

se recomienda una buena limpieza con un buen limpiador de mampostería. Se sugiere que limpiar el edificio se especifique con ciertas reservas, ya que puede ser una alternativa que se puede eliminar si realmente no se requiere. Existe un gran número de productos que poseen en solución al carbonato de calcio, y por lo tanto lo separan de la superficie. La clave está en quitar la solución de la superficie. Si el limpiador de mampostería no se quita adecuadamente, cuando el solvente se evapora, se intensificará la blancura de la superficie y aparecerá como si fuera blanqueada con cal.

CONCLUSIONES.

El concreto arquitectónico es en verdad uno de los tipos más importantes del concreto estructural. Las oficinas que planean y especifican deben poner atención especial a los detalles que son críticos para el logro de un acabado indicado, y así alcanzar resultados de alta calidad.

La tabla, tal como la incluida en este monograma, ha sido modificada para usarse como hoja de trabajo para proyectos específicos. Está disponible a su solicitud a la General Portland, Inc., P. O. Box 4752, Dallas, Texas, 75247.

Es la opinión del comité autor que es una labor casi imposible la de preparar una guía de especificaciones sobre el concreto arquitectónico en general. Serían más adecuadas las guías de especificaciones para cada acabado indicado, pero muy pronto serían anticuadas, debido a los cambios rápidos en el estado actual del concreto arquitectónico y a la introducción de nuevos productos. Existen unas cuantas normas publicadas acerca del detalle, materiales y mano de obra para el concreto arquitectónico.

La clave para el éxito se encontrará en: un dimensionamiento razonable de las secciones para facilitar la construcción, una elección adecuada de las cimbras, detalles en el acero de refuerzo que faciliten la construcción, elección adecuada de los materiales y proporcionamientos del concreto, la debida atención a las técnicas de colado y consolidación, la elección y uso adecuado de productos comerciales que se puedan emplear en el acabado.

Traducción: Oscar González Garza
Revisión de traducción: Daniel H. Cebrián.

CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO.

Raymundo Rivera Villarreal*

RESUMEN.

El mortero y el concreto reforzado con fibra de vidrio resistente a los álcalis está surgiendo como un material sumamente versátil en la industria de la construcción.

Los métodos de manufactura están basados en el procesamiento de fibra de vidrio premezclada con cemento o la adición de la fibra de vidrio a la mezcla de concreto en la revolvedora.

El presente trabajo está programado para investigar el efecto de la fibra de vidrio E, protegida con un apresto contra la acción de los álcalis del cemento, en las propiedades mecánicas de concreto hecho con cemento Portland con Escoria de Alto Horno. Como agregado grueso se usó escoria de alto horno con tamaño máximo de 10 mm (3/8 pulg) y como agregado fino, caliza triturada de cantera, en proporción 1:1. Se escogió un revenimiento promedio de 5 cm (2 pulg) y un contenido de aire de 5.5%. Tomando como variables la relación agua-cemento, la longitud y el contenido de fibra, se determinaron las propiedades mecánicas siguientes: Esfuerzo de flexión, al aparecer la primera grieta y máximo; esfuerzo de compresión y esfuerzo de tensión por compresión diametral, todos ellos, a las edades de 7 y 28 días; gráficas esfuerzo deformación; módulo de elasticidad a la compresión (Young) y razón de Poisson. Además, se realizaron ensayos de compresión en cubos de mortero de 5 cm (2 pulg) y de tensión por compresión diametral en cilindros de 5 x 10 cm (2 x 4 pulg), curando normalmente y a 91°C en un medio húmedo.

* Director del Instituto de Ingeniería Civil de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

INTRODUCCION.

El concreto es fundamentalmente débil bajo solicitaciones de tensión y de impacto. Para disminuir en cierto grado esa desventaja, se han estado llevando a cabo distintos experimentos utilizando como refuerzo en el concreto diversos tipos de fibras.

Fibras de origen orgánico, tales como nylon, polietileno y polipropileno, y de origen mineral como acero, asbesto y vidrio, han sido las más utilizadas por los investigadores.

Las fibras de origen orgánico que no son susceptibles al ataque químico en la pasta de cemento, como las mencionadas anteriormente, tienen algunas deficiencias como son: baja resistencia al calor, bajo módulo de elasticidad, no aumentan apreciablemente la resistencia de la matriz del cemento Portland y en algunos casos la reducen. Presentan dificultad para mezclarse y distribuirse en el concreto fresco y tienen pobre adherencia (1).

Sin embargo, se ha observado un considerable aumento en la resistencia al impacto con las fibras de nylon y de polipropileno (2).

Las fibras minerales han mostrado un buen comportamiento como refuerzo del concreto. Las de acero tienen muy buenas propiedades para utilizarse con este fin, pero pueden llegar a corroerse si no se les protege adecuadamente, siendo generalmente muy caras.

El asbesto ha sido combinado exitosamente con una pasta de cemento Portland para formar un producto conocido como asbesto-cemento. La resistencia a la flexión del asbesto-cemento para contenidos de fibras de 8 a 16% en volúmenes es 2 a 4 veces la de la matriz normal (3). Hay pocos países con yacimientos de asbesto en explotación, y en ellos las variedades de la mejor calidad se están agotando. Aunado a esto, el cáncer del asbesto-cemento llamado "asbestosis" demanda un sustituto adecuado para el asbesto, que bien pudiera ser la fibra de vidrio.

