

LA CONSTRUCCION DE GRANDES BOVEDAS POR EL SISTEMA DE "DOVELAS-ONDA"

Por I. SANCHEZ DEL RIO PISÓN,
Ingeniero de Caminos.

En el artículo se estudian las ventajas que ofrece la ondulación de las cubiertas en bóveda para conseguir grandes luces en condiciones de gran economía y constructividad, pero en forma no empleada hasta la fecha. La introducción de la "Dovela-Onda" para la construcción del "Arco-Onda", cuya integración constituye la bóveda ondulada, así como la forma mixta de la generatriz, son los motivos originales de esta disposición constructiva, que ofrece la posibilidad, según se ve en las obras realizadas, de ejecutar una cubierta con elementos prefabricados, aprovechando, además, la técnica de los aligeramientos de masas con el empleo de moldes especiales de cerámica.

En el Congreso Hispano-Lusitano para el Progreso de las Ciencias, celebrado en Oviedo en septiembre de 1953, expusimos por primera vez los procedimientos empleados por nosotros para la construcción de bóvedas de hormigón armado aligeradas con moldes perdidos de cerámica; y en esa misma conferencia de la Universidad de Oviedo apuntamos una nueva idea para la construcción de grandes bóvedas con luces que podían exceder fácilmente de los 100 metros, empleando superficies onduladas aligeradas,

para dar forma a las nervaduras resistentes de hormigón armado que se crean al rellenar los espacios que quedan entre ellas. No vamos, por tanto, a extendernos en más consideraciones. Únicamente, si, diremos que la correcta "puesta a punto" del sistema requirió el proyectar las piezas cerámicas de tal forma, que su contorno produjese nervios resistentes en T y doble T, con el fin de poder absorber correctamente los esfuerzos producidos por la diversa gama de momentos. En la figura 1.^a se han dibujado dos

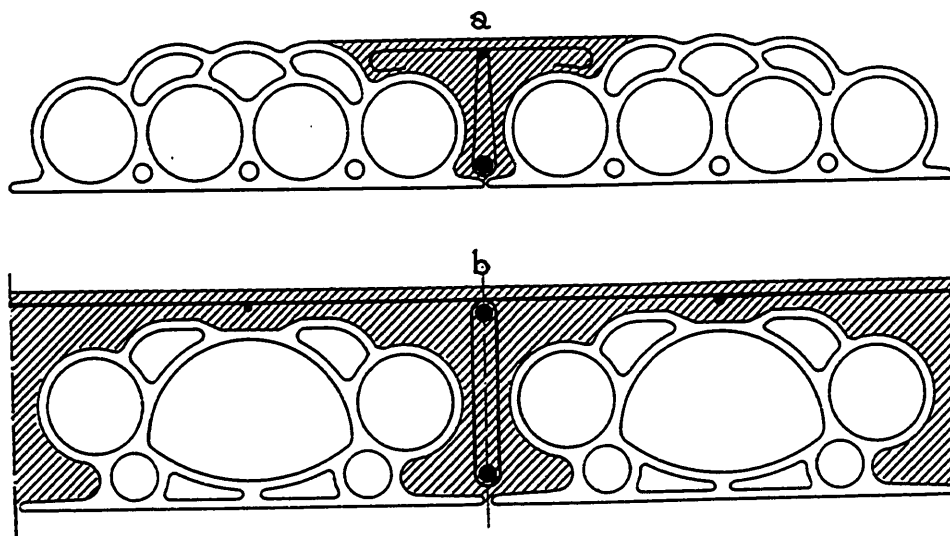


Figura 1.^a

también con moldes cerámicos. En el tiempo transcurrido desde aquella fecha, pudimos desarrollar y llevar a la práctica aquella idea y presentar en el Congreso Lusitano-Español, celebrado en Coimbra en junio del pasado año, algunas obras interesantes ejecutadas en España y un proyecto de hangar de 100 metros de luz, estudiado para una firma alemana.

Son de todos conocidos nuestros procedimientos para la construcción de forjados y bóvedas de hormigón armado empleando grandes piezas cerámicas de contorno y estructura racionalmente estudiados

de los variados tipos de estas piezas que responden a este criterio.

El tipo b, de doble cabeza, es el empleado en la construcción de bóvedas, por resistir en óptimas condiciones los esfuerzos compresión y los debidos a la alternancia de momentos. Insistiremos una vez más sobre el importante papel que desempeña la cerámica desde el punto de vista de trabajo, pues aunque no se tiene en cuenta en el cálculo su admirable adherencia con el hormigón y la calidad del material (necesario para poder fabricar las grandes piezas), absorben per-



Figura 2.ª

fectamente los esfuerzos tangenciales que se producen en el forjado. Por otra parte, dados los pequeños espesores del hormigón envolvente, las grandes superficies en contacto de los dos materiales y a la aidez de agua de la cerámica, hace que tanto el fraguado como la resistencia del hormigón se logre en tiempo reducido, permitiendo el desencofrado en plazos extremadamente cortos (inferiores a cinco días), como se ha comprobado en multitud de obras.

Con esta clase de forjados, en los que (basta observar su sección), todos los elementos componentes están colocados *en su sitio* sin sobrantes de material, se consigue, evidentemente: constructividad, ligereza, aislamiento térmico y economía, por lo que, a base de ellos hemos concebido todas nuestras bóvedas. A esta clase pertenecen, entre otras, las cubiertas de MERSA, de Lugones (Asturias), fig. 2.ª (proyecto de D. Carlos Sánchez del Río), de 30 m. de luz, con

tirantes y espesor de 0,20 m. Del mercado de La Felguera (fig. 3.ª) (proyecto de D. Julio Galán, Arquitecto), de las mismas características y 31 m. de luz. De la central térmica de Ponferrada (fig. 4.ª) (proyecto Martínez-Cattáneo), y de la nave de secaderos de Río-Cerámica, de 30 m. de luz, 0,20 m. de espesor, con contrafuertes compensados (fig. 5.ª) (proyecto Fernández Oliva), que al estar libre de tirantes produce en la obra una acentuada impresión de grandiosidad. Si observamos la foto de la fig. 2.ª, presentimos que la esbeltez se está acercando al límite, y que el pandeo, a poco que nos descuidáramos, podría empezar a jugarlos una mala partida. En efecto, para un espesor de 0,20 m. no podemos pasar de 35 m. de luz. Por tanto, en dicha bóveda existe un margen todavía de 5 m. Si tenemos presente que el peso por metro cuadrado es de 210 Kg., vemos que equivale, aproximadamente, a una de hormigón armado de 8,5 cm. de espesor, únicamente factible en los tipos membrana o laminares.

