



AMERICAN CONCRETE INSTITUTE  
Sección Centro y Sur de México

**ACI** Centro y Sur  
MÉXICO

# LA VENTOSA: TESORO EÓLICO DE MÉXICO

**Materiales** Aditivos de policarboxilato  
**Construcción** Construcción sustentable  
**Normalización** Especificaciones del cemento en EUA

# UN NUEVO SISTEMA DE REFUERZO DE CONCRETO FIBRA HELICOIDAL

Luke Pinkerton, Juan Aguilera y Damián Aguilera  
TECNOR, Tecnología del Concreto del Norte, S.A.de C.V.

## RESUMEN DE COMPUESTOS ESTRUCTURALES

Los compuestos estructurales han estado con nosotros por mucho tiempo la industria de la ingeniería civil no ha sido lo suficientemente lista para aprender como aplicar la tecnología compuesta al concreto dado que los materiales en ingeniería civil, como el concreto y la madera se encuentran entre los materiales mas viejos en el mundo, nosotros como ingenieros civiles debemos de estar apenados por el hecho de que nadie se ha dado cuenta de esto después de cientos de años. Mientras que todos usamos bastones de golf reforzados con fibras de carbón, aun estamos usando una tecnología de concreto que data de siglos anteriores.

Vamos a empezar con algunos conceptos básicos de los textos aeroespaciales. Los compuestos se han fabricado de dos componentes principales la matriz (concreto) y la fibra. El objetivo principal de la matriz (concreto) es transmitir la carga a un segundo material con una mayor resistencia a la tensión y rigidez a través de un esfuerzo cortante.

Idealmente las resinas de epóxico termoestables se utilizan por sus propiedades mecánicas y térmicas. En el bastón de golf, las fibras de carbón son alineadas en una orientación adecuada y adheridas al epoxico para crear propiedades específicas de resistencia y rigidez. El epóxico trabaja con el carbón en la creación de estas propiedades.



Fig.1. Conversión del corte en tensión.

Nuestra industria ha fallado completamente en desarrollar compuestos de concreto que tengan un desempeño como los bastones de golf. Hemos puntualizado en decir que no se puede porque el concreto es frágil y porque económicamente no funciona. La realidad es que nadie, hasta recientemente, hemos sido lo suficientemente inteligentes para resolver esto. Lo que es peor es que el descubrimiento original fue realizado por accidente.

Una gran parte del problema es que el concreto es frágil y débil a la tensión. Por esta razón nos vemos forzados a utilizar un crudo método de diseño compuesto utilizando varillas de refuerzo – un sistema de dos partes. Nosotros asumimos el desempeño de un modelo antes de que el concreto se agriete (esta es una función de las propiedades y geometría del concreto) y la segunda después del agrietamiento (esta es función de las varillas de refuerzo y de la geometría). El hecho es que el concreto no tiene buen desempeño con las varillas de refuerzo. Para que este “sistema de dos partes funcione” el diseñador debe de hacer dos hipótesis fundamentales: 1. Que el concreto se agriete y 2. Que las varillas de refuerzo no se separen del concreto (a cambio se producirá una falla al ceder el acero).

Tenemos que identificar y resolver de raíz la causa del problema. Mientras el concreto es muy rígido, tiene muy poca resistencia a la tensión. Las varillas de refuerzo adherido en el concreto pueden tomar la tensión, pero no pueden hacerlo sin extenderse y deformarse lo suficiente para formar grietas. Lo ideal es que necesitamos un refuerzo que sea capaz de tomar la carga con una deformación tan pequeña para evitar la formación de grietas. Esto no es posible con las varillas grandes porque se deslizan, se extienden y no pueden actuar a nivel microscópico y solo actúan a nivel macroscópico.

La solución es un material resistente y rígido distribuido a través del concreto en todas direcciones que puede tomar la tensión, mientras que, a lo sumo este permita fisuras microscópicas que se forman en el concreto. La fibra helicoidal es un refuerzo de acero torcido de 25 mm de longitud hecho de un alambre de alta resistencia y electro galvanizado. Que fue desarrollado originalmente como un proyecto de investigación académica, y no como una respuesta a este problema sino como resultado del experimento muy común de “vamos a probar y veremos que pasa”. Los investigadores se toparon con un acero de refuerzo cuya geometría incrementa el módulo de ruptura del concreto y proporciona ductilidad. Lo que no se habían dado cuenta es que habían resuelto el problema fundamental de los compuestos en el concreto.

