PROYECTO DE UNA TORRE DE PERFORACIÓN CON PERFILES PULTRUSIONADOS DE GFRP

(PROJECT A PERFORATION TOWER WITH PULTRUSION PROFILES OF GFRP)

Antonio Egido López, Ingeniero de Minas (IETcc)
Alfonso Recuero Forniés, Dr. Ingeniero de Caminos (IETcc)

ESPAÑA

Fecha de recepción: 12-IV-99
199-31

RESUMEN

El proyecto presenta el diseño de una estructura desmontable y reutilizable para la realización de sondeos de petróleo. La estructura ha sido proyectada con perfiles pultrusionados de material compuesto avanzado ya que presentan unas cualidades, tanto físicas como mecánicas, superiores a la de los materiales convencionales. El empleo de estos materiales ha sido justificado desde el punto de vista técnico y económico. A lo largo del artículo se describen las operaciones requeridas en la explotación por sondeos, así como el planteamiento seguido en el cálculo estructural mediante un programa que tiene por objeto el análisis matricial de estructuras de barras. Al final del mismo se hacen una serie de reflexiones sobre las tendencias futuras de estos materiales.

SUMMARY

The goal of this project was to design a removable and reusable structure (derrick) built with pultrusion profiles of GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymers). These profiles have better physical and mechanical properties than those commonly used for these structures, such as steel or concrete profiles. A methodology for drilling an oil field is described in this document. The structure has been worked out by computer program. An economical study with a comparison between the structure designed with common materials and with composites is included. An application to different situations where steel design could not be possible is also shown.

1. INTRODUCCIÓN

El objeto del proyecto es diseñar una estructura desmontable y reutilizable para la realización de sondeos. Dicha estructura es una torre de perforación (derrick) para la explotación por sondeos de un campo de petróleo. La torre de perforación que plantea este proyecto está diseñada para pozos de petróleo con profundidades iguales o inferiores a los 4.500 m, ya que al ser la estructura desmontable se cubre casi el 90% de las técnicas de perforación realizadas en tierra (técnica "on shore").

2. TÉCNICA DE EXPLOTACIÓN POR SONDEOS

La técnica o el proceso de perforación por sondeos ha desarrollado tal nivel de perfeccionamiento en los últimos años, que se ha convertido en uno de los métodos mineros más extendidos y aplicados a ciertas sustancias tan vitales para la humanidad como son el agua, los hidrocarburos o algunas sales.

En primer lugar se describen las características de los posibles sondeos de petróleo:

Sondeo de reconocimiento en un campo petrolífero ya conocido: en este caso, se tiene la experiencia acumulada de los pozos que están en producción y se sabe el diámetro con el que se puede comenzar la perforación, qué tuberías se tienen que introducir y cuál es el diámetro final del pozo.

Sondeo de reconocimiento: sólo tiene importancia desde el punto de vista de investigación geológica; la profundidad no suele superar los 1.800 m.

Sondeo de explotación en región no explorada: en una situación así se tiene que determinar si existe o no producción. En caso afirmativo, se tienen que calcular los diámetros de las tuberías de perforación, de revestimiento y de producción. Evidentemente es el caso más común y, a su vez, el más complejo.

El equipo de perforación consta de tres elementos esenciales:

El primer elemento está constituido por una torre o mástil de unos 40-50 m de altura que soporte todos los esfuerzos verticales que se deriven de la sustentación de la sarta y de la columna de entubación, así como de los posibles atranques que puedan producirse. También sirve para el almacenaje y manipulación de barras en posteriores operaciones de perforación. Las propiedades de los materiales de la torre se describen en el apartado tercero de este artículo.

La sarta del varillaje: constituida por una mesa de rotación, "barra kelly" (barra poligonal), "drill pipe" (barra de perforación), "drill collar" (lastrabarrenas) y, en su parte inferior, el tricono de perforación.

Una subestructura, que soporta los equipos anteriormente mencionados y, además, actúa como plataforma de trabajo.

A continuación se muestra el esquema de una torre de perforación (véase Figura 1a y 1b), donde se observa el conjunto formado por el mástil, sarta de varillaje y plataforma de trabajo.