Con tipos de bóveda aligeradas con piezas cerámicas, se pueden cubrir vanos de 50 m. de luz con 30 cm. de espesor, pero son pesos ya algo excesivos, aunque siempre con pesos mitad comparada con la maciza de hormigón. Pero ondulando la cubierta, como ahora veremos, para obtener superficies de doble curvatura, pueden conseguirse fácilmente luces de 100 m. con espesores de 23 cm. solamente (y tal vez menos) y pesos por metro cuadrado de 260 Kg., superando así en constructividad, aislamiento térmico y economía a las mayores realizaciones conseguidas en superficies laminares como las del aeropuerto de Marsella.

La idea de ondular superficies es sobradamente conocida y no hubiera merecido nuestra atención y

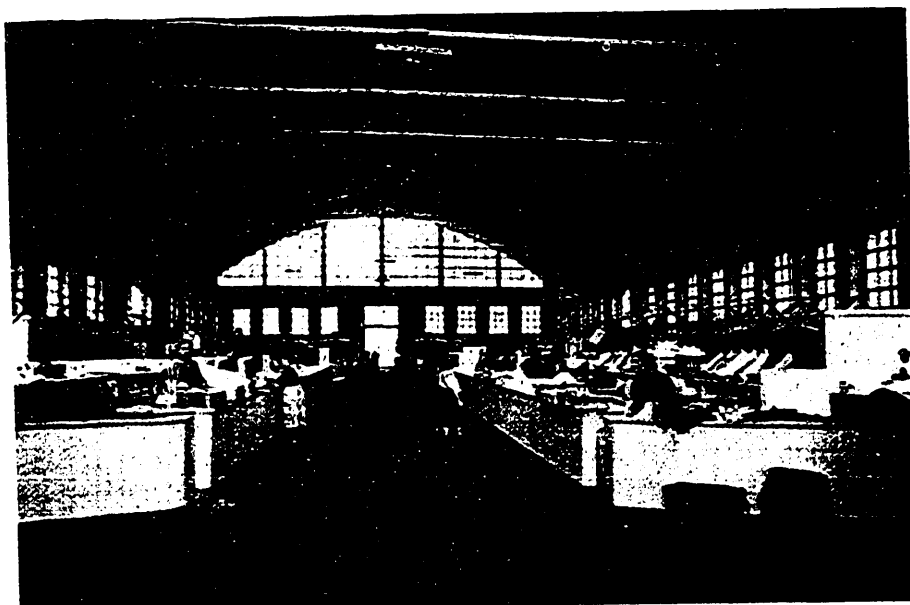


Figura 3.ª



Figura 4.ª

estudio si no fuera por la aplicación de nuestros sistemas constructivos mediante disposiciones originales que facilitan extraordinariamente su aplicación. Así lo expusimos el año 1953 en la Universidad de Oviedo, y lo confirmamos en la Universidad de Coimbra en 1956, mostrando realizaciones llevadas a cabo con estos procedimientos. Allí decíamos: "Cuando el Ingeniero concibe una obra, no basta con que la vea realizada en su mente, sino que es preciso que su mente vea, a la vez, con toda claridad, el modo práctico y constructivo de realizarla. La constructividad de una obra es un conjunto de causas y de hechos que hacen que la obra pueda realizarse en condiciones óptimas. De ahí la frase: Esa obra es constructiva o no lo es. Por lo tanto, una obra idealmente concebida no merecerá el calificativo de tal si no lleva consigo el estudio perfecto de su realización, y solamente de él saldrá el concepto de "cons-

tructividad". Pues bien, dada por buena la idea de ondular la superficie de nuestras cubiertas aligeradas con moldes cerámicos, inmediatamente se nos presentó el problema de buscar entre la diversidad de formas de onda la más conveniente para el mejor desarrollo de la idea. Pronto vimos que una generatriz mixta, formada por partes curvas y rectas podía ser la más conveniente, desde el punto de vista de la construcción, ya que la parte recta permitiría un fácil encofrado y apoyo sobre la cimbra o castilletes, que podría reducirse al mínimo por las características de los elementos (dovelas-onda) en que podrían descomponerse los "arcos-onda".

Según esto, la sección longitudinal, por la clave, de una cubierta de este tipo sería la de la figura 6.ª, en la que la *generatriz-onda* tendría las partes rectas *a* y las curvas *b* (arcos de círculo). Vemos en el dibujo que la cubierta puede considerarse integrada por la yuxtaposición de los *arcos-onda* elementales *A*, con estabilidad propia (fig. 7.ª).

El cálculo de la cubierta se reduce al de uno de estos *arcos-onda*. A su vez, si a éstos los suponemos seccionados transversalmente, vemos que pueden estar constituidas por las dovelas especiales *D*, de igual o distinta longitud. Y, a semejanza con las antiguas bóvedas construidas con dovelas de sillería, podremos ver en lo sucesivo grandes cubiertas integradas por otras dovelas más complejas, pero mucho más ligeras y más a tono con esta época del apogeo del hormigón armado. A estas nuevas dovelas las llamaremos correctamente "dovelas-onda". La sección de una de ellas (fig. 8.ª) nos muestra su aligeramiento por el empleo de moldes *m* de piezas cerámicas muy ligeras y de contorno racionalmente estudiado, lo que nos permite dar un espesor sufi-

