

c) Se mantuvo el valor de la fluidez en 80 ± 2 por ciento.

Para verificar la calidad de los morteros fabricados, se tomaron cada revoltura 9 cilindros para pruebas de compresión, tensión indirecta y módulo de elasticidad y 5 briquetas estándar para pruebas de tensión (fotos 6 a 9), habiéndose obtenido de dichas pruebas los valores que resume la tabla 2. Estos resultados, a su vez se sometieron a un estudio estadístico, con objeto de obtener ciertos parámetros de uniformidad como la desviación estándar y los coeficientes de variación (tablas 3 a 6).

3.2.3.- Fabricación de especímenes.

Después de probar algunas formas de especímenes, se optó por el empleo de un prisma rectangular de $3 \times 8 \times 70$ cm, tanto por la sencillez de su fabricación como por no presentar alguna sección con concentración de esfuerzos.

Con objeto de garantizar que la falla se produjese en la zona de medición de deformaciones (15 cm al centro del espécimen), se colocó suficiente esfuerzo adicional en ambos extremos (fig. 1).

Se elaboró un programa de ensayos con las mallas previamente seleccionadas (tabla 7) y en función de él se armaron los distintos refuerzos correspondientes a cada una de las series.

Se sometió cada una de las mallas a pruebas de tensión simple (foto 10) para comparar después su resistencia (tabla 7) con los resultados que se obtuvieron en los especímenes de ferrocemento.

Por último, la fabricación propiamente dicha de los especímenes se hizo vaciando el mortero dentro del molde, previa colocación del armado respectivo. La vibración se realizó en forma externa, colocando el molde sobre una mesa vibratoria inmediatamente después del colado durante cuatro minutos, dejándolo reposar 24 hrs., (foto 12) para meterlo posteriormente en la cámara de curado durante 14 días a una temperatura de 23°C y una humedad relativa ciento por ciento (foto 11). El descimbrado de los especímenes se hacía a las 24 horas del colado.

Desde luego, se tuvo cuidado en revisar las dimensiones y simetría de cada espécimen, ya que cualquier deformación o defecto del mismo podría introducir, al ser probado, esfuerzos adicionales cuyos resultados podrían conducir a conclusiones falsas.

3.2.4.- Prueba de especímenes.

Todas las pruebas se realizaron en una máquina universal Baldwin con registro automático de gráficas carga-deformación (foto 13).

Para estos ensayos se empleó la escala de 10,000 kg, y en el registro automático de la gráfica, la escala 1:500.

Antes de montar cada espécimen en la máquina de ensaye, se revisó cuidadosamente con una lupa de 6 dioptrías, con diámetro de 10 cm y luz propia, con objeto de descubrir grietas existentes en el espécimen antes del ensaye; si encontraba alguna fisura se marcaba y medía a lo ancho y largo, utilizando un microscopio de 25 aumentos con una escala interior cuya menor división era de 0,05 mm.

Una vez revisada la pieza, se marcaba la zona de agarre, que era de 20 cm por extremo, y la sección de ensaye donde se registraban las deformaciones.

Ya montada la pieza se procedía a la aplicación de la carga (foto 14).

Foto 6 Especímenes de prueba de tensión y de control de calidad del mortero.