En la tabla No. 1 se pueden apreciar las propiedades características de algunas fibras.

El uso de fibras de vidrio en el concreto data de los años 1950, los trabajos de entonces estaban orientados al uso de varillas de fibra de vidrio con la finalidad de substituir el acero convencional en elementos preesforzados. Estos trabajos por lo general no tuvieron mucho éxito por los problemas que se presentaron con los aditamentos para la sujeción. Por otra parte, la fibra de vidrio comercial tipo E y vidrio E, clasificado como vidrio borosilicato de bajo álcali, progresivamente pierden resistencia en el medio alcalino como el que se presenta en el cemento Portland hidratado (4, 5).

Estudios con fibras de vidrio, resistentes a los álcalis, se han realizado en Inglaterra, Japón, Rusia y en los E. U.

II.- PRINCIPALES CARACTERISTICAS DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS.

1.- Diagrama Carga-Deformación.

Quando un espécimen reforzado con fibras se ensaya a la flexión, observan generalmente dos características en la gráfica de carga-deformación, como se puede apreciar en la Fig. 1. La gráfica puede considerarse aproximadamente lineal hasta el punto A, conocido como "Resistencia a la Aparición de la Primera Grieta", "Límite Elástico" o "Límite Proporcional", a partir de este punto, la gráfica no es lineal y alcanza un valor de resistencia máxima en el punto B.

Se han propuesto dos mecanismos para predecir el límite proporcional

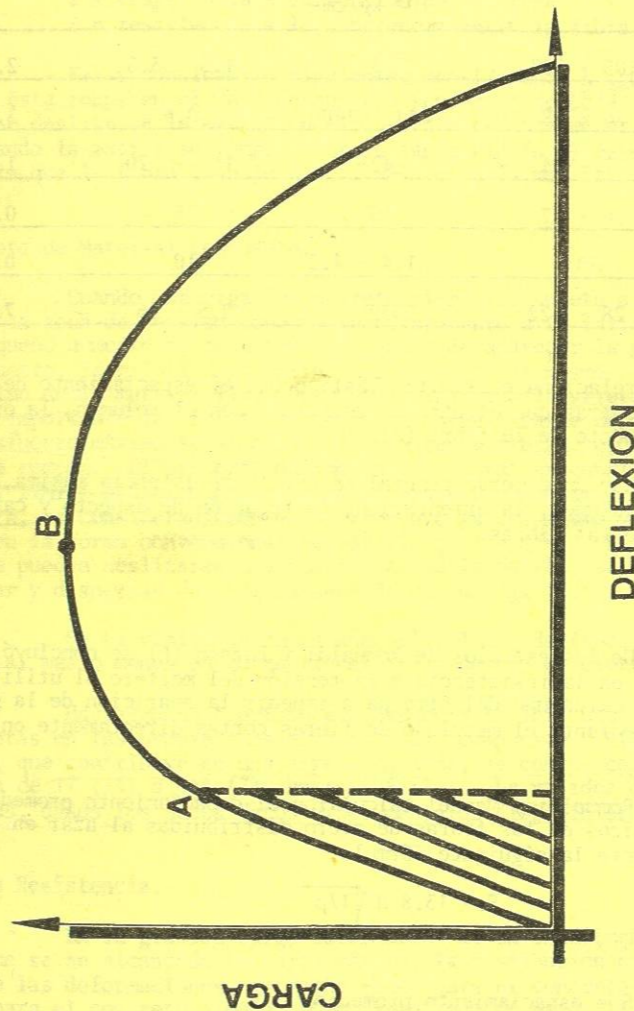


FIG. 1.- DIAGRAMA CARGA - DEFLEXION EN EL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS.

TABLA 1

PROPIEDADES CARACTERISTICAS DE ALGUNAS FIBRAS

| TIPO | RESISTENCIA A LA TENSION 10 ² kg/cm ² | MODULO DE ELASTICIDAD DE YOUNG 10 ⁵ kg/cm ² | ELONGACION MAXIMA. % | PESO ESPECIFICO |
|---------------|--|--|-------------------------|-----------------|
| VIDRIO | 105 - 387 | 703 | 1.5 - 3.5 | 2.5 |
| ASBESTO | 56 - 98 | 844 - 1406 | 0.6 | 3.2 |
| NYLON | 77 - 84 | 42 | 16 - 20 | 1.1 |
| POLIPROPILENO | 56 - 77 | 35 | 25 | 0.90 |
| POLIETILENO | 70 | 1.4 - 4.2 | 10 | 0.95 |
| ACERO | 28 - 422 | 2039 | 0.5 - 35 | 7.8 |

nal. Un mecanismo relaciona el límite elástico con el espaciamiento de la fibra de refuerzo (6), mientras que el otro lo relaciona con el volumen, la orientación y la relación de aspecto de la fibra (8).

Hay un acuerdo general en que la resistencia máxima, depende principalmente del volumen, la orientación, la relación de aspecto y características de adherencia de las fibras.

2.- Espaciamiento.

De los estudios de Romualdi y Batson (6) se concluyó que se logra un incremento en la resistencia a la tensión del mortero al utilizar alambres espaciados muy cerca uno del otro para impedir la aparición de la grieta, esto puede lograrse mediante el mezclado de fibras cortas directamente en el mortero (7).

