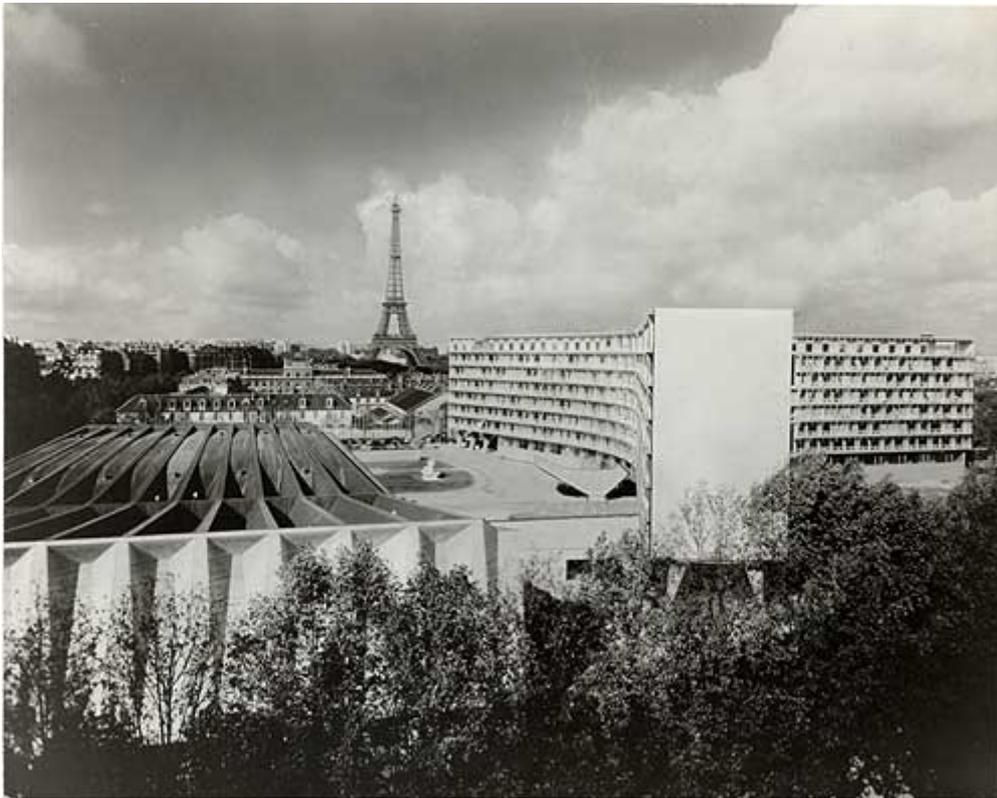
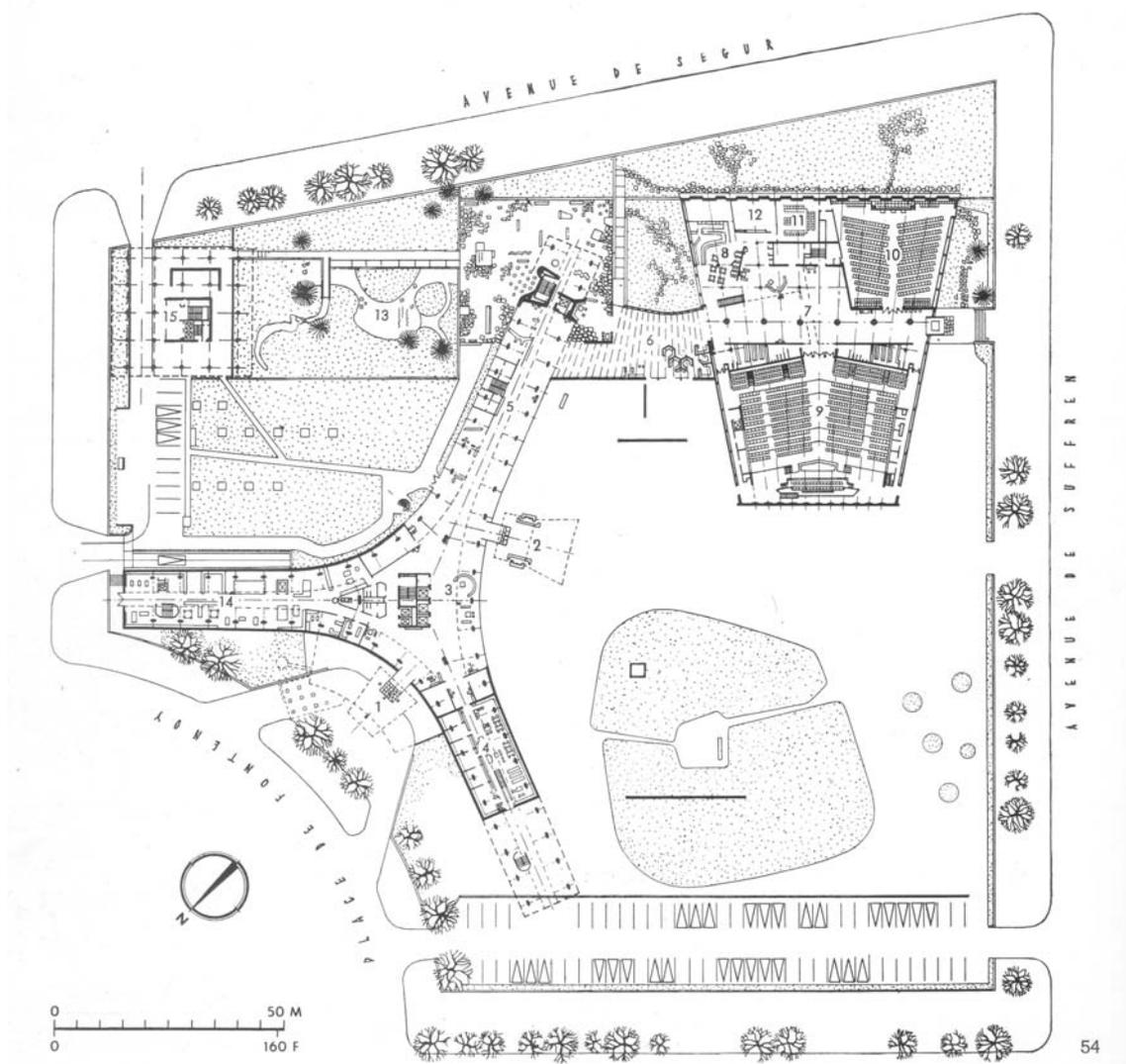