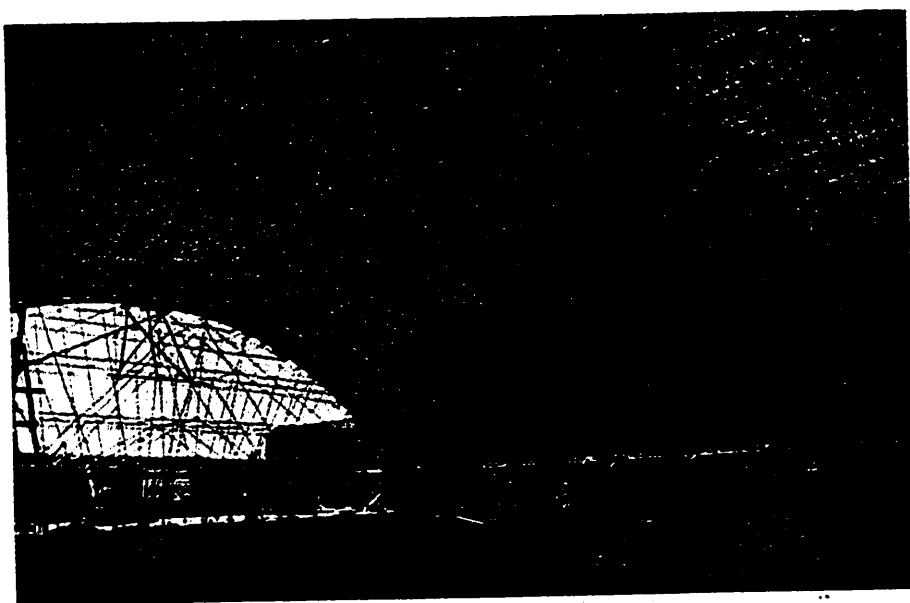


Figura 5.ª

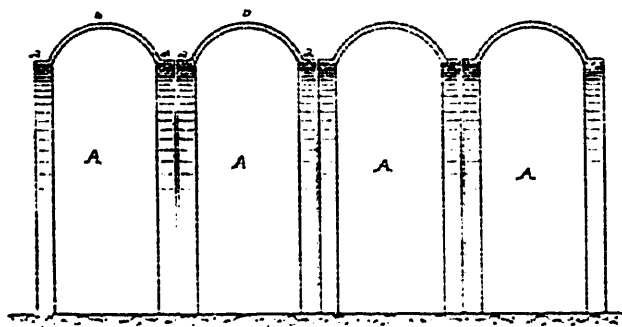


Figura 6.ª

ciente a la onda, con peso reducido, para que en él puedan formarse unos nervios de rigidez que impidan que la onda se deforme, facilitando su manejo y elevación por grúa. En efecto, estos nervios, invisibles en la obra terminada, son necesarios debido a que las piezas cerámicas impiden la colocación de hierros transversalmente, en la superficie interior de las dovelas, y se calculan de modo que impidan su abertura estando apoyadas sobre sus bordes. Por otra parte, tanto las pruebas del modelo reducido como en las bóvedas onduladas construidas, demostraron que los nervios así calculados dan al "arco-onda" la rigidez necesaria.

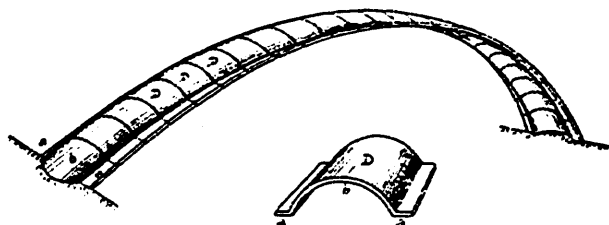


Figura 7.ª

La figura 9.ª es una sección longitudinal de una dovela y nos muestra los nervios n y los hierros h salientes en sus extremos, con los que se consigue un empalme eficaz, entre dovelas, al hormigonar sus juntas. Claro está que estas "dovelas-onda" pueden fabricarse de tipos y materiales diferentes, incluso de hormigón pretensado.

La figura 10 es la perspectiva de una gran "dovela-onda" provista de lucernario, correspondiente a la cubierta de un hangar de 100 m. de luz, en

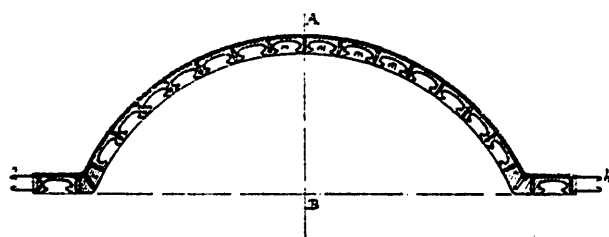


Figura 8.ª

la que se han hormigonado solamente los elementos resistentes para darla rigidez para su transporte y elevación. El hormigonado complementario se realiza posteriormente sobre la cubierta, una vez empalmadas todas las "dovelas-onda" del arco. Con esto se consigue reducir a la mitad el peso elevado. Claro es que esta solución se realiza en las grandes "dove-

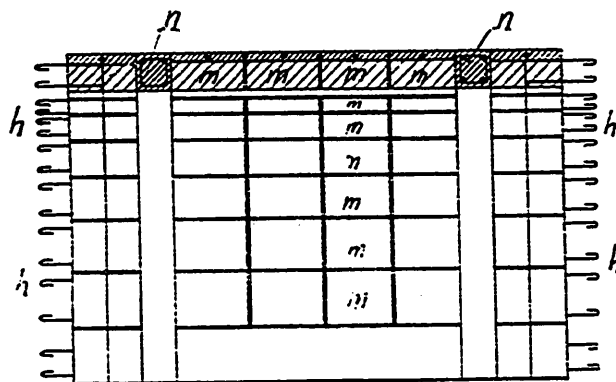


Figura 9.ª

las-onda", pues en las corrientes, como ya veremos, se terminan completamente en el taller. Debemos mencionar que la rigidez de las dovelas es tal, que pueden apoyarse en sus cuatro esquinas sin deformación, circunstancia que facilita su manejo y simplifica la cimbra al máximo. Como consecuencia de todo lo expuesto, vemos que una bóveda ondulada de esta clase se construye fácilmente con elementos prefabricados, que son las "dovelas-onda", colocadas y empalmadas, como se ha dicho, unas a continuación de otras sobre una cimbra ligera y móvil (fig. 11).

