO A LOS 7 DIAS.

Resistencia del Concreto a la Compresión 201.7 Kg/cm²

<u>ESPECIMENES</u>	<u>M.R. CORREGIDO</u> (Kg/cm ²)	<u>% RESIST.A COMP.</u>	<u>COEF.DE VAR.</u>
20X20	24.13	11.96	4.3
15X15	23.97	11.80	4.5
10X10	30.24	15.00	10.6
5X5	25.13	12.46	5.6
Promedio	25.87	12.81	6.25
15X7.5	24.81	13.30	16.0
5X2.5	33.17	16.45	8.8

ESPECIMENES DE MORTERO A LOS 7 DIAS.

Resistencia del Mortero a la Compresión 270.5 Kg/cm²

<u>ESPECIMENES</u>	<u>M.R. CORREGIDO</u> (Kg/cm ²)	<u>% RESIST.A COMP.</u>	<u>COEF.DE VAR.</u>
20X20	36.51	13.50	8.2
15X15	33.11	14.09	4.4
10X10	42.31	15.64	10.5
5X5	44.11	16.31	7.5
Promedio	40.51	14.89	7.65
15X7.5	38.67	14.30	12.9
5X2.5	56.07	20.37	14.41
Briquetas	25.50	9.43	3.63

ESPECIMENES DE CONCRETO A LOS 14 DIAS.

Resistencia del Concreto a la Compresión 263.85 Kg/cm²

<u>ESPECIMENES</u>	<u>M.R. CORREGIDO</u> (Kg/cm ²)	<u>% RESIST.A COMP.</u>	<u>COEF.DE VAR.</u>
20X20	26.17	9.92	5.66
15X15	26.85	10.18	6.07
10X10	34.57	13.10	3.99
5X5	31.61	11.98	10.25
Promedio	30.04	11.30	6.49

ESPECIMENES DE MORTERO A 28 DIAS.

Resistencia del Mortero a la Compresión 287.3 Kg/cm²

<u>ESPECIMENES</u>	<u>M.R. CORREGIDO</u> (Kg/cm ²)	<u>% RESIST.A COMP.</u>	<u>COEF. DE VAR.</u>
20X20	40.00	14.00	16.92
15X15	36.37	13.00	3.64
10X10	46.83	16.27	5.45
5X5	40.00	13.90	4.33
Promedio	40.80	14.29	7.59

ESPECIMENES DE CONCRETO A 38 DIAS.

Resistencia del Concreto a la Compresión 317.0 Kg/cm²

<u>ESPECIMENES</u>	<u>M.R. CORREGIDO</u> (Kg/cm ²)	<u>% RESIST.A COMP.</u>	<u>COEF. DE VAR.</u>
20X20	22.21	10.42	3.23
15X15	30.78	9.71	7.77
10X10	25.47	11.12	15.15
5X5	32.27	12.07	13.66
Promedio	34.43	10.86	11.20
15X7.5	31.90	10.10	15.10
5X2.5	59.98	18.92	19.74

ESPECIMENES DE MORTERO A 39 DIAS.

Resistencia del Mortero a la Compresión 336.2 Kg/cm²

<u>ESPECIMENES</u>	<u>M.R. CORREGIDO</u> (Kg/cm ²)	<u>% RESIST.A COMP.</u>	<u>COEF. DE VAR.</u>
20X20	43.06	12.81	8.23
15X15	41.51	12.34	3.98
10X10	48.54	14.44	5.16
5X5	51.34	15.27	13.65
Promedio	46.11	13.72	7.76
15X7.5	49.43	14.40	9.04
5X2.5	60.95	18.31	3.37
Briquetas	30.57	9.09	7.68

IV) INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS

En este capítulo se busca relacionar los datos obtenidos de cada-
colado por medio de una recta que mejor se ajuste a los datos, el método -
utilizado para la obtención de esta recta es el de mínimos cuadrados.

A continuación se presenta la obtención de la ecuación de regre -
sión para cada grupo de datos y después, pequeñas gráficas donde se podrá -
comparar la recta obtenida en este estudio con la obtenida por Wright.