## **SEDE DE LA UNESCO. PARÍS, 1953-58**

**Marcel Breuer y Bernard Zehrfuss con la colaboración de Antonio y Pier Luigi Nervi.**



Se trata de un conjunto formado básicamente por dos edificios y las construcciones anexas y de conexión entre ellos. El edificio del Secretariado es un bloque de forma de "Y" en planta, con siete pisos levantados sobre pilotes. El de la sala de asambleas tiene una planta en forma de trapecio; su estructura portante está resuelta a base de muros sobre los que se apoya la cubierta de hormigón armado. Tanto los muros como la cubierta son ciegos, sin aberturas, y son en forma de lámina plegada para aumentar la estabilidad y reducir el espesor que requieren las grandes luces.



Según el propio Nervi, el diseño de todo el conjunto estuvo siempre sometido a la guía de la construcción y a las exigencias estáticas. De manera que cada elemento adaptara su forma a la función que debía desempeñaren cada momento.

### ***La forma de los pilares del secretariado***

Los pilares del secretariado, por ejemplo, tienen una forma que se adapta a su comportamiento estructural. La base es una elipse, cuyo eje mayor se dispone paralelo al edificio y la parte superior es un rectángulo muy alargado en el sentido del pórtico (transversal al bloque) para recoger el tablero del forjado del primer piso.



Pilares y forjado de soporte del edificio del secretariado.

Esta disposición de elementos, invertida respecto de la lógica de las estructuras que trabajan por gravedad, es propia de estructuras que funcionan a flexión, como las de hormigón armado. Pero no responde sólo a requerimientos de estabilidad, sino que también obedece a valores estéticos. Es inevitable hacer una referencia a los diseños de muebles de los años cincuenta, sobretodo de estanterías, armarios, sillas y, en general, muebles con patas<sup>1</sup>; en ellos podemos encontrar ejemplos de patas parecidas a los pilares del Secretariado.



Tres muebles de Giò Ponti que responden a la misma idea estructural y plástica que los pilares del Secretariado.

