

morfogénesis de una lámina

España

1 arquitectura

arquitectura | F. CASSINELLO
estructura | J. A. TORROJA
geometría | F. MORAN
construcción | R. FERNANDEZ

886-21

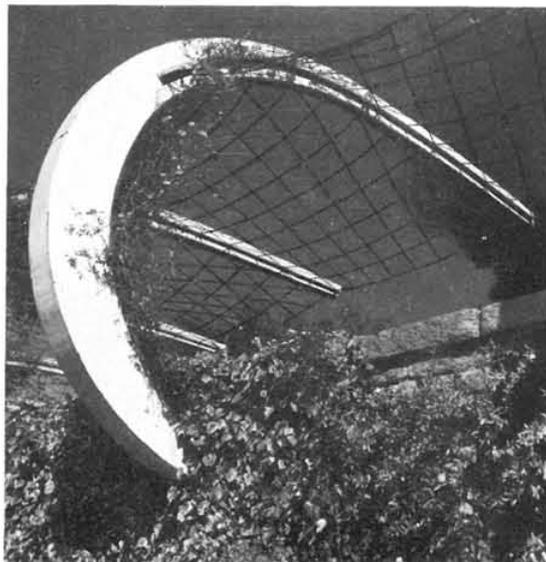
sinopsis

Se explican este artículo el proyecto y construcción, en el Instituto Eduardo Torroja, de Madrid, de una lámina de hormigón armado, tomando como base formal el elemento más característico de este Centro —la Costilla— y de modo que sirviera a la vez como cubierta de un espacio arquitectónico para la celebración de actos diversos y como monumento estructural.

0. Introducción

Es copiosísima la bibliografía arquitectónica e ingenieril que presenta el catálogo formal de las muchas variantes constructivas que pueden emplearse en cada caso, de acuerdo con las posibilidades de cada material y de su tipología estructural. Cientos de revistas de todo el mundo, entre las cuales nuestras propias publicaciones no son excepción, caen frecuentemente en este planteamiento MORFOLOGICO, ofreciéndonos las continuas novedades que el genio proyectista y constructor de los diferentes profesionales del mundo constructivo concreta en NUEVAS FORMAS.

Pero frente a esta normal predilección por la MORFOLOGIA, es raro encontrar estudios sobre la MORFOGENESIS de cada una de estas formas, en los que se exprese detalladamente el proceso generador o definitorio de cada una de ellas. Eduardo Torroja, con su magistral forma de hacer y decir, puso la primera gran piedra de este original planteamiento en su libro RAZON Y SER DE LOS TIPOS ESTRUCTURALES. Y hoy, nosotros, un grupo de personas que sentimos el orgullo de ser sus discípulos, hemos querido aprovechar la feliz ocasión de elaborar el proyecto y construir una obra pequeña, pero singular, para exponer, una vez realizada la obra, los distintos y sucesivos planteamientos que han llevado a la génesis de sus formas.



Costilla en Costillares.
Monumento a los perfiles laminados metálicos.

1. Planteamiento

En COSTILLARES, sede del INSTITUTO EDUARDO TORROJA, se construyó, de acuerdo con el proyecto por mí redactado, una pequeña Capilla. Por aquel año de 1956 venía a satisfacer las necesidades de este Centro, que a la sazón contaba con menos de 200 empleados. Pero aquella pequeña familia, estrechamente ligada por su comunidad de metas y de sentimientos a nuestro fundador, ha crecido mucho con el tiempo. Y hoy, con una plantilla de más de 300 personas, la antigua capilla se ha quedado pequeña para albergarnos a todos en esos días singulares en que acudimos a ella para celebrar a nuestro Santo Patrón —San Juan de Ortega—, o para ofrecer una misa de conmemoración.



Teníamos, pues, la necesidad de construir una nueva capilla que nos permitiese en ocasiones señaladas de alegría o de emocionado recuerdo, rezar todos juntos. Y la idea nació rápida; la solución más adecuada era la de construir una capilla al aire libre, a cuyo alrededor pudiésemos concentrarnos todos.

El segundo problema consistía en la elección del lugar. Y éste fue elegido por unanimidad, señalándose como mejor emplazamiento el del PATIO DE ALARIFES, y precisamente en el sitio ocupado por el monumento a los PERFILES LAMINADOS METALICOS.

Pero, ¿deberíamos suprimir este monumento o aprovecharlo? La contestación de este planteamiento nos llevó a fijar como meta el aprovecharlo, tratando de crear un nuevo monumento al HORMIGÓN y al ACERO, que viniese a ser como un nuevo símbolo de esta nueva etapa de nuestro INSTITUTO. Y la idea sería mantenida en todo el desarrollo, si bien al final se ampliaría al introducir un nuevo material, la cerámica; con lo que el simbolismo constructivo era aún mayor, al plantear un monumento con los tres grandes materiales de la construcción actual: HORMIGÓN, ACERO y CERAMICA.

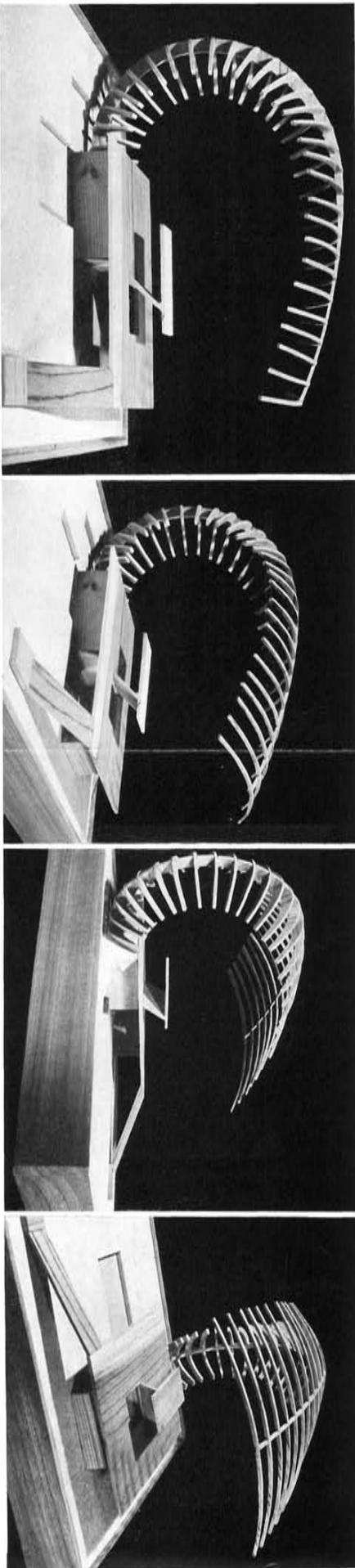
2. Primeras ideas

¿Cuál va a ser la forma? Esta primera cuestión tratamos de contestarla reafirmandonos en nuestra postura renacentista, mirándonos en aquellos años, no tan lejanos, en los que don Eduardo era nuestro guía seguro.

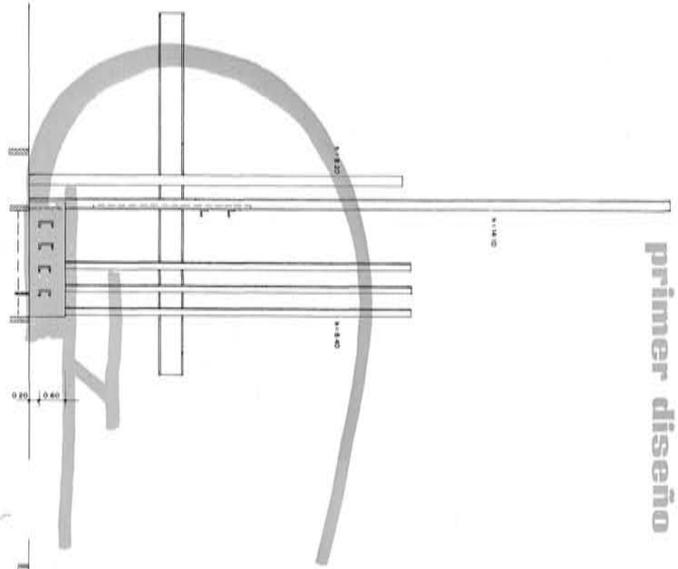
Y tomamos como modelo el elemento formal más característico de nuestro Instituto —la COSTILLA—, cuyo conjunto ha dado nombre a nuestra sede social: COSTILLARES.

Pero, ¿íbamos simplemente a repetir este elemento? Evidentemente que no, ya que no concebimos la TRADICIÓN como TRAICIÓN al presente, sino como un apoyo en el ayer para dar un paso más adelante. Y la idea surgió clara: haremos la COSTILLA LAMINAR, como homenaje a nuestro ayer, realidad de nuestro presente y esperanza en nuestro futuro.

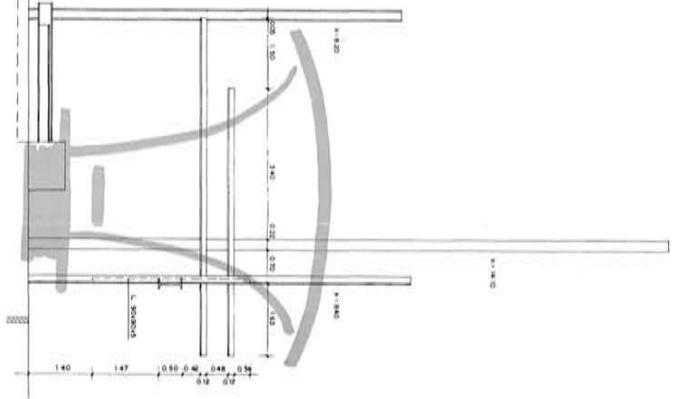
Y para reforzar nuestro entusiasmo por la idea ya nacida, se nos vino a la imaginación la feliz coincidencia de la próxima celebración en Madrid del Congreso Internacional de la Aso-



