



AMERICAN CONCRETE INSTITUTE  
Sección Centro y Sur de México

**ACI** Centro y Sur  
**MÉXICO**

# PROYECTO ESTRATÉGICO

## PUENTE SAN MARCOS NUEVO NECAXA-TIHUATLÁN



Tecnología Concreto lanzado para reparaciones estructurales  
Materiales Proporcionando mezclas de concreto reciclado  
Especificaciones El nuevo ACI 301 "Especificaciones para concreto estructural"  
Control de calidad Adición de agua en el sitio

# FIBRA HELICOIDAL COMO REFUERZO EN CONCRETO LANZADO\*

Luke Pinkerton, Juan Aguilera y Damián Aguilera\*\*

## Introducción

El refuerzo con fibra de acero en el concreto lanzado fue introducido por primera vez a finales de la década de los 60's y se ha convertido en un uso común en todo el mundo para este tipo de concreto incluso para la aplicación en túneles. La fibra helicoidal ofrece un nuevo nivel de rendimiento en el concreto lanzado para el recubrimiento de túneles y la estabilización de taludes lo cual no es posible obtener aún con las mejores fibras que existen en el mercado. En particular permiten una significativa reducción en la dosificación sin la pérdida de rendimiento comparado con el resto de las fibras tradicionales. En publicaciones anteriores se detalló la ventaja de un torcido doble de 360° en cada fibra lo cual hace que falle cualquier mecanismo que pretenda el destorcido de la fibra en la matriz del concreto. (ACI Capítulo México marzo del 2011). Este artículo fue el primero de una serie, en la que se detalla, como los contratistas obtienen ventajas estructurales y económicas por las propiedades de la fibra helicoidal.

## Fibra Helicoidal

La fibra helicoidal es una fibra de acero torcida con forma poligonal, completamente ha cambiado las reglas del diseño para el concreto lanzado reforzado con fibra metálica debido a su mecanismo único de falla. El elemento estructural toma ventaja del doble torcido de 360° que provee una resistencia sustancial a eliminar la adherencia de la fibra helicoidal con la pasta del concreto independientemente de la deflexión. A diferencia del resto de las



Figura 1. Concreto lanzado con fibra helicoidal para el recubrimiento de túneles y la estabilización de taludes.

fibras de acero en el mercado, la fibra helicoidal se comporta más como una barra de refuerzo (varilla) porque no es tan fácil que se deslice dentro de la matriz del concreto, en el caso de la fibra helicoidal ésta tiene que ser destorcida para ser desplazada dentro del concreto.

Como resultado de este diseño la fibra helicoidal es altamente eficiente. De aquí que la fibra helicoidal tenga el mismo rendimiento que el resto de las fibras metálicas, con tan sólo una dosificación no mayor de un tercio (1/3) de las dosificaciones de las fibras de acero que existen en la industria de la construcción hoy en día. La ventaja proviene principalmente de su geometría y el doble torcido de 360° en cada elemento, pero también su alta resistencia a la tensión y su pequeño diámetro contribuyen enormemente a su alto rendimiento y eficiencia.

\*TECNOR, Tecnología en Concreto del Norte, S.A. de C.V.

# *FIBRA DE ACERO HELICOIDAL*

## **USOS:**

**FIRMES Y MUROS DE CONCRETO EN CASA HABITACION  
ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE CONCRETO (ZAPATAS,  
LOSAS DE CIMENTACION, MUROS DE CONTENCIÓN, ETC.)  
NAVES INDUSTRIALES  
CENTRO COMERCIALES  
ESTACIONAMENTOS  
PATIOS DE MANIOBRA  
PAVIMENTOS Y AEROPUERTOS  
CAPA DE COMPRESIÓN EN LOSACERO  
CAPA DE COMPRESIÓN EN VIGUETA Y BOVEDILLA  
ELEMENTOS PRECOLADOS  
CONCRETO LANZADO , etc.**

# **Tecnor** **05-25**

Región de los Suspiros # 107-3 Col. Camp. la Rosita Torreón, Coah. C.P. 27250 México  
Tel. (871) 705 91 11; 705 91 12; 705 91 13 Fax 705 91 14

Web: [www.tecnor.com.mx](http://www.tecnor.com.mx) E-Mail: [info@tecnor.com.mx](mailto:info@tecnor.com.mx)

