

# Prefabricados para cubiertas laminares de cerámica armada

## Malla flexible de ladrillos como semiprefabricado colaborante

### Resumen

En este escrito se expone un nuevo sistema de cubrición basado en una malla metálica flexible con una retícula de ladrillos adheridos por la tabla en una de sus caras que actúa como un semiprefabricado colaborante que se acabará de hormigonar en obra para formar cubiertas laminares de cerámica armada. Se explican los conceptos de lámina de cerámica armada y semiprefabricación colaborante, así como su aplicación y ventajas en la nueva arquitectura.

### Introducción

La nueva arquitectura aparecida a partir de los años 90 expresa con recurrencia unas tendencias favorables al retorno de los techos curvados y, en general, un interés creciente por la formalización topológica de superficies antes que la geométrica de volúmenes platónicos. Y los cada vez más frecuentes ejemplos construidos (Fig.1) pronostican mayores aplicaciones, posibilitadas gracias a la fabulosa capacidad de las actuales herramientas informáticas aplicadas al diseño y al cálculo estructural que permiten crear y controlar fácilmente superficies de gran complejidad formal. Son las últimas teorías que se apartan de la definición planimétrica para trabajar sobre los pliegues del espacio moderno, donde paredes, suelos y techos son susceptibles de curvarse en una sola superficie continua.

Per lo más interesante reside en conseguir que estos planos curvados funcionen como piel estructural, valorando la resistencia de la superficie como tal, diferenciándose de la anterior situación que buscaba el apoyo estructural supeditado a la nervadura, a la viga. Hablamos entonces de las cubiertas laminares, de pequeño espesor, que trabajan en cualquier dirección de su superficie. Pero para obtener estas láminas hoy en día son necesarias nuevas técnicas que posibiliten una gran libertad formal a la vez que procuren prescindir de los costosos encofrados metálicos o de madera. Y así han aparecido la prefabricación, la semiprefabricación colaborante, el gunitado sobre mallas flexibles apuntaladas, las cimbras inflables...



Fig.1 – Ejemplos de arquitecturas recientes con cubiertas curvadas

Pérgola de madera en el Paseo Marítimo de Alcudia Enric Batlle, Joan Roig (1999).

SHOEI YOH  
Centro social en Fukuota(1994), Lámina de hormigón con encofrados colaborante de bambu.

SHIGERU BAN  
Bóveda de cartón en Gifu (1998).

SHOEI YOH  
Centro social en Fukuota(1994), Lámina de hormigón con encofrados colaborante de bambu.



Fig.2 – Cubiertas laminares de cerámica armada.

Si a estas sugerentes cubiertas les añadimos elementos de arcilla cocida se consiguen además unos acabados singularmente agradables con todas las prestaciones de un material ampliamente reconocido, del cual ya nos resultan familiares algunas fascinantes cubiertas abovedadas del pasado arquitectónico (recordamos obras de Gaudí, Jujol, Muncunill, Guastavino...). Para lograr estos espacios mediante tecnologías acordes a nuestros tiempos se parte de un referente como el de las cubiertas laminares de cerámica armada, cuya técnica de cubrición utiliza la cerámica como acabado del intradós, a la vez que como elemento colaborante en la resistencia de la lámina. En las fotografías que se presentan bajo estas cubiertas se aprecia la calidez de una solución que la hace muy apetecible como alternativa a la convencional cubierta a dos aguas (Fig.2).

### Antecedentes

La construcción mediante fábricas pétreas o cerámicas, que ha mantenido su hegemonía durante siglos, se vio sustituida progresivamente, desde mediados del siglo XIX, por sistemas de mayor industrialización y capacidad resistente. La fábrica mostró sus insuficiencias portantes cuando se pasó de la construcción con arcos adovelados, que trabajan básicamente a compresión, a la construcción con sistemas adintelados, que exige una resistencia a flexión de la que carecen las fábricas. Esta carencia prácticamente había vetado el uso de las fábricas como sistema estructural para edificaciones de cierta altura, de grandes luces o que debieran soportar solicitaciones importantes (sobrecargas, viento, sismos), donde el acero y el hormigón armado demuestran su competencia.

Pero con la introducción de un armado de acero entre las juntas de mortero de estas fábricas se consiguen superar muchas de las limitaciones que las relegaban a mero cerramiento, demostrando entonces buenas capacidades estructurales al aumentar considerablemente su resistencia a flexotracción y a compresión. En las fábricas de cerámica armada las piezas de arcilla cocida, además de acabado, actúan como encofrado del hormigón o del mortero a la vez que como elementos mecánicamente activos; un aprovechamiento del material que constituye la principal ventaja sobre el hormigón armado simplemente revestido con cerámica.