CONCRETO A 7 DIAS

Tenemos que obtener la ecuación de regresión de la recta dada por

$$y = a + bx$$

donde en nuestro caso la variable independiente x es el tamaño del especi -
men y la variable dependiente y , el valor del Módulo de Ruptura, las cons- -
tantes "a" y "b" se obtienen de resolver simultáneamente el siguiente siste -
ma de ecuaciones:

$$\begin{aligned} \Sigma y &= an + b \Sigma x & - - - - - (I) \\ \Sigma xy &= a \Sigma x + b \Sigma x^2 \end{aligned}$$

en donde "n" es el número de datos y las sumatorias se obtienen de la si -
guiente tabla:

TAMAÑO DEL ESPECIMEN	M.R. PROMEDIO		
x	y	x ²	xy
5	25.13	25	125.65
10	30.24	100	302.40
15	23.97	225	359.55
20	24.13	400	482.60
$\Sigma x = 50$	$\Sigma y = 103.47$	$\Sigma x^2 = 750$	$\Sigma xy = 1270.60$

sustituyendo los valores obtenidos en el sistema de ecuaciones (I), llegamos a:

$$103.47 = 4a + 50b$$

$$1270.20 = 50a + 750b$$

de la que al resolverse simultáneamente obtenemos que:

$$a = 28.205$$

$$b = -0.187$$

por lo que la ecuación de regresión para el concreto a 7 días queda como:

$$y = \underline{28.205 - 0.187x}$$

CONCRETO A 14 DIAS

Si siguiendo con la misma secuencia que para el concreto a 7 días llegamos a la presentación de la tabla de datos.

TAMAÑO DEL ESPECIMEN	M.R. PROMEDIO		
x	y	x ²	xy
5	31.61	25	158.05
10	24.57	100	345.70
15	25.85	225	402.75
20	26.17	400	523.40
$\Sigma x = 50$	$\Sigma y = 119.20$	$\Sigma x^2 = 750$	$\Sigma xy = 1429.90$

sustituyendo los valores obtenidos en el sistema de ec. (I) obtenemos:

$$119.2 = 4a + 50b$$

$$1429.9 = 50a + 750b$$

sistema que al resolverse lleva a:

$$a = 35.81$$

$$b = -0.4808$$

por lo que la ec. de regresión para el concreto a 14 días es:

$$y = \underline{35.81 - 0.481x}$$

CONCRETO A 38 DIAS

TAMAÑO DEL ESPECIMEN	M.R. PROMEDIO		
x	y	x ²	xy
5	35.27	25	191.35
10	35.47	100	354.70
15	30.78	225	461.70
20	33.21	400	664.20
$\Sigma x = 50$	$\Sigma y = 137.73$	$\Sigma x^2 = 750$	$\Sigma xy = 1671.95$

sustituyendo valores en el sistema de ecuaciones (I)

$$137.73 = 4a + 50b$$

$$1671.95 = 50a + 750b$$

que al resolverse simultaneamente nos da:

$$a = 39.395$$

$$b = -0.397$$

por lo que la ecuación de regresión queda como:

$$y = 39.395 - 0.397x$$

MORTERO A 7 DIAS

TAMAÑO DEL ESPECIMEN	M.R. PROMEDIO		
x	y	x ²	xy
5	44.11	25	220.55
10	42.31	100	423.10
15	38.11	225	571.65
20	36.51	400	730.20
$\Sigma x = 50$	$\Sigma y = 161.04$	$\Sigma x^2 = 750$	$\Sigma xy = 1945.50$

sustituyendo los valores en (I) :

$$161.04 = 4a + 50b$$

$$1945.50 = 50a + 750b$$

que al resolverse simultáneamente nos lleva a:

$$a = 47.01$$

$$b = -0.54$$

y la ecuación de regresión queda como:

