

PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE TUBOS DE HORMIGON CON LA ADICION DE FIBRAS DE ACERO

PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE TUBES WITH THE ADDITION OF STEEL FIBERS

Autores y filiación:

Juan Esteban Arias González; Carlos Concepción Portillo Cañete;
Prof. Ing. Paulo G. Yugovich - FCYT - UCA

RESUMEN

El suceso en las aplicaciones de las fibras de acero en el desarrollo de algunos tipos de construcciones y en el mejoramiento de la ductilidad y tenacidad del hormigón masa, además de la escasa difusión e investigación en nuestro país respecto a la utilización de dicho material, son algunos de los motivos que han generado el interés de realizar un estudio sobre el comportamiento de tubos de hormigón reforzados con fibras de acero. Para esto, han sido elaborados tubos de hormigón de distintos diámetros, sin adición de fibras de acero y con fibras de acero incorporadas en dos proporciones diferentes.

En esta investigación se presentan los resultados de un trabajo experimental, desarrollado para evaluar a través de ensayos laboratoriales, el comportamiento físico y mecánico de tubos de hormigón elaborados por el método denominado de Roto-Compresión y reforzados con fibras de acero. Estos ensayos permitieron valorar la influencia de las fibras de acero en la resistencia a la compresión diametral y la tenacidad de los tubos de hormigón.

Palabras Claves: Tubos de Hormigón, fibras de acero, tenacidad, resistencia a la compresión diametral.

ABSTRACT

Due to the succeed of the steel fibers application in development of some kinds of constructions and in the improvement of the ductility and tenacity from the mass concrete, besides the scarce diffusion and investigation in our country relationated to utilization of this material, those are some reasons which have generated the interest to study the performance of concrete tubes reinforced with steel fibers. For this, have been elaborated concrete tubes of different diameters, without addition of steel fibers and tubes with steel fibers incorporated in two different proportions.

In this paper are presented results of an experimental work, developed to evaluate trough laboratorial tests, physical and mechanical performance of concrete tubes elaborated through the Rotate - Compression method and reinforced with steel fibers. These tests, allowed to value influence of steel fibers on diametrical compression strength and tenacity in concrete tubes.

Key words: Concrete tubes, steel fibers, tenacity, diametrical compression strength.

1. INTRODUCCION

Los fabricantes de elementos premoldeados de hormigón, tales como tubos destinados a la construcción de alcantarillados de desagües pluviales o aguas residuales, se enfrentan con el desafío de elaborar productos de excelente calidad, alta resistencia mecánica y durabilidad. En consecuencia la búsqueda de la calidad en los materiales de construcción, genera la necesidad de implementar hormigones especiales, fabricados mediante la adición de nuevos materiales tales como la fibra de acero.

La presencia de las fibras en el hormigón, modifica las propiedades de la matriz mediante dos efectos: por un lado, mejora la resistencia del material bajo todo tipo de sollicitaciones que induzcan tensiones de tracción; y por otro lado, mejora la capacidad de deformación y controla el proceso de fisuración.

El suceso en las aplicaciones de las fibras de acero en el desarrollo de algunos tipos de construcciones y el mejoramiento de la ductilidad y tenacidad en el hormigón masa, han sido algunos de los factores que llevaron a investigar los efectos de dichas fibras sobre las propiedades físicas y mecánicas de tubos de hormigón, fabricados con el sistema denominado de Roto-Compresión.

En esta investigación se presentan los resultados de un trabajo experimental, desarrollado para evaluar la resistencia a la compresión diametral de tubos de hormigón reforzados con fibras de acero, además de la tenacidad alcanzada.

1.1 Planteamiento del tema

La tecnología de fabricación de tubos por el método de Roto-Compresión, tiene el inconveniente de no posibilitar la incorporación de armaduras, debido al proceso de giro y compresión axial aplicada en la elaboración de los mismos.

Dicha imposibilidad genera limitaciones en la resistencia a la compresión diametral.