El gran salto técnico se consigue al utilizar la cerámica armada no sólo para muros portantes sino también para cubiertas. La mayor aportación hasta la fecha es la del ingeniero uruguayo Eladio Dieste, que en los años 40 inaugura un nuevo sistema de cubrición: las cubiertas laminares de fábrica cerámica con un armado bidireccional, que las diferencia de sus antecesoras a gravedad o cohesivas (Fig.3). Esto se logra con la disposición en retícula de los elementos cerámicos (ladrillos de plano o bovedillas, dependiendo del grosor de lámina escogido) de manera que haya continuidad longitudinal y

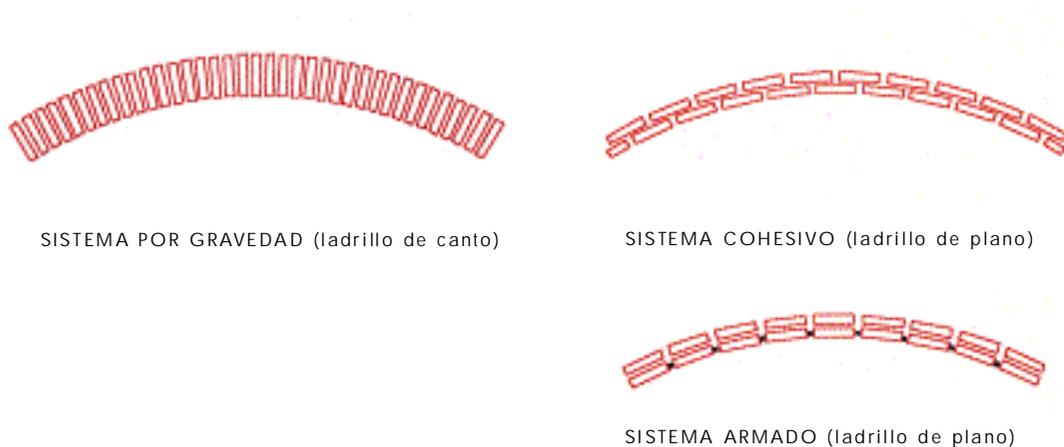


Fig.3 – Disposición de los ladrillos en cubiertas a gravedad, cohesivas y armadas.

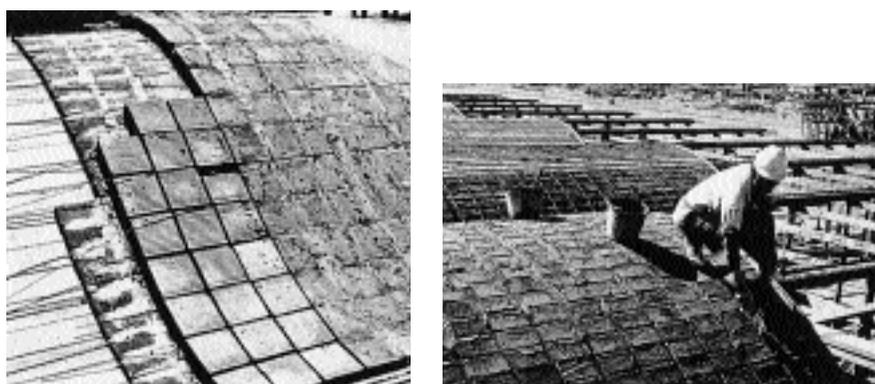


Fig.4 – Construcción de cubiertas laminares de cerámica armada.

transversal de juntas para poder alojar en ellas el armado a modo de red, mientras con mortero se rellenan las juntas y se cubre el conjunto con una fina capa de compresión (Dieste, 1987). El resultado recuerda al de un forjado reticular muy delgado en el que los casetones fueran los ladrillos con la tabla vista (Fig.4). Pero la principal diferencia con los reticulares (además de su grosor y el empleo de geometrías laminares plegadas, de directriz catenaria o de doble curvatura) es que en las láminas cerámicas los ladrillos no son meros aligerantes de peso, sino que contribuyen en la resistencia general trabajando a compresión.

Con este sistema se han construido más de un millón de metros cuadrados en Uruguay, Argentina y Brasil, se han conseguido luces de hasta 50 metros y los casos que se han resuelto son muy variados (Fig.5): grandes espacios para fábricas, depósitos, iglesias, mercados, estaciones de autobuses, hangares, silos horizontales o polideportivos, pero también luces medias en arquitectura residencial, umbráculos y gasolineras.

