

MATERIALES COMPUESTOS PARA LA OPTIMIZACIÓN DE CELOSÍAS ESPACIALES

COMPOSITE MATERIALS FOR THE OPTIMIZATION OF SPACE FRAMES

RICARDO MEZZACASA. Ingeniero Industrial

INASMET. rmezzaca@inasmet.es

ARTURO FORCAT, Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

DRAGADOS. afi-dragados-constr@dragados.com

VICTOR ISASI, Ingeniero Superior

BEKAERT COMPOSITES. visasibekaert@infonegocio.com

RESUMEN: Las estructuras de celosías espaciales ampliamente extendidas para la realización de cubiertas y otras aplicaciones de los sectores de la construcción y obra civil, son un producto normalmente realizado en materiales metálicos y, en concreto, fundamentalmente en acero. Esta solución en materiales tradicionales presenta algunas limitaciones fundamentalmente de sobrepeso y especialmente de resistencia a la corrosión y, por tanto, de mantenimiento en ciertas aplicaciones correspondientes a ambientes agresivos.

En este contexto y para dar una solución a estos problemas, este artículo presenta un sistema de celosía espacial desarrollado basado íntegramente en la utilización en materiales avanzados como son los materiales compuestos de matriz orgánica.

La utilización de los llamados composites en celosías espaciales, a pesar de ser una solución que no cuenta con la experiencia de la solución metálica que se ha ido optimizando a lo largo de muchos años, demuestra ser una posibilidad inmediata factible técnica y económicamente para ciertas aplicaciones en las que primen los requerimientos de ligereza y de resistencia a la corrosión como puede ser el caso de estructuras cercanas a ambientes marinos, plantas químicas, ampliaciones de edificios existentes, etc.

PALABRAS CLAVE: CELOSÍAS ESPACIALES, ESTRUCTURAS ESPACIALES, MATERIALES COMPUESTOS, MATERIALES AVANZADOS, PASARELAS PEATONALES

ABSTRACT: Space frames are widely employed in roof structures and in other construction and civil work applications and are generally formed in metal materials and, generally, steel. This employment of traditional materials presents some restrictions in terms of overloading and particularly with regards to rustproofing which limits the use of these systems in aggressive environments.

In an attempt to overcome these problems, this article presents a space frame system which has been integrally developed on the basis of advanced materials in the form of organic matrix composites.

When compared with the long-standing experience of steel space frames which have been optimized over the years, these composite variations prove to be a valid alternative which are technically and economically viable for certain applications which need to be lightweight and rustproof as in the case of structures in and around marine environments, chemical plants, extensions to existing buildings, etc.

KEYWORDS: SPACE FRAMES, SPACE STRUCTURES, COMPOSITE MATERIALS, ADVANCED MATERIALS, FOOTBRIDGES

1. INTRODUCCIÓN

Las estructuras espaciales tubulares están compuestas habitualmente por una repetición de nudos y barras que, según su disposición, permiten generar estructuras prefabricadas de diferentes geometrías y de fácil montaje. Los nudos, normalmente

1. INTRODUCTION

Tubular space frames are generally composed of a repetition of nodes and links which are so arranged to form easily assembled prefabricated structures of all manner of size and shape. The nodes tend to be made

Se admiten comentarios a este artículo, que deberán ser remitidos a la Redacción de la ROP antes del 30 de junio de 2004.

Recibido: febrero/2004. Aprobado: febrero/2004

son elementos de acero sobre los que se mecanizan los correspondientes orificios preparados para recibir los elementos correspondientes a las uniones mecánicas con las barras. Por su parte, las barras son elementos en forma de tubo, también de acero, en cuyos extremos se incorporan precisamente los elementos de unión para su fijación a los nudos. Tanto los nudos como las barras se protegen con pinturas anticorrosión que deberán aplicarse periódicamente para garantizar un adecuado mantenimiento.

En este sentido, si bien es cierto que este tipo de materiales metálicos presentan elevadas prestaciones mecánicas, cuentan con limitaciones entre las que cabe destacar su elevado peso específico y su alta tendencia a la corrosión bajo condiciones ambientales adversas.

En este contexto, el centro tecnológico INASMET, las empresas de construcción DRAGADOS y TECSA, así como el fabricante de componentes en materiales compuestos BEKAERT COMPOSITES S.A., han colaborado recientemente en un proyecto conjunto para desarrollar un sistema de celosía espacial íntegramente en materiales compuestos para aplicaciones concretas en las que los requerimientos de peso o la resistencia a ambientes corrosivos no puedan ser cumplidos con las soluciones tradicionales.

2. OBJETIVOS E INNOVACIÓN

El objetivo principal del proyecto ha sido desarrollar un sistema estándar de malla espacial fabricado en material compuesto o composite. En este sentido, los materiales compuestos se vienen utilizando ya en los últimos años en nuevas aplicaciones estructurales de construcción u obra civil en estructuras correspondientes por ejemplo a puentes peatonales, forjados de pequeños edificios, elementos para plataformas marinas, etc.