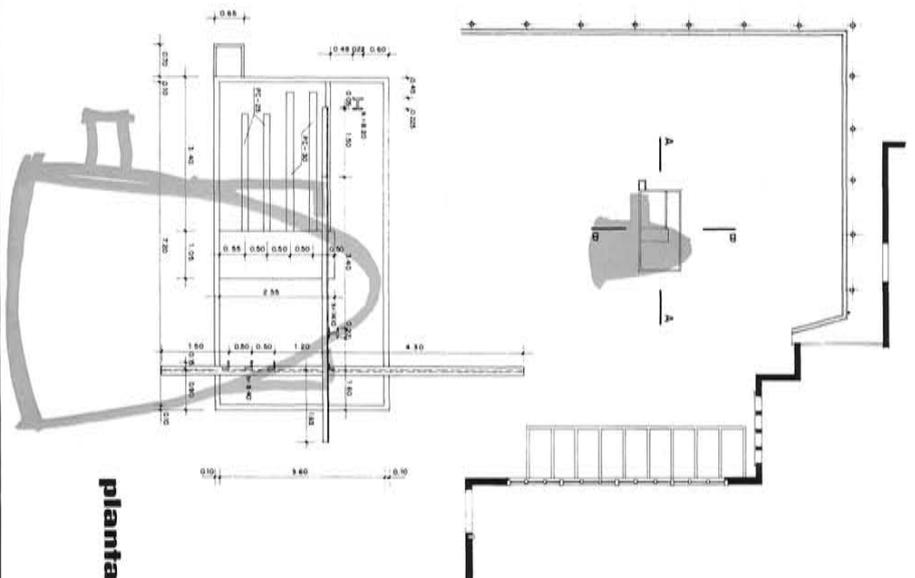
alzado B-B

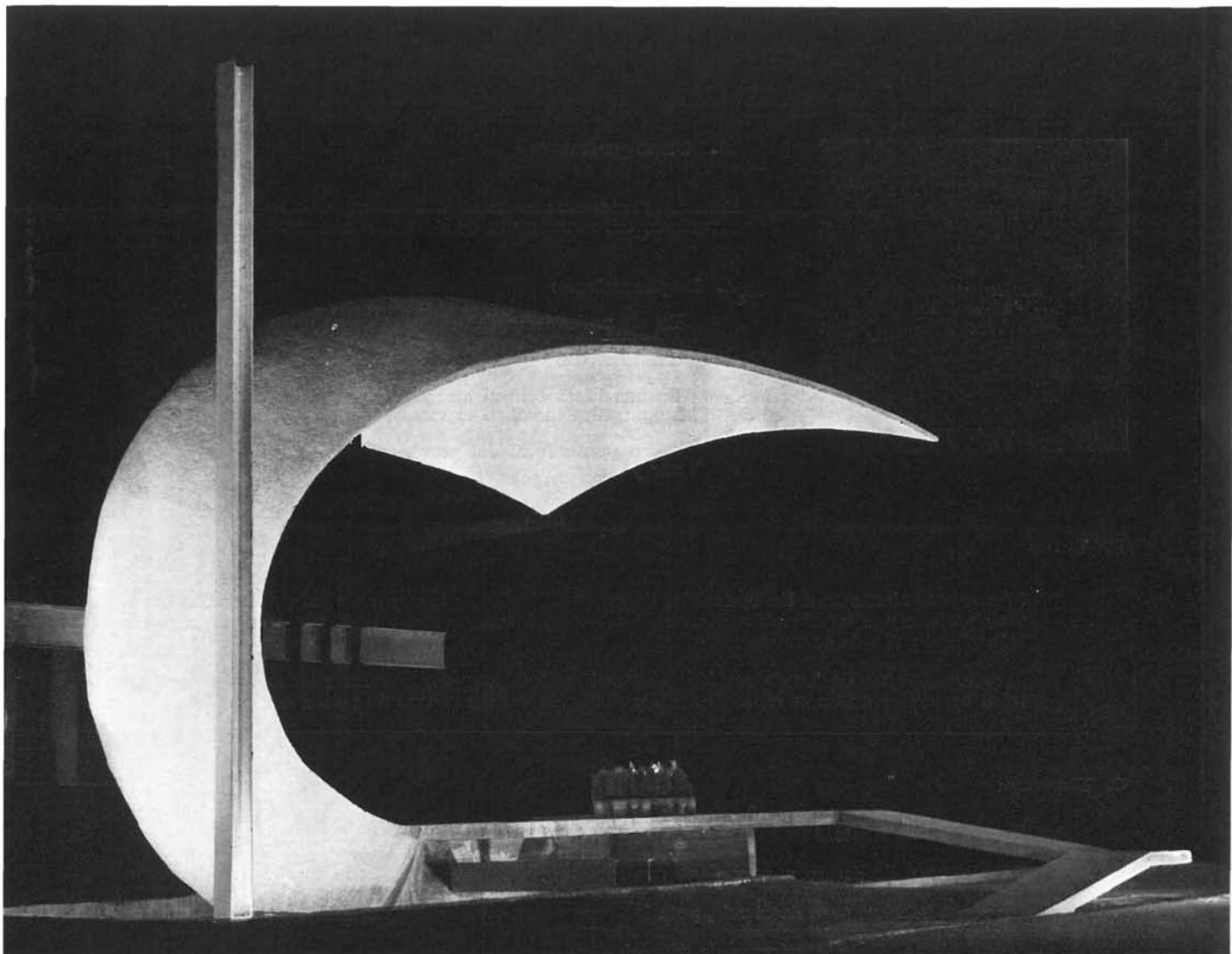


alzado A-A



planta





ciación Internacional de Estructuras Laminas —IASS— en homenaje a Eduardo Torroja, su primer presidente y fundador, precisamente en Costillares, el día 16 de septiembre de 1959.

En aquella ocasión, Torroja proyectó una estructura laminar, para mostrarla a los congresistas, que popularmente fue apodada, por sus formas «LAS BALLENAS». Y hoy, nosotros hemos llevado a cabo, precisamente sobre los mismos cimientos de aquélla, otra lámina, que pensamos mostrar orgullosos a los mismos congresistas que nos visitarán desde los cinco Continentes: LA COSTILLA LAMINAR.

El tema quedó, pues, concretado en la construcción de una forma laminar de hormigón armado, que sirviese de cubierta a un espacio arquitectónico, y que a su vez tenía que estar integrada en el monumento metálico, y en la zona ajardinada de su emplazamiento. Y así tratamos de unir el programa del espacio necesario para la celebración de los actos culturales, con el carácter monumental del conjunto, con el fin de definir un nuevo símbolo en Costillares que, pese a su novedad formal, fuese de contenido profundamente clásico, al identificarse con los valores más firmes y permanentes de este Centro: el espíritu de Torroja.



3. Programa

Con estas sucesivas concreciones llegamos a la definición del programa, cuyo enunciado quedó así establecido:

A. Emplazamiento:

En un patio de trabajo, en el que se producen frecuentes operaciones de carga y descarga de materiales y elementos constructivos.

En una isleta central ajardinada, con aprovechamiento del monumento metálico existente.

Como punto focal del porche que limita el patio al este, sur y oeste.

B. Tema:

Monumento abstracto a los materiales de construcción, dado que, por un lado, el Derecho Canónico prohíbe una capilla abierta para su uso permanente como tal, y, por otro, el carácter laboral del patio de su emplazamiento.

Pero monumento de hondo sentido espiritual y simbólico, que en cada momento —y por permiso especial para cada caso— adquiere el carácter según el tipo de acto a celebrar en él.

C. Elemento:

Un plano dominante, lugar de celebración.

Un elemento de acceso a este plano superior.

Un plano inferior, pero destacado, para los personajes o actantes de cada acto.

Una cubierta, símbolo y forma de definición espacial.

Lámina de agua en estanque, y zonas ajardinadas.

Instalaciones de iluminación y sonido.

4. Solución

Y a la par que iba definiéndose el programa, fue concretándose la idea y el proyecto, hasta llegar a su desarrollo total, en las formas que reflejan los planos y fotografías que ilustran esta publicación.

Un acontecimiento excepcional —la boda de Conchita Nadal— obligó a una solución de circunstancias y forzó la ejecución de la obra en un plazo de pocos días; con su feliz estreno quedó patente la gran flexibilidad de sus formas para adaptarse a cualquier tipo de actos, ofreciendo como variante la solución de altar y escalinatas diseñadas por el Dr. Arquitecto Gonzalo Echegaray.

Ya en este primer acto presidió, en lugar de honor, el CRISTO DE COSTILLARES, un Cristo de línea románica, que diariamente ocupa su lugar sobre el altar de la pequeña capilla interior, que sigue existiendo en el Instituto para el culto litúrgico habitual.

El monumento, totalmente acabado, fue solemnemente inaugurado y bendecido, ante todo el personal del Instituto, el día 4 de julio de 1969, con motivo de la Santa Misa conmemorativa de la fiesta de nuestro Santo Patrón, San Juan de Ortega.

F. CASSINELLO, Dr. Arquitecto

2 estructura

En un conjunto estructural como el que nos ocupa resulta difícil, por no decir imposible, separar la función primaria —acceso, plano de celebración, cobertura, simbolismo— de la resistente. La construcción queda formada exclusivamente por los elementos estructurales, que han de cargar simultáneamente con su doble misión, funcional y portante, y apareciendo de tal forma desnudos al exterior, que en ellos resistencia y forma, técnica y arte van tan estrictamente ligados, que cualquier decisión respecto a su tipología ha de plantearse simultáneamente bajo esta doble vertiente. Esta característica ha influido preponderantemente en el proceso generador de la forma, proceso que se trata de sintetizar en las líneas que siguen.

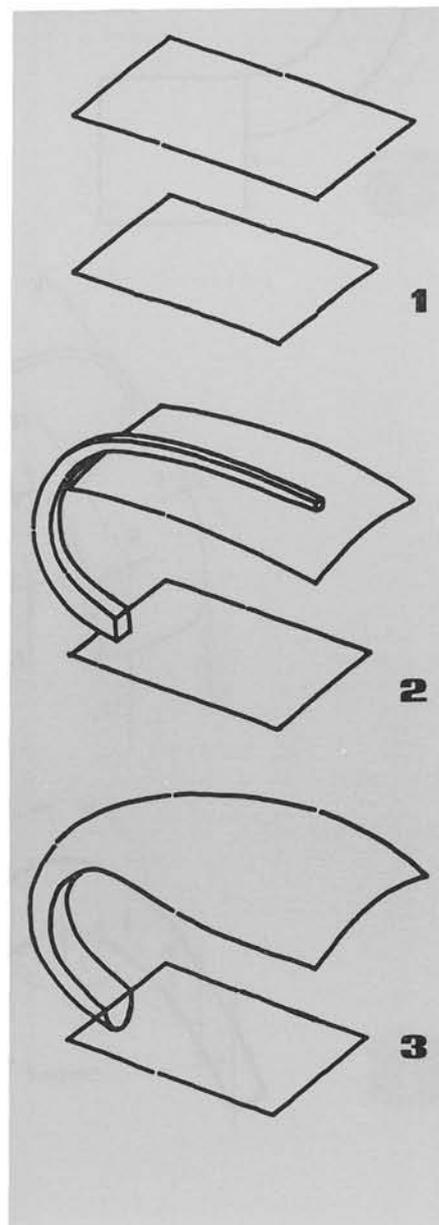
El programa funcional de la construcción era bien simple, quedando esquematizado en la figura 1. Como condicionante adicional, el elemento de cobertura habría de constituir, enlazado con los perfiles metálicos existentes en el patio de Alarifes, un monumento a los materiales más significativos de la construcción moderna: hormigón, acero y cerámica. Con este planteamiento, la importancia de la cubierta pasa a primer término, relegando a un segundo plano el resto de los elementos —plataforma y accesos—, a los que se habría de dar un tratamiento de máxima simplicidad, tanto formal como estructural.

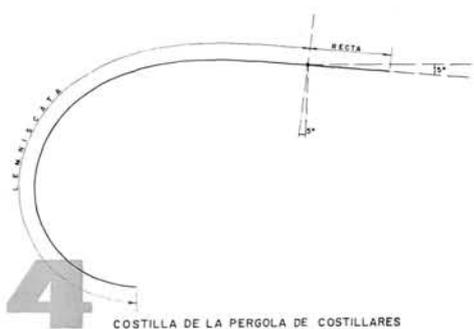
Para la propia cubierta, la libertad formal derivada del planteamiento general era total. Había que fijar, pues, un punto inicial de partida sobre el que basar la definición de tal forma, y como dato previo se decidió desarrollar la cubierta tomando como línea directriz de la misma la «costilla» que constituye el auténtico soporte de la pérgola del mirador.

La elección de esta forma no fue caprichosa, ya que además del carácter simbólico que encierra, como ya se ha comentado, permite crear un punto de apoyo inferior, a partir del cual se eleva el elemento soporte de la propia cubierta, quedando la plataforma totalmente libre de otros apoyos que pudieran estorbar su diafanidad y visibilidad. La figura 2 ilustra el esquema funcional resultante. El siguiente paso consistió en integrar la superficie de la cubierta propiamente dicha con el elemento soporte de la misma, cerrándose aquélla sobre sí misma, aumentando su curvatura y reduciendo su anchura, para formar un a modo de medio toro que, siguiendo la directriz prevista de la costilla, termina empotrándose en el macizo de cimentación bajo la plataforma (ver figura 3).

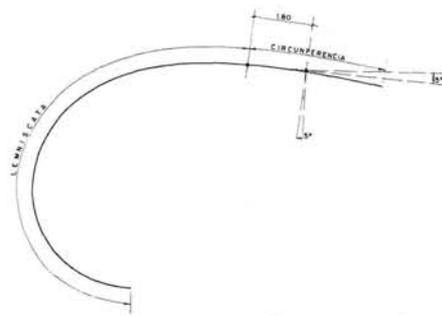
Con esta idea de lo que habría de ser la «costilla laminar», la forma definitiva fue surgiendo por pasos sucesivos. En primer lugar, se fijaron las dimensiones generales de la obra en función de su utilización —superficie necesaria de la plataforma—, de las proporciones generales del patio de Alarifes y de la situación de los diferentes perfiles que constituyen el monumento a la construcción metálica.

A continuación hubo que concretar analíticamente la forma de la superficie, decidiendo que esta definición se establecería para el intradós de la lámina, y no para su superficie media, ya que aquellos datos analíticos podrían utilizarse después, de modo más simple, para la definición del encofrado. La directriz de esta superficie o intersección de la misma con el plano vertical de simetría de la obra, se hizo coincidir, como ya se ha indicado, con la de la costilla, formada por una lemniscata de Cassini prolongada por una recta al llegar a su punto de curvatura nula. Para la lámina, se introdujo un pequeño cambio, que consiste en sustituir la prolongación recta por otra circular, ligando lemniscata y circunferencia en el punto en

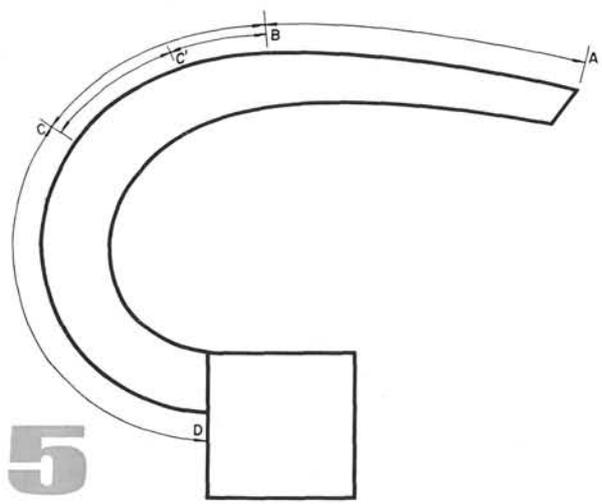




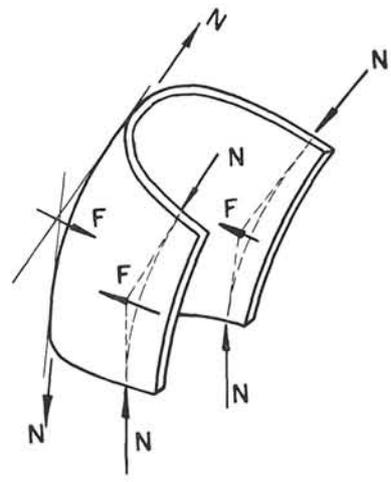
COSTILLA DE LA PERGOLA DE COSTILLARES



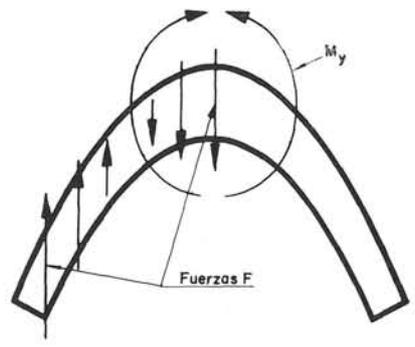
DIRECTRIZ ESCOGIDA PARA LA "COSTILLA LAMINAR"



5



6



que ambas presentan la misma curvatura (ver figura 4). La lemniscata resultó ser una curva muy acertada, pues su curvatura decreciente resuelve, de forma continua, el paso de una zona de gran curvatura, conveniente a la salida de la cimentación —puesto que la lámina tiene que volver en sentido contrario al de partida—, a otra de pequeña curvatura en la parte en la que se desarrolla la cubierta propiamente dicha.