La fibra helicoidal tiene como característica una longitud corta; (la longitud necesaria para alcanzar la resistencia a la tensión máxima y un esfuerzo



Fig. 2. Fibra helicoidal.

mínimo de corte). La fibra helicoidal efectúa esto sin movimiento o deformación del elemento de concreto suficientemente grande para la formación de grietas. La siguiente grafica muestra como el esfuerzo del corte se transfiere a la tensión en la fibra helicoidal como una función del movimiento de la matriz (concreto).

El desarrollo total a la tensión en la fibra helicoidal ocurre en tan solo 20 micras de movimiento en el concreto. Por lo tanto, esto permite una mínima fisura de 20 micras de ancho antes de que crezca y antes de crecer es restringida por la fibra helicoidal. En comparación, esto ocurre con las varillas de refuerzo cuando el movimiento es del orden de 1 mm (1,000 micras).

### COMPORTAMIENTO ANTES DEL AGRIETAMIENTO

De modo que ahora tenemos un refuerzo estructural “que se comporta bien” en el concreto por lo tanto las reglas de juego en el concreto estructural han cambiando por completo. Debemos de ig-

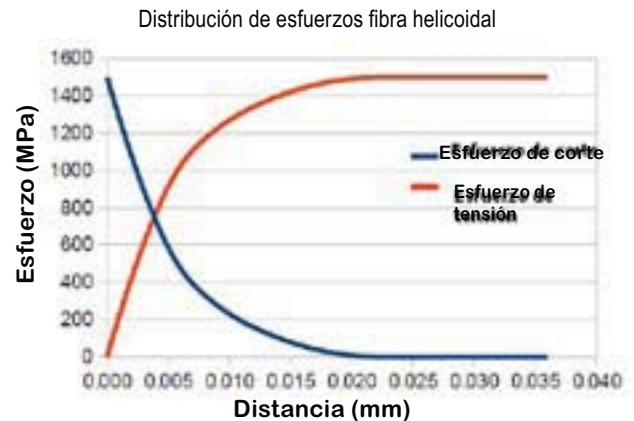


Fig.3. Conversión de corte en tensión en la fibra helicoidal.

norar los supuestos que nos fueron enseñados del concreto reforzado 101 ya que no estamos tratando mas con un sistema de dos partes.

Puesto que la fibra helicoidal no permite la formación de grietas, “solo fisuras microscópicas”, esto permite que cuando ocurre un incremento de carga estas sean redistribuidas en miles de pequeñas cargas tomadas por la fibra. Entre más y más fisuras se forma más carga que es transferida hacia la fibra helicoidal permitiendo un incremento en la capacidad de carga. Esto se traduce directamente en un incremento en el módulo de ruptura del concreto. Las varillas de refuerzo no son capaces de hacer esto porque a diferencia de la fibra helicoidal las varillas de refuerzo no inician su trabajo hasta que el concreto se agrieta, esto mismo ocurre con las fibras de refuerzo que permiten una deformación antes de iniciar su trabajo.

Sin embargo ningún material es indestructible - no podemos violar las leyes de la física. Conforme se incrementa la carga el número de fisuras y deformaciones se incrementan. Ha pesar de que la deformación del elemento se incrementa, las grietas son difíciles de detectar sin algún tratamiento que permita resaltarlas.



Fig.4. Prueba de flexión de un elemento de concreto (espesor 1”) con fibra helicoidal sin agrietarse.

## PROPIEDADES IMPORTANTES

La resistencia a la flexión normalmente rige el elemento de las estructuras. Hay dos puntos claves en la resistencia a la flexión en el concreto, el módulo de ruptura (resistencia a la primer fisura) y resistencia a la flexión (resistencia después del agrietamiento).

El módulo de ruptura es la resistencia a la flexión en el punto del primer agrietamiento. El esfuerzo de flexión se define como la cantidad del esfuerzo de tensión en la fibra extrema del elemento de concreto. Esta influenciada por la carga aplicada así como la longitud, el ancho y el espesor del elemento del concreto. Se supone una distribución lineal de tensión (sección sin agrietar). La ecuación para el esfuerzo de tensión en una viga bajo 4 puntos de flexión es:  $Pl/bh^2$  donde P es la carga, l es el claro, b es el ancho y h es el espesor de la sección transversal de la viga. La fibra helicoidal proporciona un mejoramiento directo a esta propiedad debido a su capacidad de reaccionar con el concreto a nivel microscópico antes de la formación de grietas que cambia las propiedades de la sección en particular el espesor.