Sin embargo, en estos casos, habitualmente las estructuras construidas para cubrir estas aplicaciones son estructuras continuas y diseñadas específicamente a la medida de la aplicación en cuestión. En este sentido, la innovación principal de este proyecto es la utilizar estos materiales avanzados validados ya en aplicaciones similares, para desarrollar un sistema discreto basado en un elemento estándar que se repite a lo largo de toda la estructura. De esta manera, con el mismo diseño del sistema, se pueden cubrir aplicaciones muy variadas con un mismo producto, con las correspondientes ventajas de simplificación y optimización del proceso de diseño y de fabricación.

3. VENTAJAS DE LAS ESTRUCTURAS EN MATERIALES COMPUESTOS

Las principales ventajas de la solución en materiales compuestos con respecto al diseño tradicional en acero son las siguientes:

in steel with a number of specifically prepared openings to form mechanical joints with the link members. These links are formed in the manner of steel tubes which are specially prepared to be inserted in and connected to the nodes. Both the joints and link members are protected by rustproof paint which should be reapplied on a regular basis to ensure suitable maintenance.

While these types of steel materials have high mechanical properties, they also suffer from certain limitations on account of their high specific weight and their tendency to rust under adverse environmental conditions.

In an attempt to tackle these problems, the technological centre INASMET, the construction companies DRAGADOS and TECSA and the manufacturer of composite material components BEKAERT COMPOSITES S.A., have recently collaborated in a joint project to develop a space frame system entirely formed in composite materials for use in specific applications where the weight or corrosion requirements cannot be met by standard steel solutions.

2. OBJECTIVES AND INNOVATION

The main objective of the projects was to develop a standard space frame system manufactured in composite material. Composite materials have been employed in recent years in new building and civil work applications in structures such as footbridges, floor slabs for small buildings and as elements for sea platforms, etc.

However, the use of these materials has tended to apply to continuous structures or purpose-designed applications. As such, the main innovation of this project lies in the employment of these advanced materials, which have been validated in similar applications, to develop a discrete system based on a standard element which is repeated throughout the entire structure. In this manner the same product may be arranged to cover a very broad range of applications with ensuing advantages in terms of simplification and optimization of the design and manufacturing process.

3. ADVANTAGES OF COMPOSITE MATERIAL STRUCTURES

The main advantages of composite material solutions over traditional steel designs are as follows:

- Reducción de peso: Fabricación de estructuras espaciales ligeras en su totalidad en material compuesto o polimérico, con la consiguiente importante reducción de peso.
- Permeabilidad a las ondas electromagnéticas que puede ser de especial interés para edificaciones que tengan funciones relacionadas con las telecomunicaciones.
- Buenas propiedades estructurales específicas: la adecuada selección tanto de las resinas como de las fibras de refuerzo, así como de las tecnologías de fabricación, permiten obtener materiales de elevadas propiedades estructurales capaces de competir con los utilizados actualmente.
- Gran resistencia a la corrosión y a los agentes ambientales y, por tanto, escasa necesidad de mantenimiento.
- Excelentes propiedades de aislamiento térmico y eléctrico.
- Rápida instalación debido a la ligereza de la estructura.
- Costes competitivos: El hecho de desarrollar estructuras espaciales ligeras y de materiales de gran resistencia a la corrosión, permite reducir considerablemente los costes globales de montaje, manipulación, transporte y mantenimiento a lo largo de la vida útil de la estructura.

4. APLICACIONES DE LAS CELOSÍAS EN COMPOSITE

Actualmente, se fabrican perfiles en material compuesto, fundamentalmente por la técnica de pultrusión, que son utilizados como columnas, vigas, soportes, etc, a partir de los cuales se fabrican diferentes estructuras de construcción. Entre las aplicaciones en las que este tipo de perfiles son utilizados, destaca como se ha mencionado ya la construcción de puentes peatonales, estructuras de pequeños edificios, elementos para plataformas marinas, barandillas para pantañales marítimos, etc.

Estos ejemplos confirman la posibilidad de abordar celosías espaciales en composite, como solución alternativa, en aquellos casos en los que la aplicación presente una serie de particularidades que comprometa la utilización de los materiales metálicos.

5. ACTIVIDADES REALIZADAS

5.1. Diseño de la estructura para una pasarela peatonal

La aplicación seleccionada en este proyecto para implementar la celosía espacial ha sido la estructura de una pasarela

- *Weight reduction: Manufacture of lightweight space frame structures formed entirely in composite or polymer materials, with ensuing weight reduction.*
- *Permeability of electromagnetic waves which can be of particular use in buildings with telecommunication functions.*
- *Good specific structural properties: the correct selection of resins and reinforcing fibres and the manufacturing techniques employed enable the production of materials with high structural properties which may readily compete with any other material employed today.*
- *High resistance to corrosion and atmospheric agents which ensure minimum maintenance requirements.*
- *Excellent electric and thermal insulation properties.*
- *Rapid installation due to lightweight structure.*
- *Competitive costs. The use of lightweight space frame structures formed in highly corrosion resistant materials substantially reduces the overall costs of assembly, handling, transport and long term maintenance of the structure.*

4. APPLICATION OF COMPOSITE SPACE FRAMES

Composite material profiles are currently being manufactured, essentially by pultrusion techniques, which may be employed in columns, beams, supports, etc, in various types of building structure. These profiles have already been employed, as previously indicated, in footbridges, small building structures, in elements of sea platforms, handrails for embankments, etc.