Para las generatrices, o secciones transversales de la superficie, se escogió la parábola de 2.º grado, debido a su simplicidad analítica y a su buen aspecto estético. La variación de los parámetros de las parábolas a lo largo de la directriz se estudió de acuerdo con su función primaria —cubrir la plataforma inferior— y la resistente. Fue éste el paso más laborioso en la elección de la forma. Las cuerdas de las parábolas se escogieron de manera que, a lo largo de la zona soporte, se mantuvieran pequeñas, buscando después una ley de transición para pasar a las cuerdas de la zona de cubierta, necesariamente grandes para cubrir la plataforma. Por otra parte, las flechas de las parábolas había que escogerlas en función de la resistencia requerida en cada sección, ya que de ellas dependen los cantos de las mismas. La decisión final se tomó después de analizar las proyecciones resultantes de la superficie interior de la lámina, para varias combinaciones de leyes de variación de cuerdas y de flechas, tanteando simultáneamente la resistencia de las secciones resultantes.

Definida la superficie interior de la lámina, sólo quedaba por fijar la ley de espesores de la misma. Estos vinieron impuestos principalmente en función de las flexiones transversales, bastante importantes, que tienden a abrir las generatrices parabólicas en las zonas de gran curvatura longitudinal, según se explica más detalladamente al comentar el proceso de cálculo seguido. La realidad es que la forma escogida, aunque es apta a efectos de la flexión principal —trabajo membrana— y de las flexiones secundarias longitudinales, que son muy pequeñas, no lo es tanto en cuanto a flexiones secundarias transversales se refiere, que resultan muy importantes en la zona soporte de la cubierta y allí donde las parábolas empiezan a reducir más rápidamente sus cuerdas —ver comentarios al cálculo—. En consecuencia, los es-

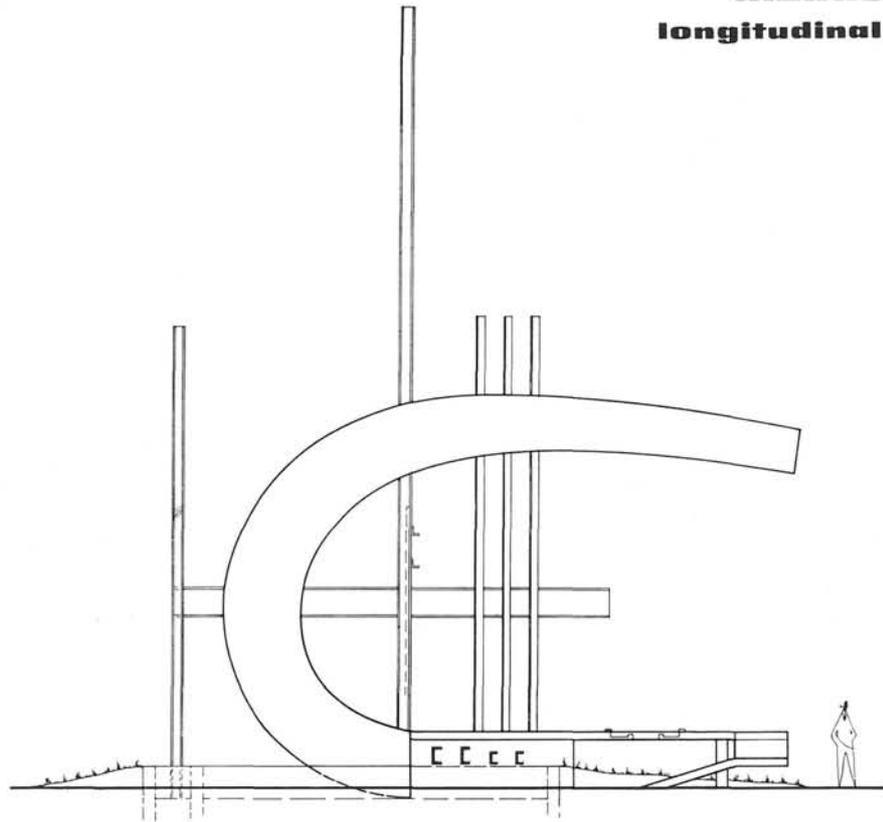
alzado longitudinal

pesores de la lámina son verdaderamente «laminares» —entre 6 y 10 cm— en toda la zona de cubierta propiamente dicha, pasando a valores más fuertes, con un máximo de 40 cm, en la zona de soporte, donde, por otra parte, no son perjudiciales los grandes pesos que ello representa, por ser pequeño el brazo con que estos pesos actúan, en esta zona, respecto al empotramiento en la cimentación.

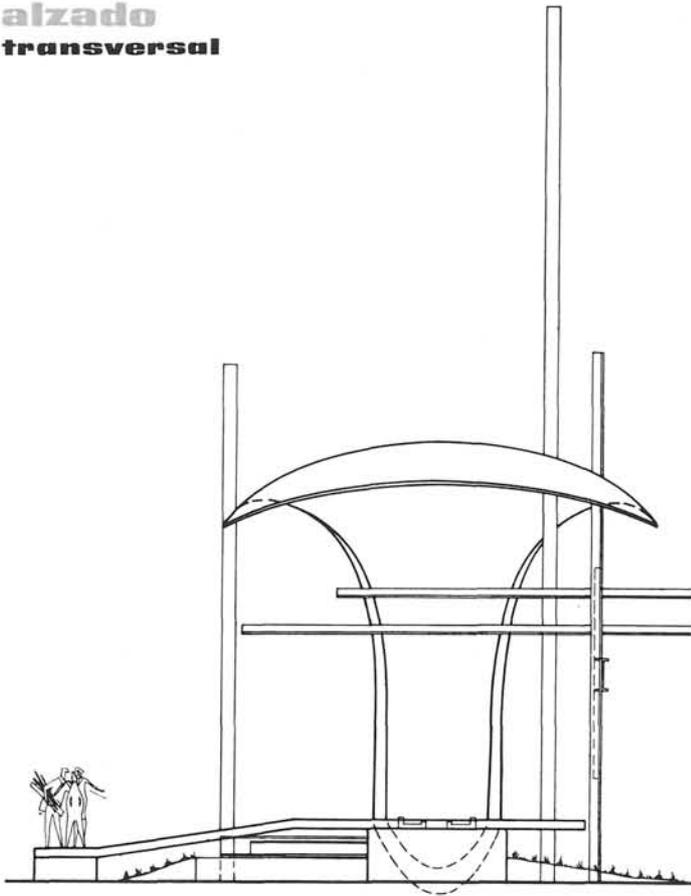
La forma y dimensiones generales de la lámina quedaron definidas así, según queda representado en las plantas y alzados generales.

Respecto al resto de los elementos de la construcción, plataforma, acceso y cimentación, poco queda que decir. El tratamiento formal de estos elementos habría de ser muy simple, para no quitar importancia a la lámina, elemento principal del conjunto. Con esta idea, la plataforma quedó formada por una simple placa plana, de planta rectangular, apoyada en el gran macizo de cimentación que sustenta la lámina y en una pantalla anterior. De su borde frontal, y en su extremo anterior, parte la rampa de acceso, también de gran simplicidad formal.

La cimentación de la cubierta está formada por un gran macizo de hormigón, sobre el que apoya asimismo la plataforma, cuyo peso es suficiente para equilibrar los esfuerzos de vuelco producidos por las sobrecargas de viento o nieve sobre aquélla.



**alzado
transversal**



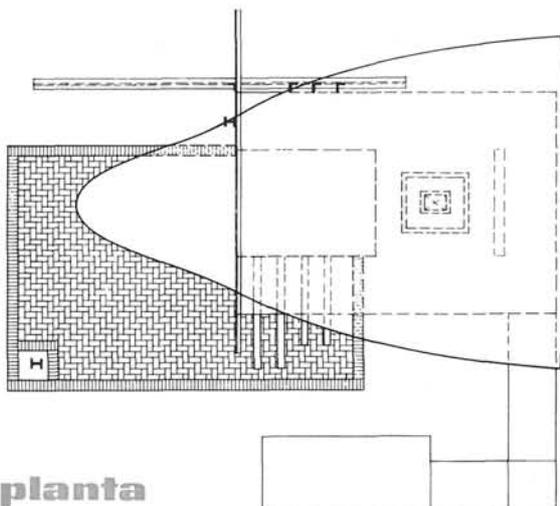
cálculo

El cálculo de los esfuerzos a que se ve sometida la cubierta, y el dimensionamiento correspondiente, se vio condicionado por dos circunstancias: el cortísimo plazo disponible para desarrollarlo y la complejidad de la forma, para la que no existe un tratamiento matemático correcto, al no estar definida analíticamente de forma simple. En consecuencia, se desarrolló un cálculo aproximado, siguiendo las directrices que se exponen a continuación.

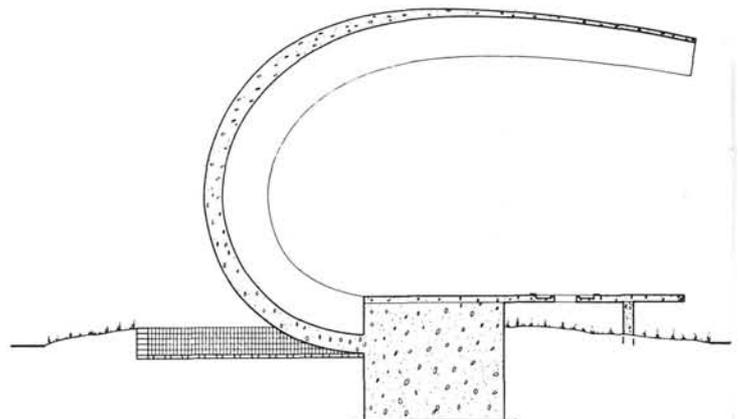
La flexión principal longitudinal se estudió asimilando la lámina a una ménsula de sección transversal variable parabólica. De este cálculo se obtienen los valores del esfuerzo axial N (ver figura 6).