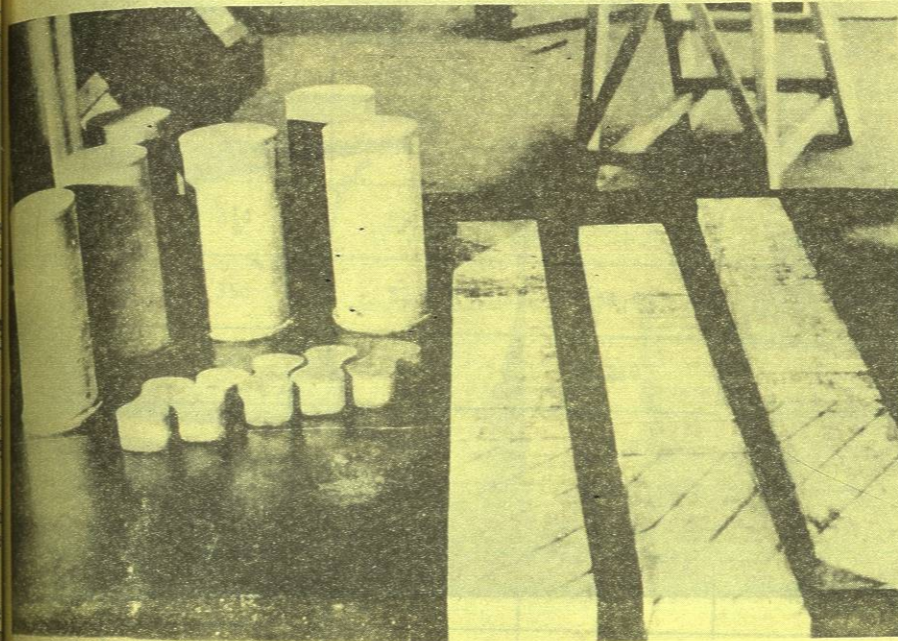


Foto 7 Especímenes para la determinación del módulo de elasticidad. Se muestran prismas rectangulares de mortero dispuestos sobre una superficie oscura.

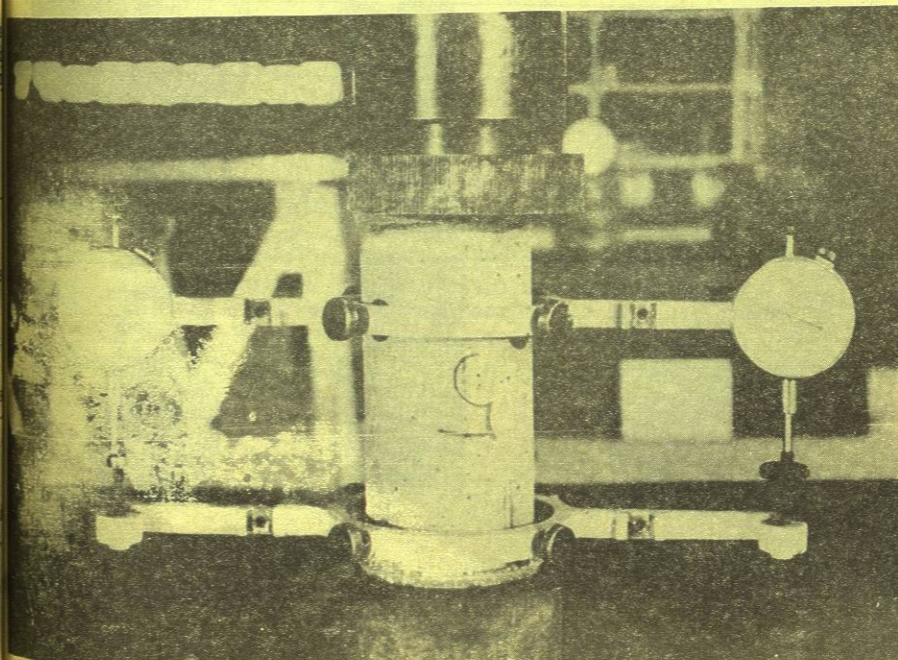


Foto 8 Especímenes en prueba de tensión indirecta (prueba brasileña)