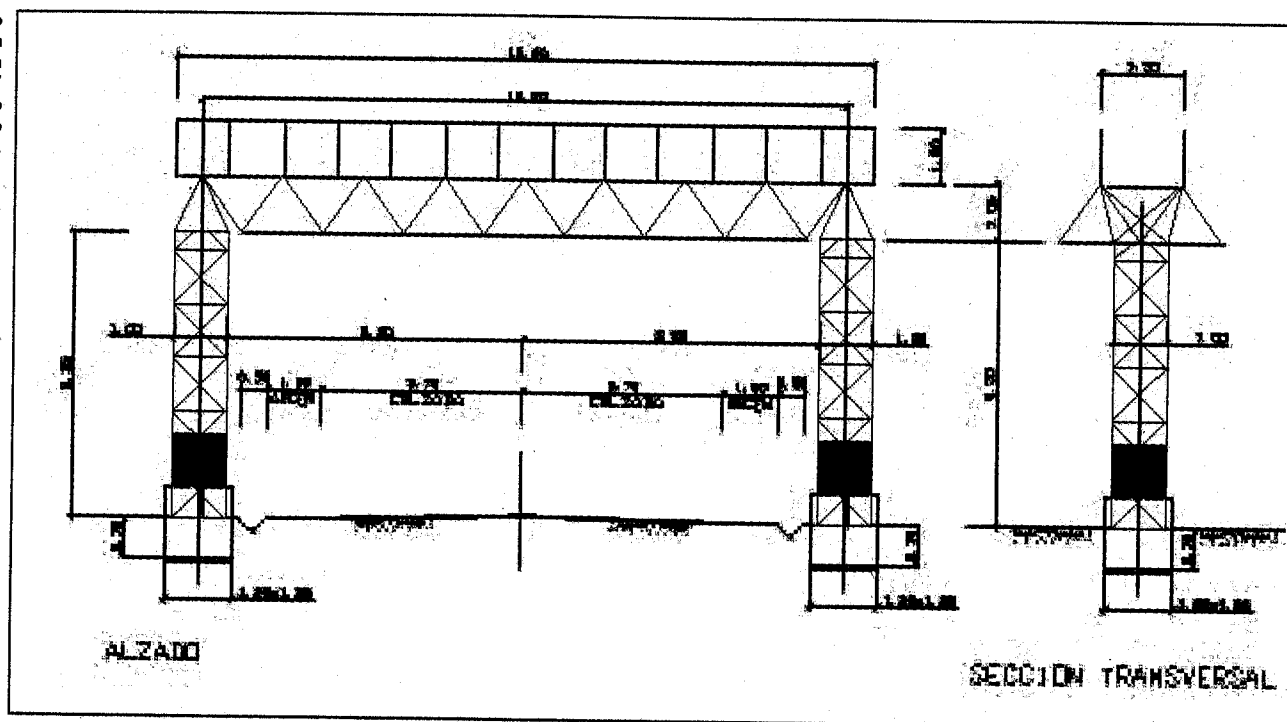
These examples readily reveal the possibility of employing composite space frames as an alternative solution in those cases where steel is not particularly recommended on account of the structure's location or characteristics.

5. IMPLEMENTATION

5.1. Design of structure for a footbridge

The application selected in this project to implement the space frame consists of a 12 m span

Fig. 1. Plano de la estructura de pasarela peatonal/
Section of the footbridge structure.



peatonal de 12 metros de luz en la que la solución en composite también está formada por una serie de tubos y nudos fabricados en su mayor parte en materiales compuestos.

5.2. Caracterización de los materiales

Los materiales compuestos seleccionados para el sistema están basados en composites reforzados con fibras de vidrio en todos los casos pero en diferentes formatos y con diferentes orientaciones según los esfuerzos a los que están sometidos cada uno de los elementos que constituyen el sistema. En cuanto a la matriz seleccionada que actúa como ligante de las fibras, en la mayoría de los elementos se ha utilizado resina de poliéster, si bien en alguno de los elementos más solicitados se han empleado también resinas epoxy con mejores prestaciones mecánicas. Estos materiales seleccionados han sido ensayados desde el punto de vista de su resistencia mecánica y desde el punto de vista del envejecimiento al que están sometidos por efecto de la exposición a la intemperie fundamentalmente por efecto de la radiación solar.

5.3. Caracterización de las uniones

La parte más crítica del sistema está en la unión de los elementos tubulares que constituyen las barras a los elementos que forman el nudo. Por ello, para garantizar la resistencia de dicha unión, se ha realizado también una campaña importante de ensayos para verificar la resistencia de estas

footbridge in which the tubes and joints forming the frame are largely manufactured in composite materials.

5.2. Material characteristics

The composite materials selected for the system are based, in all cases, on glassfibre reinforced composed in different forms and orientations according to the stress on each component part of the system. In terms of the matrix selected to serve as the fibre binder, a polyester resin was employed in the majority of the components, though in some of the components subject to greater stress an epoxy resin with greater mechanical properties was also employed. The selected materials have been tested for mechanical strength and ageing due to outdoor exposure and, essentially, as a result of solar radiation.

