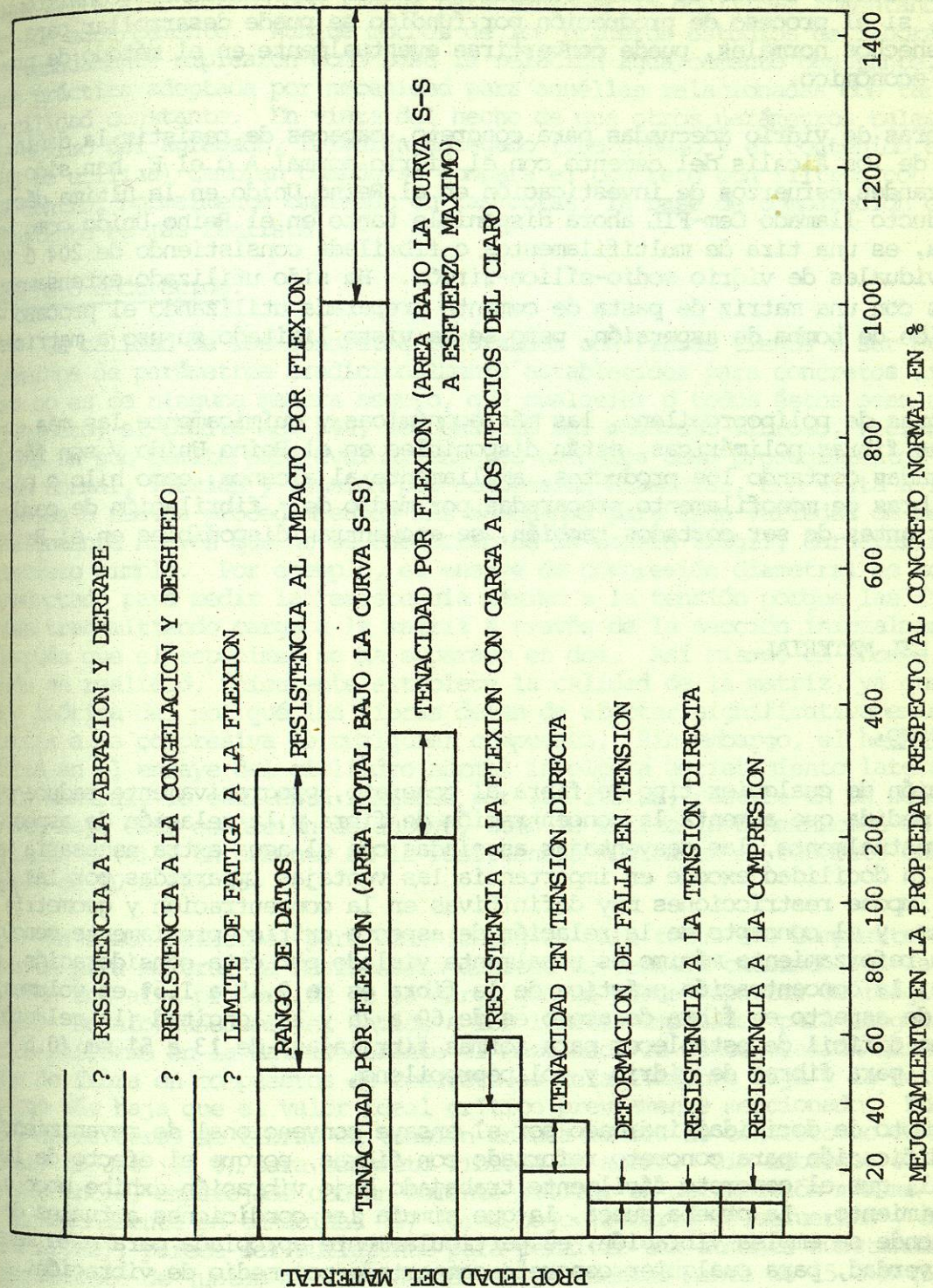


TABLA 1



ducción comercial de fibras de acero fundido al carbón de resistencia consistente. Sin embargo, si el proceso de producción por fundido se puede desarrollar para utilizar desechos normales, puede convertirse eventualmente en el método de producción más económico.

Las fibras de vidrio adecuadas para concreto, capaces de resistir la dañina interacción de los álcalis del cemento con el vidrio normal A o el E, han sido el objeto de grandes esfuerzos de investigación en el Reino Unido en la última década. El producto llamado Cem-FIL ahora disponible tanto en el Reino Unido como en Norteamérica, es una tira de multifilamentos o fibrilada consistiendo de 204 ó 408 fibras individuales de vidrio sodio-sílice-zircón. Ha sido utilizado extensamente en productos con una matriz de pasta de cemento preparada utilizando el proceso de fabricación de bomba de aspersión, pero se ha visto limitado su uso a matrices de concreto.