El cálculo de la bóveda se reduce al de un "arco-onda", pero dadas las características de aquella, creemos inabordable su cálculo correcto. Mas como presentíamos y veíamos con los ojos misteriosos de la intuición que un tal arco podía trabajar en perfectas condiciones, no titubeamos en admitir una hipótesis razonable que nos permitiera realizar un

PERSPECTIVA DE UNA "DOVELA-ONDA" CON LUCERNARIO
VISTA DE ELEVACIÓN POR GRUÁ

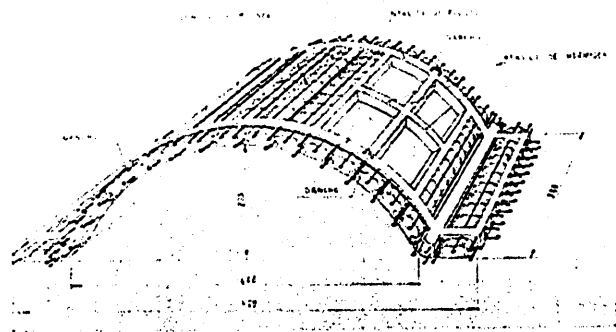


Figura 10.

cálculo con garantías de una aproximación suficiente. Por otra parte, nos quedaban en reserva las pruebas en modelo reducido, que en este caso pueden realizarse con gran rigor.

En dicha hipótesis admitimos el cambio de la sección de la "dovela-onda" por otra, que conside-

larla por ecuaciones diferenciales e integrales (que era nuestro caso), tiene que *ingeniárselas* (para eso es ingeniero) para salir del apuro. Siempre recuerdo, en estas situaciones, aquel famoso paraguas de hormigón armado, ¡el mayor del mundo...! con sus 14 metros de diámetro, que construimos hace ya muchos

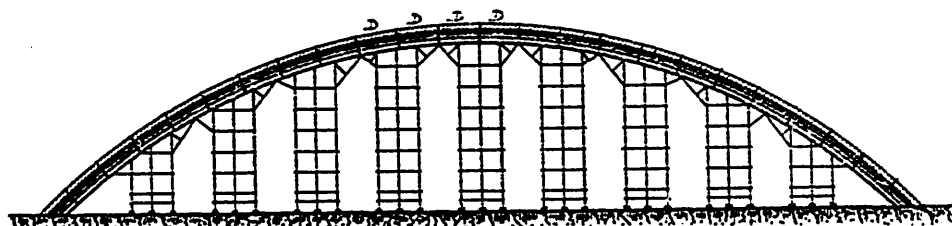


Figura 11.

ramos, mecánicamente, equivalente en forma de doble T de alma variable (fig. 12), en la que se trasladan las masas de hormigón y acero, de zonas o partes de la "dovela-onda" por rabanadas horizontales, a la sección en doble T. De este modo, y suponiendo el arco triarticulado, podemos obtener fácil-

mente unos resultados que sometimos a la comprobación del modelo reducido. Con más rigor, se consideró también el arco empotrado, que corresponde al modelo ensayado. En realidad, nuestra desorientación y temor estribaba en la forma de cómo la onda *encajaría* los esfuerzos solicitantes, pues era, intuitivamente evidente, que bajo el momento flector su deformación se traduciría en una abertura o cierre de la misma y no teníamos idea, ni siquiera aproximada, de la intensidad de tales deformaciones, dada la heterogénea composición del arco-onda. Pero un ingeniero que de verdad siente la obra, no debe achicarse por estas *pequeñeces*... Si no sabe calcu-

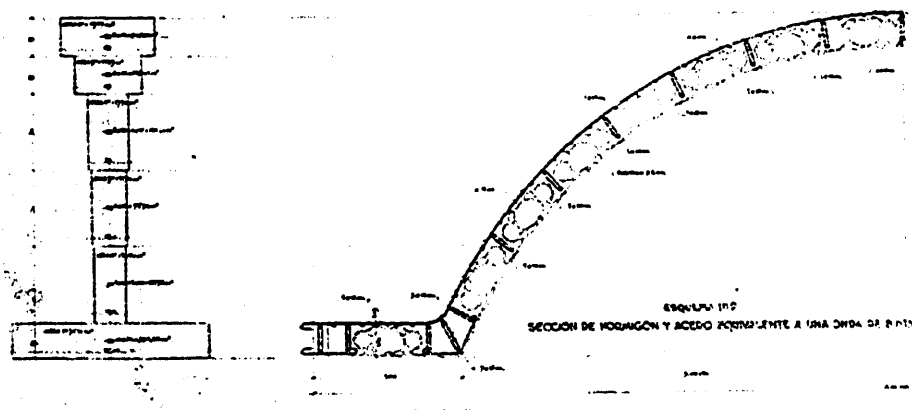


Figura 12.

mente unos resultados que sometimos a la comprobación del modelo reducido. Con más rigor, se consideró también el arco empotrado, que corresponde al modelo ensayado. En realidad, nuestra desorientación y temor estribaba en la forma de cómo la onda *encajaría* los esfuerzos solicitantes, pues era, intuitivamente evidente, que bajo el momento flector su deformación se traduciría en una abertura o cierre de la misma y no teníamos idea, ni siquiera aproximada, de la intensidad de tales deformaciones, dada la heterogénea composición del arco-onda. Pero un ingeniero que de verdad siente la obra, no debe achicarse por estas *pequeñeces*... Si no sabe calcu-

que un paraguas para librar a las simpáticas lecheras del agua que les caía del cielo? Así nació el paraguas que dió nombre a la plaza: "La plaza del Paraguas", gracias a él, una de las más castizas y populares de Oviedo. Y aquel paraguas, que me inspiró un artículo para nuestra REVISTA titulado "Un paraguas de hormigón armado en Oviedo o el ojo clínico del Ingeniero...", me preocupó durante cierto tiempo (no mucho), porque, encariñado con él, no sabía cómo meterle mano, correctamente, al cálculo..., hasta que *llegó* la feliz idea de quitarle esos tornapuntas que tienen todos los paraguas para abrirlos y cerrarlos. Como el nuestro tenía que estar siempre abierto,