5.3. Characteristics of the joints

The most critical part of the system lies in the connection between the tubular members and the elements forming the joint. In order to guarantee the strength of this connection an intensive series of tests were carried out to verify the strength of connection when using

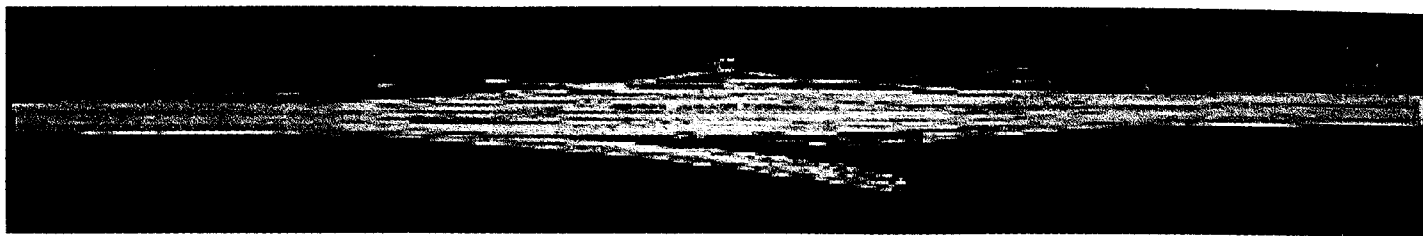
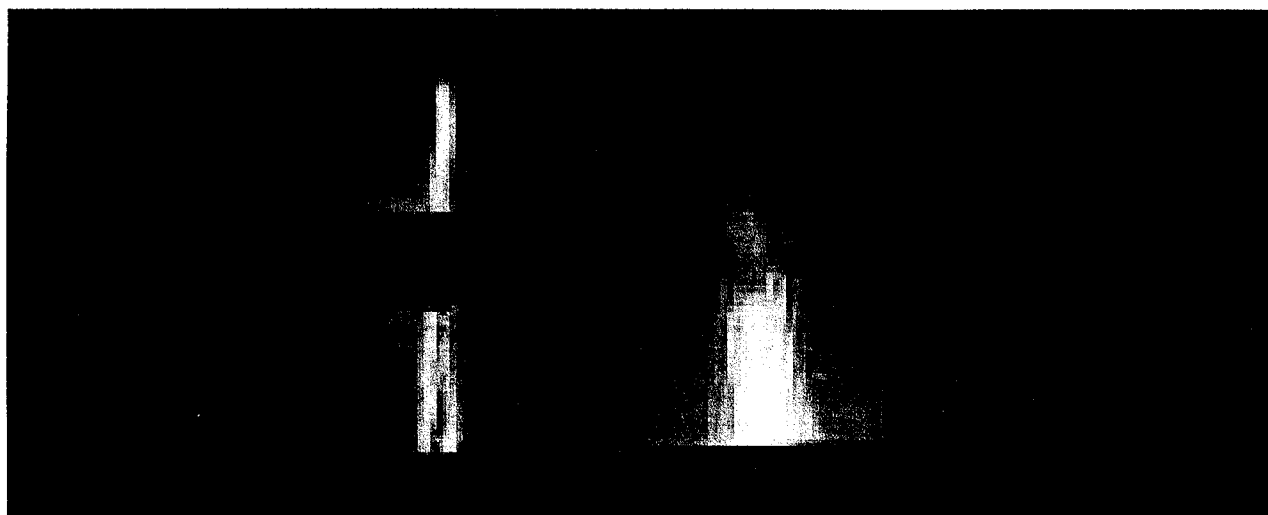


Fig. 2.
Ejemplo de
probeta tras
el ensayo de
tracción
/ Specimen
after tensile
testing.

TABLA I. PROPIEDADES DEL MATERIAL COMPUESTO UTILIZADO PARA LOS NUDOS
TABLE I. PROPERTIES OF THE COMPOSITE MATERIAL EMPLOYED IN THE JOINTS

ENSAYO/TEST	RESULTADOS/RESULTS
Resistencia a la tracción antes de de envejecimiento acelerado <i>Tensile testing prior to accelerated ageing</i>	398 Mpa
Resistencia a la tracción después de de envejecimiento acelerado <i>Tensile testing prior to accelerated ageing</i>	387 Mpa
Módulo a tracción <i>Fraction module</i>	24 GPa



Figs. 3-4.
Ejemplos de
probetas
ensayadas de
uniones
mecánicas y
adhesivas
/ Specimens
tested for
mechanical
and adhesive
joints.



TABLA II.
TABLA CON LOS VALORES DE LAS ACCIONES CONSIDERADAS
TABLE II. CONSIDERED LOAD VALUES
Valores de las acciones (KN/m²)/Load values (KN/m²)

TIPO/TYPE	VERTICAL	HORIZONT.	COEF. PONDERAC. WEIGHTING FACTOR
PESO PROPIO DEAD WEIGHT	0,25	-	$\gamma_g = 1,35$
COBERTURA COVER	0,20	-	$\gamma_g = 1,35$
SOBRECARGA DE USO LIVE LOAD	1,4	-	$\gamma_s = 1,5$
SOBRECARGA DE NIEVE SNOW LOAD	1	-	$\gamma_n = 1,5$
SOBRECARGA DE VIENTO WIND LOAD	$\pm 0,4$	0,9	$\gamma_v = 1,5$

conexiones tanto con soluciones de uniones puramente mecánicas, como con soluciones de uniones adhesivas e incluso mixtas.

5.4. Cálculo estructural

Acciones que actúan sobre la estructura:

A continuación se indican las condiciones de carga que se han impuesto en la aplicación de la pasarela y que se han considerado para el dimensionamiento de los elementos estructurales (Tabla II y Tabla III).