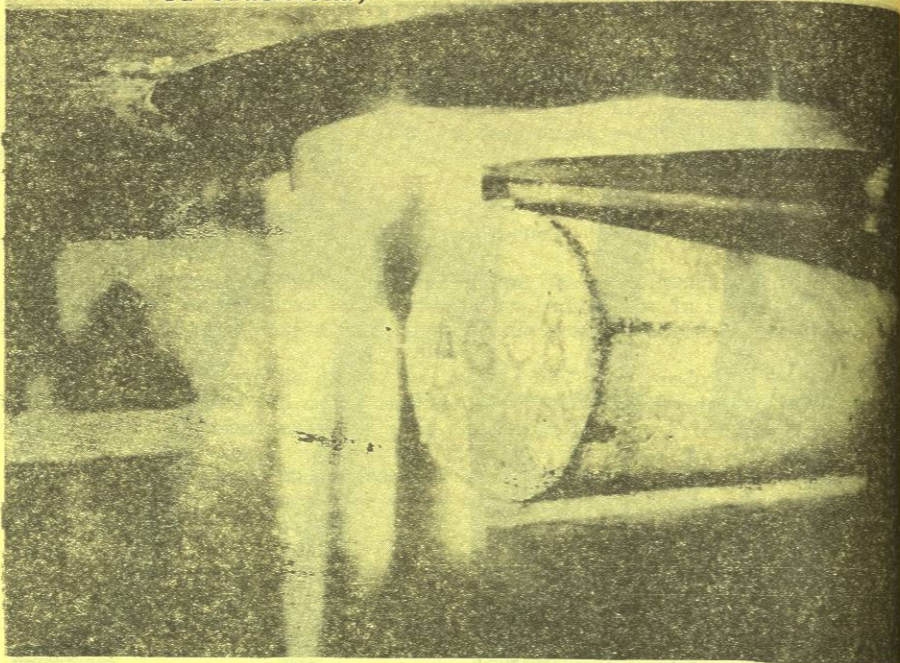


Foto 10 Mallas después de su falla a tensión

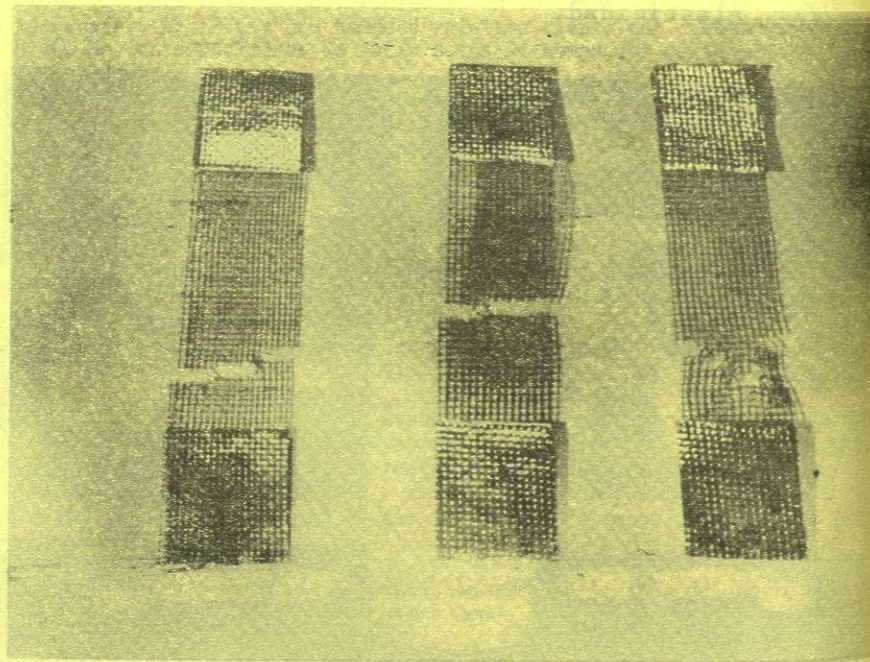


TABLA 2.- CARACTERISTICAS DE LOS MORTEROS DE LOS ESPECIMENES PROBADOS. (esfuerzos y módulo de elasticidad promedios en kg/cm^2).

SERIE	COMPRESION	TENSION INDIRECTA	TENSION DIRECTA	MODULO DE ELASTICIDAD
A	353	30.0	24.0	155700
B	314	29.0	19.75	126700
C	356	32.0	30.4	129000
D	351	30.5	28.0	136000
E	309	25.0	22.8	135000
F	344	27.0	25.8	134700
G	336	26.0	31.4	153300
H	369	36.3	32.0	176000
I	350	30.0	27.0	140600
J	383	28.7	25.0	145300

Los valores presentados en la tabla están dados con base en esfuerzos promedio de ensayos realizados sobre los siguientes especímenes:

- 3 cilindros de 8 x 16 cm para compresión.
- 3 cilindros de 8 x 16 cm para tensión indirecta.
- 3 cilindros de 8 x 16 cm para módulo de elasticidad.
- 5 briquetas estándar para tensión directa.