Romualdi y Mandel calcularon el espaciamiento promedio entre los centros geométricos de las fibras de acero distribuidas al azar en la matriz del concreto, mediante la siguiente fórmula:

$$S = 13.8 d \sqrt{1/p}$$

Donde:

S = espaciamiento promedio.
d = diámetro de la fibra.
p = contenido volumétrico de fibra.

Llegaron a la conclusión que la resistencia a la tensión es proporcional a la inversa de la raíz cuadrada del espaciamiento. Se ha encontrado que esta fórmula es aplicable también a morteros reforzados con cordones cortos de fibra de vidrio (9).

3.- Longitud Crítica.

La longitud crítica o relación de aspecto crítico, se encuentra

relacionada, según Kelly (10), en la forma siguiente:

$$\frac{L_c}{d} = \frac{f}{2B}$$

Donde:

L_c = longitud crítica.
d = diámetro de la fibra.
f = resistencia a la tensión de la fibra.
B = resistencia a la adherencia entre la fibra y la matriz.

Kelly concluyó lo siguiente, considerando L igual a la longitud de la fibra, ésta rompe en el caso de que L/d sea mayor de L_c/d (o L mayor de L_c) y la fibra se desliza de la matriz en el caso que L/d sea menor que L_c/d (o L menor de L_c) cuando la matriz se rompe. Por lo tanto L/d (o L) debe ser mayor que L_c/d (o L_c) para que la fibra trabaje efectivamente en la matriz.

4.- Concepto de Material Compuesto.

Cuando una viga de concreto simple se sujeta a cargas, el agrietamiento de la zona de tensión conduce inmediatamente a la falla de la viga, existe un muy pequeño aumento de resistencia después de aparecer la grieta. En un material compuesto, la grieta mayor principia casi con el mismo esfuerzo correspondiente al máximo de la matriz (11). Después de iniciada la grieta, las fibras toman una parte importante del esfuerzo siendo más significativa después del agrietamiento. El esfuerzo máximo se alcanza cuando algunas fibras se deslizan de la matriz y otras se rompen. El esfuerzo máximo en las fibras es considerablemente inferior que el del límite elástico de la propia fibra. Debe observarse que la eficiencia de la fibra, es considerablemente inferior que la del mismo volumen de refuerzo colocado en la forma convencional de varilla (1/3 a 1/4). Esto es debido a que las fibras pueden deslizarse más fácilmente de la matriz, se encuentran orientadas al azar y dispersas en toda la sección de la viga (12).

Se ha visto que aumentando el volumen de fibra, aumenta el límite proporcional más o menos en forma lineal (13), dentro de ciertos límites.

Hay algunas teorías para predecir la influencia de la orientación de las fibras en las propiedades elásticas del compuesto. El porcentaje del volumen total, que contribuye en una dirección dada, se conoce como factor de eficiencia, varía de 17 (14) a 41% (7), hasta 80% (15). La validez de cualquiera de estas teorías, dados los pocos datos experimentales disponibles permanecen en duda.

5.- Máxima Resistencia.

En la gráfica carga-deformación de un espécimen sujeto a flexión, una vez que se ha alcanzado la carga máxima, la disminución en la carga, con el aumento de las deformaciones, es mucho menor para el concreto reforzado con fibras que para el concreto simple. Como resultado de esto, la energía absorbida antes de la falla completa de la viga, es mayor para el concreto reforzado con fibras que para el concreto simple. La diferencia es la energía necesaria para el deslizamiento y al alargamiento de las fibras.

Los dos factores más importantes, que tienen influencia en la resistencia máxima a la flexión, son el volumen de fibra y su longitud crítica.

6.- Tenacidad.

La tenacidad en el concreto está relacionada con el crecimiento de

las grietas. El concreto tiene mayor tenacidad que una pasta de cemento, debido a que se desarrollan un número mayor de microgrietas a causa de la presencia de los agregados. Con la presencia de las fibras, las grietas no pueden ampliarse sin que las fibras se deformen o deslicen. Por lo tanto, en el concreto con fibras se requiere de energía adicional para que ocurra la falla completa del material, es decir, tiene mayor tenacidad que el concreto simple y por lo tanto es una importante mejora en el concreto.

III.- PROGRAMA DE ENSAYES.

El programa de ensayos está orientado principalmente a investigar el comportamiento de fibra de vidrio E con apresto, trabajando en una matriz de cemento Portland con escoria de alto horno en concreto y en morteros.

a).- Propiedades mecánicas del concreto con fibra de vidrio, con apresto protector contra la acción de los álcalis, para distintos contenidos, longitud de fibra y relación agua-cemento.

b).- Efecto de los álcalis del cemento en la resistencia a la compresión y tensión por compresión diametral, en morteros hechos con fibra de vidrio con apresto, para cemento Portland I y cemento Portland de Escoria de Alto Horno, curados en condiciones normales y a 91°C en un medio húmedo.

IV.- CONCRETO CON FIBRA DE VIDRIO.

1.- Materiales.-

La fibra de vidrio utilizada en los ensayos fue del tipo E, con un apresto de acetato para protegerla de la acción de los álcalis del cemento (No. 308A de la Cía Johns-Manville), en forma de cordones uniéndose con silano, aproximadamente 400 monofilamentos, con 0.01270 mm (0.00050 pulg) y 0.01397 mm (0.00055 pulg) de diámetro mínimo y máximo respectivamente. Las longitudes que se usaron fueron de 13 y 25 mm (1/2 y 1 pulg).