Como se puede observar de las tablas, la carga más importante es la sobrecarga de uso que puede llegar tener un valor de 400 Kg/m² mientras que la combinación de cargas más desfavorable es la hipótesis IV que llega a mejorar el valor anterior de la sobrecarga de uso con un coeficiente de 1.5.

Normativa y especificaciones de estados límite:

De acuerdo a la normativa considerada y recogida en el apartado de bibliografía, se han considerado los siguientes supuestos de estados límites para el correspondiente cálculo y dimensionamiento estructural de la pasarela peatonal:

1. Estado límite último que incluye:

- Pérdida de equilibrio de la estructura o de una de sus partes, considerada como sólido rígido.
- Fallo por deformación excesiva, transformación de la estructura o de una parte de ella o pérdida de la estabilidad.

TABLA III.
COMBINACIONES DE CARGA CONSIDERADAS
TABLE III. CONSIDERED LOAD COMBINATIONS
Combinación de cargas/Load combinations

TIPO/TYPE	Hipótesis I Hypothesis I	Hipótesis II Hypothesis II	Hipótesis III Hypothesis III	Hipótesis IV Hypothesis IV
PESO PROPIO DEAD WEIGHT	$\gamma_g = 1,35$	$\gamma_g = 1,35$	$\gamma_g = 1,35$	$\gamma_g = 1,35$
COBERTURA COVER	$\gamma_g = 1,35$	$\gamma_g = 1,35$	$\gamma_g = 1,35$	$\gamma_g = 1,35$
SOBRECARGA DE USO LIVE LOAD	$\gamma_s = 1,5$	$\gamma_s = 0$	$\gamma_s = 0$	$\gamma_s = 1,5$
SOBRECARGA DE NIEVE SNOW LOAD	$\gamma_n = 0$	$\gamma_n = 1,5$	$\gamma_n = 0$	$\gamma_n = 0$
SOBRECARGA DE VIENTO WIND LOAD	$\gamma_v = 0$	$\gamma_v = 0$	$\gamma_v = 1,5$	$\gamma_v = 1,35$

purely mechanical joints, adhesive joints or a combination of the two.

5.3. Structural calculation

Loads acting on the structure

The following tables show the load conditions established for the footbridge application which have been taken into account for the modelling of the structural elements (Table II and Table III).

From the tables it can be seen that the live load is the most important load and that this may reach up to 400 Kg/m², while the most unfavourable load combination is that of hypothesis IV which increases the preceding live load value by a coefficient of 1.5.

Limit state codes and specifications :

In accordance with the codes indicated in the reference section to this article, the following limit state assumptions have been taken in the corresponding structural design and calculation of the footbridge.

1. Ultimate limit state which includes:

- Loss of equilibrium of the structure or any part of it, considered as a rigid body;
- failure by excessive deformation, transformation of the structure or any part of it or loss of stability.

- Fallo causado por fatiga o por cualquier otro efecto dependiente del tiempo.

2. Estados límites de servicio :

2.1. Estado límite de deformación:

- Se establecen habitualmente, dependiendo de la aplicación, valores límite de la flecha total variables entre $L/400$ y $L/250$, siendo L la luz entre soportes.

2.2. Estado límite de vibraciones :

- Para cumplir el estado límite de vibraciones debe proyectarse la estructura de forma que las frecuencias naturales de vibración se aparten suficientemente de ciertos valores críticos. En el caso de pasarelas peatonales deben evitarse estructuras con frecuencias comprendidas entre 1.6 y 2.4 Hz y entre 3.5 y 4.5 Hz.

Metodología de cálculo

La metodología de cálculo de las estructuras basadas en materiales compuestos es compleja por las particularidades que tienen los materiales compuestos como son:

- la diversidad de combinaciones fibra-matriz
- la fabricación simultánea de material y componente
- la anisotropía del material
- la posibilidad de adaptación del material a los requerimientos
- la ausencia de normalización

En este contexto, además de mayorar las cargas aplicadas como ya hemos comentado, resulta conveniente aplicar a los valores de resistencia de estos materiales unos coeficientes de seguridad específicos de estos materiales y que

- failure caused by fatigue or other time-dependent effects

2. Serviceability limit states:

2.1. Limit state of deformation

- Depending on the application, variable limit values of the total deflection are generally established between $L/400$ and $L/250$, where L is the span length.

2.2. Limit state of vibration:

- In order to comply with the limit state of vibration, the structure should be so designed to keep natural vibration frequencies well below critical levels. In the case of footbridges, it should be ensured that the structures do not reach frequency levels between 1.6 and 2.4 Hz and 3.5 and 4.5 Hz.