En cuanto a las flexiones secundarias en la pared de la lámina, la zona AB de la figura 5 se calculó de acuerdo con la teoría de viga, asimilando la forma real a una lámina cilíndrica en voladizo. Por otra parte, en toda la longitud de la cubierta se estudió la flexión transversal M_y , producida por la curvatura de la directriz, haciendo

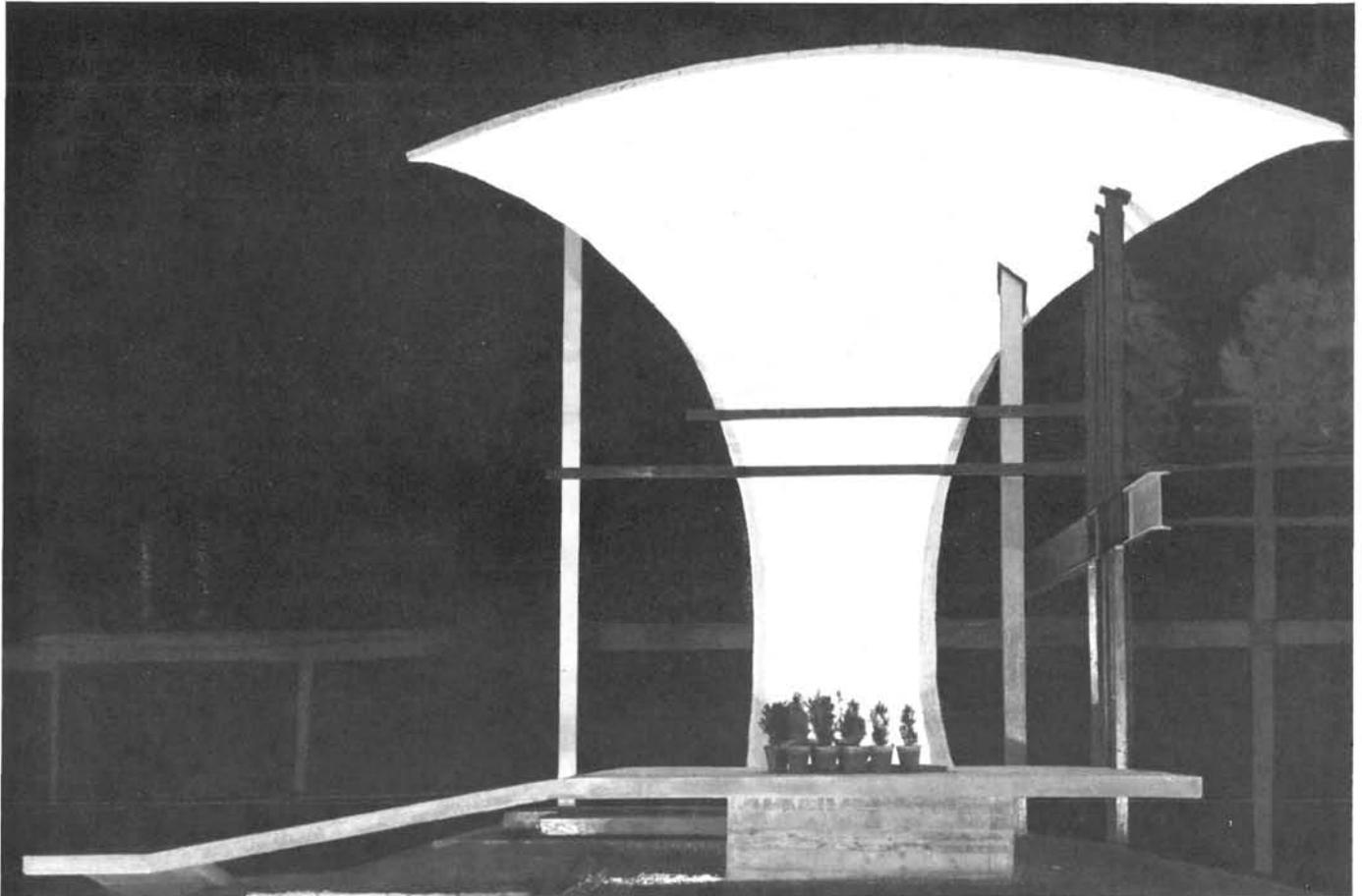
uso de los valores de N obtenidos anteriormente, según se indica en la figura 6. Este cálculo es muy simple y bastante aproximado allí donde las fibras de la sección transversal pueden considerarse contenidas en un plano, como ocurre en la zona CD de soporte de la cubierta. En esta zona, las fuerzas axiales N producen unas fuerzas F , función del radio de curvatura r , que actúan sobre la sección transversal pro-



planta



**sección
longitudinal**



duciendo las flexiones M_y que se trata de hallar. La flexión M_x es despreciable en esta zona. El problema se complica en la zona BC , en la que, al variar rápidamente las cuerdas de las parábolas transversales, las fibras de las diferentes secciones ya no pueden considerarse como curvas planas, apareciendo, en consecuencia, flexiones M_x no despreciables y siendo poco aproximado el cálculo de M_y por el procedimiento indicado anteriormente. Entre C y C' aproximadamente, la curvatura de la lámina es tal que se reducen las flexiones M_y calculadas por aquel método, pero entre C' y B ocurre lo contrario. Basta ver la lámina para sentir que en la zona indicada en la figura 5 los esfuerzos N intentan abrir las secciones transversales «aplanándolas», reduciendo su canto útil y produciendo la rotura. La falta de tiempo obligó a realizar unos tanteos aproximados para esta zona, que se han revelado como suficientes en la práctica.

Respecto al pandeo del borde interior comprimido, los espesores de la lámina, y en particular el del mismo borde en las zonas donde está sometido a máximas compresiones, son tales que tal peligro queda muy alejado. No se han desarrollado cálculos en tal sentido, prácticamente irrealizables, por otra parte, para tal forma.

Nada especial hay que decir respecto al cálculo de los restantes elementos de la construcción, para el que se ha utilizado un tratamiento clásico.

J. A. TORROJA, Dr. Ingeniero de Caminos

3 geometría de la costilla laminar

1. Definición geométrica

1.1. Directriz

La directriz, curva intersección del intradós de la lámina con el plano vertical de simetría de la misma, es, entre B y C (ver figura 7), una lemniscata de BERNOUILLI. Sus ejes propios (O, u, v) forman un ángulo $\beta = 5^\circ 20'$ con los ejes generales (C, X, Z). La ecuación de la lemniscata en coordenadas polares es:

$$\rho = c \cdot \sqrt{\sin 2\alpha},$$

siendo c el máximo radio vector, que vale 8,90 metros.

El punto B de comienzo de la lemniscata viene definido por la condición $\rho_B = 1,10$ m, y el punto C en que termina es el de tangente horizontal. Los ejes generales (C, X, Z) son, pues la tangente y la normal a la lemniscata en C .

Entre B y A la directriz es el círculo osculador a la lemniscata en B . El punto A , final de la directriz, viene definido por la longitud del arco BA , que es de 3,80 metros.

1.2. Generatrices

Las generatrices, intersecciones del intradós de la lámina con planos normales a la directriz, son parábolas de 2.º grado cuyo vértice está sobre la directriz, y vienen definidas por su flecha f y su cuerda $2c$, que son funciones dadas del arco s medido sobre la directriz.

1.2.1. Ley de flechas

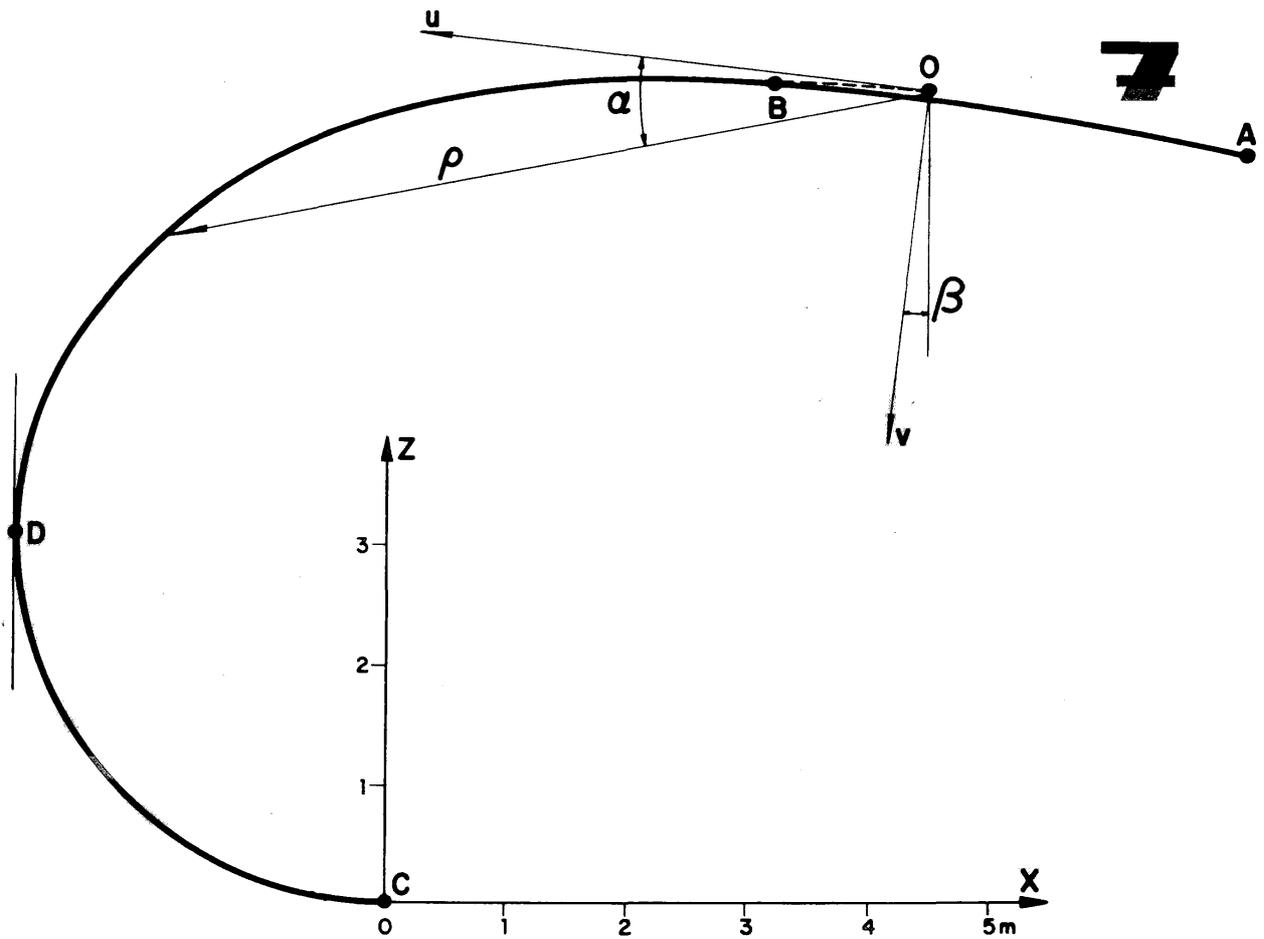
Las flechas varían según dos leyes parabólicas (ver figura 8) cuyo máximo se alcanza en el punto D , vértice de ambas parábolas y punto en el que la generatriz es horizontal, siendo $f_D = 1,00$.

En las generatrices extremas se tiene $f_C = 0,80$ y $f_A = 0,70$. De acuerdo con esta definición resulta:

$$\begin{aligned} f_1 &= 1,00 - 0,0019894 (8,48 - s)^2 & \text{para } s \leq 8,48 \\ f_2 &= 1,00 - 0,0087640 (s - 8,48)^2 & \text{para } s \geq 8,48 \end{aligned}$$

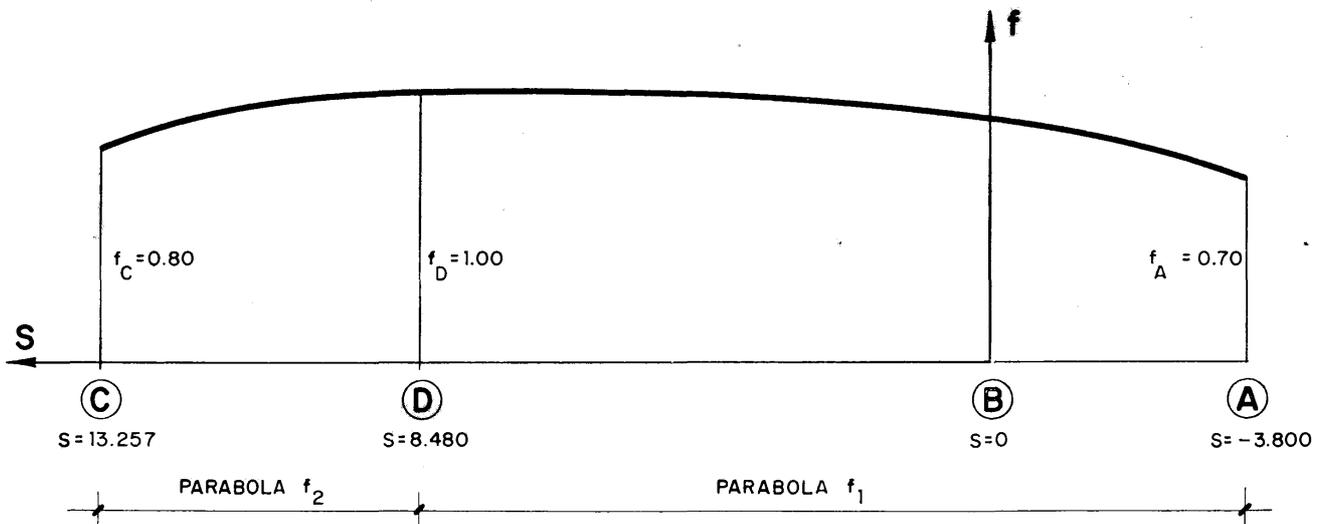
1.2.2. Ley de cuerdas

Las semicuerdas varían según tres leyes distintas (ver figura 9). Del extremo A arranca una ley parabólica de grado 5/2, siendo el valor inicial $c_A = 3,60$ m; la pendiente inicial, $(dc/ds)_A = 0,08$, y el valor final, $c_E = 1,90$. Sigue una parábola cúbica que tiene en E el mismo valor y la misma pendiente que la anterior, y que acaba al llegar a su pendiente nula en F con el valor $c_F = 0,85$.