Los medios rotopercusivos constituyen la técnica de perforación más empleada en la actualidad. Esta técnica se caracteriza por la utilización de una máquina que se encarga de transformar la energía primaria (eléctrica, diesel o de aire comprimido) en una energía de rotación o impacto que se transmite a lo largo de todo el equipo del varillaje hasta llegar a la broca, donde se produce la máxima acumulación de energía sobre el terreno con el fin de poder perforarlo. Todo esto se ve acompañado de un fluido de barrido, generalmente un lodo, que tiene la misión de:

Aumentar la densidad.
Controlar las presiones internas.
Lubricar y limpiar la sarta y el fondo del sondeo.
Revestir e impermeabilizar las paredes.
Evacuar el detritus.

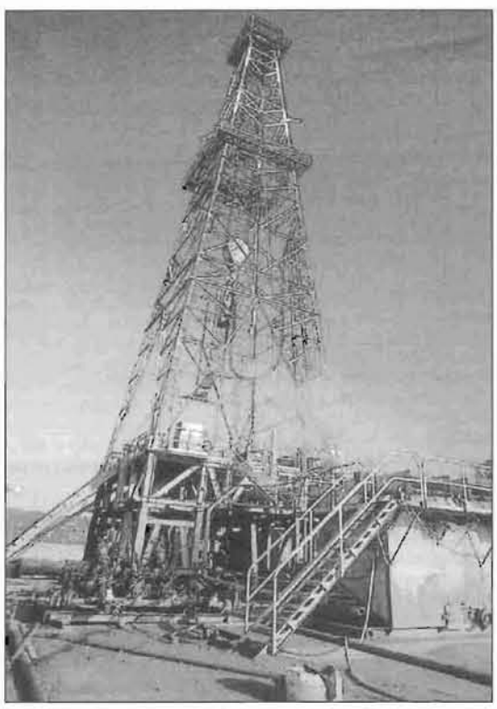

Figura 1a.- Fotografía de una torre de perforación.

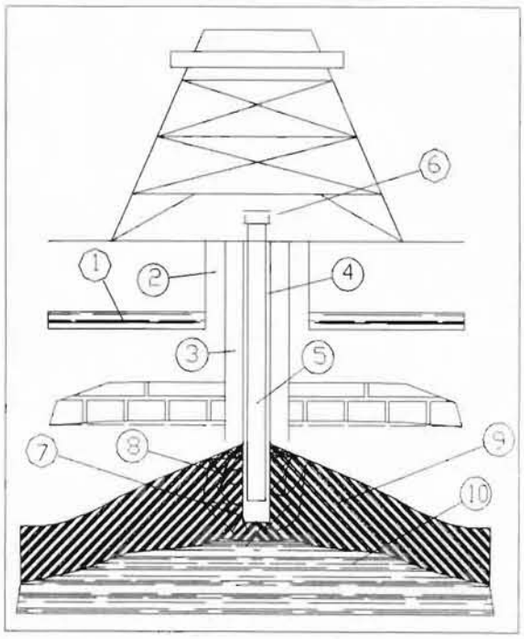

Figura 1b.- Corte esquemático de un pozo: 1) Acuífero, 2) Tubería de superficie cementada, 3) Tubería intermedia cementada, 4) Tubería protectora de la de producción cementada, 5) Tubería de producción (tubing), 6) Cabezal de conexión, 7) Perforación, 8) Gas Natural del yacimiento, 9) Formación petrolífera, 10) Agua salada.

Como última función destaca la protección de formaciones, zonas que presentan unas características potencialmente productivas de cara a futuras prospecciones por sondeos; por ello la elección del lodo y el continuo control de su composición, características, parámetros de circulación, es absolutamente vital en este tipo de sondeos.

3. MATERIALES EMPLEADOS

En el diseño del sondeo de petróleo se ha tenido en cuenta la combinación de materiales convencionales con los avanzados. La torre de extracción es de material compuesto, al igual que todo el conjunto de uniones que dicha estructura conlleva. La subestructura sobre la cual va apoyada la torre se ha proyectado de material compuesto convencional, mientras que todo el equipo que compone la sarta del varillaje es de acero, para poder garantizar la verticalidad del sondeo.

El derrick (torre de perforación) ha sido proyectado con perfiles pultrusionados de material compuesto avanzado y reforzado con fibra de vidrio, ya que, por ser un material industrializado, sus características mecánicas y geométricas vienen garantizadas por el fabricante.

a) Propiedades de los materiales compuestos

Se define material compuesto como aquél conformado por distintos constituyentes destinados a realizar funciones que ninguno de ellos puede realizar de forma individual.