### Comparativa de la fibra helicoidal con fibras lisas y con ganchos, en energía y resistencia residual

El siguiente es un resumen de los resultados de una comparación estructural en forma directa y conducido por un laboratorio independiente, por un lado la fibra con ganchos con una dosificación de 40 kg/m<sup>3</sup> y especificaciones de:

- Diámetro = 0.55 mm
- Longitud = 30 mm
- Resistencia mínima a la tracción = 1,100 MPa

	Energía ASTM C1609 (J)	Resistencia residual ASTM C1018 R 1050 XMOR (MPa)
Helicoidal 9 kg/m <sup>3</sup>	11	2.13
Helicoidal 18 kg/m <sup>3</sup>	19	3.97
Helicoidal 36 kg/m <sup>3</sup>	32	8.96
Lisa con ganchos 40 kg/m <sup>3</sup>	17	2.97

y por otro lado la fibra helicoidal con dosificaciones de 9, 18 y 36 kg/m<sup>3</sup> y especificaciones de:

- Diámetro = 0.50 mm
- Longitud = 25 mm
- Resistencia mínima a la tracción = 1,300 MPa

Estos resultados soportan las dosificaciones iguales o menores a 1/3 en comparación con las fibras lisas con gancho.

### Diseño

A pesar de que ACI proporciona un método de diseño basado en la resistencia después del agrietamiento, no hay realmente una norma de diseño y especificación para el concreto lanzado. Muchas especificaciones son basadas en la energía absorbida, aunque una especificación de resistencia después del agrietamiento es más intuitiva y relevante para el diseño (ACI 506 Capítulo 8) en lugar de un enfoque de diseño basado arbitrariamente en energía absorbida.

Aunque, en principio, el método de ACI 506 proporciona un medio para el diseño basado en condiciones reales de carga, el mecanismo de falla único de la fibra helicoidal exige el uso de un enfoque un poco más sofisticado.

El diseño de la fibra helicoidal se rige normalmente por la flexión. El análisis a la flexión de la fibra helicoidal se desarrolla de la misma manera que para las barras de refuerzo (varillas), ACI 318. Se supone una sección agrietada, la profundidad del eje neutro se calcula, el bloque de esfuerzos se

supone en el área de compresión y su capacidad estructural es determinada por la suma de momentos debido a la fuerza de compresión en el concreto y a la integración de las fuerzas de tensión debido al refuerzo. Con barras de refuerzo (varilla), esta integración se reduce a la suma de la resistencia a la tensión en una profundidad presupuesta, donde el refuerzo es colocado. Con la fibra helicoidal la resistencia es aplicada sobre toda el área debajo del eje neutro, es la misma integración sólo que una solución a la resistencia a la tensión en toda el área, no solamente a una profundidad exacta en donde se encuentra el refuerzo de barras (varillas). Debido a que la fibra helicoidal se comporta exactamente como una barra de refuerzo (varilla) la cual puede soportar tensiones sin deslizarse fuera de la matriz del concreto donde fue previamente colocada, los métodos de diseño son los mismos. La fibra helicoidal y la barra de refuerzo (varilla) pueden estar combinadas en el elemento estructural. Solamente hay que sumar las fuerzas resistentes obtenidas por ambos refuerzos.

La contribución a la tensión,  $T_h$ , se calcula mediante la integración de la resistencia en el área bajo el eje neutro asumiendo un perfil rectangular de esfuerzos.

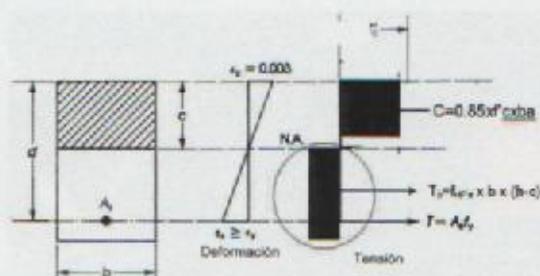


Figura 2. Contribución a la tensión  $T_h$ .

$$T_h = + fHF'e \times b \times (h-c)$$

Donde

$fHF'e$  = resistencia residual factorizada

$b$  = ancho de sección

$h$  = peralte de la sección

$c$  = profundidad del eje neutro

La fibra helicoidal provee un nivel constante de esfuerzo de tensión, independientemente sin importar el esfuerzo a que es sometido el elemento con un razonable ancho de grietas limitadas a un ancho igual o menor a 15.24 mm, debido a su com-

portamiento elástico en una extracción perfectamente plástica.