Calculation method

The method of calculating structures based on composite materials is complicated by the inherent characteristics of these materials and namely:

- The diversity of fibre-matrix combinations
- the simultaneous manufacture of material and component
- the anisotropy of the material
- the possibility of adapting the material to suit requirements
- the lack of codes or standards

In view of these characteristics, in addition to the load factors indicated above, it is also necessary to multiply the strength values of these materials by their specific safety

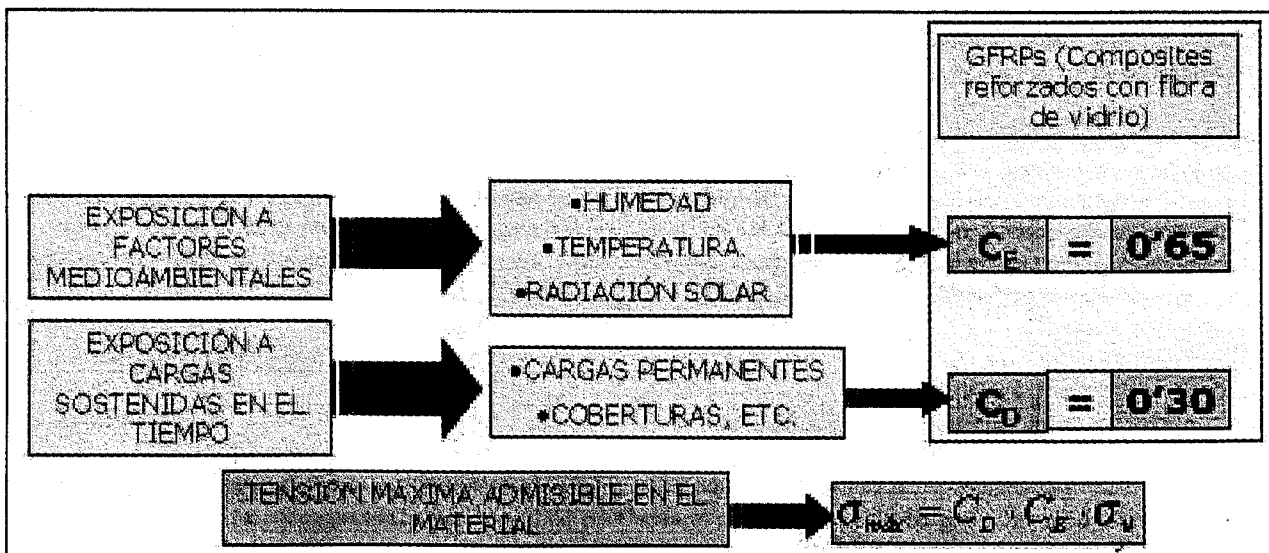


Fig. 5. Coeficientes de minoración para calcular las tensiones admisibles en GFRP's / Coefficients for calculating admissible stresses in GFRP's.

son superiores que en el caso de los materiales tradicionales.

Estos coeficientes tienen en cuenta tanto los efectos medio-ambientales (humedad, radiación ultravioleta, etc) que podrían reducir las propiedades de los materiales así como los posibles efectos de "creep" provocados por cargas permanentes en el tiempo.

Dimensionamiento de la barras:

En el caso de las barras, la verificación estructural realizada consiste básicamente en el cálculo de los esfuerzos, bien de compresión o bien de tracción, de cada una de las barras de la estructura, y en la verificación posterior de que la sección de la barra presenta una resistencia a tracción superior así como una carga crítica de pandeo igualmente superior.

Dimensionamiento de las uniones:

En el caso de los elementos de las uniones de los nudos, la verificación estructural realizada se ha reducido básicamente al cálculo de las uniones mecánicas, teniendo en cuenta los diferentes modos de fallo que se pueden producir en una unión de este tipo y que se indican en la fig. 8..

En este sentido, en el caso de los materiales compuestos, para optimizar la resistencia de las uniones atornilladas, es importante disponer las fibras de refuerzo en varias direcciones proporcionando un material eminentemente isótropo en el plano.

5.5. Fabricación de un prototipo demostrador

Durante la fase final del proyecto realizado, se ha fabricado el elemento representativo a escala real de la estructura de la pasarela, que por repetición da lugar a la estructura completa. Este prototipo demostrador integra todos los elementos principales que constituyen el sistema desarrollado incluyendo los elementos tubulares en material compuesto, los elementos de los nudos igualmente en

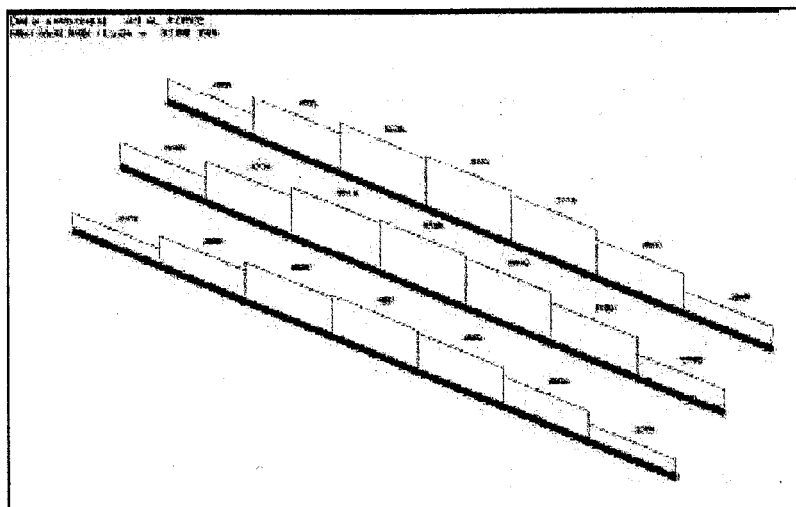


Fig. 6. Ejemplo de distribución de esfuerzos obtenidos en las barras longitudinales inferiores /Example of stress distribution obtained in lower longitudinal members.

factors which are always greater than in the case of traditional materials.