La importancia de estos nuevos materiales empleados en construcción reside en su ligereza, lo cual aporta ventajas, tanto desde el punto de vista económico como por la facilidad en el montaje, desmontaje y transporte, sin olvidar la reducción de cargas muertas cuando estos materiales se emplean de forma integral o masiva.

Por otro lado, presentan un buen comportamiento ante la corrosión y el ataque de agentes ambientales, lo que supone una ventaja en aplicaciones costeras, marinas y, en general, en todos aquellos ambientes que sean agresivos, siendo el mantenimiento prácticamente nulo.

Otra de sus peculiaridades es que posee buenas características mecánicas, en particular, elevada resistencia a tracción, compresión, cortadura e impacto, lo cual permite su utilización en una estructura muy resistente. Además estos materiales no presentan interferencias con los campos electromagnéticos, lo que les hace insustituibles en algunas aplicaciones (Figura 2).

b) Ventajas frente a otros materiales

El empleo de los materiales compuestos en estructuras de primera obra supone una innovación dentro del campo de la construcción, ya que su empleo está prácticamente reducido a refuerzos de estructuras ya existentes, proporcionando unas cualidades, tanto físicas como mecánicas, superiores a las que ofrecen los materiales convencionales, como es el caso del acero o del hormigón.

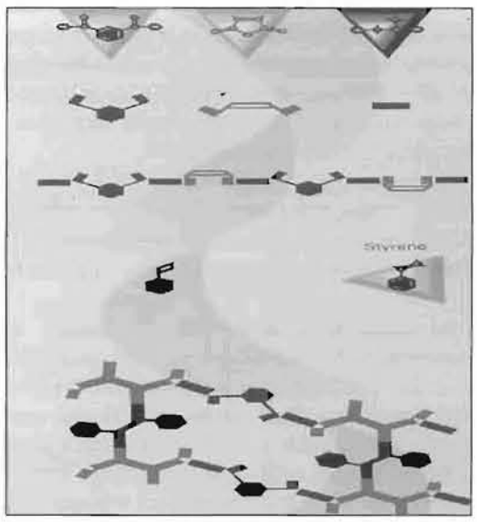

Figura 2.- Esquema de una matriz de material compuesto

Un aspecto muy importante en estos materiales es su reciclabilidad. Se parte del polietileno reciclado, al que se le somete a un proceso de fabricación (pultrusión) para obtener los perfiles que serán posteriormente instalados en estructuras. Una vez que estos perfiles completan su período de vida pueden ser, de nuevo, reciclados.

c) Descripción de los materiales empleados

Un composite está constituido por tres tipos de materiales: fibras, matrices o resinas y aditivos. Debido a su anisotropía, las fibras proporcionan el refuerzo en la dirección longitudinal (en algunos casos pueden formarse tejidos multidireccionales) mientras que la resina que envuelve o reviste a las fibras proporciona la forma y transmiten los esfuerzos entre las fibras además de la resistencia a cortante. Los aditivos se emplean para proteger las zonas más externas del material ante las posibles radiaciones solares o ataques químicos.

En el proyecto que se desarrolla, se ha trabajado con un material en cuya composición entra un 65% de fibra de vidrio y un 35% de resina viniléster; como aditivos se han empleado absorbedores o inhibidores de rayos ultravioleta. Las fibras de vidrio se constituyen a partir de las materias primas tradicionales en la fabricación del vidrio (cal, alúmina, sílice y magnesita) que, mezclado con un aporte de ciertos óxidos, da lugar a lo que se denomina "composición". Esta mezcla es sometida a un proceso de trituración y amasado que consigue un compuesto homogéneo, el cual es introducido en un horno y llevado a

temperaturas próximas a los 1.150 °C con el fin de alcanzar el estado líquido. Seguidamente, se le somete a un proceso de hileras para conseguir unos hilos de vidrio. Para finalizar el proceso de fabricación se le añade un ensimaje, es decir, una dispersión acuosa generalmente orgánica que proporciona una cierta resistencia.

El empleo de una resina termoplástica no es eficiente en este tipo de estructuras debido a la debilidad de las largas cadenas de moléculas unidas por fuerzas de Van der Waals.