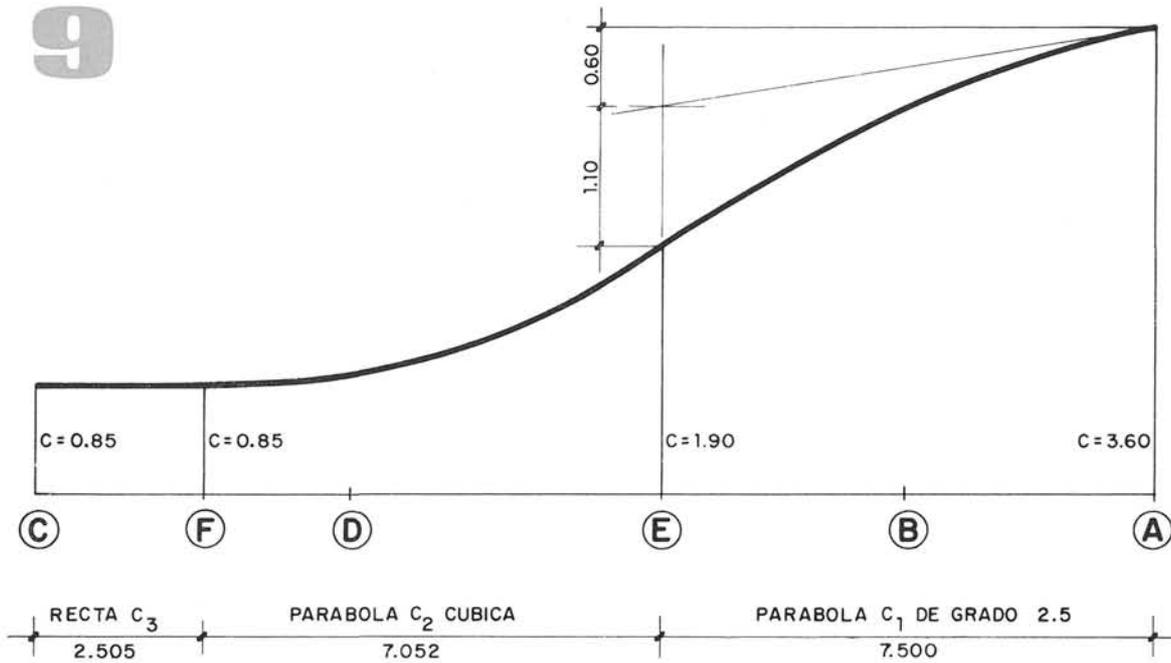


De aquí hasta el extremo C se conserva constante la semicuerda. De acuerdo con esta definición resulta:

$$\begin{aligned}
 c_1 &= 3,60 - 0,08 (s + 3,8) - 0,007141 (s + 3,8)^{2,5} && \text{para } s \leq 3,7 \\
 c_2 &= 0,85 + 0,002994 (10,752 - s)^3 && \text{para } 3,7 \leq s \leq 10,752 \\
 c_3 &= 0,85 && \text{para } 10,752 \leq s
 \end{aligned}$$



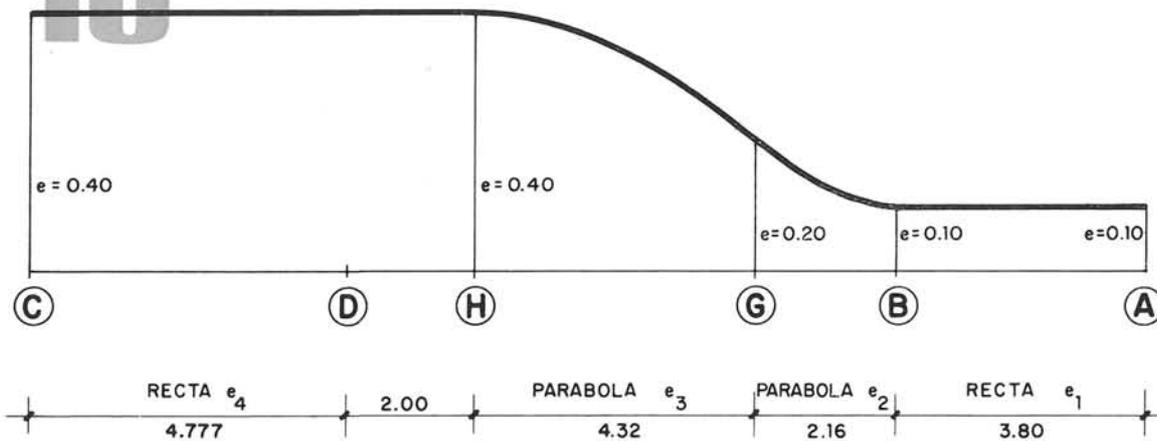
9

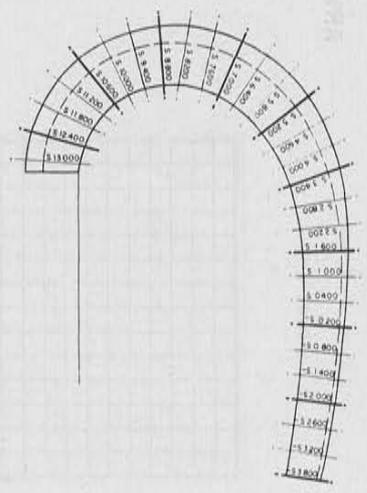
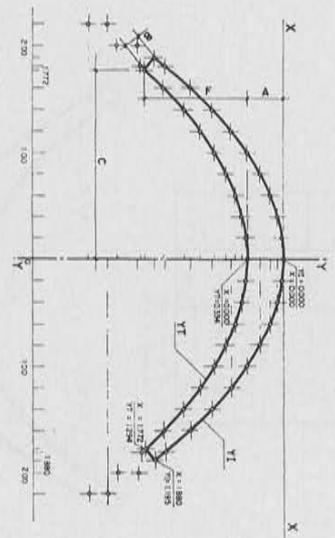
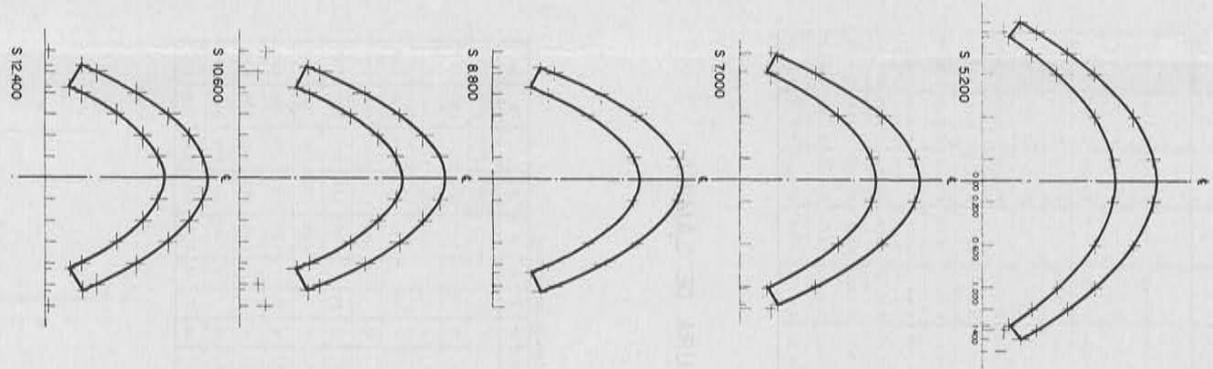
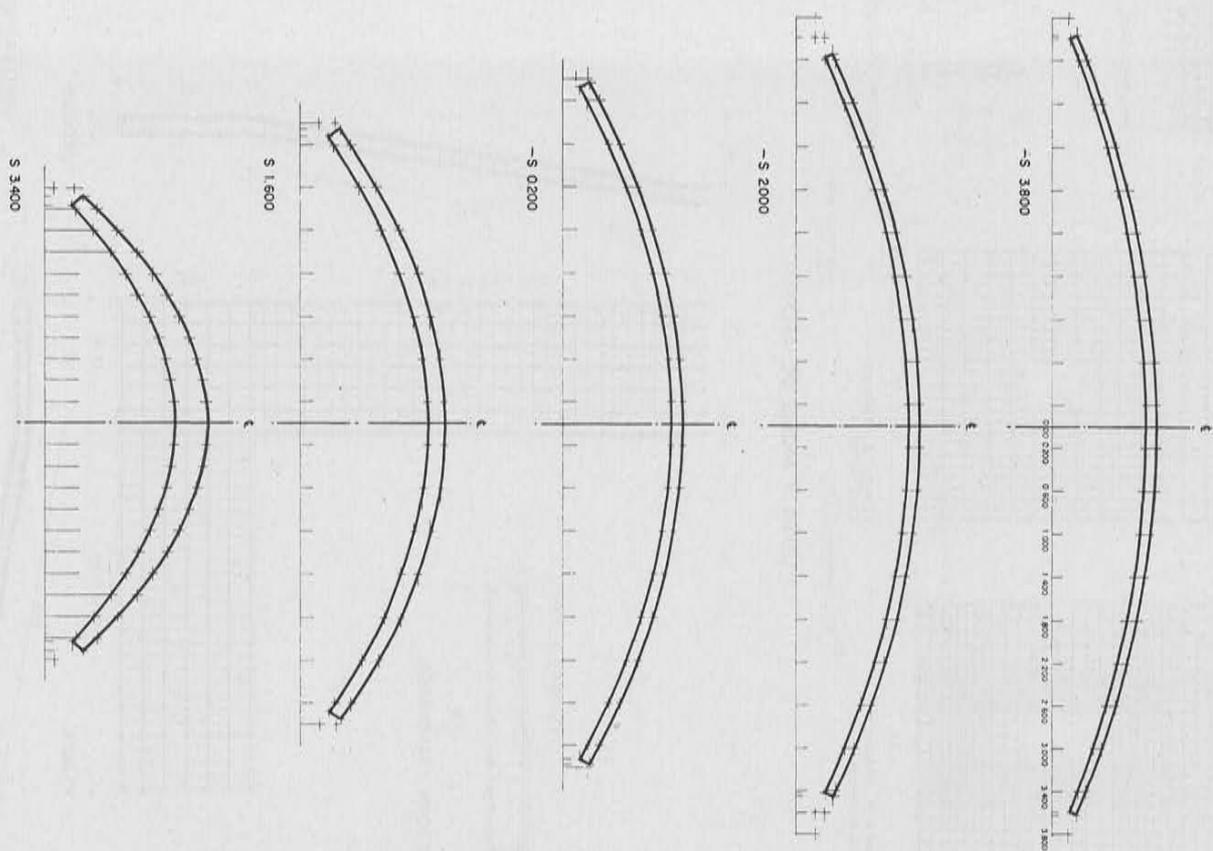


1.3. Espesores

Definida la superficie del intradós de la lámina, se fija ahora la variación de los espesores a lo largo de la directriz y a lo largo del borde longitudinal de la misma. Para completar la definición del trasdós se impone la condición de que las intersecciones de esta superficie con planos normales a la directriz (generatrices del trasdós) sean parábolas de 2.º grado.

10





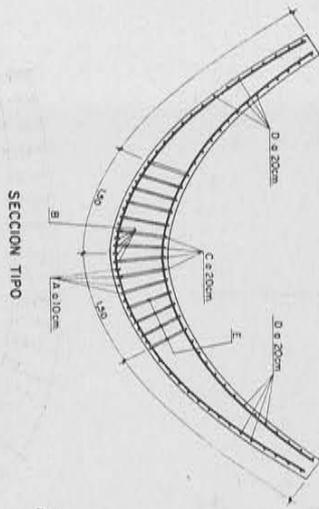
secciones transversales

armaduras

ARMADURA TRANSVERSAL

SECCIONES	A ₁	A ₂
- 3,80 e - 1,40	Ø 8x25	Ø 8x25
- 1,40 e - 0,00	Ø 12x20	Ø 8x25
0,00 e + 4,00	Ø 14x10	Ø 8x20
+ 4,00 e + 9,40	Ø 14x75	Ø 12x20
+ 9,40 e + 11,60	Ø 14x10	Ø 8x20
+ 11,60 e + 13,237	Ø 12x10	Ø 8x20

A₁: cara interior
A₂: cara exterior



SECCION TIPO

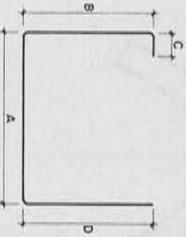
ARMADURA LONGITUDINAL

SECCION	A	B	C	D	E
- 3,80	—	—	—	—	—
- 2,60	Ø 12x20	—	Ø 12x20	Ø 12x20	—
- 1,40	Ø 12x20	—	Ø 12x20	Ø 12x20	—
- 0,20	Ø 12x20	—	Ø 12x20	Ø 12x20	—
+ 1,00	Ø 12x10	—	Ø 12x20	Ø 12x20	Ø 8x25
+ 2,20	Ø 12x10	—	Ø 12x20	Ø 12x20	Ø 8x25
+ 3,40	Ø 18x10	—	Ø 18x20	Ø 12x20	Ø 8x25
+ 4,60	Ø 18x10	Ø 8x18	Ø 18x20	Ø 12x20	Ø 8x25
+ 5,80	Ø 18x10	Ø 8x18	Ø 18x20	Ø 12x20	Ø 8x25
+ 7,00	Ø 18x10	Ø 8x18	Ø 18x20	Ø 12x20	Ø 8x25
+ 8,20	Ø 18x10	Ø 8x18	Ø 18x20	Ø 12x20	Ø 8x25
+ 9,40	Ø 18x10	Ø 8x18	Ø 18x20	Ø 12x20	Ø 8x25
+ 10,60	Ø 18x10	Ø 8x18	Ø 18x20	Ø 12x20	Ø 8x20
+ 11,80	Ø 18x10	Ø 8x18	Ø 12x20	Ø 12x20	Ø 8x20