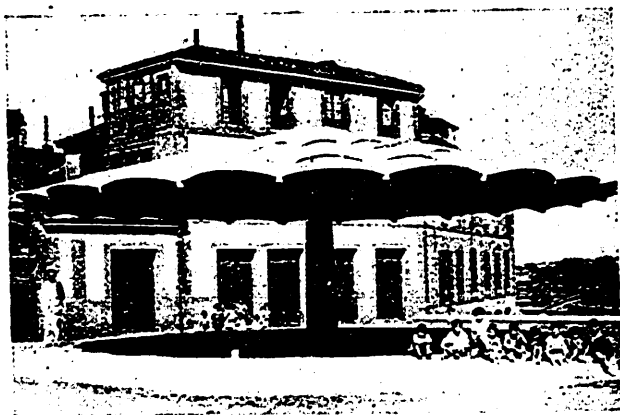


Figura 13.

porque lo otro era demasiado lujo, no vimos inconveniente en suprimirlas. En resumen, ganó el paraguas en esbeltez y el cálculo se redujo a la aplicación de la inocente fórmula de los tubos: $F = p r$. Y ahí le tenemos (fig. 13), impertérrito, dispuesto a seguir cumpliendo su bienhechora labor, después de haber soportado toda la metralla que tuvieron a bien enviarle los aviones y cañones de los rojos; ¡claro está!, una vez repuesta toda la tela (hovedillas especiales de uralita), que desapareció en la contienda. Pues bien, este paraguas es para nosotros el simpático símbolo del optimismo que tiene que tener todo proyectista frente a las *papeletas*. Si una estructura se le resiste, debe modificarla hasta que la vea clara, y si viéndola clara no puede calcularla y persiste en ella, tiene dos caminos: el de recurrir a los modelos reducidos o el de dejarse llevar por su intuición, pero aceptando toda la responsabilidad que como ingeniero, en este caso, le corresponde.

Después de este inciso, y volviendo a las deformaciones presentidas en nuestro arco-onda, que por su constitución y falta de armadura transversal en su cara interna no podían ser normalmente absorbidas, comprendimos que era conveniente dotarle de los elementos precisos para ello. Así nacieron los nervios de rigidez en las dovelas, y con ello se nos planteaba el segundo problema: su cálculo. ¡Otra papeleta...! Que resolvimos a *plena intuición*, a reserva de su comprobación en modelo reducido, que en esta ocasión estábamos decididos a realizarla con toda clase de garantías para el mejor acierto. Hemos dicho antes que todo proyectista, al concebir su obra, debe procurar que sea constructiva. Esta preocupación la tuvimos desde un principio, enfocando la solución hacia los elementos prefabricados; aspiración racional en obras, como la estudiada, que puede considerarse integrada por gran número de elementos iguales. Y hemos visto que las "dovelas-onda", que en definitiva son los elementos prefabricados, requieren unos nervios de rigidez para su transporte y elevación por grúas para ser colocadas sobre la cimbra. Pues bien, estos nervios de rigidez, calculados para que las "dovelas-onda" no se deformen apoyadas

en sus bordes, nos dieron un argumento y un motivo para dimensionarlos, que aceptamos, y con esta norma se construyeron en el arco-onda del modelo para someterlos a ensayo. Y ahora, razonemos consecuentemente con los resultados que pueden obtenerse, que lógicamente sólo pueden tener dos interpretaciones en el caso de ser buenos: que los nervios estén correctamente dimensionados o que estén superdimensionados. Si ocurre esto último, no lo sabremos, pero en cambio, *si sabemos que no pueden reducirse* por la misión que tienen de dar rigidez a las "dovelas-onda" para su transporte. El problema, por consiguiente, lo tenemos resuelto desde el punto de vista de estabilidad de la construcción y de la tranquilidad del proyectista. No consideramos el caso de resultados desfavorables, puesto que ello implicaría el abandono de la idea.

Por otra parte, siempre podremos conocer, mediante los modernos aparatos de medida, las deformaciones del material y, por tanto, sus tensiones en la obra construida.

Y ahora, veamos en qué consistieron las pruebas:

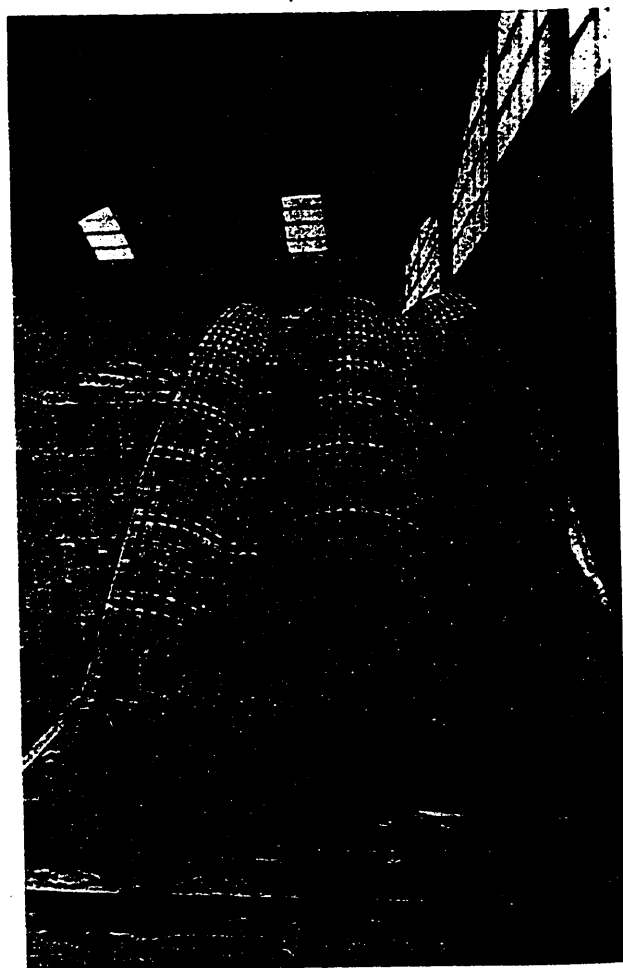


Figura 14.

El arco de ensayo era, en modelo reducido, a escala 1/10, el correspondiente de 100 m. de luz: lo que da idea de su importancia.

En la figura 14 se comprueba el alto grado de perfeccionamiento que alcanzó la construcción de este gran modelo reducido (10 m. de luz). que requirió

es decir, con una sección equivalente a dos ondas. En ella se aprecia la separación que se deja entre piezas cerámicas, cada 0,40 m. en el modelo, que correspondería a 4 m. de la obra real, para la formación de los nervios de rigidez. La fig. 15 nos muestra el arco terminado, con la carga de sacos, y la fig. 16 un detalle



Figura 15.