Es decir, que la capacidad de resistencia que la fibra helicoidal provee es constante sin im-

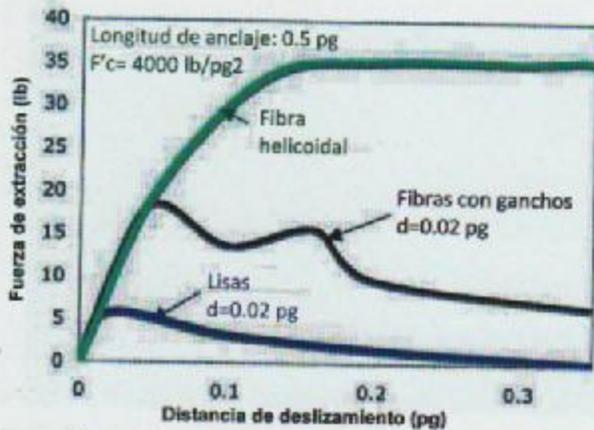


Figura 3. Extracción de la fibra helicoidal con respecto a la fibra lisa y con ganchos.

Debido a que la fibra helicoidal debe ser destorcida, cuando se pretende sacar de la matriz del concreto, provee una constante resistencia a ser retirada del elemento de concreto durante todo el proceso (ver Figura 3). Esta es la razón por la que se asume un bloque rectangular de esfuerzos a tensión por debajo del eje neutro.

Con las fibras lisas o con ganchos se observa una disminución a la resistencia a ser retirada de la matriz de concreto a medida que aumenta la tensión.

Una típica fibra de acero se rige por la fricción (recta, con gancho en los extremos, o cualquier figura, etc.) debe ser tratada de la misma manera debido a la pérdida de resistencia por mantenerse en su posición inicial en la matriz del concreto conforme la tensión aumenta. El mecanismo de falla único que presenta la fibra helicoidal da una ventaja estructural de alta eficiencia con respecto al resto de las fibras de acero.

Nosotros aplicamos un factor a la resistencia a la tensión de la fibra helicoidal para tener en cuenta la variación, diseño de la mezcla y la distribución de la fibra helicoidal en la matriz del concreto. Este factor es determinado debido a variantes, para obtener un análisis estructural confiable por los resultados obtenidos en la sección inicial. Todas las ecuaciones involucradas en este procedimiento se proporcionan en nuestro análisis estructural detallado.

El método en realidad no es diferente que el método utilizado para barras de refuerzo (varilla) en el ACI 318.

Aunque este método de diseño predice las fuerzas resistentes de los elementos estructurales compuestos reforzados con la fibra helicoidal con un alto grado de precisión, una carga de diseño (momento a flexión) se debe proporcionar como base.

En las aplicaciones de concreto lanzado, las cargas de diseño actuantes no están bien definidas. Un enfoque alternativo para estimar la carga de diseño es el diseño basado en la resistencia calculada de la malla de refuerzo o el diseño con las barras de refuerzo (varilla) como lo indica el ACI 506.

### Aplicación

La fibra helicoidal como refuerzo estructural para el concreto lanzado ha tenido gran aceptación en grandes proyectos tanto de túneles como de estabilización en taludes (Figura 4) ya que la dosificación de la fibra helicoidal es mucho menor que las fibras convencionales, lisas o con ganchos, (Figura 5), podemos obtener las siguientes ventajas:

1. Facilidad de traslado (no se requieren grandes volúmenes)
2. Conveniencia en el almacenaje.
3. Fácil aplicación en la olla de concreto. (Figura 6)
4. Cero problemas en la tubería debido a bloqueos.
5. Conserva en mejor estado la tubería y las conexiones.