TABLA 3.- ANALISIS ESTADISTICO DE LAS RESISTENCIAS EN COMPRESION DEL MORTERO, EN LAS DIFERENTES SERIES.

SERIE	f'c	\bar{X}	\bar{R}	σ	Cv
A	330 357 371	353	41	24.22	6.9
B	294 322 326	314	32	19.0	6.1
C	372 358 360	356	34	20.0	5.6
D	365 361 326	351	39	23.0	6.5
E	291 309 327	309	36	21.3	6.9
F	347 362 327	344	35	21.0	6.1
G	357 317 334	336	40	23.6	7.0
H	382 349 376	369	33	19.5	5.3
I	361 356 331	350	30	17.7	5.1
J	392 396 361	383	35	21.0	5.5

f'c = Resistencia a compresión, kg/cm². \bar{R} = Rango (valor mayor-valor menor) Kg/cm².
 \bar{X} = Media, kg/cm² σ = Desviación estándar, Kg/cm²
 Cv = Coeficiente de variación.

TABLA 4.- ANALISIS ESTADISTICO DE LAS RESISTENCIAS EN TENSION INDIRECTA DEL MORTERO, EN LAS DIFERENTES SERIES.

SERIE	f _{T_i}	\bar{X}	\bar{R}	σ	Cv
A	28 32 30	4	30.0	2.36	7.87
B	28 - 30	2	29.0	1.8	6.21
C	34 33 29	5	32.0	2.95	9.2
D	32 29 -	3	30.5	2.66	8.72
E	23 27 25	4	25.0	2.4	9.6
F	25 29 27	4	27.0	2.4	8.89
G	25 25 28	3	26.0	1.77	6.81
H	38 38 33	5	36.3	2.95	8.13
I	32 27 32	5	30.0	2.95	9.7
J	30 30 26	4	28.7	2.36	8.2

f_{T_i} = Resistencia a la tensión indirecta, kg/cm²
 \bar{X} = Media, kg/cm²
 \bar{R} = Rango (valor mayor - valor menor), Kg/cm²
 σ = Desviación estándar, kg/cm²
 Cv = Coeficiente de variación.

TABLA 5.- ANALISIS ESTADISTICOS DE LAS RESISTENCIAS DE TENSION DIRECTA DEL MORTERO, EN LAS DIFERENTES SERIES.

SERIE	f_{Td}	\bar{X}	\bar{R}	σ	Cv
A	27 23 25 23 22 20	24.0	5	2.2	9.0
B	18 18 22	19.25	4	1.9	10.0
C	29 34 28 29 32	30.4	6	2.58	8.5
D	24 28 30 30 28	28.0	6	2.6	9.2
E	23 20 24 24 23	22.8	4	1.72	7.5
F	26 28 26 26 23	25.8	5	2.15	8.3
G	27 33 32 32 33	31.4	6	2.58	8.2
H	36 30 29 33 22	32.0	7	3.0	9.4
I	27 25 30 26	27.0	5	2.4	9.0
J	26 26 27 26 21	25.0	6	2.58	10.3

f_{Td} Resistencia de tensión directa, kg/cm^2
 \bar{X} Media, kg/cm^2
 \bar{R} Rango (valor mayor - valor menor), kg/cm^2
 σ Desviación estándar, kg/cm^2
 Cv Coeficiente de variación.

TABLA 6.- ANALISIS ESTADISTICO DEL MODULO DE ELASTICIDAD DEL MORTERO, EN LAS DIFERENTES SERIES.

SERIES	E	\bar{X}	\bar{R}	σ	Cv
A	165 151 151	155.7	14	8.27	5.31
B	123 124 133	126.7	10	5.91	4.67
C	137 120 130	129.0	17	10.04	7.78
D	140 124 144	136.0	20	11.8	8.68
E	138 128 139	135.0	11	6.5	4.81
F	132 141 131	134.7	10	5.91	4.39
G	144 165 151	153.3	21	12.4	8.1
H	181 180 167	176.0	14	8.27	4.7
I	138 147 137	140.6	10	5.91	4.2
J	146 135 155	145.3	20	11.8	8.12

E Módulo de elasticidad, kg/cm^2
 \bar{X} Media, kg/cm^2
 \bar{R} Rango (valor mayor - valor menor), kg/cm^2
 σ Desviación estándar, kg/cm^2
 Cv Coeficiente de variación

TABLA 7.- PROGRAMA DE ENSAYES.