El cemento fue cemento Portland de Escoria de Alto Horno, marca Super Atlante, con un contenido de 60% de clinker de cemento Portland I. Sus propiedades físicas y químicas se dan en la tabla No. 2.

El agregado grueso fue escoria de Alto Horno, con un tamaño máximo de 10 mm (3/8 pulg). Sus características físicas y químicas se dan en la tabla No. 3.

El agregado fino fue caliza triturada de cantera. Sus características físicas y químicas se dan en la tabla No. 4.

Se utilizó resina vinsol como aditivo inclusor de aire.

TABLA 2

PROPIEDADES DEL CEMENTO PORTLAND DE ESCORIA DE ALTO HORNO

PROPIEDADES FISICAS:

| | |
|--|------------------------|
| Peso específico | 3.10 g/cm ³ |
| Fineza, pasando malla No. 350 | 97.0 a 97.5% |
| Tiempos de fraguado | |
| Inicial Vicat | 2 hr 45 min |
| Final Vicat | 3 hr 00 min |
| Inicial Gillmore | 4 hr 10 min |
| Final Gillmore | 6 hr 35 min |
| Sanidad | |
| Expansión en autoclave | 0.02% |
| Resistencia a la compresión en cubos de 5.0 cm | |
| 3 días | 195 kg/cm ² |
| 7 días | 270 kg/cm ² |
| 28 días | 430 kg/cm ² |

ANALISIS QUIMICO:

| Oxido | % en peso |
|--|-----------|
| CaO (total) | 55.50 |
| S ₁ O ₂ | 25.50 |
| Al ₂ O ₃ | 7.70 |
| Fe ₂ O ₃ | 2.50 |
| SO ₃ | 1.83 |
| Pérdida por ignición | 1.20 |
| Residuo insoluble | 0.20 |
| Alcalis totales (como Na ₂ O) | 0.44 |

TABLA 3
PROPIEDADES DEL AGREGADO GRUESO DE ESCORIA DE ALTO HORNO

PROPIEDADES FISICAS

| | |
|-----------------------|-------------------------|
| Tamaño máximo | 10 mm |
| Peso específico (SSS) | 2.4 g/cm ³ |
| Absorción | 4.5% |
| Peso volumétrico (SS) | 1,590 kg/m ³ |

ANÁLISIS QUÍMICO (Promedio en %)

| | |
|--------------------------------|-------|
| CaO | 42.00 |
| SiO ₂ | 33.92 |
| Al ₂ O ₃ | 13.24 |
| MgO | 9.52 |
| S | 2.12 |
| TiO ₂ | 0.84 |
| Fe ₂ O ₃ | 0.72 |
| P y Mn | 0.14 |

TABLA 4
PROPIEDADES DEL AGREGADO FINO

CLASIFICACION - CALIZA TRITURADA DE CANTERA

| | |
|--|-------------------------|
| Principal compuesto (CaCO ₃) | 90 a 95% |
| Peso específico | 2.63 g/cm ³ |
| Módulo de fineza | 2.90 |
| Absorción | 1.5% |
| Peso volumétrico (SS) | 1,600 kg/m ³ |

2.- Variables en el estudio.

- Longitud de la fibra. 13 mm (1/2 pulg) y 25 mm (1 pulg).
- Cantidad de fibra de vidrio (% en volumen absoluto de la mezcla húmeda). 0.0, 0.5, 0.75 y 1.0.
- Relación agua-cemento (en peso). 0.50, 0.55, 0.60 y 0.65.

3.- Proporciónamiento.

Se hicieron proporciónamientos previos para establecer el tamaño máximo del agregado grueso, así como la proporción entre los agregados fino y gr

so. Con la adición de la fibra al concreto, la consistencia y la docilidad se ven afectadas adversamente. Entre mayor es el tamaño máximo del agregado más difícil es trabajar con el concreto así como lograr una distribución más uniforme de la fibra. Decidiéndose por un tamaño máximo de 10 mm (3/8 pulg). Se escogió una relación en peso entre los agregados de 1:1, aunque pudo haberse hecho con 1:15 o 1:2, pero considerando también que este tipo de agregado es muy áspero afectaría la docilidad de la mezcla.

Se consideró conveniente utilizar un inductor de aire para mejorar las propiedades afectadas por la adición de la fibra como son la docilidad y la consistencia. La cantidad de aire total en el concreto fresco se escogió entre 5.0 y 6.0%.

Se decidió adoptar para todos los proporciónamientos un revenimiento promedio de 5.0 cm (2 pulg). Un revenimiento mayor implicaría un consumo excesivo de cemento con sus correspondientes inconvenientes, y un revenimiento menor no puede lograrse sin una excesiva cantidad de aire, que afecta directamente la resistencia como se puede apreciar en las Figs. 2 y 3, en donde aparecen los resultados de ensayos de resistencia a la compresión, flexión y tensión indirecta del concreto con fibra de vidrio para distintos contenidos de aire. Al variar el contenido de aire, al nivel de resistencias que se aprecia en las figuras, la disminución es de un poco más del 2% y para contenido de aire mayores del 7% la disminución es considerable.

La cantidad de fibra de vidrio fue calculada en %, en volumen (absoluto), del total de mezcla húmeda incluyendo el contenido de aire total esperado.