Las fibras de polipropileno, las más económicas y químicamente las más estables de las fibras poliméricas, están disponibles en el Reino Unido y son fácilmente elaboradas cortando los productos, ampliamente al alcance, como hilo o cordón. Las fibras de monofilamento preparadas por medio de fibrilación de cordones estándar antes de ser cortados también, se encuentran disponibles en el Reino Unido.

PROPIEDADES DEL MATERIAL.

Concreto fresco.

La adición de cualquier tipo de fibra al concreto, progresivamente reduce su docilidad a medida que aumenta la concentración de fibra y la relación de aspecto aumenta. Eventualmente, las desventajas asociadas con el agua extra necesaria para mantener la docilidad excede en importancia las ventajas impartidas por las fibras. Esto impone restricciones muy definitivas en la concentración y geometría de las fibras, y el concepto de la relación de aspecto crítico previamente mencionado para un reforzamiento máximo es usualmente violado por esta consideración. Generalmente, la concentración práctica de la fibra es de 0.15 a 1.5% en volumen, la relación de aspecto en fibra de acero es de 60 a 75 y la longitud (la relación de aspecto es difícil de establecer para formas fibriladas) de 13 a 51 mm (0.5 - 2.0 pulgadas) para fibras de vidrio y polipropileno.

El concepto de docilidad indicado por el ensaye convencional de revenimiento requiere modificación para concreto reforzado con fibras, porque el efecto de las fibras es tal, que el concreto fácilmente trabajado bajo vibración exhibe poco o ningún revenimiento. La prueba sueca, la que simula las condiciones actuales de colocación donde se emplea vibración, es particularmente apropiada para este material, y, en verdad, para cualquier concreto compactado por medio de vibración.

La reducción en docilidad asociada con las fibras origina la pregunta sobre qué bases debe hacerse la comparación con el concreto simple. Como fue indicado por el autor en detalle en un trabajo anterior (3), casi todas las comparaciones se han basado en dos de varias alternativas, ya sea a relación agua/cemento constante, donde el concreto de control es muy dócil y el concreto fibroso es rígido (porque no se le agrega agua extra), o de docilidad constante donde se agrega

agua extra al concreto con fibras para mantener la docilidad aumentando así la relación agua/cemento. Aunque muchos de los primeros estudios de laboratorio desafortunadamente emplearon como base la relación agua/cemento constante, la base más práctica adoptada por necesidad para aquellas relacionadas con tanteos es a docilidad constante. En vista del hecho de que otros parámetros tales como tamaño máximo del agregado, relación agregado fino/grueso y el contenido de cenizas (si se utiliza) cambian cuando se compara el concreto con filtros con el concreto de control normalmente empleado en las obras, la base de comparación de docilidad constante es más realista.

Concreto endurecido.

La calidad de los concretos reforzados con fibras tiende a ser evaluada en términos de parámetros tradicionalmente establecidos para concretos simples, aunque no es de ninguna manera seguro, que cualquier o todos éstos sean apropiados. En efecto, el Comité ACI 544, responsable del concreto fibroso, recientemente designó un sub-comité para evaluar ensayos normales como procedimientos de compresión normal, flexión y tensión por compresión diametral, con vista a recomendar cambios o nuevos procedimientos más adecuados para esta variedad de materiales relativamente nuevos que no se comportan de la manera frágil, característica del concreto simple. Por ejemplo, el ensaye de compresión diametral es totalmente inadecuado para medir la resistencia máxima a la tensión porque las fibras continúan transmitiendo carga a la matriz a través de la sección inicialmente fallada, después que el espécimen se ha separado en dos. Así mismo, el ensaye de compresión en realidad, únicamente establece la calidad de la matriz, ya que no hay razón teórica del por qué las fibras deban de afectar significativamente la resistencia a la compresiva de cualquier compuesto. Sin embargo, el hecho de que la falla en el ensaye del cilindro normal involucra agrietamiento lateral en la porción central, lo cual está inhibido por las fibras, resulta en un beneficio aparente bajo esta condición de ensaye, como lo indica la disminución en la razón de Poisson's (4) y un aumento en la resistencia medida en el concreto con fibras de acero de 10 a 25% (3, 4).