Flex-Brick. Justificación y descripción del nuevo sistema.

Partimos de las cubiertas de Eladio Dieste, aprendiendo de su sabia combinación de componentes y elementos auxiliares, para llegar a superar los principales obstáculos que frenan una mayor aplicabilidad de las cubiertas laminares de cerámica armada:

1) ante la repercusión económica de los encofrados que una cubierta laminar exige se deben proponer técnicas que contemplen la optimización de esta fase de la construcción

2) ante la excesiva dependencia de la mano de obra que tiene la construcción con ladrillos se debe contar con una propuesta de prefabricación que compatibilice con las ten-

Fig.5 – Varias obras de Eladio Dieste con cerámica armada

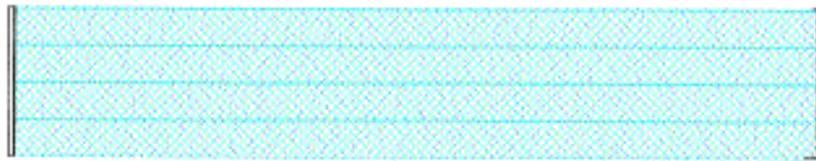


dencias de los países más desarrollados: una construcción más rápida, un mayor grado de control de la calidad y mejoras en la seguridad laboral.

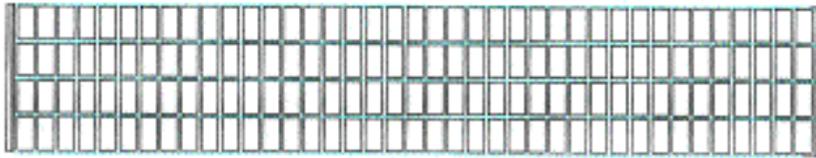
Se trata entonces de combinar las ventajas de los dos sistemas: las láminas de cerámica armada y la prefabricación. Por ello aparece un nuevo producto que estamos desarrollando con la Sección de Cara Vista de Hispalyt. Se trata de una malla metálica flexible realizada mediante una chapa de acero desplegada (también llamada "deployé") que lleva adherida por una de sus caras una retícula de ladrillos en tabla combinada con armaduras de acero. Es un semiprefabricado flexible que, por esta característica, permite escoger cualquier curvatura en obra y que posibilita introducir el armado requerido entre las juntas de los ladrillos en retícula. A su vez es un semiprefabricado que funciona como lámina colaborante, es decir, que requiere de un hormigonado final en obra por su extradós, rellenando la capa de compresión y las juntas armadas entre los ladrillos, para completar su capacidad resistente, mientras presenta su intradós cerámico ya acabado (Fig. 6 y 7). Al fraguar el conjunto, se formará una lámina donde la malla de chapa desplegada actuará entonces como armadura resistente al punzonamiento, contribuirá a las flexiones longitudinales y transversales de la lámina y, por su propia formación, ofrecerá una altísima superficie de agarre con el mortero de cemento o el hormigón, potenciando la cohesividad entre materiales frente a los esfuerzos rasantes internos.

En resumen, las fases de aplicación en obra del semiprefabricado propuesto son:

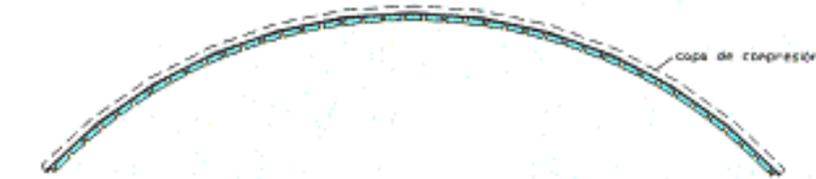
- 1) Elección de la curvatura de la lámina semiprefabricada fijando sus extremos sobre los pilares o muros de la obra a cubrir. Esta curvatura se puede conseguir con una cimbra muy sencilla o unos puntales bien distribuidos puesto que la propia malla nervada del semiprefabricado es suficientemente flexible para adaptarse a la curva pero mantiene cierta rigidez cuando forma el arco.



BASE DE MALLA METALICA NERVADA



SEMI-PREFABRICADO FLEXIBLE DE MALLA CON LADRILLOS ADHERIDOS



CUBIERTA LAMINAR DE CERAMICA ARMADA CURVADA Y HORMIGONADA EN OBRA

2) Colocación de los diferentes segmentos de la cubierta e introducción de las armaduras que los une transversalmente entre las juntas de los ladrillos, perpendicularmente a las que ya incorpora el semiprefabricado.