Ante dicho inconveniente, y en la búsqueda de la obtención de tubos de hormigón con mejores características mecánicas tales como la tenacidad y la ductilidad, controlando el desarrollo de las fisuras, ha llevado a experimentar con las fibras de acero.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

- Determinar, mediante ensayos de laboratorio, el comportamiento físico y mecánico de tubos de hormigón fabricados por el método de Roto-Compresión con la adición de fibras de acero.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Comparar las propiedades de los tubos de hormigón sin fibras de acero, con las de aquellas reforzadas con fibras de acero.
- Evaluar los costos de producción en los diferentes casos y emitir una opinión acerca de la factibilidad técnica-económica del uso del Hormigón Reforzado con Fibras de Acero (HRFA, en lo que sigue del trabajo) en este tipo de tubos.
- Verificar la influencia de la dosificación de las fibras, ya que se estudiarán las características físico-mecánicas de tubos con dos diferentes cantidades de fibras por m^3 de hormigón.

2. DELIMITACION DEL TEMA

2.1 Alcances Y Limites

Con esta investigación se pretende comparar las propiedades físicas y

mecánicas de tubos de hormigón simple, sin refuerzos, con las de los tubos fabricados con la incorporación de fibras de acero.

Para esto, fueron elaborados tubos de hormigón por el método de Roto-Compresión con diámetros de 400, 500 y 600 mm, con dosificación de fibras de acero de 20 y 40 kg/m³, los cuales han sido sometidos a ensayos de Compresión Diametral, Permeabilidad y Absorción.

2.2. Hipótesis

Con la utilización de las fibras de acero, se espera un mejoramiento en el comportamiento mecánico de los Tubos de hormigón.

3. MARCO TEORICO

3.1 Fibras de Acero

Las fibras de acero son elementos discontinuos, presentando una distribución discreta y uniforme dentro de la matriz que confiere al material una gran isotropía y uniformidad. [4]

Pueden obtenerse por diferentes métodos; el más común de todos es por corte de alambre trefilado de bajo contenido de carbono lográndose el de sección transversal circular, por cortado de láminas de acero con la cual las fibras tienen sección cuadrada o por arrancamiento en caliente con lo cual las fibras tienen forma de virutas. El diámetro de los alambres está comprendido entre 0.25 y 1 mm. y la longitud puede ser variable oscilando entre 10 y 75 mm. Pueden encontrarse sueltas o coladas en peines que facilita el proceso de mezclado y homogenización del material. [3]

El tipo de fibra utilizada en la investigación es de acero de alambre trefilado, con sección circular y adherencia mejorada por ganchos en los extremos y cuyas dimensiones son las siguientes:

Diámetro $D= 0,75\text{mm}$; Longitud $L= 33\text{mm}$; Relación de esbeltez $L/D= 44$.

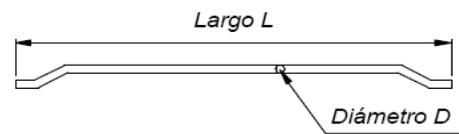


Figura 1 Esquema de la Fibra de acero utilizada.

3.2. Interacción Fibras De Acero – Matriz

Al adicionar fibras de acero al hormigón se modifican las propiedades de la matriz mediante dos efectos importantes: por un lado mejora la resistencia del material bajo todo tipo de sollicitaciones que induzcan tensiones de tracción y, más importante aún para una matriz frágil como el hormigón, mejora la capacidad de deformación y controla el proceso de fisuración [5]. Esto ocurre debido a que las fibras de acero poseen un elevado módulo de elasticidad, la cual dificulta la propagación de fisuras en el hormigón. Por la capacidad portante post-fisuración que el compuesto presenta, las fibras permiten una redistribución de esfuerzos en el material aún cuando sea utilizada en bajos porcentajes.

Una de las ventajas proporcionadas por las fibras, es el hecho que se distribuyen aleatoriamente en toda pieza del material reforzado y no en una determinada dirección como ocurre con las armaduras convencionales.

Las Fibras de acero introducen al Hormigón mejoras tales como:

- Mejoramiento de la resistencia a flexotracción.
- Incremento de la resistencia a tracción.

- c. Reducción de la deformación bajo cargas mantenidas.
- d. Aumento de la tenacidad.
- e. Fuerte incremento de la resistencia al impacto y choque.
- f. Gran resistencia a la fatiga dinámica.
- g. Fisuración controlada.
- h. Aumento de la durabilidad de los hormigones.