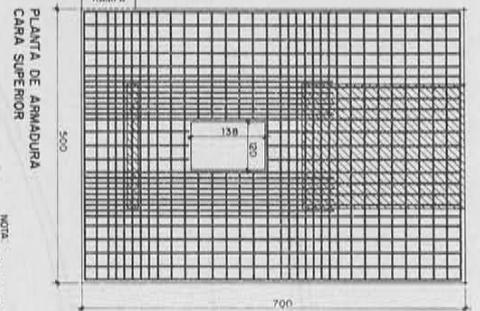
ARMADURA DE LAMINA

CUADRO DE ARMADURAS

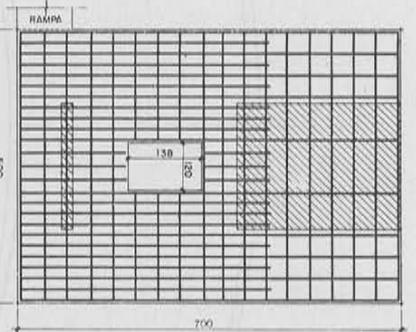
Bases	Nº	Ø	A	B	C	D	ml
1	7	20	2,20	0,60	0,00	0,60	3,40
2	8	20	2,20	2,00	0,00	2,00	6,20
3	6	20	2,90	0,60	0,00	0,60	4,10
4	7	20	2,90	2,00	0,00	2,00	6,90
5	10	12	2,90	2,20	0,40	0,40	5,90
6	7	20	2,20	0,60	0,00	0,60	3,40
7	8	20	2,20	1,50	0,00	1,50	5,20
8	5	20	2,90	0,60	0,00	0,60	4,10
9	7	20	2,90	1,30	0,00	0,30	4,90
10	30	12	1,60	0,00	0,00	0,00	1,60
11	30	12	2,50	0,00	0,00	0,00	2,50



ARMADURA DE CIMENTACION



PLANTA DE ARMADURA CARA SUPERIOR



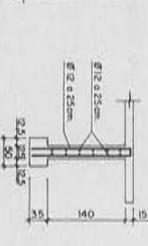
PLANTA DE ARMADURA CARA INFERIOR

LOSA Y MURO DE APOYO

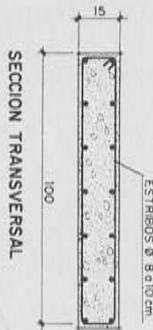
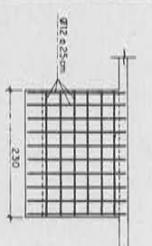
NOTA: TODA LA ARMADURA SON Ø 12

CONTAS EN CENTIMETROS ESCALA 1:50

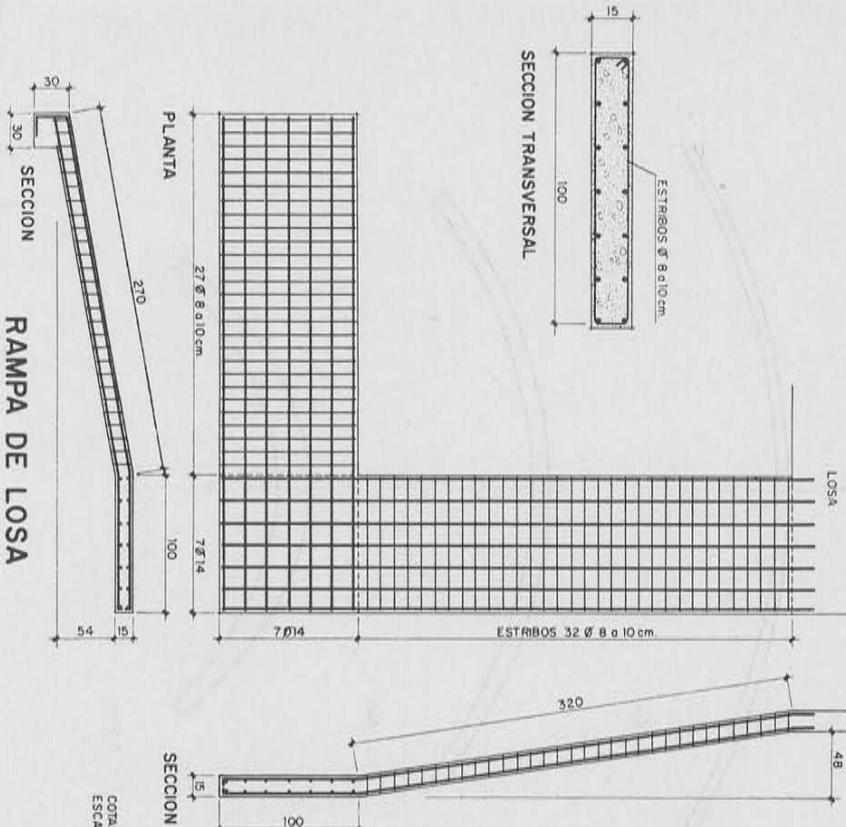
SECCION TRANSVERSAL



SECCION LONGITUDINAL



SECCION TRANSVERSAL



RAMPA DE LOSA

CONTAS EN CENTIMETROS ESCALAS 1:12,5 Y 1:25

1.3.1. Espesores en el borde

El espesor e varía linealmente desde un valor de 6 cm en el extremo A a un valor de 25 cm en el extremo C :

$$e = 0,06 + 0,011139 (s + 3,8)$$

1.3.2. Espesores en la directriz

El espesor e varía según cuatro leyes distintas (figura 10). Entre A y B es constante: $e_A = e_B = 0,10$. Después viene una ley parabólica de 2.º grado hasta $e_G = 0,20$. Luego otra ley parabólica de 2.º grado, hasta $e_H = 0,40$. Y por último se mantiene constante hasta el extremo $e_C = 0,40$. O sea:

$e_1 = 0,10$	para	$s \leq 0$
$e_2 = 0,10 + 0,021433 s^2$	para	$0 \leq s \leq 2,16$
$e_3 = 0,40 - 0,010717 (6,48 - s)^2$	para	$2,16 \leq s \leq 6,48$
$e_4 = 0,40$	para	$6,48 \leq s$

2. Replanteo

Dada la complejidad de la definición geométrica de la lámina y la exigencia de su ejecución precisa, se juzgó conveniente el empleo del ordenador electrónico para el replanteo de los distintos elementos del encofrado de la misma. A continuación se enumeran los distintos cálculos efectuados, para cada uno de los cuales fue necesario preparar un programa especial con base al ordenador ELLIOTT 803-B de la División de Cálculo Electrónico del Instituto.

2.1. Directriz

Se replantea la directriz dando puntos de la misma a distancias de 20 cm, a partir del punto B hacia adelante (circunferencia) y hacia atrás (lemniscata). De cada punto se dan las coordenadas XZ en ejes generales (ver figura 7) y el ángulo ϕ que forma la tangente a la directriz con el eje X .

A continuación pueden verse los listados de resultados del ordenador.

2.2. Generatrices

Se replantean las generatrices de trasdós y de intradós a distancias de 60 cm, partiendo de A hasta llegar a C . De cada una de estas generatrices se dan puntos cada 20 centímetros.

En las páginas siguientes puede verse el listado de resultados del ordenador.

2.3. Tablas del encofrado

Las tablas del encofrado, colocadas paralelamente a las generatrices tanto en el trasdós como en el intradós, no pueden ser rectangulares, sino que, como sucede con las de los toneles, han de tener mayor anchura por el centro para poder ensamblar perfectamente entre sí. Por efecto de la curvatura variable de la directriz y de la longitud y flecha de las generatrices, también variables, todas las tablas son distintas y es necesario replantarlas por separado.

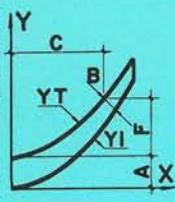
Teniendo en cuenta que la curvatura de los bordes de las tablas es relativamente pequeña, es suficiente para su replanteo con conocer la longitud de la tabla y el ancho variable en el extremo. El ancho en el centro se toma constante de 10 centímetros.

A continuación puede verse el listado de resultados del ordenador.

F. MORAN, Ingeniero de Caminos.

S= -3,800 A= 0,100 B= 0,060 C= 3,600 F= 0,700

X	YT	YI
0,000	0,100	0,000
0,200	0,102	0,009
0,400	0,109	0,009
0,600	0,119	0,020
0,800	0,135	0,036
1,000	0,154	0,057
1,200	0,178	0,082
1,400	0,206	0,111
1,600	0,238	0,145
1,800	0,275	0,184
2,000	0,316	0,227
2,200	0,361	0,275
2,400	0,411	0,327
2,600	0,465	0,383
2,800	0,523	0,445
3,000	0,586	0,511
3,200	0,653	0,581
3,400	0,724	0,656
3,600	0,800	0,735
3,800	0,880	0,735
4,000	0,964	0,819
4,000	0,964	0,938



S= -3,200 A= 0,100 B= 0,067 C= 3,550 F= 0,729

X	YT	YI
0,000	0,100	0,000
0,200	0,102	0,009
0,400	0,109	0,010
0,600	0,121	0,022
0,800	0,137	0,038
1,000	0,158	0,060
1,200	0,183	0,086
1,400	0,213	0,118
1,600	0,248	0,154
1,800	0,287	0,194
2,000	0,331	0,240
2,200	0,380	0,290
2,400	0,433	0,346
2,600	0,490	0,406
2,800	0,551	0,470
3,000	0,600	0,540
3,200	0,659	0,614
3,400	0,708	0,694
3,550	0,829	0,736
3,715	0,839	0,767
3,800	0,849	0,778
3,800	0,935	0,866

S= -2,600 A= 0,100 B= 0,073 C= 3,493 F= 0,756

X	YT	YI
0,000	0,100	0,000
0,200	0,102	0,003
0,400	0,111	0,010
0,600	0,122	0,023
0,800	0,140	0,041
1,000	0,162	0,064
1,200	0,189	0,099
1,400	0,221	0,125
1,600	0,259	0,163
1,800	0,301	0,206
2,000	0,348	0,254
2,200	0,400	0,308
2,400	0,457	0,360
2,600	0,519	0,420
2,800	0,586	0,498
3,000	0,658	0,572
3,200	0,734	0,651
3,400	0,816	0,735
3,493	0,856	0,775
3,522	0,868	0,788
3,600	0,903	0,824
3,800	0,995	0,918

S= -2,000 A= 0,100 B= 0,080 C= 3,425 F= 0,782

X	YT	YI
0,000	0,100	0,000
0,200	0,103	0,003
0,400	0,111	0,011
0,600	0,124	0,024
0,800	0,143	0,043
1,000	0,167	0,068
1,200	0,196	0,097
1,400	0,231	0,133
1,600	0,271	0,173
1,800	0,316	0,219
2,000	0,368	0,270
2,200	0,422	0,327
2,400	0,484	0,389
2,600	0,551	0,457
2,800	0,622	0,530
3,000	0,700	0,609
3,200	0,782	0,692
3,400	0,870	0,782
3,425	0,885	0,793
3,458	0,897	0,809
3,600	0,963	0,876
3,800	1,062	0,976

S= -1,400 A= 0,100 B= 0,087 C= 3,344 F= 0,806

X	YT	YI
0,000	0,100	0,000
0,200	0,103	0,003
0,400	0,112	0,012
0,600	0,126	0,026
0,800	0,146	0,046
1,000	0,172	0,072
1,200	0,204	0,104
1,400	0,241	0,142
1,600	0,284	0,185
1,800	0,333	0,234
2,000	0,388	0,289
2,200	0,449	0,350
2,400	0,515	0,417
2,600	0,587	0,489
2,800	0,664	0,567
3,000	0,748	0,651
3,200	0,838	0,741
3,344	0,906	0,809
3,382	0,924	0,828
3,400	0,933	0,837
3,600	1,034	0,934

S= -0,800 A= 0,100 B= 0,093 C= 3,249 F= 0,829

X	YT	YI
0,000	0,100	0,000
0,200	0,103	0,003
0,400	0,113	0,012
0,600	0,128	0,028
0,800	0,150	0,050
1,000	0,178	0,078
1,200	0,213	0,112
1,400	0,254	0,153
1,600	0,301	0,200
1,800	0,354	0,253
2,000	0,414	0,312
2,200	0,480	0,378
2,400	0,559	0,450