Ante tal situación se ha optado por emplear resinas termoestables, las cuales presentan un mejor comportamiento en el proceso de pultrusión. La resina de viniléster es una matriz termoendurecible, bastante reciente, que se forma como consecuencia de la poliadición de resina epoxi sobre un ácido insaturado acrílico o metacrílico. Esta resina presenta buenas propiedades mecánicas y buena resistencia a la corrosión lo que la hace muy eficiente frente al resto de resinas termoestables empleadas en el campo de la construcción, como es el caso de la resina de poliéster. También presenta buena resistencia al fuego y una buena adhesión sobre las fibras de refuerzo.

d) Proceso de fabricación

De los diferentes procesos de fabricación de materiales compuestos hay que destacar el proceso de pultrusión. La pultrusión consiste en tirar o estirar de los refuerzos impregnados en una resina a través de un molde. En este molde se produce la polimerización de la resina mediante el aporte de calor, de este modo se puede fabricar todo tipo de perfiles. Es importante destacar que la sección se mantiene constante a lo largo de todo el proceso de fabricación, lo que le hace muy eficiente en este tipo de estructuras.

Las ventajas de este proceso se pueden resumir en una producción en continuo, poca necesidad de mano de obra y una gran variedad de formas y perfiles, presentando, además, buenas propiedades mecánicas en función de la naturaleza y porcentaje de refuerzo utilizado.

Como inconvenientes se pueden destacar que las inversiones necesarias son muy altas, la puesta a punto de la instalación debe ser realizada por personal muy cualificado y la mano de obra necesita una cierta cualificación.

El esquema seguido en el proceso de pultrusión se observa en la Figura 3, que se muestra a continuación.

Si se plantea hacer una valoración desde un punto de vista medioambiental, es preciso destacar que se habla de un proceso de fabricación que no es nada tóxico, donde el esfuerzo físico y riesgo por parte del operario es prácticamente nulo.

4. CÁLCULO ESTRUCTURAL

4.1 Normativas y criterios

Para la realización de este proyecto se han empleado las siguientes normativas:

NORMATIVA API 4 A, en todos los temas referentes a aspectos de Ingeniería de Minas.

INSTRUCCIÓN DE EDIFICACIÓN NBE-EA 95 respecto a temas de diseño de estructuras.

INSTRUCCIÓN DE EDIFICACIÓN NBE-EA 88, respecto a los temas de diseño de estructuras.

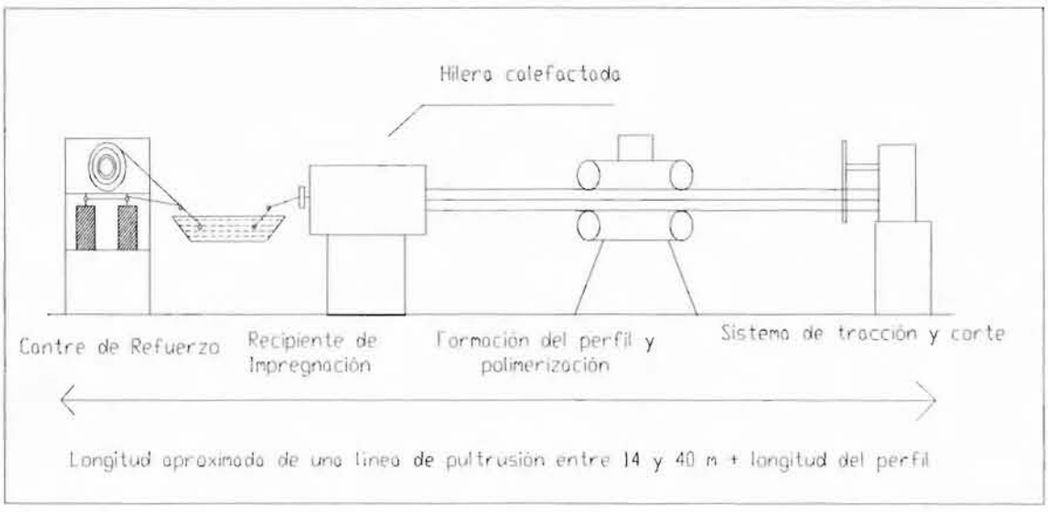

Figura 3.- Esquema de un proceso de pultrusión.

PRONTUARIO DE ESTRUCTURAS METÁLICAS DE ENSIDESA, para el cálculo de uniones atornilladas.