Como se mencionó anteriormente el concreto no falla con la formación de grietas. En un concreto reforzado con varillas, la resistencia después del agrietamiento se define como la cantidad de carga que el concreto puede soportar después de que las grietas se han formado. La fórmula del esfuerzo a la flexión de arriba ya no es válida una vez que se forma una grieta debido a que la distribución de esfuerzos ya no es lineal. La resistencia se caracteriza como el valor del momento a flexión. Con las varillas es típico el diseño utilizando el block de esfuerzos "Del enfoque del ACI" (usando el modelo de 2 partes discutido anteriormente). Con las varillas de refuerzo los principales factores para determinar la resistencia post agrietamiento son: el área, la fuerza y la profundidad del acero de refuerzo. Con la fibra helicoidal esto no es diferente. La resistencia de un compuesto con fibra helicoidal depende del área y de la resistencia del acero pero no depende de la profundidad, ya que la fibra se encuentra en toda la matriz del concreto.

La fibra helicoidal proporciona resistencia a la flexión en toda el área debajo del eje neutro (la parte del concreto que esta en tensión, suponemos que es una viga). La resistencia a la tensión se encuentra en esta área y su punto de aplicación es el centroide del elemento y es la suma de todas las resistencias individuales, de aquí que cuanto más volumen de fibra se utilice mas superficie de acero y más resistencia a la tensión se obtendrá.

Muchos ingenieros civiles no han tenido la ventaja de tomar materias en el análisis estructural

fundamental pero la mayoría de nosotros sabemos que el corte no es otra cosa que la tensión diagonal (recordemos el círculo de mohr). Nuestros intentos por hacer frente a esta práctica no es lo mas recomendado. Colocando estribos verticales los cuales ofrecen cierta resistencia a esta tensión, pero como no están orientados perpendicularmente al esfuerzo diagonal su efectividad es limitada. Puesto que la fibra helicoidal provee una resistencia a la tensión en todas direcciones, es ideal para proporcionar resistencia al corte. Las mismas propiedades de refuerzo en nivel micro se aplican para el corte, finalmente una de las propiedades más importantes y más pasadas por alto en el concreto es la durabilidad (absorción de energía). Mientras que algunos refieren la durabilidad del concreto como la resistencia a los elementos de la naturaleza, nosotros lo definimos como la habilidad del concreto a resistir abusos repetidos (absorción de energía). En un compuesto helicoidal se puede cuantificar directamente mediante la integración del área bajo la curva en la gráfica esfuerzo – deformación. Esta suma representa la energía acumulada que se debe colocar en el concreto por fuentes externas (cargas y deformación forzada) para hacer que el concreto falle. Si bien esto es una increíblemente poderosa predicción para el desempeño a largo plazo del concreto, este concepto es demasiado abstracto para que la mayoría de los ingenieros civiles lo apliquen.

## Diseño con fibra helicoidal y sus raíces en el método japonés

Irónicamente los japoneses fueron los primeros en descubrir como diseñar con un refuerzo estructural como la fibra helicoidal, fueron casi 30 años antes de que fuera inventada la fibra helicoidal, una metodología de diseño fue presentada en su manual de práctica de concreto (biblioteca del concreto JSCEN3 Junio 1984). El método contempla un sistema de refuerzo que ha sido mezclado en la matriz del concreto y provee una resistencia a la tensión.

Este método define una "resistencia efectiva a la tensión" del concreto reforzado con pequeñas varillas de refuerzo mezcladas en la matriz del mismo, esta resistencia a la tensión se aplica en el área por debajo del eje neutro (área del concreto que se encuentra a tensión). Al igual que en el área de acero para varillas de refuerzo. Dado que la metodología es idéntica a la usada para el acero común, puede ser fácilmente combinado con un diseño de varillas de refuerzo (diseño híbrido). La resistencia de la fibra helicoidal es simplemente añadida al momento último para equilibrar las fuerzas de tensión y compresión en el diseño. Este es el mismo método que usamos en la fibra Helicoidal. Los japoneses tuvieron la idea

correcta al inicio de la década de los años 80's pero se adelantaron a su tiempo ya que el material necesario para realizar el trabajo por este método de diseño, la fibra helicoidal no se encontraba disponible.