Un proporciónamiento típico para una relación agua-cemento de 0.55, un contenido de fibra de 0.75% en volumen y una longitud de 13 mm (1/2 pulg), se da en la tabla 5.

4.- Preparación de los especímenes.

Después de agregar el agua con el aditivo inductor de aire, a una revoladora de tambor con capacidad para un bulto de cemento, se agregó el cemento y mezcló durante 30 seg, permitiendo con esto la formación del aire y la saturación del cemento; se detuvo la revoladora durante 30 seg, tiempo en el cual se introdujo el agregado fino, arrancando la revoladora y permitiéndose el mezclado durante 30 seg, volviéndose a detener la revoladora durante 30 seg, para realizar la introducción del agregado grueso, mezclándose durante los 30 seg siguientes. Después de este tiempo, se principió a agregar la fibra de vidrio en forma manual y continua durante 120 seg, sin detener el mezclado. Todos los ingredientes se mezclaron durante 60 seg, para lograr una dispersión eficiente de la fibra. El tiempo total desde que entró el cemento en contacto con el agua, hasta la descarga de la revoladora fue de 5 1/2 min.

Se fabricaron especímenes cilíndricos de 15.2 x 30.4 cm (6 x 12 pulg) para los ensayos de compresión y tensión por compresión diametral; vigas de 15.2 x 15.2 x 50.8 cm (6 x 6 x 20 pulg) para el ensayo a la flexión con cargas en los tercios del claro. Después de fabricar los especímenes de acuerdo a las Normas ASTM, se vibraron los moldes externamente para reducir la cantidad de aire atrapado.

En todas las revolturas se hizo la medición del revenimiento, del contenido total de aire por el método de presión y del peso volumétrico fresco.

Además para tener una idea del contenido de aire atrapado que puede eliminarse mediante un vibrado interno, se hizo lo siguiente; en el mismo recipiente donde se mide la cantidad de aire total, 25.7 x 27.9 mm (10 x 11 pulg), se compactó el concreto fresco introduciendo el vibrador de laboratorio, de 10,500 rpm, durante 10 seg en cada tercio del volumen y se determinó el contenido de aire del

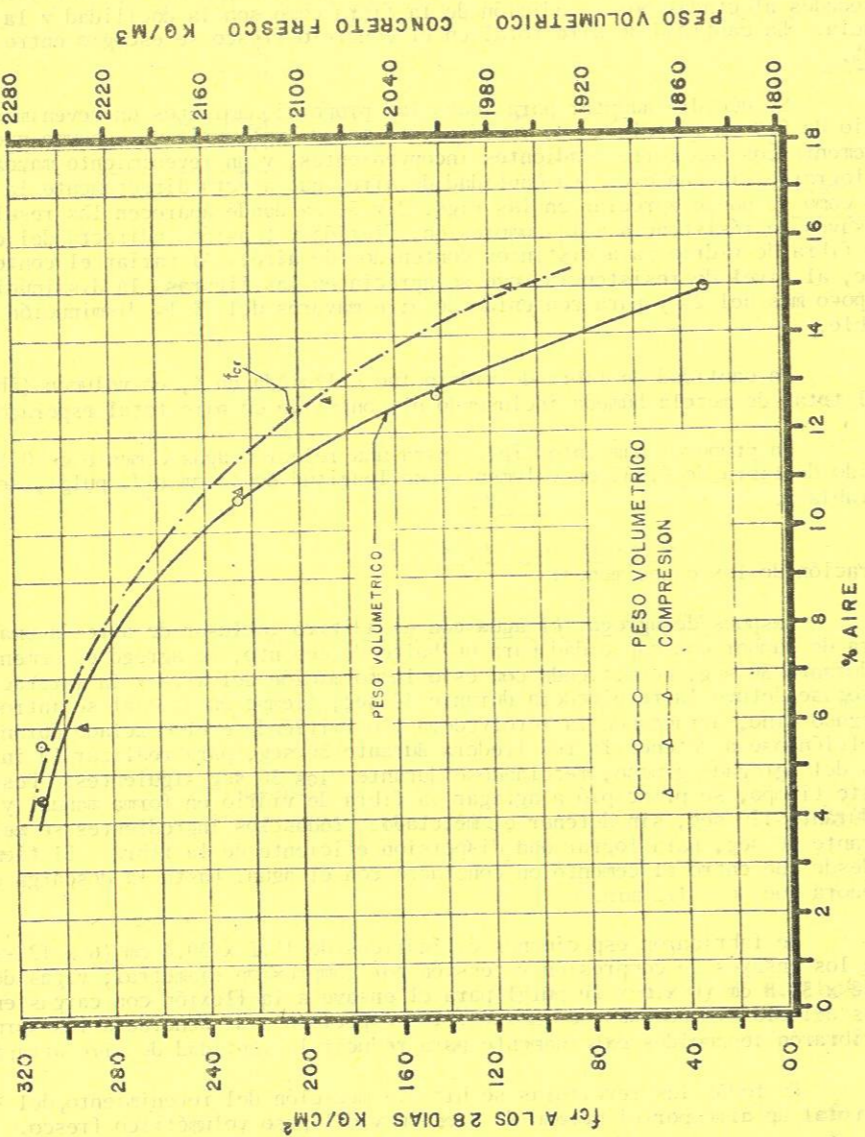


FIGURA Nº2 INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE AIRE EN EL PESO VOLUMETRICO FRESCO Y EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 28 DIAS.