3.3. Aplicación del HRFA

El HRFA se viene utilizando ampliamente en prefabricaciones y construcciones industrializadas tales como: pavimentos de carreteras y aeropuertos, soleras de fábricas y almacenes, en depósitos para líquidos; en estructuras de seguridad (cajas fuertes). Asimismo, son usados en el gunitado de túneles, canales y taludes; además de revestimientos refractarios para hornos metalúrgicos.

3.4. Tubos de Hormigón

Entre los materiales prefabricados utilizados en la construcción civil, los tubos de hormigón armado y sin armaduras, constituyen uno de los productos más comunes. La utilización de tubos de hormigón, con diámetros variando principalmente de 400 mm a 1.200 mm, en obras de drenajes urbanos y desagües sanitarios, es reconocida como una alternativa a ser considerada en los proyectos, tanto del punto de vista técnico como económico.

Históricamente y de la misma forma que definen las normas actualmente, la primera exigencia que debía satisfacer un tubo de hormigón es: resistencia a carga de fisura y resistencia a carga de rotura, en el ensayo de compresión diametral.

Los tubos de hormigón, se fabrican en moldes metálicos, empleando hormigones ricos en dosificación de cemento. Existen variados métodos para la fabricación de éstos tubos, por lo tanto a continuación se

mencionarán los sistemas mas conocidos: vibrocompresión, roto-compresión, centrifugación, precompresión y vibración simple. Preferentemente se utilizan los dos primeros sistemas para la fabricación de tubos de pequeño diámetro en cambio para tubos de hormigón armado, los tres últimos sistemas.

4. METODOLOGÍA

En la presente investigación no hubo modificación alguna en el dosaje de los componentes básicos en la fabricación del hormigón, es decir, cemento, agua, arena lavada, triturada 5^{ta} y 6^{ta}, ni las proporciones del superplastificante que lleva como aditivo, pues, la intención de la tesis se limita a la comparación del desempeño de los tubos de hormigón convencional, con aquellos que tienen fibras de acero incorporados en dos proporciones diferentes. No obstante, fueron realizados el seguimiento correspondiente al proceso de elaboración de los tubos de hormigón y la dosificación de las fibras de acero en los mismos.

El trabajo de laboratorio realizado consiste en la verificación del comportamiento mecánico de los Tubos de hormigón reforzados con fibras, ante los fabricados de hormigón convencional, para lo cual se han realizado ensayos de compresión diametral a los tubos de diferentes diámetros y con distintas dosificaciones de fibras de acero. Asimismo, fueron evaluadas propiedades físicas tales como la absorción y permeabilidad de dichos tubos.

5. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

5.1. Valores de resistencia media a Compresión Diametral, Tenacidad y Absorción.

SERIE	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DIAMETRAL (N/m)	TENACIDAD (N.mm/m)	ÍNDICE DE ABSORCIÓN (%)
D1 - SFC	21.050	31.947	5,70%
D1 - 20C	22.784	79.626	6,60%
D1 - 40C	24.714	98.840	6,60%
D2 - SFC	24.786	39.376	4,40%
D2 - 20C	27.917	123.134	5,40%
D2 - 40C	26.799	121.966	6,00%
D3 - SFC	25.169	48.741	5,20%
D3 - 20C	27.547	130.812	5,80%
D3 - 40C	32.356	180.269	6,00%

D1: Diámetro de tubo igual a 400 mm.

D2: Diámetro de tubo igual a 500 mm.

D3: Diámetro de tubo igual a 600mm.

SFC: Tubo sin fibras ensayado a compresión diametral.

20C: Tubo con 20 kg/m³ de fibras de acero incorporados ensayados a compresión diametral.

40C: Tubo con 40 kg/m³ de fibras de acero incorporados ensayados a compresión diametral

5.2 Resistencia a la Compresión Diametral

Los Gráficos desde el 5.1 al 5.3 representan las curvas medias comparativas obtenidas de los ensayos de compresión diametral y muestran los valores de carga y deformación medidos durante la prueba.