4.2 Configuración geométrica

La estructura a diseñar presenta una altura de 44 m sin contar con los 5 m que constituye el soporte superior, es decir, la distancia entre el "gin pole" (cabria) y el "crown block" (caballete portapoleas). La base de la estructura es de 9 m, la abertura del "V" window (altura trazada desde la plataforma base y paralela al centro de la torre de perforación) es de 8 m y la del water table (retallo de derrame) de 2 m. El varillaje, como se ha comentado anteriormente, está calculado para pozos de petróleo con profundidades iguales o inferiores a los 4.500 m, ya que, para sondeos con valores mayores, no se puede garantizar la estabilidad de la estructura.

4.3 Bases de cálculo. Acciones e hipótesis

Una vez definida la estructura se tienen que calcular las posibles solicitaciones a las que se va a ver sometida. Estas cargas se resumen en:

Peso del varillaje.
Carga del viento.
Sobrecarga vertical.
Peso propio de la estructura.
Acción sísmica.
Otras posibles acciones a tener en cuenta.

A continuación se va a describir detenidamente cada una de estas acciones.

El peso del varillaje, según la Normativa API para sondeos de perforación de 4.500 m, toma un valor de 170 t. Dicha carga ha sido aplicada como carga puntual en la parte superior del crown block (caballete portapoleas).

Para calcular la carga del viento,en primer lugar se tiene que definir cuál es la dirección de esta acción: normalmente se corresponde con la dirección de los ejes principales de la estructura. Una vez definida la dirección del viento se procede a calcular la presión dinámica del viento "w" obteniendo un valor de 100 kg/m^2 para una velocidad media del viento de 144 km/h. Con este valor se calcula la sobrecarga del viento sobre un elemento superficial. Para ello se multiplica la presión dinámica por su respectivo coeficiente eólico "c" que,al trabajar con una construcción abierta de forma prismática y de base rectangular (o constituida a partir de rectángulos), toma un valor de 1,2. Este coeficiente eólico debe ser multiplicado por un factor de esbeltez "k", el cual viene dado por la relación altura/base, que, al estar comprendida entre 1 y 5, toma un valor unidad. Por lo que el valor final de la carga del viento resultará del producto de la sobrecarga del viento sobre un elemento superficial y del área de exposición o área aparente, que, en este caso, toma un valor de 50 m^2.

Los pesos que gravitan sobre una estructura se descomponen en concarga y sobrecarga. La sobrecarga vertical viene dada por el conjunto de cargas que se derivan del peso de las tuberías de revestimiento, maquinaria, personal y equipos, mientras que la concarga hace referencia al peso propio que, en el programa, ha sido representado por una carga repartida a lo largo de cada barra.

La acción sísmica será, quizás, la que ejerza mayor influencia sobre la cabeza de la estructura. Para calcularla hay que determinar, en primer lugar, el coeficiente sísmico "s" que viene dado por la relación entre la aceleración horizontal y la aceleración de la gravedad. La aceleración horizontal depende de la característica de la estructura, así como de la plataforma de trabajo. También hay que determinar la influencia sísmica de la zona, la cual ha sido designada como grado IX, lo que significa un valor del coeficiente sísmico de 0,15. Conocido el coeficiente sísmico se puede calcular la sobrecarga horizontal. Para ello se multiplica este coeficiente por la carga vertical que es una función de la concarga, del factor sísmico de reducción y de la sobrecarga vertical.

Otras de las posibles acciones a tener en cuenta serían las acciones térmicas y reológicas, es decir, cuál es el comportamiento del material ante posibles variaciones de temperatura. También debe realizarse un estudio de la plataforma de trabajo o cálculo de las zapatas sobre las cuales va apoyado el conjunto de la estructura.

El programa con el que se ha trabajado permite el cálculo de una estructura por análisis matricial, determinando los desplazamientos de cada uno de los nodos, así como los esfuerzos axiles, esfuerzos cortantes y momentos flectores de cada una de las barras.

Las hipótesis de partida del programa se describen a continuación:

Las cargas son estáticas y de poca duración, es decir, no se considera la influencia de efectos diferidos en el tiempo.

Las deformaciones son pequeñas. Según la teoría de primer orden las condiciones de equilibrio y de compatibilidad se refieren a la geometría de la estructura antes de la deformación.

El comportamiento de los materiales es lineal elástico hookeano.

Las barras son rectas, de sección constante y simétricas respecto al plano de la estructura.

Se desprecian las deformaciones producidas por el esfuerzo cortante.