Serie	Características de la malla de refuerzo	Diámetro del alambre en mm	f_m máx de la malla, en kg/cm^2	No. de capas de refuerzo	% Volumen de refuerzo	Superficie específica de refuerzo en cm^2/cm^3
A	Malla entrelazada cuadrada, 13 x 13 mm	1.2	3242.1	8	2.32	0.77
B	Malla entrelazada cuadrada, 6.3 x 6.3 mm	0.7	2285.3	8	1.63	0.93
C	Malla hexagonal 26 x 39 mm	0.8	1602.6	8	0.97	0.44
D	Malla hexagonal 19 x 14.3 mm	0.8	2061.8	8	1.70	0.85
E	Metal desplegado, 10 x 20 mm	0.5x1.0	1309.5	8	2.7	1.6
F	Malla entrelazada cuadrada, 13 x 13 mm	1.2	3242.1	4	1.160	0.39
G	Malla entrelazada cuadrada, 6.3 x 6.3 mm	0.7	2285.3	4	0.814	0.46
H	Malla hexagonal 26 x 39 mm	0.8	1602.6	4	0.485	0.24
I	Malla hexagonal 19 x 14.3 mm	0.8	2061.8	4	0.85	0.42
J	Metal desplegado, 10 x 20 mm	0.5x1.0	1309.5	4	1.35	0.80