$$y = 47.01 - 0.54x$$

MORTERO A 14 DIAS

TAMAÑO DEL ESPECIMEN	M.R. PROMEDIO		
x	y	x ²	xy
5	40.00	25	200.00
10	46.83	100	468.30
15	36.37	225	545.55
20	40.00	400	800.00
$\Sigma x = 50$	$\Sigma y = 163.20$	$\Sigma x^2 = 750$	$\Sigma xy = 2013.85$

sustituyendo los valores en (I) :

$$163.20 = 4a + 50b$$

$$2013.85 = 50a + 750b$$

que al resolverse nos da :

$$a = 43.415$$

$$b = -0.209$$

valores con los que la recta de regresión nos queda:

$$y = 43.415 - 0.209x$$

MORTERO A 39 DIAS

TAMAÑO DEL ESPECIMEN	M.R. PROMEDIO		
x	y	x ²	xy
5	51.34	25	256.70
10	48.54	100	485.40
15	41.51	225	622.65
20	43.06	400	851.20
$\Sigma x = 50$	$\Sigma y = 184.45$	$\Sigma x^2 = 750$	$\Sigma xy = 2225.95$

valores que al ser sustituidos en (I) nos dan:

$$184.45 = 4a + 50b$$

$$2225.95 = 50a + 750b$$

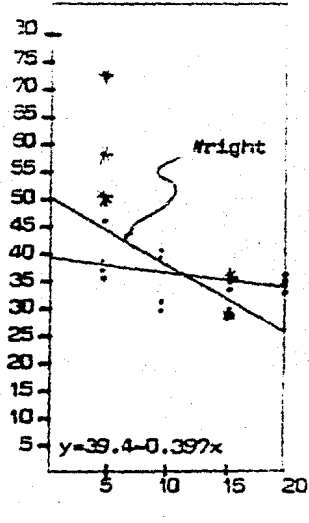
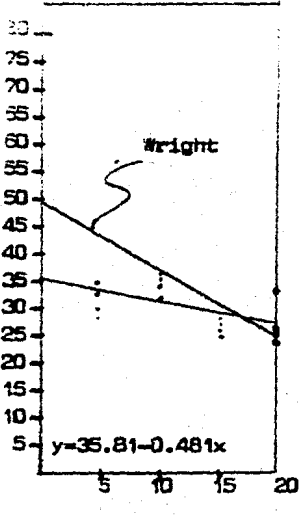
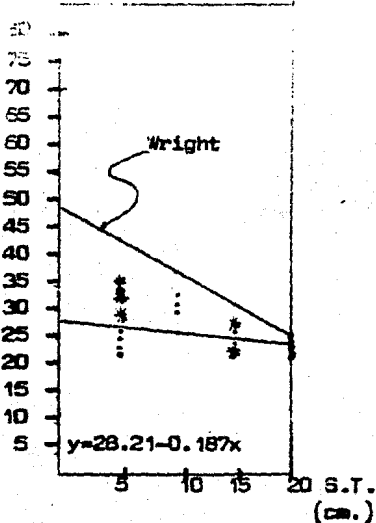
que al resolverse nos da los siguientes valores:

$$a = 54.08$$

$$b = -0.637$$

con los que la ecuación de regresión nos queda como:

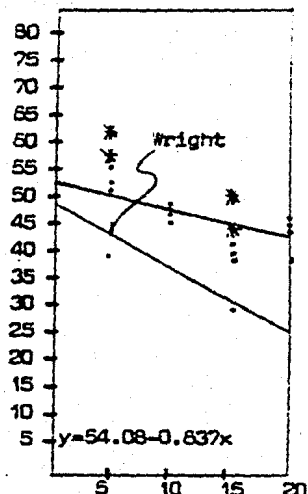
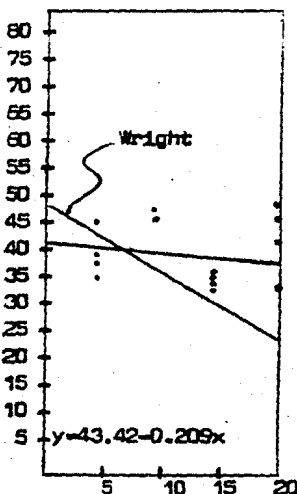
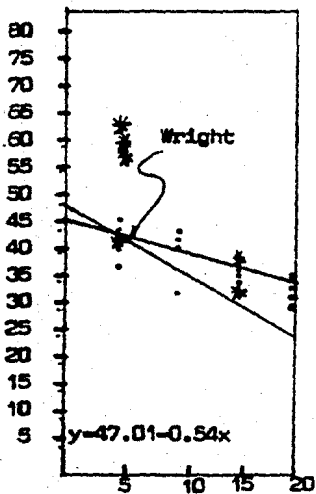
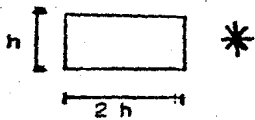
$$y = 54.08 - 0.637x$$