La razón principal para usar fibras en casi todos los compuestos tradicionales es para mejorar la resistencia directa de tensión causando que las fibras soporten una alta proporción de la carga que no puede soportar la frágil y débil matriz. Desafortunadamente, debido a los límites impuestos para asegurar distribución uniforme en la matriz durante el mezclado, la concentración máxima permisible de fibra en compuestos de concreto es relativamente baja y la relación de aspecto más baja que el valor ideal crítico previamente mencionado. Por consiguiente, el refuerzo de fibras en tensión en una matriz de concreto no es muy substancial, 15-30% (5, 6) para concreto fibroso de acero. Sin embargo, el aumento en resistencia, emparejado con un aumento similar en deformación máxima y un aumento correspondiente en tenacidad (5) (área bajo la curva de esfuerzos y deformaciones unitarias), parece ser suficiente para permitir un aumento substancial en el espaciamiento de juntas de contracción en pavimentos hasta de 15.2 m (50 pies) aparentemente sin efecto adverso en las cubiertas de prueba de Fort Hood (7) y Las Vegas (8). Si este es el caso, los costos en juntas pueden reducirse considerablemente y mejoraría la conducción de vehículos.

En concreto, particularmente en pavimento de concreto, la resistencia a la flexural frecuentemente se considera como medida de la calidad, y con esta forma de cargar, las fibras tienen un efecto más acentuado que en tensión directa. Varios investigadores (3, 6, 9, 10) han mostrado que la resistencia a la flexión de

especímenes preparados en el laboratorio puede llegar al doble con la adición de 1 1/2 a 2 1/2 % en volumen de fibras de vidrio o acero, con valores obtenidos entre 85 y 140 kg/cm² (8.3 - 13.8 MPa).

Sin embargo, muchos de estos resultados se obtuvieron utilizando especímenes relativamente pequeños con longitudes de fibra del 40 a 50% de la dimensión mínima del espécimen.

El alineamiento longitudinal de las fibras en la superficie del molde es un factor muy importante. Además, el contenido de cemento fue en algunos casos (9, 10) increíblemente alto 510 kg/m³ (850 lb/yd³), como también fueron altos los contenidos de fibra en exceso del 2% en términos de miscibilidad bajo condiciones de campo y costo. Han resultado limitaciones impuestas por consideraciones económicas y de miscibilidad en casi todas las investigaciones de campo empleando de 1 a 1 1/2 % en volumen de fibras de acceso de 80 a 120 kg/m³ (133 - 200 lb/yd³) y las resistencias a la flexión obtenidas son entre 70 y 77 kg/cm² (6.9 - 7.6 MPa) a 28 días (7, 8, 11). Las fibras de vidrio han sido empleadas, aparentemente sin éxito debido a problemas de miscibilidad, hasta la fecha en una sola rama de investigación, así es que no hay información disponible de campo sobre esto.

Hasta ahora se han considerado únicamente las propiedades normalmente utilizadas para caracterizar un concreto simple. Sin embargo es evidente que ensayos normales de compresión, de flexión o de tensión directa no representen completamente las propiedades de concreto fibroso. Distinto al concreto simple que tiene una curva de esfuerzos y deformaciones unitarias casi lineal sin resistencia al post-agrietamiento, el concreto fibroso exhibe un aumento apreciable en tenacidad (trabajo de fractura señalado como el área bajo la curva de esfuerzos y deformaciones unitarias) bajo tensión directa (5), y un aumento considerable a la flexión (3, 12) (del orden de varios cientos en %) dependiendo de la concentración de fibras y relación de aspecto. Esta habilidad de absorber energía también se refleja en ensayos de flexión-impacto conducidos con un tipo de aparato con un péndulo pesado similar al aparato Charpy utilizado para ensayar la resistencia de especímenes de acero a fractura frágil. Aquí una vez más mejoramientos significantes - dentro del 50 a 400% se han observado (3, 6). Gráficas comparativas de carga contra deflexión para morteros de concreto simple y reforzado con fibra de acero por Hannant (6) (Figura 1), muestran la naturaleza fundamentalmente diferente de los dos materiales, el mortero simple comportándose de manera elástica frágil y el mortero fibroso de manera muy dúctil causada mayormente por la habilidad de las fibras para transmitir la carga a través de las grietas en la matriz y de permitir que el eje neutro se mueva hacia arriba produciendo una distribución de esfuerzos parcial o completamente plástica.