Foto 11 Especímenes de prueba en cámara de curado

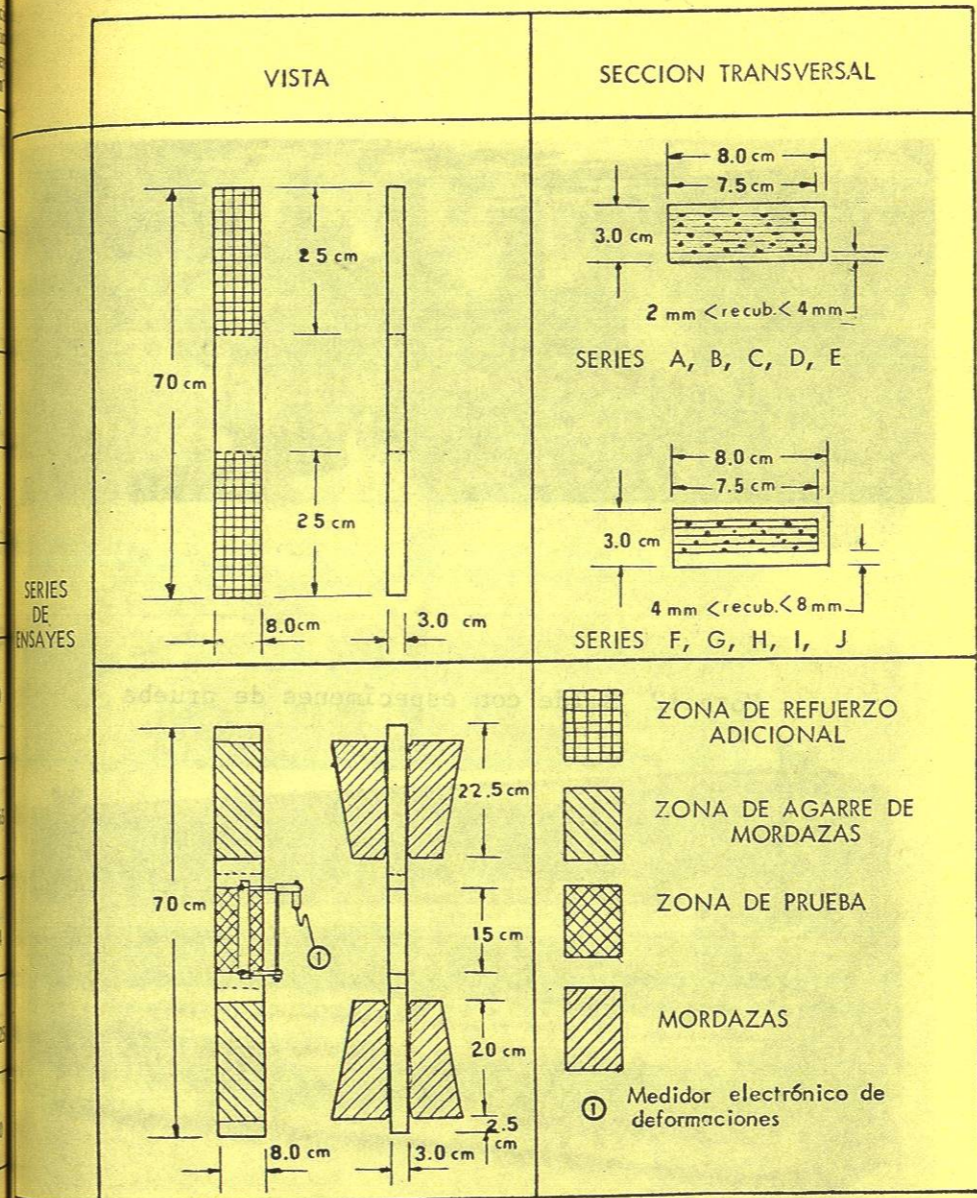


Fig 1. ESPECIMENES DE PRUEBA A ESFUERZOS DE TENSION

Foto 11 Especímenes de prueba en cámara de curado

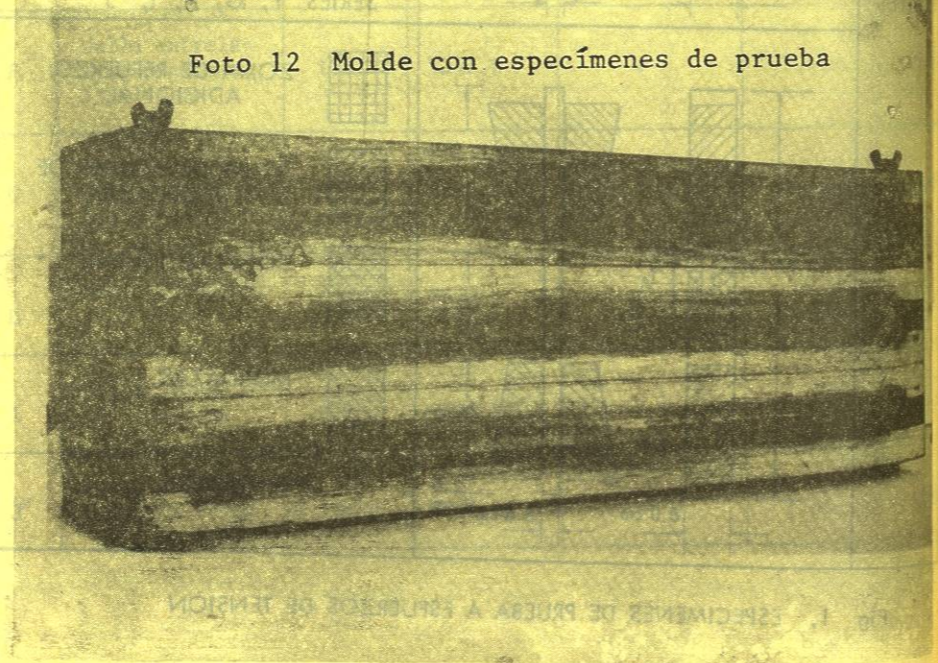
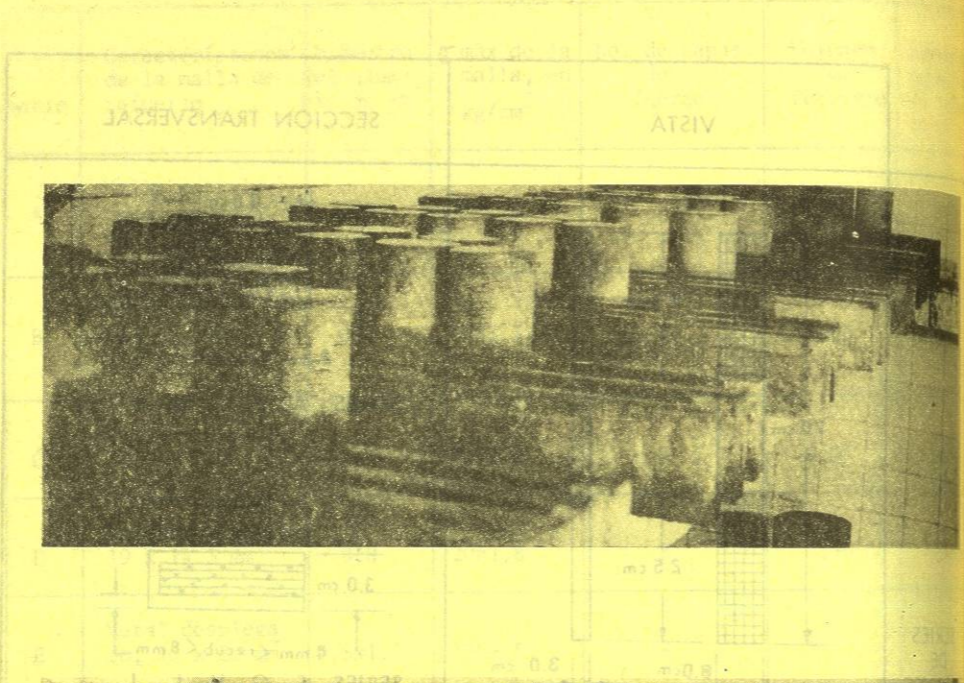