CONCRETO 7

CONCRETO 14

CONCRETO 38



MORTERO 7

MORTERO 14

MORTERO 39

V) CONCLUSIONES

1°) De la siguiente tabla extraída de los resultados obtenidos, se pueden dar las siguientes conclusiones:

Especímenes	% Promedio con respecto a la resist. a la comp. tomando en cuenta los seis colados.	Coef. de Variación.
20X20	12.11	13.55
15X15	11.85	14.10
10X10	14.27	13.03
5X5	13.57	13.24
Promedio Total	12.98	9.09

Conclusiones.- Se puede observar que el M.R. no sigue un riguroso orden creciente de valores conforme disminuye el tamaño del espécimen. Comprobamos que la relación entre el M.R. de una mezcla y su resistencia a la compresión oscila entre el 10 y el 17% del f'_c del concreto (Ref. I).

Se observa que la variación del M.R. no excede del 10% del valor del promedio total (12.98), ésto en términos del M.R. marca que en este ejercicio la variación existente en cada mezcla del valor promedio del M.R. fue de aproximadamente un 10%; por ejemplo: el concreto a 36 días tiene un valor del M.R. promedio de 34.47 Kg/cm^2 (ver tabla de concreto a 36 días), por lo anteriormente dicho, se deben esperar variaciones de este valor en un intervalo aproximado del 10%, o sea, de 31.02 a 37.92 Kg/cm^2 . La conclusión que se obtiene es que, en la práctica se deben tomar en cuenta, variaciones de aproximadamente el 10% del valor del M.R. asignado para la obra.

2°) Al final del capítulo IV se presentan gráficas (una por cada colado), en donde se observan por medio de una línea de mejor ajuste a los resultados obtenidos, un ligero aumento en el valor del M.R., conforme disminuye el tamaño del espécimen, las pendientes de estas rectas obtenidas de la

conclusión de regresión tienen valores que oscilan de 0.187 a 0.537.- En las mismas gráficas se compara la línea que da Wright con las obtenidas y se puede observar que las líneas obtenidas tienen pendientes mucho menores que la que él ofrece y que es del orden de 1.3.

Concluyendo, se puede decir que sí hay una tendencia a aumentar el valor del M.R. conforme disminuye el tamaño del espécimen, pero que este aumento fue en estas pruebas poco significativo y menor que el de Wright.

Por lo que se refiere al por qué del aumento del M.R. conforme disminuye el tamaño de la viga (hablado en el Capítulo I), se puede decir que de los resultados aquí obtenidos se podría tratar de explicar el problema como un fenómeno probabilístico, otra razón no se podría dar, ya que no se guardó esta relación del M.R. y del tamaño de la viga en los resultados que se observan en la conclusión 1°.- Por otro lado, el dar una explicación diferente a ésta, que hable del comportamiento mecánico real de las vigas por las que se pudiera presentar este tipo de comportamiento, ha sido un problema al que no le ha encontrado una solución satisfactoria, se le propone al lector interesado en el comportamiento del concreto, ahondar por su propia cuenta en este interesante problema.