Los perfiles empleados son del tipo H.

Calculada la estructura se plantea el cálculo de las uniones. En este tipo de estructuras el diseño de las uniones es un tema todavía a resolver. Al hablar de una estructura desmontable y reutilizable sólo cabe la posibilidad de proyectar uniones atornilladas, ya que no tiene sentido el empleo de uniones adhesivas o roblonadas. Los tornillos han sido fabricados también con material compuesto y calculados según un prontuario de estructuras metálicas,ya que estamos bajo la hipótesis de material elástico lineal. La equivalencia de estas uniones respecto a los tornillos metálicos de alta resistencia son TR 12, TR 16 y TR 20.

Los resultados proporcionados por el programa permiten verificar que es aplicable la teoría de primer orden, según la cual las deformaciones en la cabeza de la estructura deben ser muy inferiores a la altura de la estructura. En este caso se habla de unos desplazamientos del orden de los 25 cm frente a una altura próxima a los 50 m.

5. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA DEL PRODUCTO

Ya se han mencionado las propiedades y cualidades que presentan los materiales compuestos avanzados, pero también se tiene que justificar su empleo desde el punto de vista económico. Para poder comparar económicamente dos materiales como el acero y el composite que presentan un comportamiento y características diferentes, es necesario determinar un coste común, el cual viene definido por el coste de transmisión. Tanto en estructuras metálicas como de materiales compuestos lo que se pretende es transmitir los esfuerzos a los apoyos, por lo que se define como coste de transmisión al coste de transmitir una tonelada una distancia de un metro. Si se proyecta la estructura con ambos materiales se obtiene que el coste de transmitir con materiales compuestos una tonelada una distancia de un metro es el doble que en el caso de materiales convencionales. Desde este punto de vista de coste inicial, el empleo de composites, presenta una cierta desventaja frente al acero, pero esta inversión se ve ampliamente compensada con otros costes.

En el coste de montaje se tiene una cierta ventaja, aproximadamente de un 50% más económico, según los datos proporcionados por ingenierías dedicadas a este sector, ya que se está hablando de un material más ligero y, por tanto, de fácil manejo, lo que hace que el transporte sea también más económico.

El plantear una estructura desmontable y reutilizable de estas características con acero, expuesta a unas condiciones meteorológicas y de carga muy desfavorables durante un largo período de tiempo, no sería viable debido a los procesos de corrosión y deterioro que presentan estos materiales, ya que nadie va a garantizar sus propiedades cuando sea puesta de nuevo en funcionamiento.

Por otro lado, el mantenimiento de los materiales compuestos es prácticamente nulo ya que este material ni se oxida ni se degrada por la acción del agua o de las radiaciones solares. En cambio, una estructura metálica fuertemente expuesta tiene un coste anual del 4%, lo que supone un gran desembolso si la estructura está sometida a estas condiciones durante largos períodos de tiempo.

Los precios de los materiales compuestos -y listos para instalarlos a pie de obra- a día 19/2/1999, son de, aproximadamente, 1.000 ESP/kg. Evidentemente estos datos sirven a nivel orientativo, ya que, seguramente, el precio actual no se corresponda con los datos proporcionados.

CONCLUSIONES

Como resumen se destaca que siempre que se diseñe una estructura se debe pensar, desde un principio, en el material. No es ni técnica ni económicamente rentable el diseñar una estructura con acero y luego sustituirla por material compuesto. El empleo de los composites es adecuado en aquellas situaciones en las que el precio inicial de la estructura no sea lo prioritario y, en cambio, sí lo sean sus características, no sólo mecánicas, o su mantenimiento.

Este trabajo pone de manifiesto la viabilidad de proyectar este tipo de estructuras con perfiles pultrusionados de material compuesto avanzado y reforzado con fibras de vidrio.

En la actualidad existe una cierta tendencia al empleo de fibras de vidrio en estructuras de primera obra, dejando las fibras de carbono para refuerzo de estructuras ya existentes. Esto es debido al inferior coste que presentan los GFRP frente a los CFRP, aunque es continuo el descenso del precio de las fibras de carbono. Este descenso del precio, acompañado de unas mejores propiedades de resistencia, harán que las fibras de carbono sean utilizadas en estructuras de primera obra en un futuro próximo.