3) Hormigonado del conjunto por el extradós (su parte superior). El hormigón (o el mortero) se introduce entre las juntas armadas y forma la capa de compresión sin que se escape por su intradós entre los ladrillos. Esto es debido a que el semiprefabricado lleva incorporado un film de polietileno que se adhiere a los ladrillos actuando como un encofrado perdido. Una vez transcurridas unas horas ya puede retirarse el film.

Si se consigue una directriz catenaria de la lámina se garantizará un espesor optimizado. Se pueden cubrir rápidamente luces de 8 m con espesores de lámina de tan sólo 7,5 cm (4,5 cm del semiprefabricado + 3 cm del hormigonado en la capa de compresión).

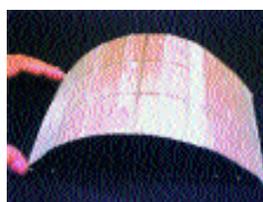
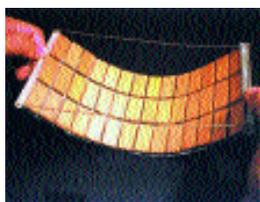


Fig. 7 – Fases de aplicación

## Ventajas técnicas y competitivas

- Se trata de cubiertas ligeras: por ser laminares (con directriz catenaria que optimiza su espesor hasta 7 cm) y por ser cerámicas (con los mismos espesores el peso de la cerámica es de un 25% a un 35% más ligero que el del hormigón); esto supone un ahorro en la construcción de la estructura que las soportan.
- Asociar el punto anterior con el bajo precio de la cerámica en el mercado conduce a una relación precio/peso muy competitiva respecto a otras tipologías de cubierta (el hormigón pesa más, el acero es más caro).
- Las construcciones con este tipo de cubiertas demuestran un elevado confort higrotérmico debido a las excelentes propiedades físicas de la cerámica en la regulación de la temperatura y la humedad ambientales.
- Es una solución ecológicamente muy ventajosa: la producción de ladrillos consume menos energía que la del acero y la del hormigón, su componente principal, la arcilla, es abundante en la naturaleza y su extracción no es contaminante. Además, las cubiertas cerámicas pueden reciclarse en su demolición como árido para nuevas construcciones.
- No se requiere ningún tratamiento o acabado superficial del intradós por el satisfactorio aspecto de la cerámica, de gran calidez cromática.
- Su mantenimiento es mínimo debido a la estabilidad química de la cerámica y las reparaciones parciales son fáciles por la composición modular de los ladrillos.
- Ofrecen una excelente resistencia al fuego y, en general, un buen comportamiento frente a sollicitaciones térmicas y reológicas.
- Las láminas de cerámica armada exhiben una notable calidad arquitectónica y formarían parte de las nuevas tendencias favorables al retorno de cubiertas curvadas.

## Ventajas de la prefabricación de estas cubiertas:

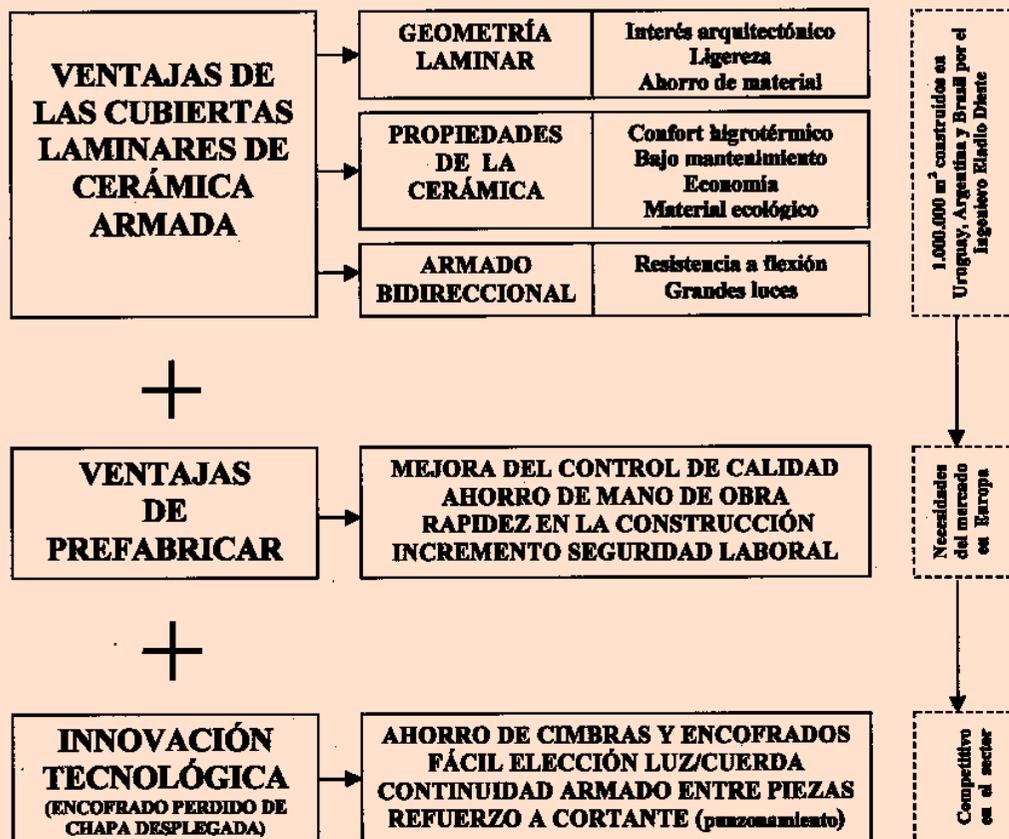
- La prefabricación asegura una mejora de los acabados y del control de calidad ante la actual escasa cualificación de los operarios de la construcción.
- Representa un gran ahorro de mano de obra por la seriación propia de los productos industrializados.
- El montaje de cubiertas prefabricadas mediante grúas acelera apreciablemente el proceso constructivo (Fig. 8), cuestión que cada vez resulta de mayor repercusión económica.
- Incrementa la seguridad laboral porque este sistema disminuye el número de operarios y de operaciones en la cubierta.