## APLICACIONES

Más del 80% de los proyectos diseñados con fibra helicoidal han sido para sustituir grandes cantidades de varillas de refuerzo en aplicaciones de gran capacidad estructural (el refuerzo con fibra helicoidal por su gran capacidad estructural no se utiliza como refuerzo secundario o para temperatura). No solo ha ganado aceptación por su desempeño superior, sino también por su eficacia que hace que este tipo de refuerzo estructural sea más económico

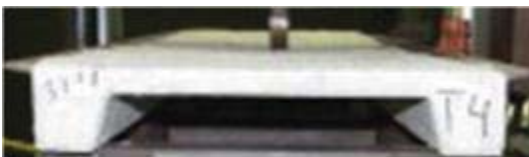


Fig.5. Losas suspendidas y vigas.

que cualquier otro tipo de refuerzo sin comprometer su comportamiento. La totalidad de los ingenieros que por primera vez han usado este refuerzo estructural han quedado satisfechos con sus aplicaciones como losas sobre terreno, pavimentos, losas de cimentación, muros y se sorprenderán al saber que el refuerzo con fibra helicoidal se ha utilizado en losas suspendidas, vigas, columnas y pilotes de cimentación y sobretodo en aplicaciones para refuerzos de edificios de concreto en zonas sísmicas. Algunas de estas aplicaciones se discuten adelante.

Una compañía de servicios públicos en el estado de Michigan se acercó a una compañía fabricante de prefabricados de concreto con un problema único. Ellos tenían que reemplazar sus banquetas de servicio a lo largo de sus bandas transportadoras.

Estas losas alcanzan distancias de 61 m. (200 ft) y se requiere que soporte una carga de 453.52 kg (1,000 lbs) y claramente cualquier falla puede ser catastrófica. Los paneles existentes fueron construidos hace muchos años con una malla metálica muy pesada y ya no se deseaba ser reconstruido en esta forma y la compañía sitio la necesidad de aumentar la capacidad de carga para un factor de seguridad adicional con una restricción extra, los paneles sólo podrían ser de 3.18 cm. (1 1/4" de espesor). Técnicamente este era un problema sin solución ya que era imposible proporcionar el recubrimiento mínimo del acero. El diseño estructural de la fibra helicoidal reemplazo

completamente este refuerzo. En este caso el cliente hizo sus propias pruebas (a pesar de que no era necesario) para verificar los cálculos del diseño siempre utilizando los métodos discutidos anteriormente.

El cálculo tuvo un 5% de diferencia con el resultado de la prueba. El diseño cumplió con los requerimientos y fue instalado en la planta el año 2007.

Como este ejemplo lo demuestra, el reemplazo completo de las varillas de refuerzo incluso en los miembros estructurales más críticos como vigas y columnas es posible con la dosificación correcta de la fibra helicoidal. La siguiente tabla es un ejemplo de cómo la fibra helicoidal puede reemplazar las varillas # 8 (1") en una viga con una dosificación de 72 kg/mt<sup>3</sup> (120 lb/yd<sup>3</sup> pt). La fibra helicoidal proporciona el mismo nivel de resistencia a la tensión que la varillas # 8 (1") lo que permite que el concreto pueda desarrollar la misma capacidad de momento a flexión (capacidad estructural).

## DISEÑOS HÍBRIDOS

Se puede obtener un diseño híbrido con la fibra helicoidal junto con las varillas de refuerzo. Mientras que las losas de cimentación son diseñadas a flexión con grandes espesores y varillas de refuerzo ubicados en la parte inferior y superior del espesor el mayor temor del diseñador deberá ser una falla por corte y no por flexión. De aquí que la fibra helicoidal no solo pueda eliminar varillas como refuerzo a flexión en estas losas masivas, sino también proporciona un refuerzo más eficaz al corte. En algunos casos, se aplica un diseño híbrido. Un ejemplo es la losa de cimentación de un edificio para estacionamiento de 10 niveles, la losa de cimentación fue de 244 cm. (8' ft) de espesor con 2 capas de varilla # 10 (1 1/4") @ 20 cm. (8") tanto en la cama superior como en la inferior (además una cama extra de varilla # 10 en el lecho superior haciendo un total de 362.9 tm (400 ton.) con el diseño de la fibra helicoidal el refuerzo de varilla se redujo a # 10 (1 1/4") @ 38.10 cms (15"), reduciendo las varillas de refuerzo a 236.70 tm (261

	Carga máxima	Capacidad estructural	Corte
Longitud 20' x 24" de ancho x 12" de espesor concreto F <sub>c</sub> =351 kg/cm <sup>2</sup> (5000 psi) 2 varillas # 8 arriba y abajo (4 total)	622	2047	110
Longitud 20' x 24" de ancho x 12" de espesor concreto F <sub>c</sub> =351 kg/cm <sup>2</sup> (5000 psi) con 72 kg/m <sup>3</sup> (120 lbs/yd <sup>3</sup> ) de fibra helicoidal	1767	2076	170

Tabla 1. Diseño híbrido.