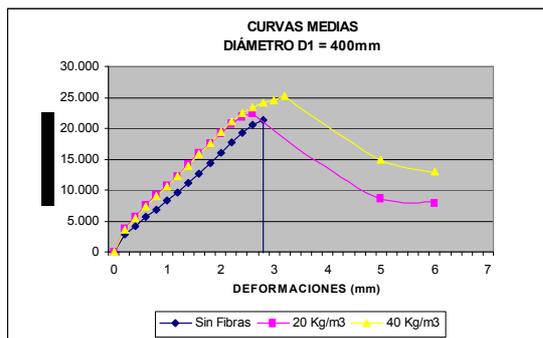


Gráfico 5.1. Curvas Medias de Tubos de Diámetro igual a 400mm.

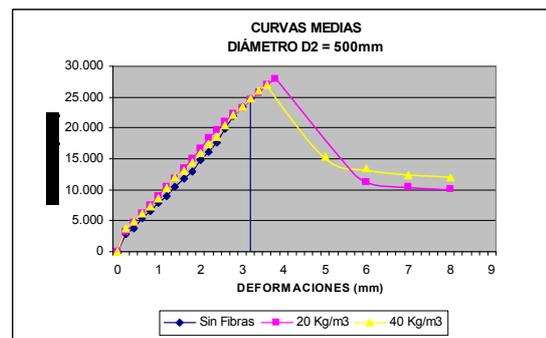


Gráfico 5.2. Curvas Medias de Tubos de Diámetro igual a 500mm.

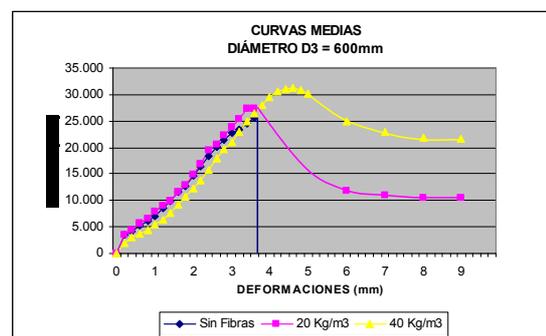


Gráfico 5.3. Curvas Medias de Tubos de Diámetro igual a 600mm.

5.3. Valores de Tenacidad de los Tubos sometidos a Compresión Diametral

En los Gráficos 5.4 al 5.6, se comparan los valores de tenacidad presentados en la Tabla 5.1, definida como el área bajo la curva generada en el gráfico de Carga vs. Deformación, y evaluados hasta un valor de deformación igual a 1.5% del diámetro nominal.

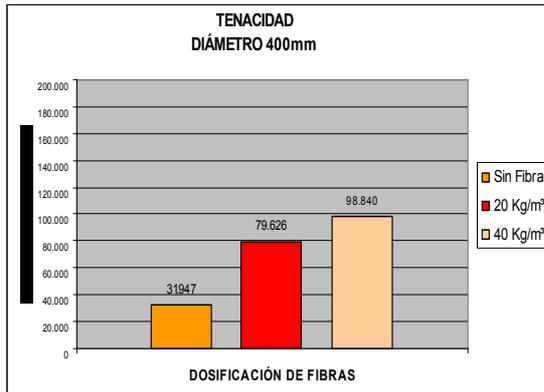


Gráfico 5.4. Valores de Tenacidad de los Tubos de Diámetro igual a 400mm.

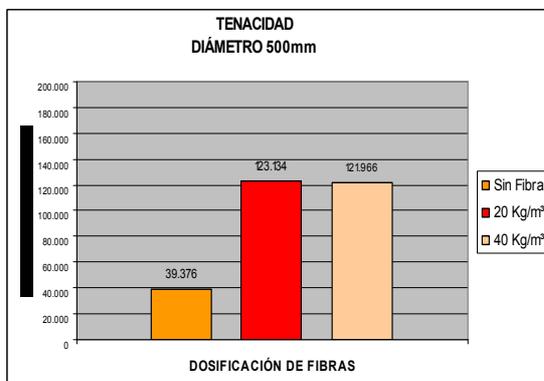


Gráfico 5.5. Valores de Tenacidad de los Tubos de Diámetro igual a 500mm.