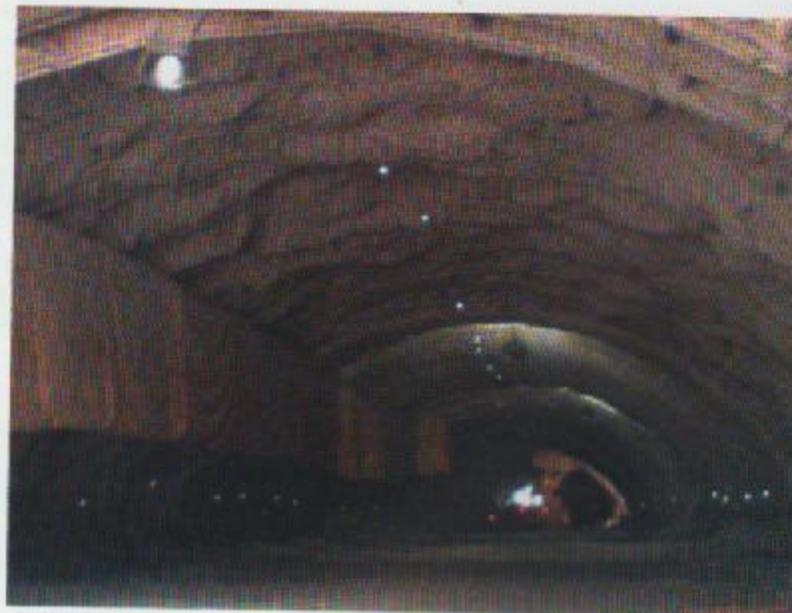


Figura 4. Concreto lanzado con fibra helicoidal para recubrimiento de túneles.

6. No existe el problema del bloqueo en la boquilla  
7. Mínimo rebote.

Esto hace que la fibra helicoidal tenga mejor aceptación para el aplicado del concreto lanzado mediante robots (Figura 7).



Figura 5. Fibra helicoidal.

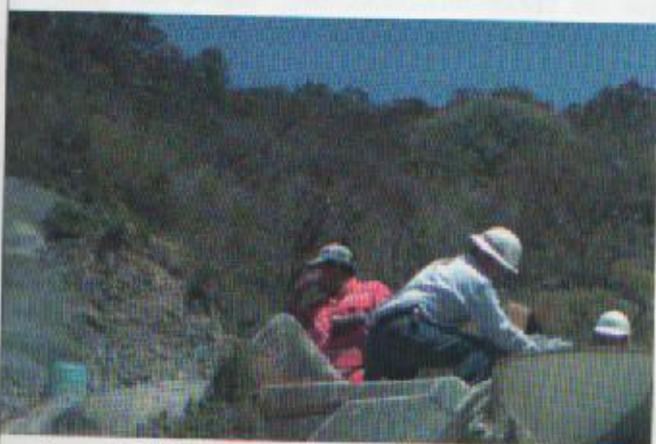


Figura 6. Facilidad para cargar la olla de concreto.



Figura 7. Aplicación de concreto lanzado con robots.

## PRÓXIMOS CONGRESOS 2011

### OCTUBRE

16-20

Convención de Otoño del ACI  
Millennium Hotel & Duke Energy Center,  
Cincinnati, OH  
[conventions@concrete.org](mailto:conventions@concrete.org)

22-26

PCI 57th Annual and National Convention  
Bridge Conference  
Salt Palace Convention Center, Salt Lake  
City, Utah  
[www.pci.org/convention](http://www.pci.org/convention)

25-27

V Congreso de ACHE  
Asociación del Consejo Científico Técnico del  
Hormigón Estructural (ACHE)  
Barcelona, España  
[congresobarcelona@e-ache.com](mailto:congresobarcelona@e-ache.com)

28, 29 y 30

Construexpo 2011  
Expo Guadalajara, México  
CMIC/multiplica  
[avasquez@cmicjalisco.org](mailto:avasquez@cmicjalisco.org)

25, 26 y 27

CONSTRUSHOW PUEBLA  
Centro de convenciones Puebla  
CMIC PUEBLA  
[eventos@cmicpuebla.org.mx](mailto:eventos@cmicpuebla.org.mx)

### NOVIEMBRE

1 al 4

53° Congreso Brasileño do Concreto,  
IBRACON 2011  
Centrosoul, Florianópolis SC, Brasil  
[office@ibracon.org.br](mailto:office@ibracon.org.br)

### DICIEMBRE 2011

11-15

5° International Conference on Structural  
Health Monitoring of Intelligent Infrastructure  
SHMII, IIUNAM  
Cancún, México  
[webmaster@iingen.unam.mx](mailto:webmaster@iingen.unam.mx)