Fig.6. Losa de cimentación de un edificio de 10 niveles.

ton), con la adición de solo 34.47 tm (38 ton) de la fibra helicoidal, una reducción del 35 % de la varilla.

Al hacer este remplazo la losa de cimentación incremento su resistencia al corte sin costo adicional (ya que la fibra helicoidal provee resistencia al cortante adicional a la resistencia del momento a flexión). Hay que tomar en cuenta que cuando se efectúa el calculo encontraremos que aplica al término del área de las varillas por su resistencia a la fluencia (recordando que la fibra helicoidal tiene una resistencia mayor a la tensión que la varilla, debido a esto no se necesita tanto acero de la fibra helicoidal como de varilla).

**Sismos:** La fibra helicoidal es usada en muros de cortante en zonas sísmicas su uso es ideal para reforzar el concreto en todas direcciones. Actualmente se encuentra en uso en proyectos residenciales en muros colados en sitio en la costa oeste de los Estados Unidos y en casas de concreto en México.

También se ha usado en vigas de cople (áreas abajo y arriba de los huecos en muros de corte diseñados para resistir sismos) para reducir la cantidad de acero requerido. Los diseños actuales requieren de una gran cantidad de varillas las cuales son difíciles de instalar en obra. Vigas similares a escala de proyecto han sido probadas simulando sismos en el laboratorio\* y ahora han iniciado el diseño para los edificios. Una de las razones principales de la fibra helicoidal para la resistencia sísmica es que al concreto lo hace dúctil debido a un mecanismo de redistribución de micro fisuras –redistribución de cargas

**Economía:** Además de las ventajas que el diseño con la fibra helicoidal ofrece, la verdadera razón de su popularidad es que ofrece un diseño mas económico sin necesidad de comprometer su desempeño. Al usar la fibra helicoidal elimina el habilitado de acero en sitio esto no sólo ahorra costos de mano de obra sino también acelera el proceso de construcción, reduce el riesgo horario, en la mayoría de los casos no se requiere el bombeo (con el consiguiente ahorro) y permite el uso de equipos capaces de colo-



Fig.7. Casas de concreto en México.



Fig.8. Congestionamiento de varillas en un armado típico de vigas de

cación y acabado en losas sobre terreno más rápido (como pavimentadoras láser). Debido a su eficiencia en promedio los ahorros son del 20% como mínimo.

**Conclusión:** La fibra helicoidal ha permitido que los concretos compuestos funcionen como las fibras de carbono utilizadas en los bastones de golf, es el primer refuerzo estructural que verdaderamente es compatible con el concreto, ya que mejora sus propiedades a la flexión sin permitir que se agriete. Por primera vez, podemos ver el concreto reforzado como un sistema de un componente. La fibra helicoidal es mejor refuerzo estructural que la varilla de refuerzo ya que incrementa la resistencia al corte y la durabilidad (absorción de energía) del concreto aunado a un incremento en la resistencia a la flexión. Y Por último debido a la eficiencia de la fibra helicoidal la cual se mezcla en la olla del concreto en el sitio de la obra, esta adición del refuerzo es mucho mas rápido y prácticamente sin costo que hacer el habilitado del refuerzo.

Así que la próxima vez que usted efectúe un tiro (swing) con el bastón de golf reforzado con fibra de carbón piense que de la misma forma la fibra helicoidal les dará un mejor diseño estructural, más rápido y más económico para su cliente.

**Referencias:**

JSCE Biblioteca de concreto 1984

\* Ver simulación en [www.tecnor.com.mx](http://www.tecnor.com.mx)

\* Contacto: [info@tecnor.com.mx](mailto:info@tecnor.com.mx)

# ***FIBRA DE ACERO HELICOIDAL***

## **USOS:**

**FIRMES Y MUROS DE CONCRETO EN CASA HABITACION**

**BANQUETAS**

**NAVES INDUSTRIALES**

**CENTROS COMERCIALES**

**BODEGAS**

**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**

**Callejón 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)**