Fig.8 – Construcción con cubiertas laminares prefabricadas



**Ventajas del encofrado perdido de chapa desplegada:**

- Permite la libre elección de la curvatura catenaria escogiendo cualquier parámetro de flecha (peralte de la curva) y cuerda (luz a cubrir). Además de la ilimitada oferta de curvaturas esta ventaja también beneficia al productor puesto que ahorra la gran cantidad de moldes que con las innumerables variaciones de las curvaturas requeridas ocuparían mucho espacio en un taller de prefabricación.
- Permite la continuidad del armado entre prefabricados en la dirección de sus generatrices, es decir, deja de actuar solamente como una sucesión de arcos de descarga para conseguir una unidad con las propiedades de una lámina autoportante que soporta flexiones en la dirección de sus generatrices y, por tanto, es capaz de soportarse desde unos pocos pilares como una viga de gran canto. Esta propiedad rentabiliza la construcción porque permite mayores luces con menores costes en pilares y cimientos.
- También permite la continuidad del armado en la dirección de las directrices en los casos que se precisen luces transversales más grandes.
- La chapa desplegada aporta un notable refuerzo a la lámina frente al punzonamiento y a los esfuerzos cortantes en general.
- Por su propia formación, la chapa desplegada ofrece una gran superficie de adherencia con el mortero de cemento potenciando la cohesividad entre los materiales frente a los esfuerzos rasantes internos.



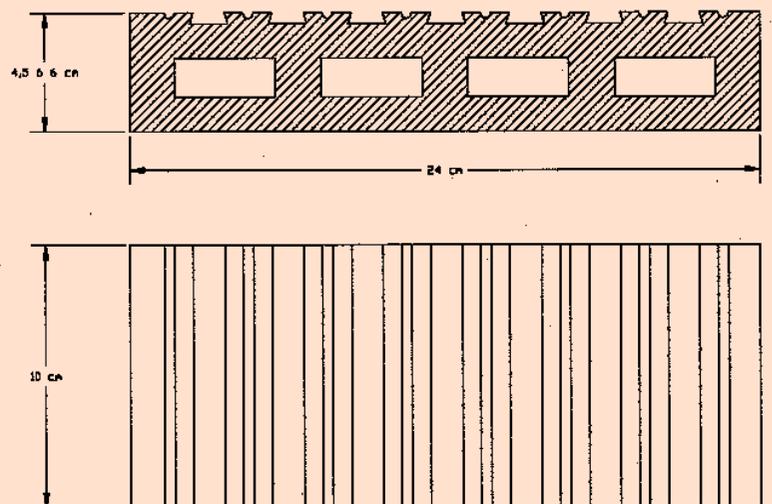
## Componentes de las láminas

### LADRILLOS

Se ha desarrollado con los fabricantes Palau Cerámica de Chiloeches S.A. y Suministros Cerámicos del Vallés S.A., un tipo de ladrillo especial para poder adaptarse al prefabricado. Se trata de un ladrillo extrusionado cuyas principales características son:

- Sus dimensiones nominales de soga y tizón son de 24 x 10 cm, de manera que en una lámina de cerámica armada cabe una media de 35 ladrillos/m<sup>2</sup>, y se fabrica en dos modelos con diferente grueso, de 4,5 y de 6 cm, para poder obtener, junto a la capa de compresión, distintos espesores de lámina.
- Se ha aligerado su peso con huecos en el canto de volumen igual al 22 % del total, resultando un peso de 1,4 Kg en el ladrillo de 4,5 cm de canto.
- A diferencia de los ladrillos convencionales donde su cara vista es el canto, en este caso es una de sus tablas la que se trata para quedar vista.
- La tabla opuesta a la vista se ha diseñado con unos rebajes en forma de "cola de milano" para incrementar la adherencia del ladrillo con el mortero de la posterior capa de compresión.
- Su resistencia principal a compresión (superior a los 100 daN/cm<sup>2</sup>) se da en la dirección de extrusionado, por tanto, sus caras más comprimidas serán las de los cantos perforados.

Fig. 9 - Ladrillo tipo visto por su canto y por su tabla no vista



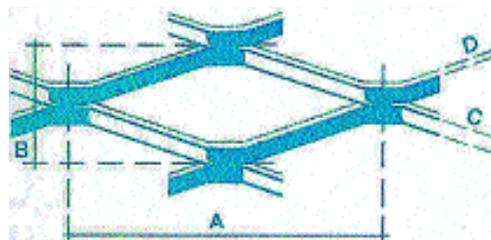
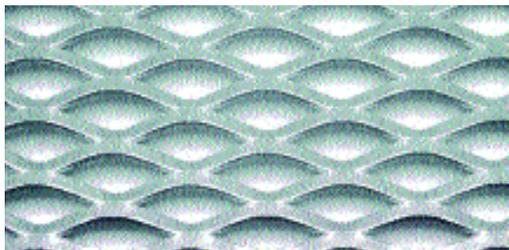


Fig.10 – Configuración formal de las chapas desplegadas

## MALLAS NERVADAS

La base de estas mallas flexibles son las chapas de acero desplegadas, es decir, troqueladas y estiradas hasta presentar una configuración de malla romboidal.

En el esquema de la derecha se explican las medidas que sirven para identificar cada tipo de chapa desplegada según una referencia que depende de las dimensiones del rombo y de la sección rectangular del hilo que forma el rombo, donde A es la diagonal mayor (depende del ancho del rollo o bobina de fabricación), B es la diagonal menor (depende del largo del rollo), C es el paso de corte y D es el espesor de la chapa (fig. 10).

La malla se identifica bajo la referencia 80/40/30/30 (A/B/C/D, las dos primeras en milímetros y las dos segundas en décimas de milímetro) y su ancho es de 1090 mm (teniendo en cuenta que las características de fabricación no permiten superar los 1250 mm del ancho de la bobina de chapa) medida que corresponde a 4 ladrillos cuyo módulo es de 24 cm más 1 junta de 2,5 cm.

Esta malla lleva soldados los siguientes elementos:

- Dos angulares metálicos (de 50 x 50 x 2 mm) en sus extremos longitudinales, con sendas pestañas de 3 cm de altura como cinta de encofrado lateral del mortero de la capa de compresión (ver Fig. 11).
- Varios redondos corrugados ( $\varnothing 6$ ,  $\varnothing 8$ ,  $\varnothing 10$  ó  $\varnothing 12$ ) como armadura longitudinal equidistantes 265 mm (la modulación de los ladrillos más la junta de mortero).
- El soldado de los redondos a la malla se ha realizado mediante unos casquillos de acero cada 450 mm que realizan la función de separadores entre la malla y los redondos (ver detalle de la Fig. 11).

La adherencia entre los ladrillos y la malla metálica nervada se puede realizar a partir de masillas elásticas (Fig. 12) o mediante tacos de golpe que se introducen en unas ranuras previamente preparadas en los ladrillos.

Fig. 11 – Malla nervada. Planta, sección y detalle de sección.