3°) Con respecto a la influencia del tamaño del agregado en el valor del M.R., se presenta la siguiente tabla donde se dan los resultados obtenidos, en porcentajes promedio en relación a la resistencia a la compresión simple de cada mezcla:

	7 Días	14 Días	38 y 39 Días	Promedio Final
	%	%	%	%
Concreto	12.81	11.3	10.86	11.66
Mortero	14.89	14.29	13.72	14.30

En esta tabla se ve que sí hay diferencia de valores en porcentaje del mortero y del concreto (14.3 y 11.66 respectivamente), y aunque no es muy marcada la diferencia, se puede afirmar que sí hay influencia por el tamaño del agregado grueso en este ejercicio y que el M.R. mejora al ser más fino el agregado.

4°) En lo referente a la comparación de los resultados del M.R. al disminuir el peralte de la viga, se observó un aumento del valor del M.R. de la siguiente forma:

Especimen		Concreto 7	Mortero 7	Concreto 38	Mortero 39
b	h	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)
15	15	23.97	38.11	30.78	41.51
15	7.5	24.81	38.67	31.90	48.43
5	5	25.13	44.11	38.27	51.34
5	2.5	33.17	56.07	59.98	60.95

Como se nota, hay un aumento apreciable (sobre todo en las de 5 cms.) en el valor del M.R. al disminuir el peralte, ésto puede deberse a la forma como fueron ensayadas las piezas, ya que las vigas de sección cuadrada fueron ensayadas dando la carga en una de las caras laterales de la pieza a como fueron coladas (para aprovechar la cara que está más lisa y tener mejor superficie de contacto con el dispositivo de carga) y las piezas de sección rectangular fueron ensayadas tal y como fueron coladas. Este hecho tal vez pueda influir si tomamos en cuenta que al vibrarse la mezcla en la cimbra el agregado grueso tiende a irse hacia el fondo, de tal forma que la zona inferior queda con un poco más de agregado grueso y además mejor compactada, por lo tanto esta zona es la que resiste al esfuerzo a tensión en las piezas de menor peralte y es normal que tengan una resistencia más alta a la tensión.

5°) Por lo que toca a los resultados de las pruebas de tensión directa en morteros, se ofrece la siguiente tabla comparativa:

Material	Tipo de Prueba				R a z ó n	
	M.R.Prom. (Kg/cm ²)	C.V.	Tensión Dir. (Kg/cm ²)	C.V.	M.R./Ten.Dir.	
Mortero a 7 días	40.51	7.66	25.50	7.63	1.59	
Mortero a 39 días	46.11	7.76	30.57	7.68	1.51	

En la tabla se puede observar que la prueba de M.R. arroja un valor del orden de 1.55 más alto que el de la prueba de tensión directa, lo que comprueba lo dicho en el Capítulo I. A continuación se da la tabla que da Wright al respecto:

Tipo de Prueba	Resistencia media (Kg/cm ²)	C.V.
Módulo de Ruptura	43	7
Tensión directa	19	6
Razón M.R./Ten.Dir.	2.25	

De donde se puede que la razón que se obtiene de la tabla es de 2.25, mayor que el 1.55 obtenido en este ejercicio.

Referencias

- 1) Juárez Badillo, Rico Rodríguez, "Mecánica de Suelos", Tomo II, p. 567, Editorial Limusa, 1960.
- 2) Annual Book of ASTM standards, "Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (using simple beam with center-point loading)", norma C-293-68, parte 14, p.p.195 - 196, 1975.
- 3) Annual Book of ASTM standards, "Standard Test Method for flexural Strength of Concrete (using simple beam with third-point-loading)", norma C 78-75, parte 14, p.p.38-40, 1975.
- 4) P.J.F. Wright, "The Effect of the Method of Test on the Flexural Strength of concrete", Mag. Concr. Res., 4, N° 11, p.p.67-76.
- 5) Adam M. Neville "Tecnología del Concreto", Tomo II, p.p. 192-213, IMCYC, 1977.
- 6) P.J.F. Wright, "Comments on an indirect tensile test on concrete cylinders", Mag. Concr. Res., 7, N° 20, p.p. 87-96, julio - 1955.
- 7) Adam M. Neville, "Tecnología del Concreto", Tomo I, p.p. 281 - 283, IMCYC, 1977.