Ejemplos de aplicación de estos materiales en la actualidad

Una aplicación actual de estos materiales del tipo de la aquí descrita se puede encontrar en California (EE UU) donde las torres de alta tensión están siendo proyectadas con perfiles pultrusionados de material compuesto avanzado, obteniendo unos resultados bastantes satisfactorios (Figura 4).

AGRADECIMIENTOS

El trabajo se incluye dentro del proyecto de investigación que lleva por título "Materiales Compuestos para su uso en refuerzo o rehabilitación de estructuras de edificación y de obra civil". Este proyecto de investigación ha sido financiado por la CICYT bajo el código MAT97-1218-CO2-01 y se ha desarrollado en el Instituto Eduardo Torroja (CSIC) bajo la dirección de D. Alfonso Recuero Fomiés (Jefe del departamento de Ingeniería Estructural y Mecánica de Materiales Compuestos del IETcc).

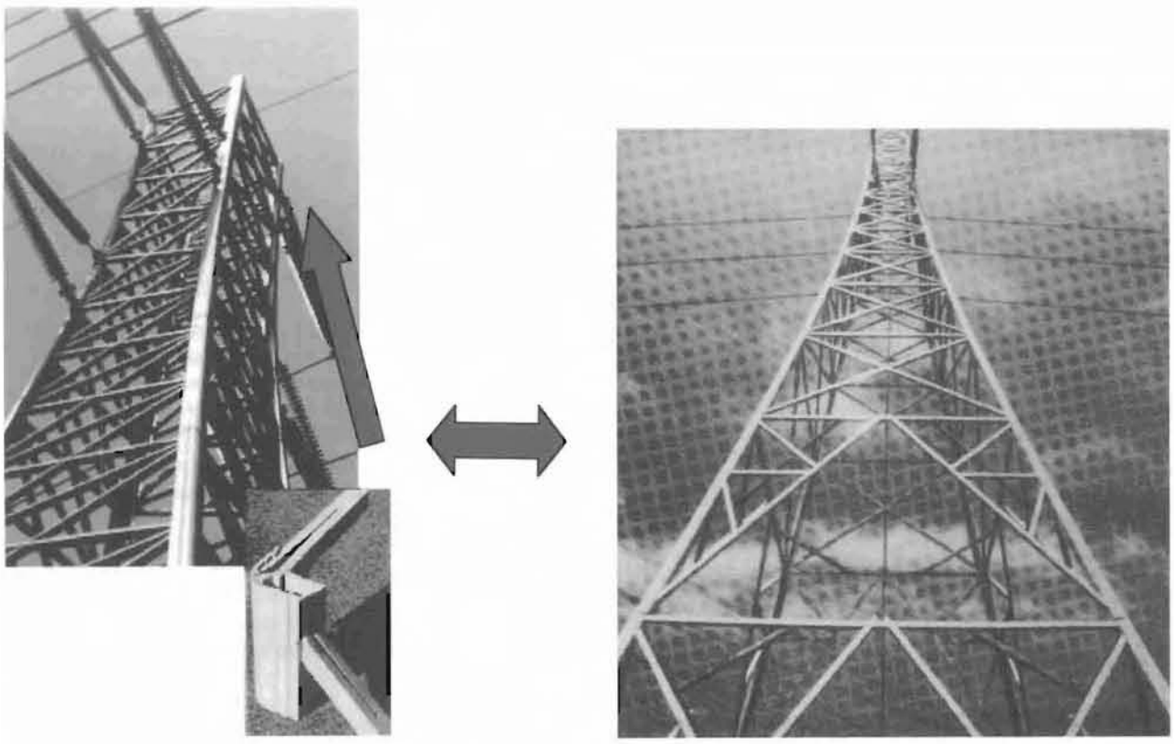

Figura 4.- Torre de alta tensión con perfiles pultrusionados.

BIBLIOGRAFÍA

(1) Miravete de Marco, A. (1995): Los nuevos Materiales en la Construcción. Ed. Miravete.

(2) Antequera Benítez, P. (1995): Los materiales compuestos de fibra de vidrio. Ed. Secretaría de Publicaciones de U.P. de Zaragoza.

(3) Morán Cabré, F; (1989): Análisis Matricial de Estructuras en Ordenador. Ed. Rueda.

(4) Güemes, J. A. y Navarro, C.: Materiales Compuestos 97 (AEMAC).

(5) Plá Ortiz, F. (1996): Fundamento del Laboreo de Minas. Publicaciones ETSI Minas.