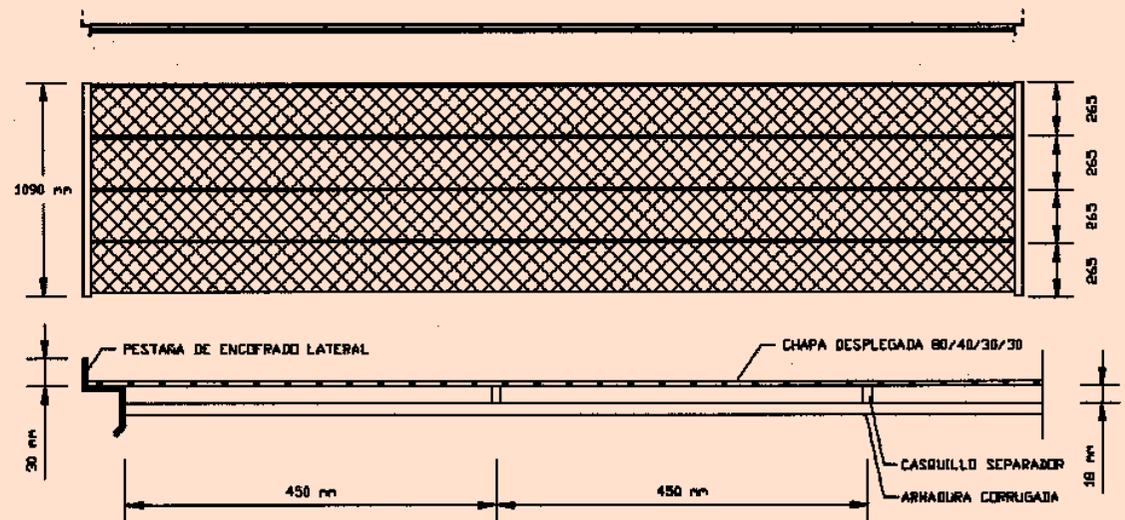
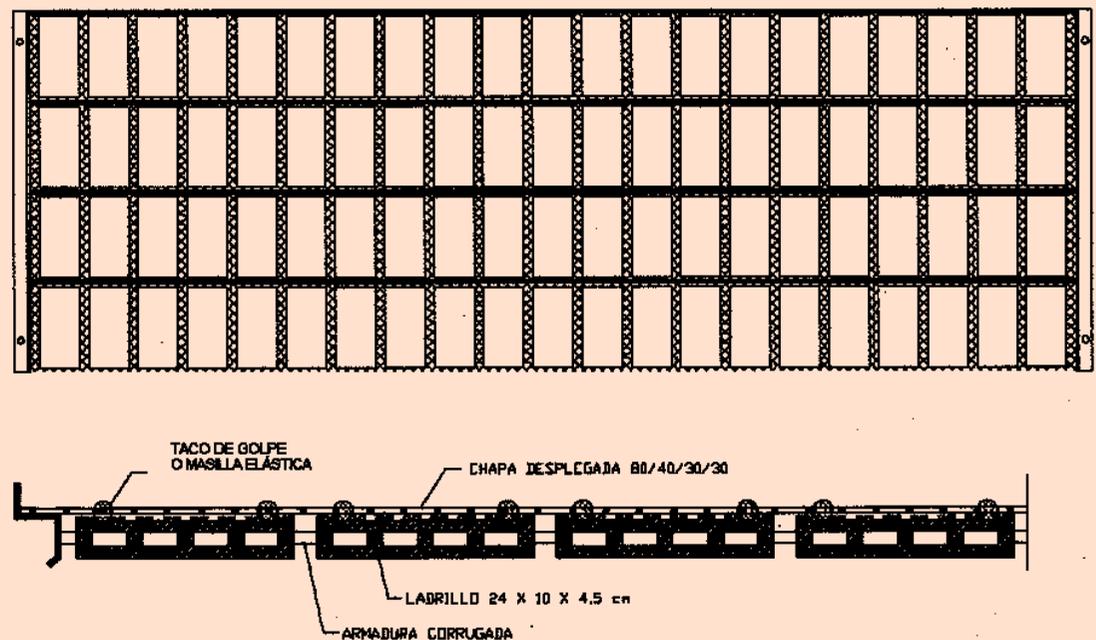