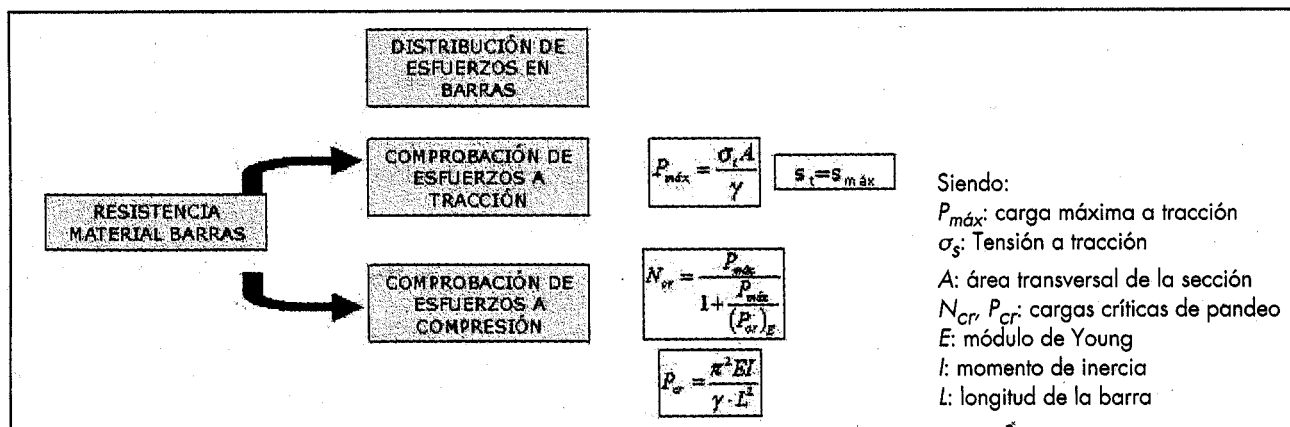
These factors take into account both the atmospheric effects (moisture, ultraviolet radiation, etc.) which may reduce the materials properties, as well as the possible effects of creep caused by permanent loads.

Modelling of the tubular members

The structural verification of the tubular links is essentially based on the stress calculation, under compression and tension, of each tube in the structure and the subsequent verification that the tube section have adequate tensile strength and a similarly adequate critical buckling load.

Modelling of the joints

In the case of the node elements, the structural verification carried out has been essentially limited to the calculation of mechanical joints, when taking into



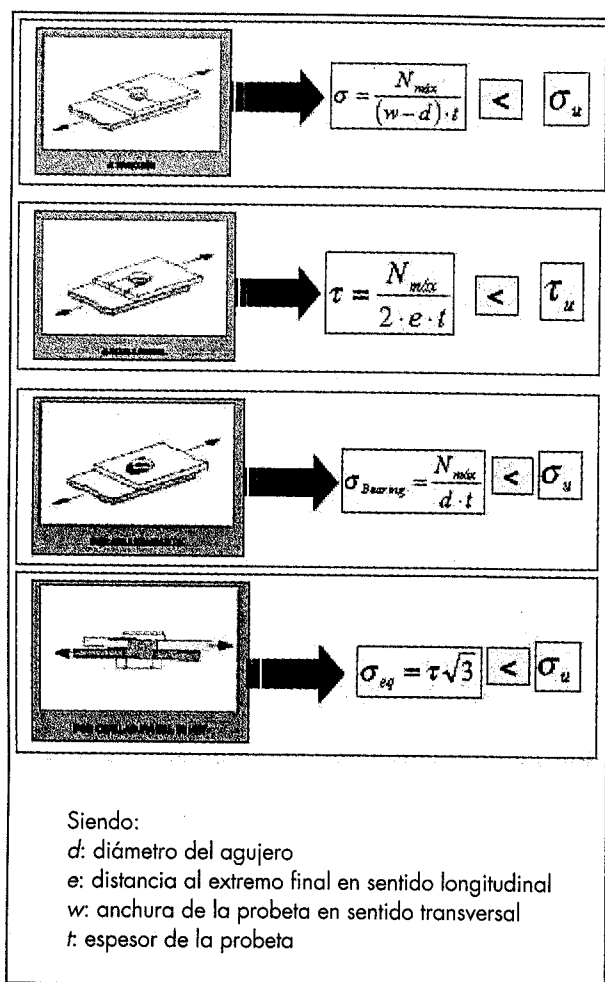


Fig. 8. Formulación de verificación para cada uno de los modos de fallo posibles / Formula to verify each possible failure mode.

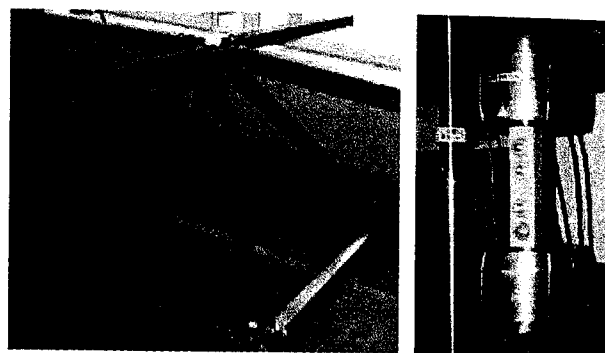


Fig. 9. Fotografía del prototipo demostrador a escala real fabricado / Photograph of prototype demonstrator manufactured at real scale. Fig. 10. Ejemplo de uno de los ensayos realizados para verificar la unión de los elementos tubulares / Example of one of the tests carried out to verify the connection of the tubular members.

account the different types of failure which may occur in a joint of this type, as indicated in Fig. 8.