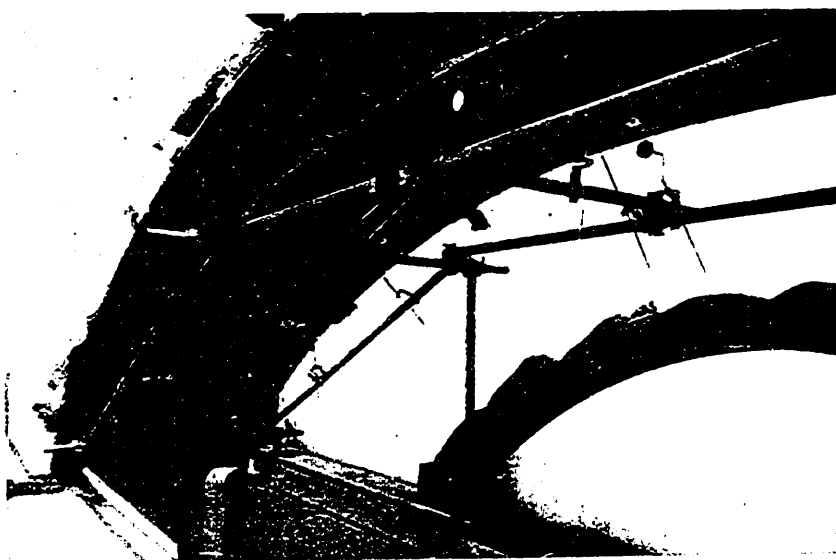


Figura 16.

la fabricación de *doce mil* pequeñas piezas cerámicas, exacta reproducción a escala 1/10 de las normales. La colocación de los alambres se realizó con la mayor perfección posible. El ensayo se hizo sobre una onda y dos alas laterales,



de los aparatos de medida que se emplearon para medir las deformaciones bajo el efecto de las cargas. Se colocaron 25 aparatos de medida suizos, con apreciación de 1/100 de milímetro, para medir flechas y deformaciones de la onda. Debemos mencionar que el espesor total del arco-onda ensayado fué de



Figura 17.

23 mm. (20 mm. de altura de piezas más 3 mm. de espesor del mortero), siendo los hierros principales alambres de 2 mm. Simultáneamente se construyó otro modelo reducido con generatriz recta, empleando idénticos materiales (piezas cerámicas y alambres) a escala 1/10, también correspondiente a un arco cilíndrico normal de 40 m. de luz. En las figuras 15 y 16 se le ve cargado de sacos debajo del gran arco, y en la figura 17, el Ministro del Aire y el Director de nuestra Escuela no pueden ocultar su expresión de asombro ante las espectaculares deformaciones de este modelo reducido, al borde de la catástrofe...

Durante las pruebas del arco ondulado, realizadas por el equipo de técnicos del Laboratorio de Ensayos de la Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, bajo la dirección de su Director D. Carlos Benito, quedó comprobado su perfecto comportamiento elástico y su gran rigidez. Las flechas para diversas sobrecargas fueron mínimas e inferiores a las previstas por el cálculo (aceptando las hipótesis mencionadas), y en cuanto a las ignoradas deformaciones de la onda, los resultados no pudieron ser



Figura 18.

más favorables, ya que los aparatos registraron aberturas y cierres, en más y en menos, de 1/10 de milímetros, que equivale a 1 mm. en la obra natural. Visto el gran número de sacos que se requerían para la rotura (que no se disponían de ellos) y el cariño que tomamos al modelo por su perfecto comportamiento, le indultamos de la pena capital, de cargarlo hasta la rotura, ya que por otra parte, como nos demuestra la impresionante figura 18, nos iba a servir para las pruebas dinámicas, que en lo sucesivo correrían a cargo de las variadas y polifacéticas promociones de alumnos de las Escuelas Especiales de Arquitectos, Ingenieros, Ayudantes, etc. La de la fotografía corrió a cargo de una heroica promoción de 70 alumnos de la Escuela de Ayudantes de Obras Públicas, y en la que su Profesor, D. Carlos Benito, demostró un singular arrojo, dando ejemplo...

En cambio y como contraste, el modelo reducido de arco cilíndrico normal de 40 m. de luz (4 m. el modelo), no permitió superar la carga de cálculo, por las deformaciones producidas y por el inminente peligro de pandeo. Sancionados por esta rigurosa



Figura 19.

Figura 20.

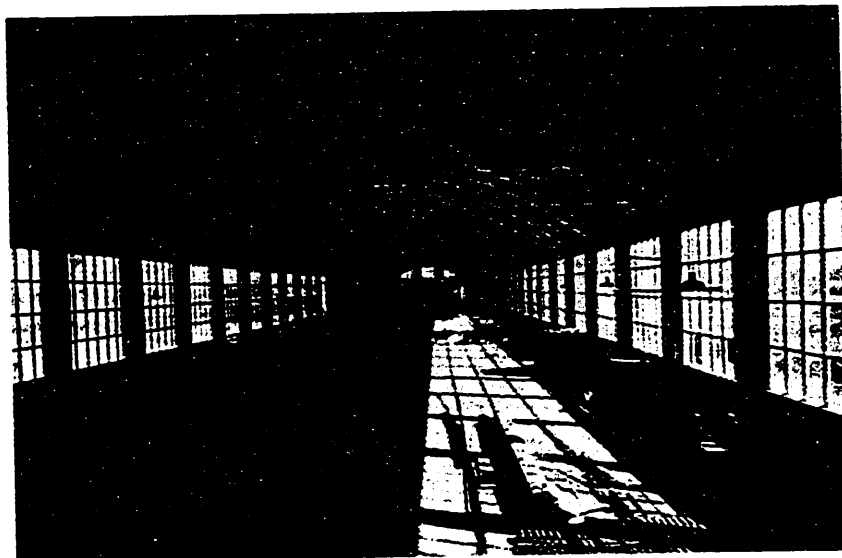


Figura 21.

Figura 22.