Fig. 12 – Semiprefabricado colaborante. Detalle

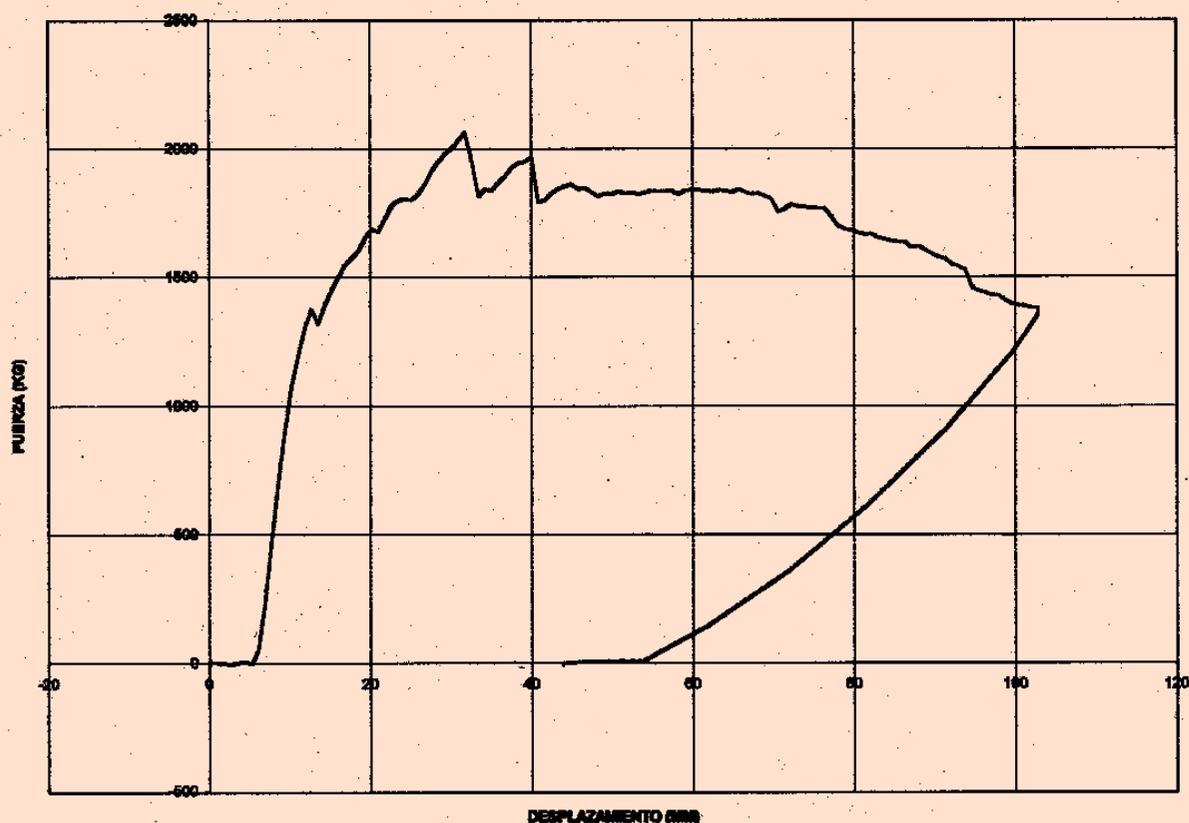


## FILM ADHESIVO

El film que se adhiere a la cara vista de los ladrillos actúa como embalaje de protección y como encofrado perdido que contendrá el vertido del mortero entre los ladrillos. Se trata de una lámina de polietileno de 75 micras de baja densidad y alta presión con un contenido de 23 gr/m<sup>2</sup> en una de sus caras de un adhesivo acrílico insoluble y de fuerza adhesiva superior a 400 gr/cm.

## Investigaciones realizadas

La investigación sobre este nuevo sistema ha recibido varias subvenciones por parte del Ministerio de Industria (ATYCA), del Centro de Innovación y Desarrollo Empresarial (IT - Generalitat de Cataluña) y de la Comisión Europea (Proyectos CRAFT).



Se han ensayado seis láminas en arco que se han realizado en el Laboratorio de la Escuela Politécnica Superior de Girona y en el Laboratorio de Tecnología Estructural de la Universidad Politécnica de Cataluña en Barcelona.

En los ensayos de carga se ha aplicado una carga puntual a velocidad constante mediante pistón a 1/4 de la luz de la lámina, llegándose en la rotura hasta las 2 t de fuerza y los 10 cm de desplazamiento sin que acabara por colapsar en el suelo y sin que se desprendiera ni un solo ladrillo. Una de las gráficas extraídas por la instrumentación es la que se muestra a continuación en la Fig.13. En ella se aprecian los valores comentados y su capacidad para recuperar una posición de hasta 6 cm al descargar la lámina.

De los datos recogidos podemos deducir que la rotura de este tipo de láminas es dúctil y por tanto podemos descartar la posibilidad de una rotura frágil, tan peligrosa en los elementos estructurales.

**Vicente Sarrablo, arquitecto.**

Director del Área de Construcción  
en la Escuela Superior de Arquitectura  
de la Universidad Internacional de Cataluña

Fig. 14 – Ensayos de carga en laboratorio