(6) Puy Huarte, E. (1984): Fundamento de los sondeos. ETSI Minas.

(7) Malvar, L. J.: "Durability of Composites in Concrete", First International Conference of Durability of Composites for Construction, CDCC'98, Sherbrooke, Quebec, Canadá, Agosto 1998, pag 361-372.

(8) Martin, Jeff: "Composite in Infrastructure" for EPTA Pultrusion Technology Seminar, París, Francia, Abril 1999, pg 1-15.

(9) Journal of composites for construction (Volúmenes 1,2 y 3)(1997-1998): Edita ASCE (American Society of Civil Engineers, Material Engineering Division).

(10) Ensidesa (1990): Dimensionamiento de Elementos Estructurales.

(11) Creative pultrusion (1997): Design Guide Manual.

(12) Creative pultrusion (1998): Compuestos pultrusionados de fibra de vidrio de alta resistencia.

(13) Morrison molded fiber glass company (1997): Design Manual.

(14) Normativa API (1996): Mast, derricks and substructures.

(15) Normativa de edificación NBE-EA-88.

(16) Normativa de edificación NBE-EA-95.

* * *

MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Monográfico dedicado a

LOS MATERIALES COMPUESTOS EN LA CONSTRUCCIÓN

La revista MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN, editada en el Instituto de Ciencias de la Construcción EDUARDO TORROJA, dedica un número doble (Nº 247/248) a: *Los Materiales Compuestos en la Construcción.*

Los Materiales Compuestos en la Construcción es una temática muy actual ya que incide en el desarrollo y aplicación de Nuevos Materiales ("Composites"), que son el futuro en el campo de la Construcción. Uno de los sectores productivos que más influyen en el PIB es el de la construcción, con lo cual resulta necesario involucrar al sistema de I+D en el desarrollo de nuevos materiales compuestos basados en el cemento. En estos términos se presentaba en la última convocatoria de proyectos de investigación de la CICCYT y dentro del Programa Nacional de Materiales, lo referente a las investigaciones en el Área de Materiales Compuestos (B.O.E. 7 de noviembre de 1997). *Los Materiales Compuestos en la Construcción* constituyen un tema estratégico, tanto para los ingenieros de caminos, canales y puertos como para los ingenieros de materiales.

Este número monográfico se compone de dos partes. La parte I se dedica a los materiales compuestos de matríz de hormigón. Son tratados temas claves como la dosificación, la interfase en sistema acero-hormigón y la implantación de nuevas fibras como son las acrílicas. La parte II se concentra en los denominados materiales compuestos de matríz orgánica, analizándose en profundidad las nuevas tecnologías tipo sandwich, textiles o de parrilla.

En este número especial se recogen trabajos de investigación originales e inéditos, en los que también se presentan las amplias posibilidades de aplicación de estos materiales. Los autores de estos trabajos, tanto los nacionales como los internacionales, son especialistas reconocidos en su respectivos campos científicos.

Los artículos que componen este número especial son:

- Materiales Compuestos en la Construcción: Introducción *(Composite Materials in Building: Introduction)*
  A. Miravete
- Dosificación de hormigón reforzado con fibras de acero *(Mix design of steel fiber reinforced concrete)*
  E. Moreno y M. Fernández Cánovas
- Estudio de la interfase en los hormigones reforzados con fibras *(Interface study of fiber reinforced concrete)*
  A. Pacios y M. Fernández Cánovas
- Hormigónes reforzados con fibras acrílicas *(Concretes reinforced with acrylic fibres)*
  T. Amat
- Fabricación y diseño de estructuras parrilla *(Manufacture and design of composite grids)*
  Stephen W. Tsai, Kevin K.S. Liu y Philippe M. Manne
- Características de los elementos resistentes tipo sandwich construídos en materiales compuestos avanzados a partir de tejidos tridimensionales *(Characteristics of sandwich-type structural elements built of advanced composite materials from three dimensional fabrics)*
  L. Castejón, M.A. Jiménez y A. Miravete
- Materiales compuestos realizados a partir de nuevas tecnologías textiles *(Composite materials from new textile technologies)*
  M.A. Jiménez, L. Castejón y A. Miravete
- Los composites y la construcción: su ayer, hoy y mañana *(Composites and construction: yesterday, today and tomorrow)*
  J. Manso
- Conclusiones finales *(Final consclusions)*
  A. Miravete