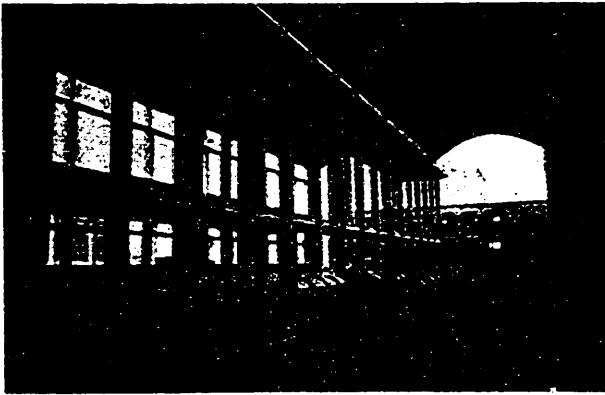


Figura 23.

prueba (y sobre un modelo que por sus dimensiones y escrupulosidad de ejecución eran de por sí una garantía) los procedimientos constructivos y cálculos por nosotros empleados, nos dispusimos a llevarlos a la práctica con *obras reales*. La primera que nos cupo la satisfacción de ejecutar fué una gran nave de 160 m. de longitud y 20 de luz, para una fábrica de ladrillos antiácidos en Llaneza (Asturias). Su cubierta ha sido para nosotros la confirmación de cuanto el modelo reducido nos enseñó, y ha resultado ser la repetición de otro gran modelo reducido, a escala 1/5, de una bóveda ondulada de 100 m. de luz. La figura 19 es una vista de la obra casi terminada, y la figura 20 nos muestra su interior y detalle de la ondulación de la bóveda. Las características de la bóveda ondulada son las siguientes:

Bóveda atirantada de 20 m. de luz.
Rebajamiento, 1/5.

Altura de los arranques	5 m.
Separación de tirantes	4 »
Separación de pilares	4 »
Alturas de las ondas	0,50 »
Ancho de las ondas	2 »
Longitud de las ondas	1,60 »
Espesor de las ondas	6,50 cm.
Piezas cerámicas	5/25/25 cm.
Kilogramos de hierro por m. ² (con tirantes)	6 Kg./m. ²
Peso de la cubierta por m. ² , en planta...	180 Kg./m. ²

Es decir, que debido al pequeño espesor de 6,5 centímetros aligerado con las piezas cerámicas, el peso por m.² de bóveda resulta inferior en un 50 por 100 al de las corrientes aligeradas, con un empleo mínimo de hierro.

El recubrimiento de mortero con gravilla menuda fué de 1,5 cm. La impermeabilización se logró muy fácilmente con dos capas de alquitrán.

La gran rigidez de estas cubiertas, unido a las vertientes rápidas que producen la doble curvatura, son una garantía para lograr una buena y económica impermeabilidad.

La segunda bóveda ondulada se ha construido para cubrir unos grandes almacenes de FEFASA, en Miranda de Ebro. En esta obra, que resulta impresionante por sus dimensiones, las dos bóvedas onduladas, gemelas, tienen sus arranques a 20 m. de altura, y en ella se ha podido comprobar por primera vez las ventajas que aporta la construcción de las cubiertas mediante el empleo de "dovelas-onda" fabricadas en taller (v. la figura 21), en la que se comprueba la resistencia de las "dovelas-onda", que permite emplear cimbras sencillas y económicas.

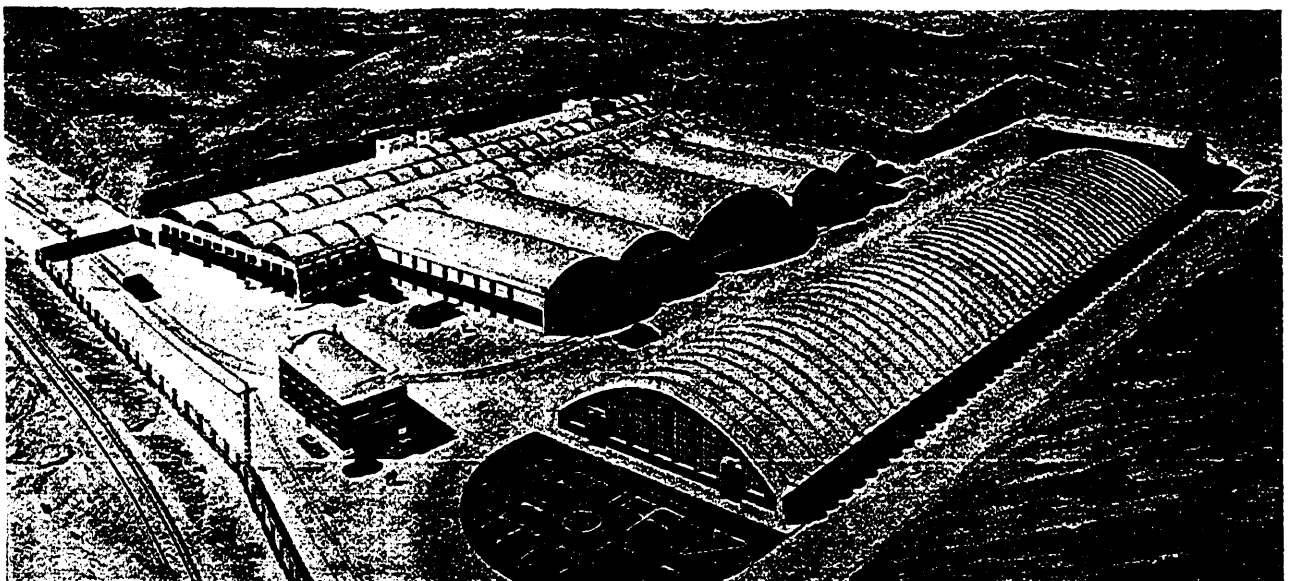


Figura 24.

Las características de estas bóvedas onduladas son sensiblemente iguales a la anteriormente descrita. Las figuras 22 y 23 corresponden a una vista exterior y otra interior de la obra.

La gran rigidez de las "dovelas-onda" permite, por empalme recto, hacerlas trabajar como vigas. Esta circunstancia la hemos aprovechado para cubrir una luz de 8 m. en los pórticos laterales; solución feliz, por la grata armonía de los dos ondulados (figura 21).