Foto 12 Molde con especímenes de prueba

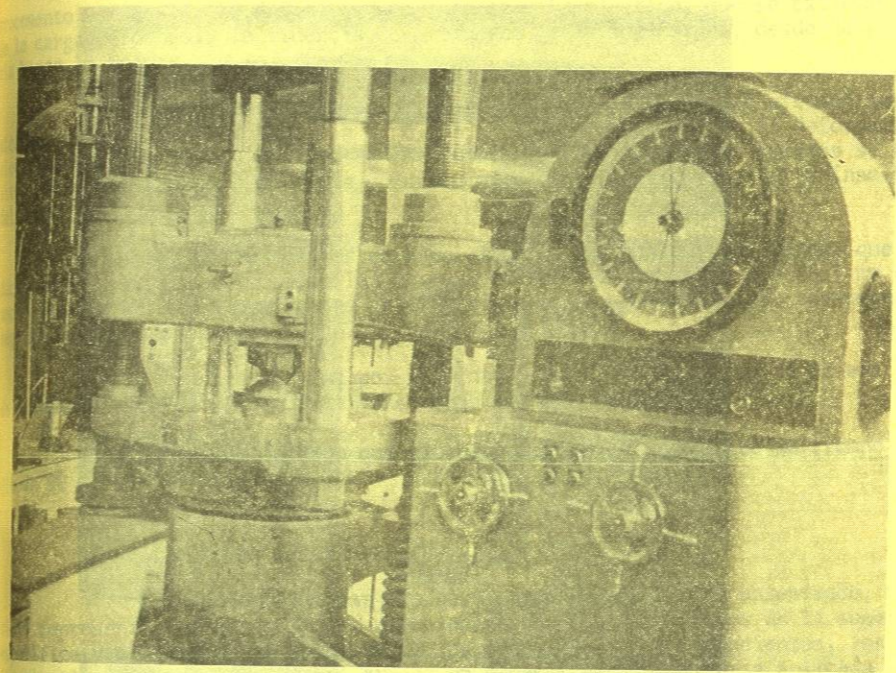


Foto 13 Máquina universal Balwin con registro automático de gráficas carga-deformación.