In the case of composite materials and in order to optimize the strength of the screw joints, it is essential that the reinforcing fibres run in various directions in order to provide a material which is eminently isotropic in plane.

5.4. Manufacture of a prototype demonstrator

During the final stage of the project the representative elements of the footbridge structure were manufactured to real scale. These elements, when repeated, giving rise to the complete structure. This prototype demonstrator includes all the main elements forming the developed system and includes the composite material tubular members, the composite material joints and steel pins to fasten the components together.

5.5. Validation of components

After the manufacture of the final prototypes at real scale, the components were subjected to a number of test benches to verify the strength of each of the elements and their corresponding joints. These tests included the validation of the tubular components, the nodes and the connections between the same.

6. TECHNICAL-ECONOMICAL VIABILITY

Technical viability

With regards to the technical viability of employing the developed system for the projected footbridge

materiales compuestos y los bulones de unión, en este caso metálicos, para la integración de todos los elementos.

5.6. Validación de los componentes

Tras la fabricación de los prototipos finales a escala real, se han realizado diferentes ensayos en banco sobre componente para verificar la resistencia de cada uno de los elementos y de sus correspondientes uniones. Estos ensayos han incluido la validación de los elementos tubulares, de los elementos de los nudos y de las uniones entre ambos.

6. VIABILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA

Viabilidad técnica:

Desde el punto de vista de la viabilidad técnica de utilizar el sistema desarrollado para la aplicación de la pasarela peatonal estudiada, se puede concluir que la solu-

ción en composite es válida desde un punto de vista mecánico y estructural:

- No se alcanza el límite de resistencia del material
- La deformación máxima no sobrepasa el valor impuesto por la norma
- Asegura un comportamiento y estabilidad dinámica adecuadas
- Las propiedades del material no sufren una variación relevante por efecto ambiental a lo largo de la vida en servicio del producto

Desde el punto de vista de reducción de peso, la solución en material compuesto supone una reducción en peso de aproximadamente un 35 %, con respecto a la solución en acero.

Viabilidad económica:

Del análisis económico preliminar realizado, se puede concluir que el coste de fabricación inicial de la solución en composite es ligeramente superior si bien extendiendo la evaluación económica a toda la vida en servicio del producto, la solución en composite resulta más rentable por el hecho de no requerir mantenimiento.

7. -CONCLUSIONES FINALES

La utilización de materiales compuestos en celosías espaciales, a pesar de ser una solución menos experimentada que la solución metálica que se ha ido optimizando a lo largo de muchos años, demuestra ser una posibilidad inmediata factible técnica y económicamente para ciertas aplicaciones en las que primen los requerimientos de ligereza y de resistencia a la corrosión como puede ser el caso por ejemplo en estructuras cercanas a ambientes marinos, plantas químicas, ampliaciones de edificios o estructuras existentes, etc. ■

application, the composite solution was seen to be valid from both a mechanical and structural point of view.

- *The strength limits of the material are not reached*
- *The maximum deformation does not exceed the values established in the codes*
- *The components show adequate dynamic stability and behaviour*
- *The properties of the material do not reveal any serious variations as a result of atmospheric effects throughout their service life*

In terms of weight reduction, the composite material solution provides a 35% drop in weight when compared to a steel solution.

Economical viability

From the preliminary economic analysis carried out, it may be seen that the initial manufacturing cost of the composite solution is slightly higher than that of steel, though when extending this valuation to the whole working life of the product, the composite solution is seen to be more economical as it does not require any maintenance.

7. FINAL CONCLUSIONS

In spite of the relatively short experience of composite material space frames when compared to the more-established steel systems which have been optimized over the years, the employment of these composite materials proves to be technically and economically feasible for certain applications which need to be lightweight and resistant to corrosion. This being the case of certain structures in and around marine environments, chemical plants or extensions to existing buildings or structures, etc. ■

REFERENCIAS/REFERENCES

-A.MIRAVETE. "Los nuevos materiales en la construcción", Universidad de Zaragoza, 1994.

-L.C. HOLLOWAY, P.R. HEAD, "Advanced polymer composites and polymers in the civil infrastructure", Elsevier, 2001.

-Libro de actas de la conferencia "Composites in Construction", Porto, Portugal, 10-12 Octubre 2001.

-Libro de actas de la 3ª conferencia "Advanced Composite Materials in Bridges and Structures", Ottawa, Canada, 15-18 Agosto 2000.

Normativa específica de materiales compuestos

Specific codes for composite materials

-prEN 13706: Specification for pultruded profiles

-ACI 440H: Guide for design and construction of concrete reinforced with FRP bars

-ACI 440F: Guide for design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures

Normativa de construcción Construction Codes

-NBE AE 88: Acciones en la edificación

-NTE EAE 86: Estructuras espaciales de acero

-EHE 91: Instrucción de Hormigón Estructural

-NBE EA 95: Norma Básica de Edificación