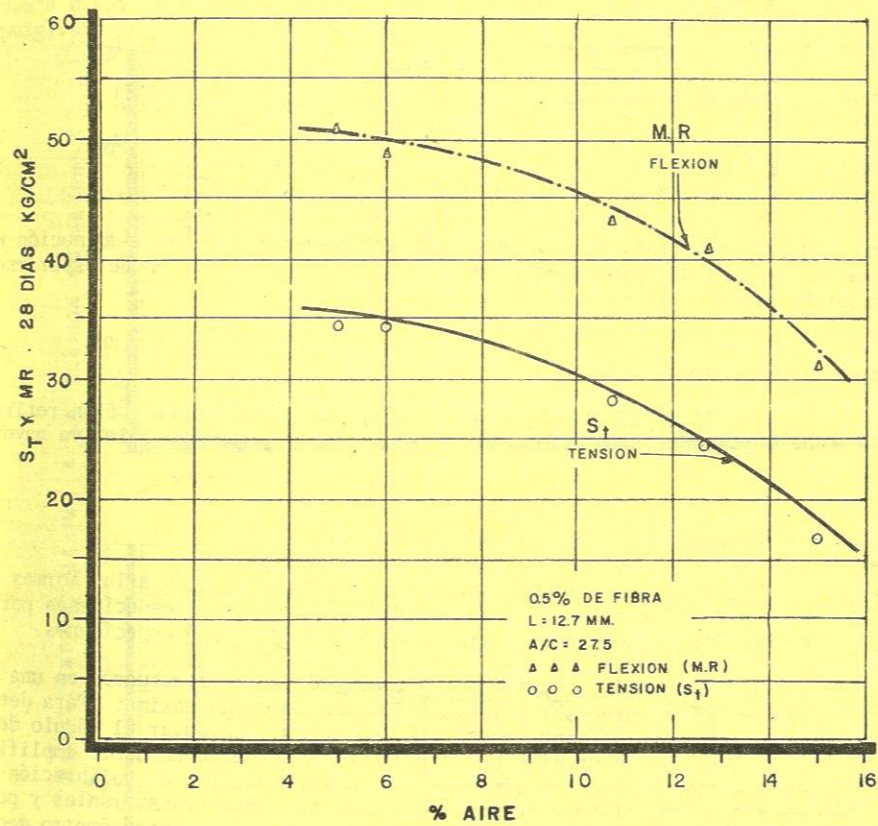


FIG. Nº3 INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE AIRE EN EL MODULO DE RUPTURA Y EN LA RESISTENCIA A LA TENSION POR COMPRESION DIAMETRAL A LOS 28 DIAS.

TABLA 5

PROPORCIONAMIENTO TÍPICO PARA UNA RELACION A/C DE 0.55,
EN 0.5% EN VOLUMEN DE FIBRA DE VIDRIO CON LONGITUD DE
13 mm

| MATERIALES | kg/m ³ | lb/y ³ |
|---------------------|-------------------|-------------------|
| Agua | 250 | 421 |
| Cemento | 454 | 765 |
| Agregado grueso (s) | 665 | 1121 |
| Agregado fino (s) | 665 | 1121 |
| Fibra | 20.2 | 34 |

concreto compactado en esta forma. El resultado promedio fue una disminución del contenido de aire de aproximadamente 1.5% y por consiguiente es de esperarse un aumento en la resistencia.

5.- Curado de los especímenes.

Al día siguiente de la fabricación los especímenes fueron retirados de los moldes y llevados a un cuarto de curado de 23°C y humedad relativa mayor del 95%.

6.- Métodos de ensayo.

Todos los especímenes fueron ensayados de acuerdo a las Normas vigentes de ASTM, a los 7 y a los 28 días de edad, ensayándose 3 especímenes por cada edad. Los resultados que se presentan son el promedio de 3 especímenes.

- Compresión.- Los ensayos a compresión se efectuaron en una máquina Universal Forney de 150 Ton de carga máxima. Para determinar las deformaciones longitudinales y calcular el módulo de Young, se utilizó un compresómetro mecánico de doble amplificación y aproximación de 0.01 mm, con longitud de calibración de 25 cm. Para determinar las deformaciones transversales y para calcular la razón de Poisson, se utilizó un extensómetro mecánico de triple amplificación y aproximación de 0.001 mm. El módulo de Young y la razón de Poisson se determinaron en una de cada serie de 3 especímenes.
- Tensión por Compresión Diametral.- Los ensayos se realizaron en una máquina Universal Riehle de 60 Ton de capacidad, utilizando un aditamento para alinear el espécimen en ambas direcciones.
- Flexión.- Los ensayos de flexión se realizaron en la máquina Universal Riehle, mediante un aditamento especial que permite apoyos y aplicación de cargas libres en los tercios de un espécimen de 48.7 cm (18 pulg). A uno de cada serie de tres, se le hizo medición de deflexiones contra cargas para determinar la carga correspondiente. Las deflexiones, se midieron mediante micrómetros de carátula con aproximación de 0.001 mm montados en frentes

especial en los propios especímenes en ambas caras.

7.- Resultados de los ensayos.

Los siguientes resultados se apoyan en la observación de las gráficas trazadas de acuerdo a los datos que aparecen en la tabla No. 7.

a).- Resistencia a la flexión.