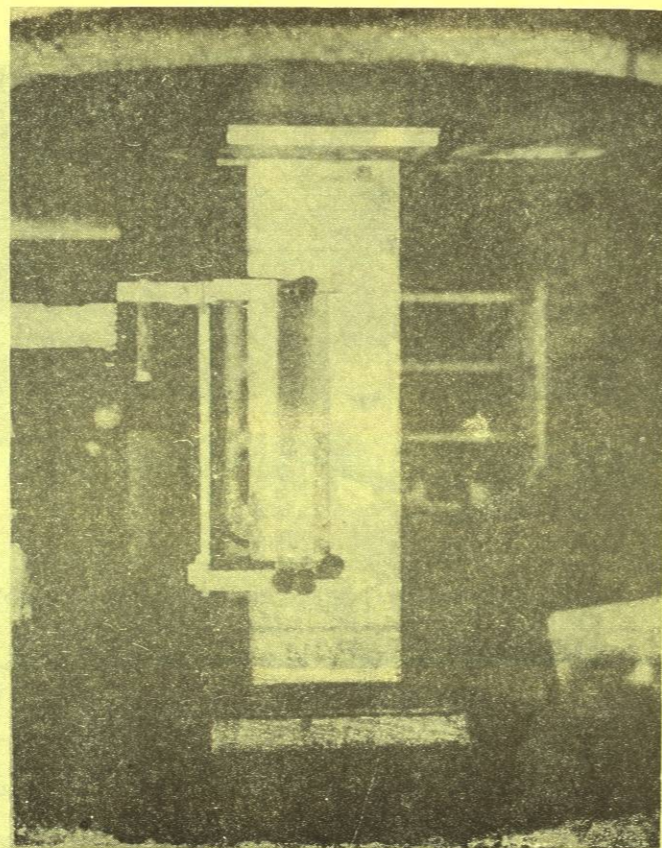


Foto 14 Prueba de espécimen de ferrocemento a tensión.

Para esto se prefijaba una velocidad de deformación en la máquina lo suficientemente lenta para permitir revisiones en las piezas a cada 50 kg de incremento de carga. Estas revisiones se hacían con todo cuidado, empleando la lupa antes mencionada, que permitía detectar grietas de aproximadamente 0.02 mm; una vez detectada una grieta, se procedía a medirla. El procedimiento exigía anotar en el registro de campo, tanto el ancho de grieta como la carga que la producía; siempre se hicieron las lecturas de ancho de fisura en aquellas grietas que presentaban un ancho mayor.

Con objeto de describir en forma adecuada el comportamiento del ferrocemento en tensión se definieron dos etapas. La elástica, que se extiende desde la carga cero hasta la fluencia del refuerzo, y la inelástica, desde la fluencia hasta la rotura.

El registro de la deformación de los especímenes se efectuó hasta alcanzar una deformación unitaria de 0.003, por medio del medidor de deformación electrónica (foto (15)). Después de esta etapa el registro de las grietas se facilitó, pues se quitó el medidor de deformaciones que entorpecía la determinación del ancho de la grieta.

Para obtener datos en esta etapa se registraban las cargas que producían una nueva grieta, o bien las correspondientes a incrementos de 0.1 mm en el ancho; se marcaban con plumón las grietas horizontales y verticales, observando si seguían la colocación y forma del refuerzo.

El ensaye se daba por terminado cuando el espécimen ya no era capaz de mantener la carga y ésta caía considerablemente (fotos 16 a 18).

Debido al cuidado que el ensaye exigía, se necesitó un tiempo promedio de 90 min. por pieza.

3.3.- Resultados obtenidos.-

Para poder analizar los resultados que se fueron obteniendo, se decidió representarlos en gráficas, relacionándolos con los valores de la superficie específica y el volumen de refuerzo de los especímenes correspondientes, los cuales se calcularon en función del armado en el sentido de la fuerza aplicada al espécimen, utilizando las siguientes fórmulas:

$$V_R = \frac{d^2 n}{4 at}$$

donde: V_R volumen de refuerzo

S_L superficie específica

$$S_L = \frac{d n}{a t}$$

d diámetro del alambre

n número de capas de mallas

a espaciamiento de alambre

t espesor del espécimen

Volumen de refuerzo, definido como la relación del volumen de acero de refuerzo existente en la zona de prueba entre el volumen del espécimen en esa misma zona.

Superficie específica, definida como la superficie de contacto del acero de refuerzo existente en la zona de prueba, en el sentido de la fuerza, entre el volumen del espécimen en esa misma zona.