Comparando la magnitud de las diferencias entre el concreto simple y el concreto típico reforzado con fibras de acero con un 1% en volumen, una concentración que es factible en el campo desde el punto de vista de compatibilidad con proceso de mezclado y costo, es aparente (Figura 2) que los ensayos normales de resistencia no enfocan los avances más significantes. No obstante, hasta que nuevos procedimientos o modificaciones a procedimientos normales existentes como el ensayo de flexión con cargas en los tercios se desarrollen, el concreto fibroso probablemente continuará evaluándose en términos de resistencia a la compresión o a la flexión. Como se indicó anteriormente, el ensayo de compresión es inaplicable, pero para el presente, el ensayo de flexión es de algún valor para la determinación de la calidad potencial de concreto fibroso en el campo, particularmente

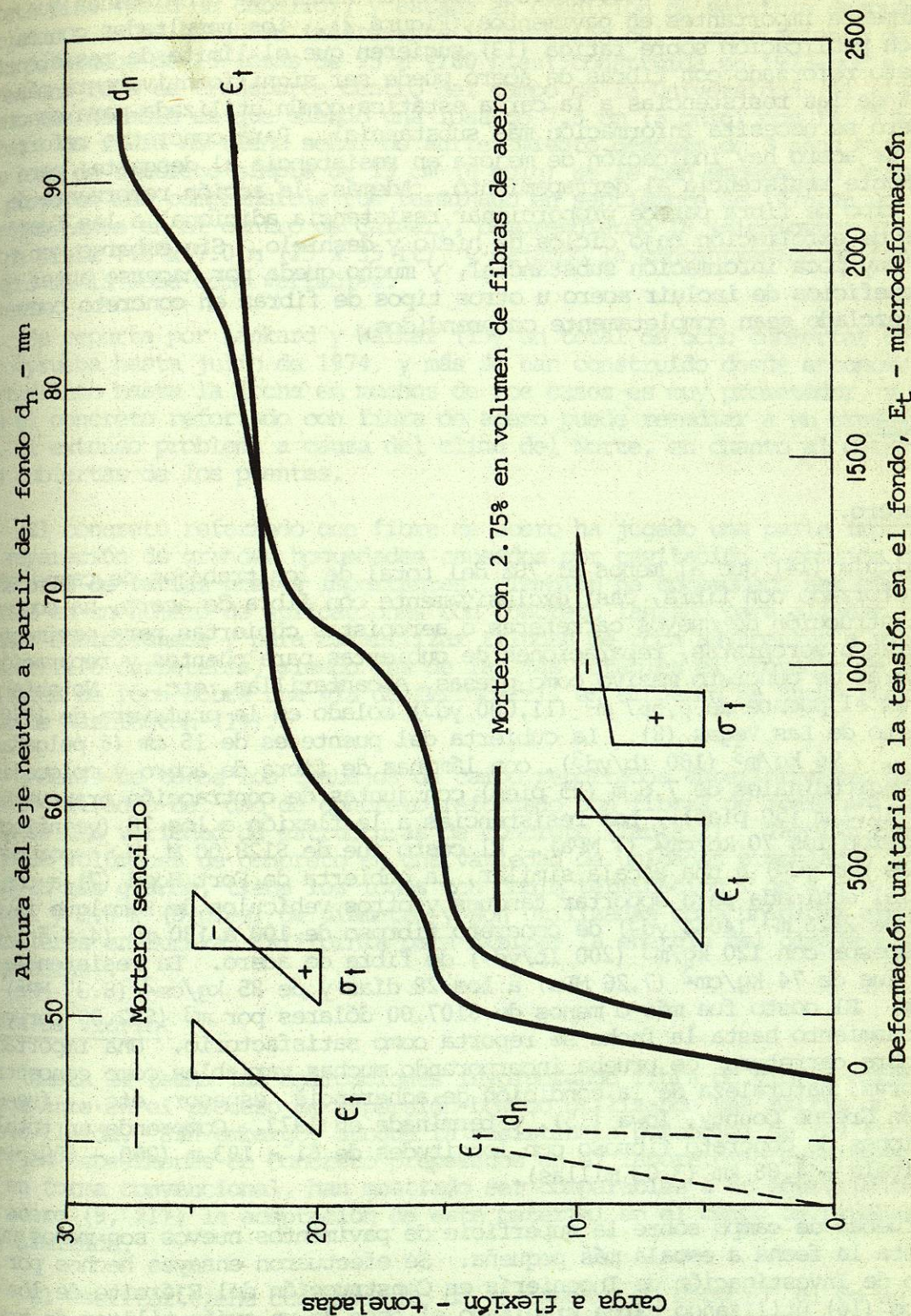


Fig. 1