La figura No. 4 muestra los resultados de la resistencia máxima a la flexión a los 7 y a los 28 días de edad, para 4 relaciones A/C que varían de 0.5 a 0.65, distintos contenidos de fibra y para longitud de fibra de 13 mm (1/2 pulg).

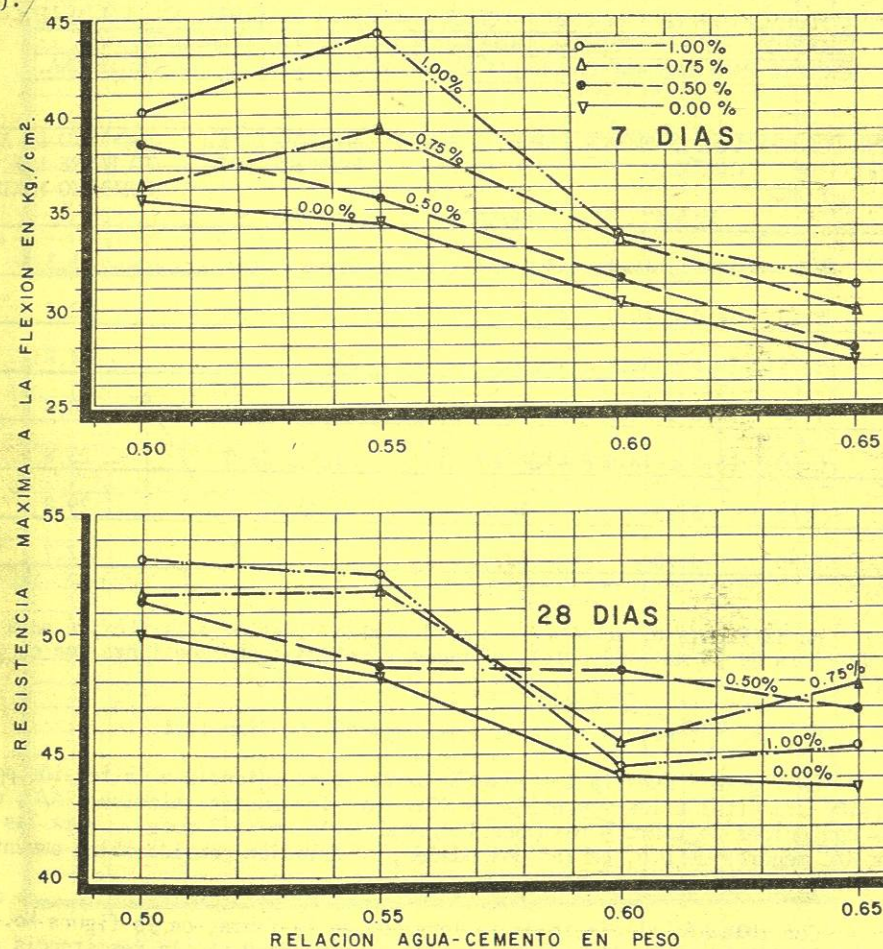


FIG. 4.- RELACION ENTRE LA RESISTENCIA MAXIMA A LA FLEXION Y LA REL. A/C PARA DISTINTOS CONTENIDOS DE FIBRA DE VIDRIO DE 13 mm. DE LONGITUD.

Para las relaciones agua-cemento bajas, 0.5 y 0.55, entre mayor es el contenido de fibra, mayor es la resistencia; siendo más significativo el incremento para una relación de 0.55; para las relaciones más altas, 0.60 y 0.65, no está bien definida la influencia, esto ocurre en forma más notable a los 7 días.

Por lo que respecta a la longitud de la fibra, figura No. 5, se puede apreciar que a los 7 días se logra mayor resistencia con longitud de 25 mm (1 pulg) para todas las relaciones A/C a los 28 días, y se mantiene el incremento sólo para relaciones A/C menores de 0.55.

La diferencia entre el límite elástico y el esfuerzo máximo de flexión, lo podemos apreciar en la tabla No. 6. Para una longitud de fibra de 13 mm (1/2 pulg), la diferencia es mayor al aumentar el contenido de fibra; aumenta de 22.4 a 28.0%, al aumentar el volumen de 0.5 a 1.0%. Para longitud de 25 mm (1 pulg), la diferencia entre el límite elástico y el esfuerzo máximo aumenta de 25.8 a 32.7% al aumentar el volumen de fibra de 0.5 a 1.0%.

TABLA 6

INFLUENCIA DE LA LONGITUD Y VOLUMEN DE FIBRA DE VIDRIO EN EL LIMITE ELASTICO. LOS VALORES SE OBTUVIERON PARA CUATRO RELACIONES A/C. -- EXCEPTO PARA LOS INDICADOS (*) EN LOS QUE SE UTILIZO SOLAMENTE UNA.