S= -0,200 A= 0,100 B= 0,100 C= 3,136 F= 0,850

X	YT	YI
0,000	0,100	0,000
0,200	0,103	0,003
0,400	0,114	0,014
0,600	0,131	0,031
0,800	0,155	0,054
1,000	0,186	0,085
1,200	0,224	0,122
1,400	0,269	0,167
1,600	0,321	0,218
1,800	0,380	0,276
2,000	0,446	0,340
2,200	0,518	0,412
2,400	0,598	0,490
2,600	0,684	0,574
2,800	0,778	0,667
3,000	0,878	0,765
3,136	0,950	0,836
3,184	0,976	0,862
3,200	1,085	0,911
3,400	1,099	0,983

S= 0,400 A= 0,103 B= 0,107 C= 3,006 F= 0,870

X	YT	YI
0,000	0,103	0,000
0,200	0,107	0,004
0,400	0,119	0,015
0,600	0,138	0,034
0,800	0,165	0,060
1,000	0,200	0,094
1,200	0,242	0,136
1,400	0,292	0,185
1,600	0,350	0,241
1,800	0,415	0,305
2,000	0,489	0,377
2,200	0,570	0,456
2,400	0,658	0,542
2,600	0,754	0,636
2,800	0,858	0,738
3,000	0,970	0,847
3,006	0,974	0,851
3,099	1,005	0,881
3,200	1,080	0,964
3,400	1,217	1,088

S= 1,000 A= 0,121 B= 0,113 C= 2,856 F= 0,889

X	YT	YI
0,000	0,121	0,000
0,200	0,126	0,004
0,400	0,139	0,017
0,600	0,161	0,039
0,800	0,191	0,069
1,000	0,230	0,108
1,200	0,278	0,155
1,400	0,335	0,211
1,600	0,400	0,275
1,800	0,475	0,348
2,000	0,557	0,430
2,200	0,649	0,520
2,400	0,749	0,619
2,600	0,858	0,727
2,800	0,976	0,843
2,856	1,010	0,877
2,915	1,048	0,914
3,000	1,102	0,968
3,200	1,237	1,101

S= 1,600 A= 0,155 B= 0,120 C= 2,684 F= 0,906

X	YT	YI
0,000	0,155	0,000
0,200	0,160	0,005
0,400	0,175	0,020
0,600	0,200	0,046
0,800	0,235	0,081
1,000	0,281	0,127
1,200	0,336	0,183
1,400	0,401	0,249
1,600	0,477	0,325
1,800	0,562	0,411
2,000	0,658	0,508
2,200	0,763	0,615
2,400	0,879	0,731
2,600	1,005	0,858
2,684	1,061	0,915
2,751	1,107	0,961
2,800	1,141	0,995
3,000	1,286	1,143

S= 2,200 A= 0,204 B= 0,127 C= 2,490 F= 0,922

X	YT	YI
0,000	0,204	0,000
0,200	0,210	0,006
0,400	0,227	0,025
0,600	0,257	0,056
0,800	0,299	0,099
1,000	0,352	0,155
1,200	0,418	0,224
1,400	0,495	0,305
1,600	0,584	0,398
1,800	0,685	0,504
2,000	0,798	0,622
2,200	0,923	0,752
2,400	1,060	0,895
2,490	1,125	0,964
2,566	1,182	1,023
2,600	1,208	1,051
2,800	1,369	1,219

S= 2,800 A= 0,255 B= 0,134 C= 2,273 F= 0,936

X	YT	YI
0,000	0,255	0,000
0,200	0,262	0,008
0,400	0,284	0,031
0,600	0,320	0,070
0,800	0,371	0,125
1,000	0,436	0,196
1,200	0,516	0,282
1,400	0,610	0,383
1,600	0,719	0,501
1,800	0,842	0,634
2,000	0,979	0,783
2,200	1,132	0,947
2,273	1,191	1,011
2,358	1,262	1,088
2,400	1,298	1,127
2,600	1,479	1,323

S= 3,400 A= 0,298 B= 0,140 C= 2,031 F= 0,949

X	YT	YI
0,000	0,298	0,000
0,200	0,308	0,010
0,400	0,335	0,041
0,600	0,381	0,091
0,800	0,446	0,162
1,000	0,528	0,253
1,200	0,630	0,365
1,400	0,749	0,496
1,600	0,887	0,648
1,800	1,044	0,820
2,000	1,219	1,013
2,031	1,247	1,044
2,126	1,339	1,145
2,200	1,412	1,225
2,400	1,623	1,458

S= 4,000 A= 0,334 B= 0,147 C= 1,772 F= 0,960

X	YT	YI
0,000	0,334	0,000
0,200	0,346	0,014
0,400	0,383	0,054
0,600	0,444	0,122
0,800	0,530	0,216
1,000	0,640	0,338
1,200	0,775	0,487
1,400	0,934	0,663
1,600	1,117	0,866
1,772	1,294	1,061
1,800	1,325	1,096
1,880	1,415	1,195
2,000	1,558	1,353
2,200	1,815	1,637

S= 4,600 A= 0,362 B= 0,154 C= 1,547 F= 0,970

X	YT	YI
0,000	0,362	0,000
0,200	0,378	0,018
0,400	0,427	0,071
0,600	0,508	0,160
0,800	0,621	0,289
1,000	0,767	0,445
1,200	0,946	0,641
1,400	1,156	0,872
1,547	1,332	1,066
1,600	1,400	1,139
1,667	1,489	1,236
1,800	1,675	1,441
2,000	1,983	1,779

S= 5,200 A= 0,382 B= 0,160 C= 1,362 F= 0,979

X	YT	YI
0,0		

S= 8,200 A= 0,400 B= 0,194 C= 0,900 F= 1,000

DEFINICION DE TABLAS DE ENCOPRADO



X	YT	YI
0,000	0,400	0,000
0,200	0,449	0,046
0,400	0,508	0,189
0,600	0,644	0,410
0,800	1,000	0,729
0,900	1,400	0,900
1,000	1,935	1,147
1,076	1,831	1,390
1,200	2,174	1,641
1,400	2,821	2,234

AREA= 0,497

S= 8,800 A= 0,400 B= 0,200 C= 0,872 F= 0,999

X	YT	YI
0,000	0,400	0,000
0,200	0,453	0,047
0,400	0,510	0,189
0,600	0,673	0,426
0,800	1,240	0,757
0,872	1,399	0,900
1,000	1,711	1,183
1,056	1,664	1,319
1,200	2,291	1,704
1,400	2,974	2,319

AREA= 0,495

S= 9,400 A= 0,400 B= 0,207 C= 0,857 F= 0,997

X	YT	YI
0,000	0,400	0,000
0,200	0,454	0,049
0,400	0,516	0,191
0,600	0,686	0,430
0,800	1,264	0,764
0,857	1,399	0,900
1,000	1,750	1,194
1,047	1,681	1,310
1,200	2,344	1,720
1,400	3,046	2,341

AREA= 0,498

S= 10,000 A= 0,400 B= 0,214 C= 0,851 F= 0,980

X	YT	YI
0,000	0,400	0,000
0,200	0,454	0,047
0,400	0,515	0,189
0,600	0,687	0,425
0,800	1,265	0,755
0,851	1,380	0,895
1,000	1,759	1,190
1,047	1,683	1,295
1,200	2,347	1,700
1,400	3,050	2,313

AREA= 0,431

S= 10,600 A= 0,400 B= 0,220 C= 0,850 F= 0,961

X	YT	YI
0,000	0,400	0,000
0,200	0,453	0,046
0,400	0,513	0,188
0,600	0,679	0,414
0,800	1,251	0,736
0,850	1,351	0,871
1,000	1,730	1,150
1,052	1,670	1,271
1,200	2,315	1,656
1,400	3,006	2,254

AREA= 0,435

S= 11,200 A= 0,400 B= 0,227 C= 0,850 F= 0,935

X	YT	YI
0,000	0,400	0,000
0,200	0,452	0,043
0,400	0,507	0,178
0,600	0,665	0,400
0,800	1,238	0,711
0,850	1,335	0,833
1,000	1,694	1,112
1,057	1,644	1,241
1,200	2,264	1,611
1,400	2,937	2,179

AREA= 0,437

S= 11,800 A= 0,400 B= 0,234 C= 0,850 F= 0,907

X	YT	YI
0,000	0,400	0,000
0,200	0,448	0,043
0,400	0,500	0,171
0,600	0,650	0,385
0,800	1,200	0,684
0,850	1,303	0,779
1,000	1,650	1,068
1,062	1,609	1,204
1,200	2,201	1,538
1,400	2,851	2,094

AREA= 0,438

S= 12,400 A= 0,400 B= 0,240 C= 0,850 F= 0,865

X	YT	YI
0,000	0,400	0,000
0,200	0,444	0,039
0,400	0,497	0,151
0,600	0,639	0,340
0,800	1,109	0,624
0,850	1,200	0,682
1,000	1,507	0,944
1,071	1,470	1,089
1,200	2,094	1,360
1,400	2,570	1,851

AREA= 0,438

S= 13,257 A= 0,400 B= 0,250 C= 0,850 F= 0,800

X	YT	YI
0,000	0,400	0,000
0,200	0,444	0,039
0,400	0,497	0,151
0,600	0,639	0,340
0,800	1,109	0,624
0,850	1,200	0,682
1,000	1,507	0,944
1,071	1,470	1,089
1,200	2,094	1,360
1,400	2,570	1,851

AREA= 0,438

CARA INTERIOR CARA EXTERIOR

s	l	b	l	b
-3,800	3,689	0,049	3,721	0,048
-3,700	3,680	0,049	3,715	0,048
-1,600	3,675	0,049	3,709	0,048
-1,500	3,666	0,049	3,703	0,048
-1,400	3,657	0,049	3,696	0,048
-1,300	3,649	0,048	3,689	0,048
-1,200	3,642	0,048	3,683	0,048
-1,100	3,634	0,048	3,676	0,048
-1,000	3,627	0,048	3,668	0,048
-900	3,620	0,048	3,660	0,048
-800	3,616	0,048	3,653	0,048
-700	3,608	0,048	3,645	0,048
-600	3,599	0,048	3,636	0,048
-500	3,590	0,048	3,628	0,048
-400	3,581	0,048	3,619	0,048
-300	3,571	0,048	3,610	0,048
-200	3,561	0,048	3,601	0,048
-100	3,551	0,048	3,591	0,048
0	3,540	0,048	3,580	0,048
100	3,529	0,048	3,570	0,048
200	3,518	0,048	3,559	0,048
300	3,507	0,048	3,548	0,048
400	3,495	0,048	3,537	0,048
500	3,482	0,048	3,525	0,048
600	3,470	0,048	3,513	0,048
700	3,458	0,048	3,500	0,048
800	3,445	0,048	3,487	0,048
900	3,432	0,048	3,473	0,048
1,000	3,418	0,048	3,460	0,048
1,100	3,403	0,048	3,445	0,048
1,200	3,388	0,048	3,431	0,048
1,300	3,369	0,048	3,416	0,048
1,400	3,350	0,048	3,399	0,048
1,500	3,336	0,048	3,384	0,048
1,600	3,319	0,048	3,368	0,048
1,700	3,302	0,048	3,351	0,048
1,800	3,284	0,048	3,334	0,048
1,900	3,265	0,048	3,316	0,048
2,000	3,247	0,048	3,297	0,048
2,100	3,227	0,048	3,278	0,048
2,200	3,207	0,048	3,258	0,048
2,300	3,187	0,048	3,241	0,047
2,400	3,166	0,048	3,221	0,047
2,500	3,145	0,047	3,201	0,047
2,600	3,123	0,047	3,180	0,047
2,700	3,101	0,047	3,160	0,047
2,800	3,078	0,047	3,139	0,047
2,900	3,054	0,047	3,117	0,047
3,000	3,030	0,046	3,095	0,046
3,100	3,006	0,046	3,072	0,046
3,200	2,981	0,046	3,049	0,046
3,300	2,956	0,046	3,026	0,046
3,400	2,930	0,046	3,003	0,046
3,500	2,904	0,046	2,979	0,046
3,600	2,878	0,045	2,954	0,045
3,700	2,851	0,045	2,929	0,045
3,800	2,824	0,045	2,904	0,045
3,900	2,797	0,045	2,879	0,045
4,000	2,770	0,045	2,854	0,045
4,100	2,743	0,045	2,829	0,045
4,200	2,716	0,044	2,804	0,044
4,300	2,689	0,044	2,779	0,044
4,400	2,662	0,044	2,754	0,044
4,500	2,635	0,044	2,729	0,044
4,600	2,608	0,044	2,704	0,044
4,700	2,581	0,043	2,679	0,043
4,800	2,554	0,043	2,654	0,043
4,900	2,527	0,043	2,629	0,043
5,000	2,500	0,043	2,604	0,043
5,100	2,473	0,043	2,579	0,043
5,200	2,446	0,042	2,554	0,042
5,300	2,419	0,042	2,529	0,042
5,400	2,392	0,042	2,504	0,042
5,500	2,365	0,042	2,479	0,042
5,600	2,338	0,042	2,454	0,042
5,700	2,311	0,041	2,429	0,041
5,800	2,284	0,041	2,404	0,041
5,900	2,257	0,041	2,379	0,041
6,000	2,230	0,041	2,354	0,041
6,100	2,203	0,041	2,329	0,041
6,200	2,176	0,040	2,304	0,040
6,300	2,149	0,040	2,279	0,040
6,400	2,122	0,040	2,254	0,040
6,500	2,095	0,040	2,229	0,040
6,600	2,068	0,040	2,204	0,040
6,700	2,041	0,039	2,179	0,039
6,800	2,014	0,039	2,154	0,039
6,900	1,987	0,039	2,129	0,039
7,000	1,960	0,039	2,104	0,039
7,100	1,933	0,039	2,079	0,039
7,200	1,906	0,038	2,054	0,038
7,300	1,879	0,038	2,029	0,038
7,400	1,852	0,038	2,004	0,038
7,500	1,825	0,038	1,979	0,038
7,600	1,798	0,038	1,954	0,038
7,700	1,771	0,037	1,929	0,037
7,800	1,744	0,037	1,904	0,037
7,900	1,717	0,037	1,879	0,037
8,000	1,690	0,037	1,854	0,037
8,100	1,663	0,037	1,829	0,037
8,200	1,636	0,037	1,804	0,037
8,300	1,609	0,036	1,779	0,036
8,400	1,582	0,036	1,754	0,036
8,500	1,555	0,036	1,729	0,036
8,600	1,528	0,036	1,704	0,036
8,700	1,501	0,036	1,679	0,036
8,800	1,474	0,036	1,654	0,036
8,900	1,447	0,035	1,629	0,035
9,000	1,420	0,035	1,604	0,035
9,100	1,393	0,035	1,579	0,035
9,200	1,366	0,035	1,554	0,035
9,300	1,339	0,035	1,529	0,035
9,400	1,312	0,035	1,504	0,035
9,500	1,285	0,035	1,479	0,035
9,600	1,258	0,034	1,454	0,034
9,700	1,231	0,034	1,429	0,034
9,800	1,204	0,034	1,404	0,034
9,900	1,177	0,034	1,379	0,034
10,000	1,150	0,034	1,354	0,034
10,100	1,123	0,034	1,329	0,034
10,200	1,096	0,034	1,304	0,034
10,300	1,069	0,033	1,279	0,033
10,400	1,042	0,033	1,254	0,033
10,500	1,015	0,033	1,229	0,033
10,600	988	0,033	1,204	0,033
10,700	961	0,033	1,179	0,033
10,800	934	0,033	1,154	0,033
10,900	907	0,032	1,129	0,032
11,000	880	0,032	1,104	0,032
11,100	853	0,032	1,079	0,032
11,200	826			