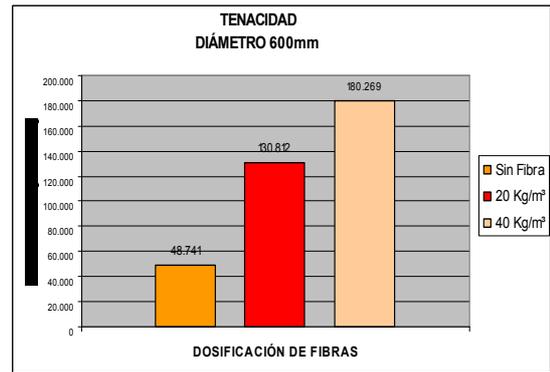


Gráfico 5.6. Valores de Tenacidad de los Tubos de Diámetro igual a 600mm.

5.4 Porcentaje de Absorción obtenido de los Tubos de Hormigón.

En el Gráfico 5.7 se presentan los resultados del ensayo de absorción de agua obtenidos de los tubos conforme a los diámetros y la proporción de fibras utilizadas.

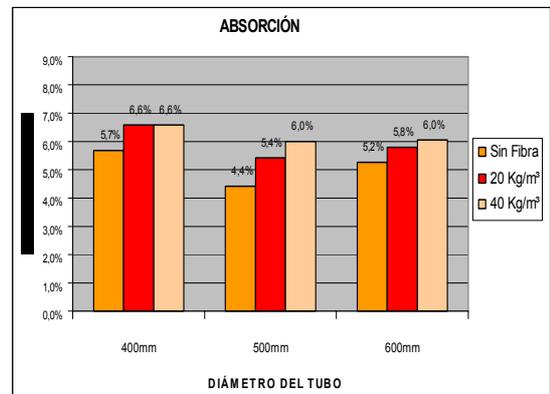


Gráfico 5.7 Porcentaje de Absorción.

5.5 Documentación Fotográfica.



Foto 5.1 Comportamiento de los Tubos de Hormigón convencional ensayados a Compresión Diametral.



Foto 5.2 Comportamiento de los Tubos de Hormigón con fibras de acero ensayados a Compresión Diametral. Fisuras longitudinales internas (Foto Izq.) y externas (Foto Der.)



Foto 5.3 Detalle de Costura por las Fibras de Acero incorporados en los Tubos

6. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

6.1. Análisis de la resistencia a compresión diametral alcanzada por los Tubos.

De forma general, observando las curvas medias de Carga vs. Deformación, presentadas en los Gráficos 5.1, 5.2 y 5.3, y considerando como parámetro el comportamiento de los tubos de hormigón convencional, se puede apreciar que en aquellos con fibras de acero incorporados existe un aumento de la resistencia a la compresión diametral. Sin embargo, las fibras de acero tuvieron mayor incidencia en los tubos de diámetro igual a 600mm y menor en los de 500 y 400mm respectivamente.

Llama la atención el resultado obtenido en el Gráfico 5.2 serie D2-20C, correspondiente a las curvas medias de los tubos de diámetro igual a 500mm, la cual, presenta una carga máxima mayor a la de la serie D2-40C, siendo esta última la de mayor proporción de fibras. Se cree que este hecho se debe a una variación accidental de la cantidad de cemento en la dosificación del hormigón utilizado para la fabricación de dicha serie de tubos.

6.2. Análisis de los valores de tenacidad de los tubos a compresión diametral.

Considerando los Gráficos 5.4, 5.5 y 5.6, correspondientes a las tenacidades alcanzadas según las proporciones de fibras de acero incorporadas, para los distintos diámetros de Tubos, se puede observar que en todos los casos se tiene un aumento de la tenacidad en los tubos con adición de fibras respecto a los de hormigón convencional, la cual, se ve acrecentada en la medida que aumenta el contenido de fibras en los tubos. Analizando el comportamiento de los tubos con relación a los diámetros de los mismos, se puede observar que los tubos 600mm tienen un aumento considerable de tenacidad en relación a aquellos de 400 y 500mm.

6.3. Análisis del porcentaje de absorción.

Analizando el gráfico 5.7 se puede apreciar que: para cualquier diámetro y dosificación comparados, el índice de absorción de agua no es superior a 6,6%. Por lo cual, todas las dosificaciones ensayadas cumplen con lo especificado en la Norma referida a Tubos de hormigón para desagüe pluvial, la cual especifica un límite del 8%. Ahora bien, haciendo una comparación conforme a las dosificaciones de fibras de acero (sin fibras, 20 Kg/m³ y 40 Kg/m³), tomando en cuenta cada uno de los diámetros de Tubos, se puede observar que, en cada caso, existe un aumento del porcentaje de absorción en los mismos.