Estas dos primeras aplicaciones del nuevo procedimiento han demostrado su evidente economía con

Es verdaderamente interesante comprobar cómo con un espesor de 8 cm., del cual *casi la mitad es aire*, por el empleo de piezas cerámicas, pueden salvarse con estos procedimientos toda una gama de luces hasta 40 m. Es decir, que hasta estos vanos, se sabe que el peso propio de la cubierta no excederá de 100 Kg./m.². De ahí su economía y su gran facilidad constructiva.

Pero la obra de más interés que hemos estudiado por encargo de una firma alemana, es la cubierta ondulada para una nave de 100 m. de luz. Esta bóveda con arranques desde el suelo, tendrá una

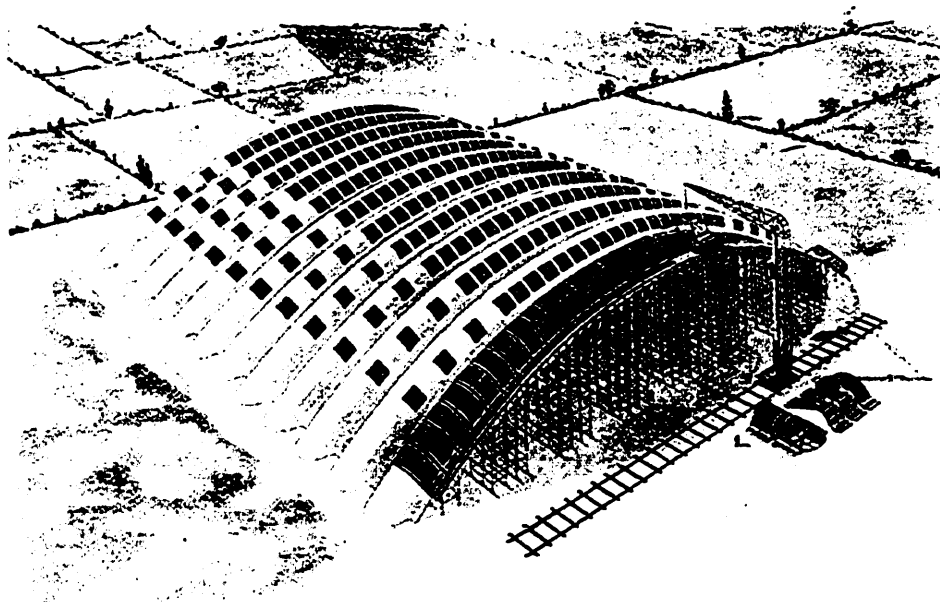


Fig. 25. — Hangar de 100 m. de luz. Construcción de la gran bóveda Río-C. ondulada, por el sistema de "Dovelas-onda".

relación a los otros sistemas de bóvedas en los que se empleen materiales comparables. Sin embargo, es en luces superiores a los 30 m. en donde esa economía queda mucho más destacada, como se demuestra en las bóvedas onduladas de esas características que actualmente se están construyendo en Oviedo, Gijón, Mieres, Miranda de Ebro (FEFASA) y Madrid, en donde se alternan las soluciones de tirante y contrafuerte. Es indudable que la eliminación del tirante conduce a más airoas construcciones, y en este orden vamos a dar un avance acerca de lo que será la nueva nave de características extraordinarias, actualmente en construcción, de la ampliación de "Río-Cerámica" (figura 24). La gran bóveda de 180 m. de longitud y 35 de luz, se construirá por el sistema de "dovelas-onda" de 3,95 m. de longitud, 3 m. de anchura (igual a la separación de contrafuertes) y 8 cm. de espesor, con dos nervios de rigidez.

flecha de 20 m., y nada más elocuente para darse idea perfecta del modo de su ejecución, que el examen de la perspectiva (figura 25), que resume todo cuanto hemos dicho respecto a la construcción de una bóveda ondulada, aunque en este caso, por las grandes dimensiones que tendrán las dovelas (ancho, 8 metros; largo, 3; altura, 2; espesor, 23 cm.), y con el fin de que el peso elevado no exceda de los 4 000 kilogramos, sólo se hormigonará en taller parte del relleno de las piezas cerámicas y los elementos que den rigidez a la onda, para su posible elevación (figura 10). El peso de la dovela en estas condiciones es solamente de 3 700 Kg. Una vez colocadas las dovelas sobre la cimbra, se realizará su empalme completando el hormigonado. El peso de la dovela-onda, terminada, será aproximadamente de 7 000 kilogramos.

Como se comprueba en los dibujos, la iluminación

y ventilación de la gran nave se realiza fácilmente construyendo en las dovelas un reticulado de hormigón armado resistente, que, dispuesto con la difusión que se desee, produce el aspecto agradable de la fotografía.

Por último, en la figura 12 (ya mencionada), se ha dibujado con todo detalle la sección de una semi-onda y la vigueta ideal equivalente mecánicamente en el trabajo al de una onda.

Por tratarse de una cubierta de dimensiones extraordinarias, en la que el peso propio es preponderante, la figura de los centros de gravedad de las secciones del arco es el antifunicular de sus pesos, el que se ha calculado dada su rigidez como arco empotrado, comprobando a flexión compuesta las secciones más desfavorables.

Para una sobrecarga de 100 Kg./m.² (viento o nieve) gravitando sobre su mitad, el trabajo del hormigón resultó ser de 34 Kg./cm.², y el acero, 513; cifras son francamente tranquilizadoras, y que mi querido colega y colaborador Fernández Oliva asegura que son ciertas.

Y por último, como datos interesantes, diremos

que el peso por m.² de planta de la cubierta se descompone así:

Hormigón	192 Kg./m. ²
Cerámica	72 *
Suma	264 Kg./m. ²
Aumento por curvatura	33 *
TOTAL	297 Kg./m. ² de planta.

Con un empleo de 17 Kg. de hierro por m.².

Resultados que creemos no logrados por otras construcciones similares.

Y hemos querido tener la satisfacción y el honor de que este articulo, en el que damos cuenta por primera vez del empleo de este nuevo y original procedimiento constructivo, se publique en nuestra REVISTA, para conocimiento y divulgación de estos granitos de arena con que contribuimos los ingenieros españoles en la búsqueda de formas y soluciones para el mejor arte y ciencia de la construcción.