| LONGITUD DE LA FIBRA. | VOLUMEN DE FIBRA | LIMITE PROPORCIONAL. | ESFUERZO MAXIMO | AUMENTO EN EL ESFUERZO MAX. | PROMEDIO DE AUMENTO ENTRE L.E. Y ESFUERZO MAXIMO. |
|-----------------------|------------------|----------------------|--------------------|-----------------------------|---|
| mm | % | kg/cm ² | kg/cm ² | % | % |
| 0 | 0 | 41.1 a 47.4 | 44.0 a 50.0 | 3.1 a 7.1 | 5.3 |
| 13 | 0.50 | 38.0 a 40.0 | 47.7 a 52.1 | 20.3 a 24.6 | 22.4 |
| 13 | 0.75 | 36.4 a 39.6 | 47.7 a 51.7 | 23.4 a 27.3 | 24.8 |
| 13 | 1.00 | 30.0 a 42.8 | 44.6 a 55.3 | 26.4 a 31.0 | 28.0 |
| 25 | 0.50 | 28.0 a 48.0 | 41.7 a 61.0 | 22.3 a 28.0 | 25.8 |
| 25* | 0.75 | 32.8 | 46.7 | 29.8 | 29.8 |
| 25* | 1.00 | 35.0 | 52.0 | 32.7 | 32.7 |

En la figura 6, se observa que el límite elástico a la flexión para longitud de fibra de 13 mm (1/2 pulg), es menor en el concreto con fibra que en el normal.

b).- Resistencia a la tensión por compresión diametral.

La figura 7 muestra los resultados de la resistencia a la tensión por compresión diametral a los 7 y a los 28 días para las cuatro relaciones A/C, distintos contenidos de fibra y para una longitud de 13 mm (1/2 pulg). Para las relaciones A/C menores de 0.6, en las dos edades, se aprecian considerables aumentos en la resistencia.

Con relación al efecto de la longitud de la fibra, en la figura No. 8, podemos apreciar que para las relaciones A/C menores de 0.65, la resistencia a los 7 días es mayor para el concreto con fibra de vidrio de 25 mm (1 pulg) de longitud. A los 28 días, la influencia de la longitud de la fibra no está definida.

c).- Esfuerzo de compresión.

El esfuerzo de compresión a los 7 y 28 días aparece en la figura No. 9, se puede apreciar un importante incremento de resistencia con relaciones A/C de 0 y 0.55; para relaciones mayores la influencia es incierta.

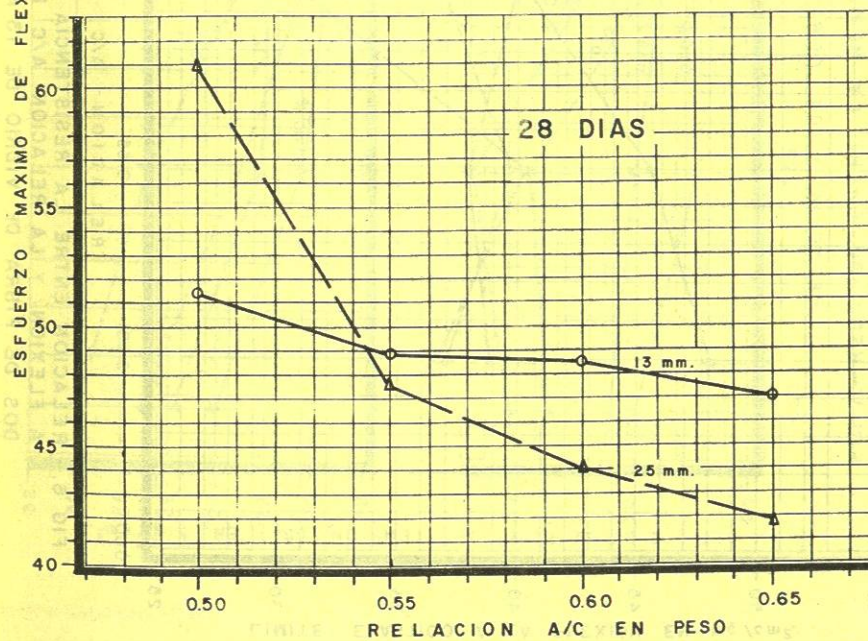
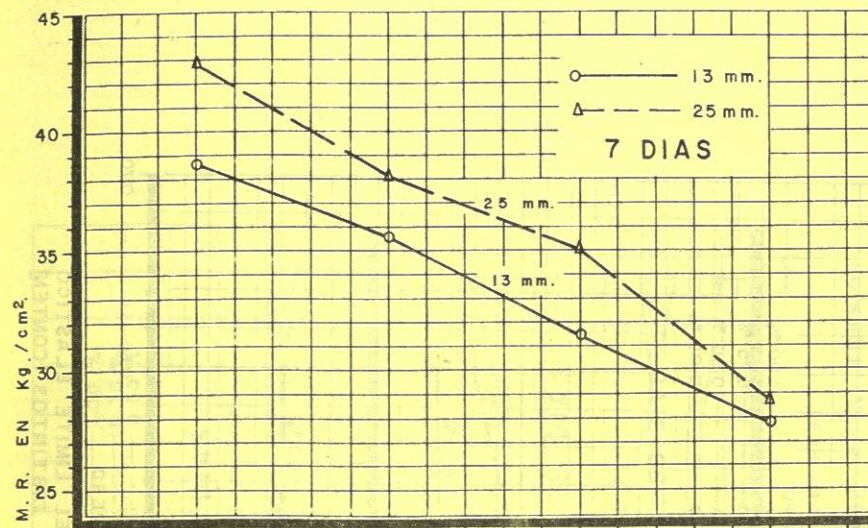


FIG. 5.- RELACION ENTRE EL ESFUERZO MAXIMO DE FLEXION Y LA REL. A/C PARA UN CONTENIDO DE FIBRA DE VIDRIO DE 0.5 %