6.4. Análisis comparativo de costos entre los tubos de hormigón sin fibras de acero y las reforzadas con fibras

En el gráfico 6.1 se puede observar que los costos de los tubos con fibras de acero, tiene un aumento considerable en relación a aquellos sin la incorporación de fibras. Dicho aumento en el costo unitario de los tubos, se encuentran en el orden de 25% y 50% para una proporción de fibra igual a 20 Kg/m³ y 40 Kg/m³ respectivamente.

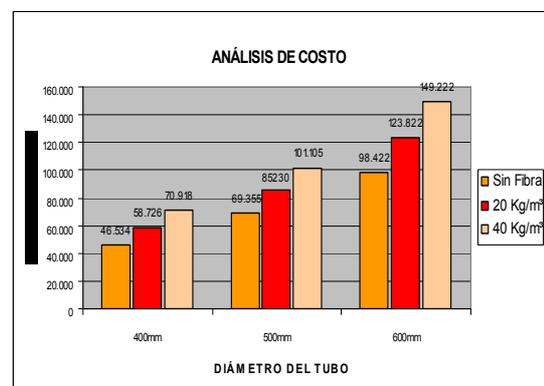


Gráfico 6.1 Variación del Costo Unitario de los Tubos con la incorporación de Fibras de Acero

7. CONCLUSIONES

Las principales ventajas que se pueden citar del empleo del Hormigón Reforzado con Fibras de Acero (HRFA) en la fabricación de los tubos son:

- Mejoramiento de la ductilidad y control del proceso de fisuración, aprovechando la capacidad de redistribución de los esfuerzos proporcionada por las fibras de acero;**
- Aumento del nivel de la resistencia del material bajo sollicitaciones que induzcan tensiones de tracción;**

- c. Reducción de los daños accidentales que ocurren durante la fabricación, acopio, transporte e instalación de los tubos;**

A partir de los resultados obtenidos en los diferentes ensayos de laboratorio realizados y teniendo presente la hipótesis planteada en el capítulo 2 se llega a las siguientes conclusiones:

- a. Mediante los ensayos de Compresión Diametral realizados, se pudo comprobar que para todos los diámetros, hubo cierto aumento de la resistencia de los tubos, sin embargo, se observa que la incidencia de las fibras de acero es mayor para aquellos con diámetro igual a 600mm, lo cual se debe a que a partir de dicho diámetro aumentan los esfuerzos flectores en la sección, mientras en los diámetros menores el “efecto arco” es preponderante.**
- b. Asimismo, en todos los casos se pudo comprobar que, con la incorporación de fibras de acero, aumentó la tenacidad de los tubos. Esto nos permite concluir que, hasta una cierta deformación y abertura de fisura, el tubo es capaz de mantenerse en servicio aun después de la carga máxima, lo cual permitirá una reducción de los coeficientes de mayoración en los cálculos.**
- c. Teniendo en cuenta la proporción de fibra incorporada se puede afirmar que, con el aumento de la cantidad del mismo por metro cúbico de hormigón, se tiene también un aumento de resistencia y tenacidad de los tubos.**

- d. En relación al ensayo de absorción, se puede concluir que para cualquier diámetro de tubo, al aumentar la proporción de fibras de acero, aumenta el nivel de absorción en los mismos, lo cual, se debe a que dichas fibras colabora en la disminución de la compacidad del hormigón generando espacios en la matriz del mismo.**

- e. Considerando el aumento de los costos de los tubos elaborados con hormigón reforzado con fibras de acero, en relación a los fabricados con hormigón convencional, desde el punto de vista estrictamente comercial, se concluye que no es factible su utilización. Sin embargo, no podemos dejar de reconocer el mejoramiento de las propiedades mecánicas, tales como la resistencia a la tracción y la tenacidad, que confieren las fibras de acero a los tubos de hormigón. Además, habría que evaluar otras condiciones como pérdidas en el transporte y colocación, de manera a realizar conclusiones definitivas.**