4 construcción

Programa de la obra

El obstáculo principal contra el que hubo que luchar fue el plazo tan estricto con que se contaba para la construcción: menos de 15 días. Así, pues, su realización requirió trabajar intensamente e incluso durante la noche.

El plan de construcción, día a día, fue el siguiente:

Días 19 al 24 mayo.	Preparación en taller del encofrado.
Días 25 al 26 mayo.	Colocación camones interiores.
Días 27 al 28 mayo.	Clavado de las tablas interiores.
Días 29 al 30 mayo.	Colocación de la ferralla.
Días 31 al 1 junio.	Armado de los camones exteriores con las tablas y colocación de los inferiores.
Día 2 junio.	Hormigonado durante 24 horas.
Días 3 al 4 junio.	Curado mediante lámina de polietileno.
Día 5 junio.	Desencofrado.
Día 6 junio.	Altar y escaleras provisionales.

Encofrado

Dispuesto el entramado tubular, se colocó el encofrado, compuesto, fundamentalmente, de una espina central que definía la directriz, sobre la cual se acoplaron los 29 camones, a 60 cm de separación, que definían la superficie interior (11, 12, 13 y 14). Entre camones se clavaron una serie de listones, para recibir a su vez las tablas que completaban el encofrado. Las tablas que se colocaron eran de 10 cm de anchura y 14 mm de espesor en la zona con radio de curvatura transversal mayor de 4 m. En la zona con radio de curvatura transversal menor de 4 m hubo que utilizar dos capas de tablas de 7 mm de espesor, y en la zona con radio de curvatura de 2,50 m fue necesario disminuir el ancho de la tabla a 5 centímetros.

Para esta última zona hubo que emplear tablas de pino Balsaín, y mantenerlas, antes de clavar, varias horas en agua. En total, se trazaron y cortaron más de 250 tablas, de longitudes distintas y con anchura variando parabólicamente desde el centro a los extremos (15, 16 y 17).

El encofrado exterior exigió su despiece en varios tramos e ir colocándolos según se iba hormigonando, dada la forma de la lámina.

Ferralla

La colocación de la armadura precisó un gran esfuerzo, debido a que, al ser cada barra de distinta longitud y curvatura, no dio tiempo a prepararlas en taller y hubo que ir adaptándolas al trazado «in situ». Esto requirió el uso intenso de separadores y de anclajes, a pesar de lo cual, una vez montada una de las capas, se escapó de los anclajes, costando gran trabajo volverla a llevar a su posición (18 y 19).

Hormigón

Se utilizó un hormigón fabricado con cemento blanco REZOLA, arena de cuarzo de Segovia, y áridos rodados silíceos. La resistencia necesaria era de 200 kp/cm² a los 3 días, para lo cual se efectuaron con anterioridad pruebas de probetas moldeadas con distintas dosificaciones. Las resistencias de las probetas hechas durante la obra y conservadas a la intemperie fue de 190 kp/cm² en el momento de desencofrar.



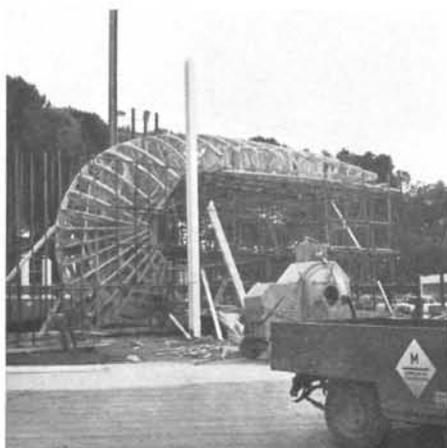
11



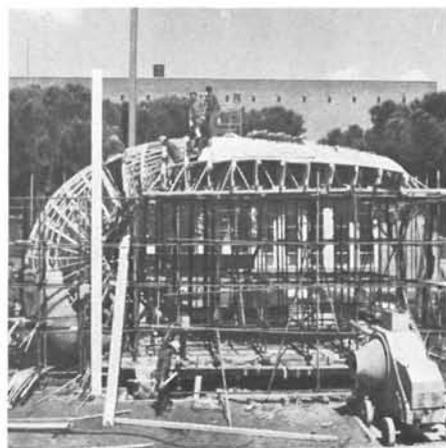
12



13



14



15



16



17



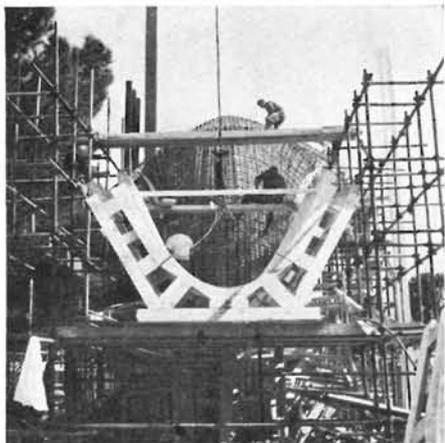
18



19

Puesta en obra del hormigón

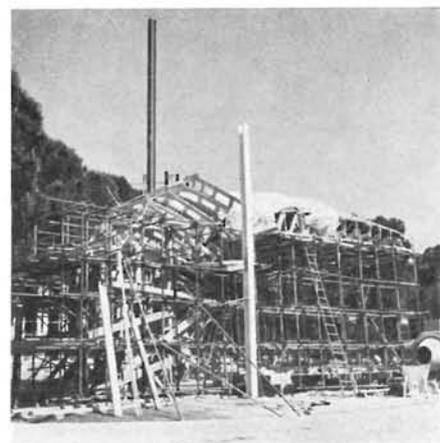
La puesta en obra se realizó mediante una grúa sobre camión, que alcanzaba todos los puntos de la lámina. Dicha grúa se usó también para colocar el encofrado exterior (20 y 21). La colocación de este encofrado exterior resultó muy laboriosa, exigiendo la colocación de un entramado metálico tubular para acodar el encofrado y resistir las presiones del hormigón fresco (22).



20

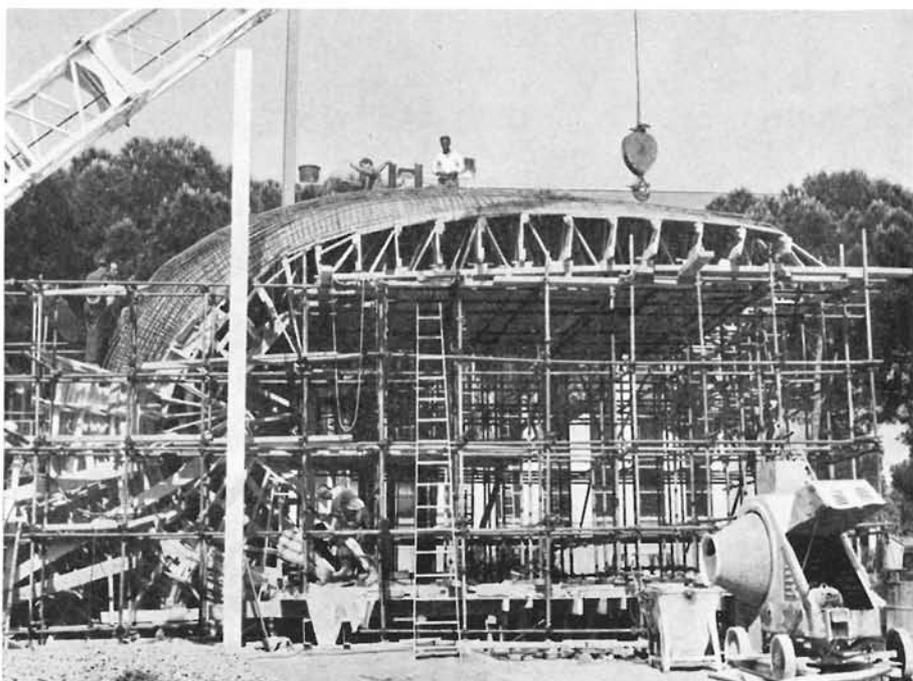


21



23

Fotos: BENJAMIN GUTIERREZ



22

fases de construcción

El hormigón se sometió a un enérgico vibrado para evitar coqueras que produjesen un aspecto poco estético. Al final del hormigonado se tapó con lámina de polietileno para acelerar el fraguado (fig. 23).

Desencofrado

El desencofrado se llevó a cabo a los 3 días de edad del hormigón y con una resistencia de 190 kp/cm^2 . Se colocaron escalillas graduadas en los puntos singulares para observar el comportamiento, siendo la flecha en la punta de 12 cm. La cara interior salió perfectamente, pero en la exterior aparecieron algunas coqueras.

Acabado de superficie

La superficie interior se ha dejado con la textura de la tabla; pero la exterior, debido, por una parte, a que ya existía una diferencia entre la zona que tuvo encofrado exterior y la más plana, hormigonada sin encofrado, y, por otra, a que después aparecieron algunas coqueras, se ha tratado con martillina neumática, con lo que la lámina acabada acusa el diferente tratamiento de sus superficies interior y exterior.

R. FERNANDEZ, Ingeniero de Caminos

Morphogènese d'un voile mince à Costillares - Espagne

Architecture: F. Cassinello
Structure: J. A. Torroja
Géométrie: F. Morán
Construction: R. Fernández

Cet article explique le projet et la construction, à l'Institut Eduardo Torroja, de Madrid, d'un voile mince en béton armé, dont la forme essentielle s'inspire de l'élément le plus caractéristique de cet Institut: la côte. Ce voile sert à la fois de couverture d'un espace architectural pour la célébration de diverses manifestations et de monument structural.

Morphogenesis of a shell at Costillares - Spain

Architecture: F. Cassinello
Structure: J. A. Torroja
Geometry: F. Morán
Construction: R. Fernández

This article explains the design and construction, at the Institute Eduardo Torroja, Madrid, of a reinforced concrete shell, whose basic pattern was inspired by the most characteristic architectural feature of this Institute, the «Rib». This structure serves both as the roof of an architectural space suitable for holding various types of events and as a structural monument.

Bau einer Schale - Spanien

Architektur: F. Cassinello
Konstruktion: J. A. Torroja
Geometrie: F. Morán
Ausführung: R. Fernández

In diesem Beitrag werden Entwurf und Ausführung einer im Madrider «Instituto Eduardo Torroja» geschaffenen Stahlbetonschale beschrieben, welche sich gestalterisch grundlegend nach dem kennzeichnendsten Bauelement des genannten Institutes —die Rippe— richtet, sodass sie sowohl als Überdachung eines umbauten vorgesehenen Grossraumes für verschiedenartige Veranstaltungen und auch als struktureller Meilenstein gelten kann.