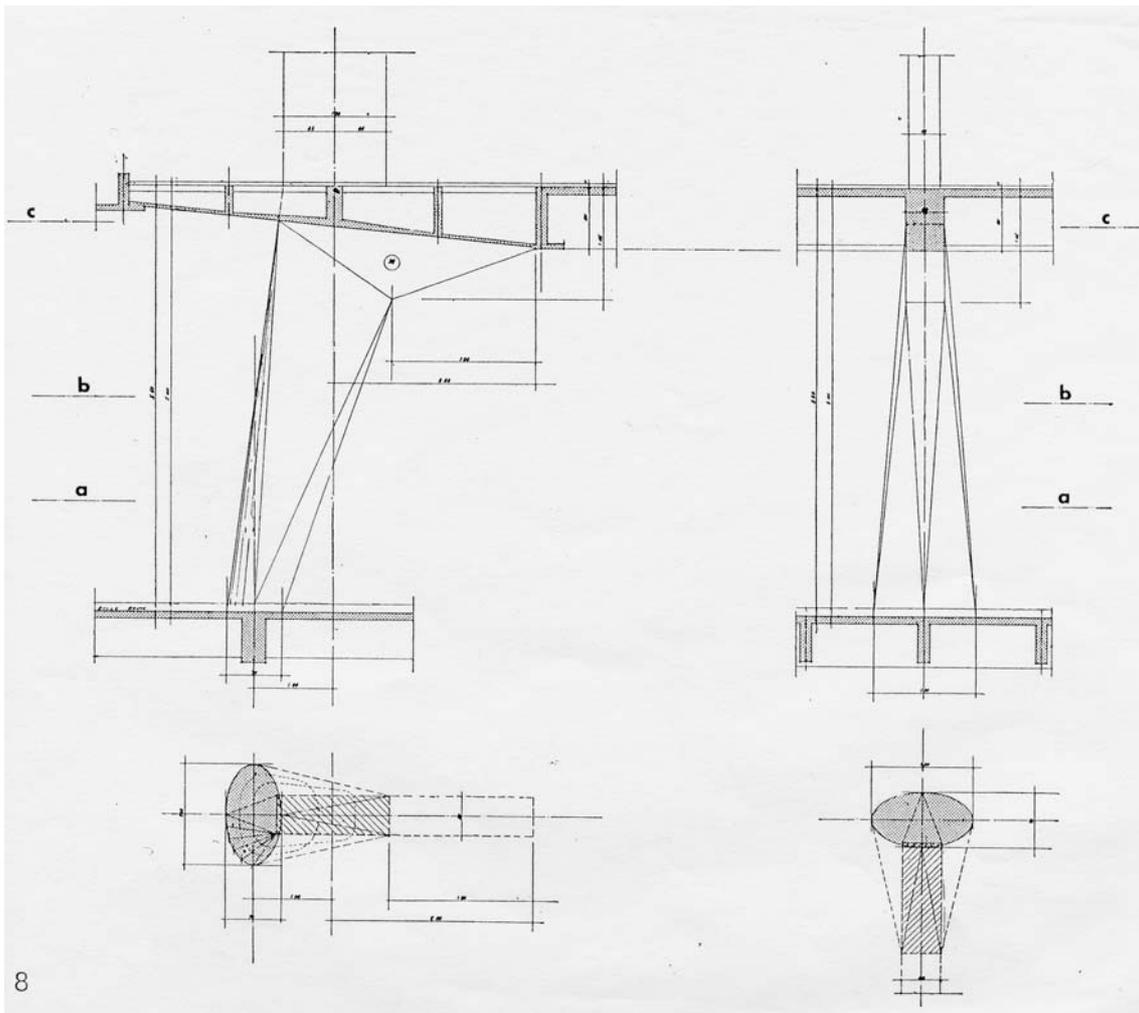
<sup>1</sup> No hay que olvidar que Marcel Breuer destacó, como otros muchos arquitectos de esos años, por sus diseños de muebles, como los del Italiano Giò Ponti, en las imágenes.

Este parecido tan evidente, que podría ser sólo una curiosidad, hace pensar en que el diseño de los elementos en arquitectura no escapa de un gusto por una cierta estética propia del tiempo en que se produce. Tampoco es de extrañar que un diseñador de mobiliario como Marcel Breuer participara del gusto de una misma estética en el diseño de sus edificios.

El hormigón armado hizo posible construir un pilar que hiciera sólido el planteamiento estructural de partida, puesto que el sistema de encofrados de madera permite formar superficies curvas a partir de tablas rectas. Esta técnica constructiva que usa un elemento provisional, el encofrado, da la posibilidad, además, de repetir elementos idénticos de las formas más sofisticadas. La dificultad de un solo encofrado se compensa con la posibilidad de su reutilización: sólo cuatro encofrados se utilizaron para construir los más de 70 pilares del edificio.

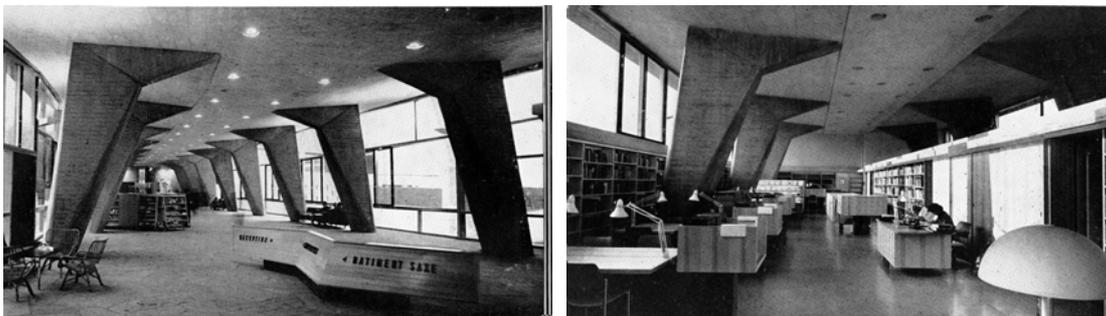
### **Geometría del pilar**

La sección elíptica de la base está en un plano horizontal. La sección en el capitel es un rectángulo en un plano inclinado para recoger mejor los empujes del pórtico. Desde este rectángulo sigue una pieza prismática de capitel hasta el forjado, con el cual entrega también en un plano inclinado. El forjado tiene la cara inferior inclinada hacia el centro del edificio, con lo que la arista visible desde la fachada acaba siendo muy esbelta.



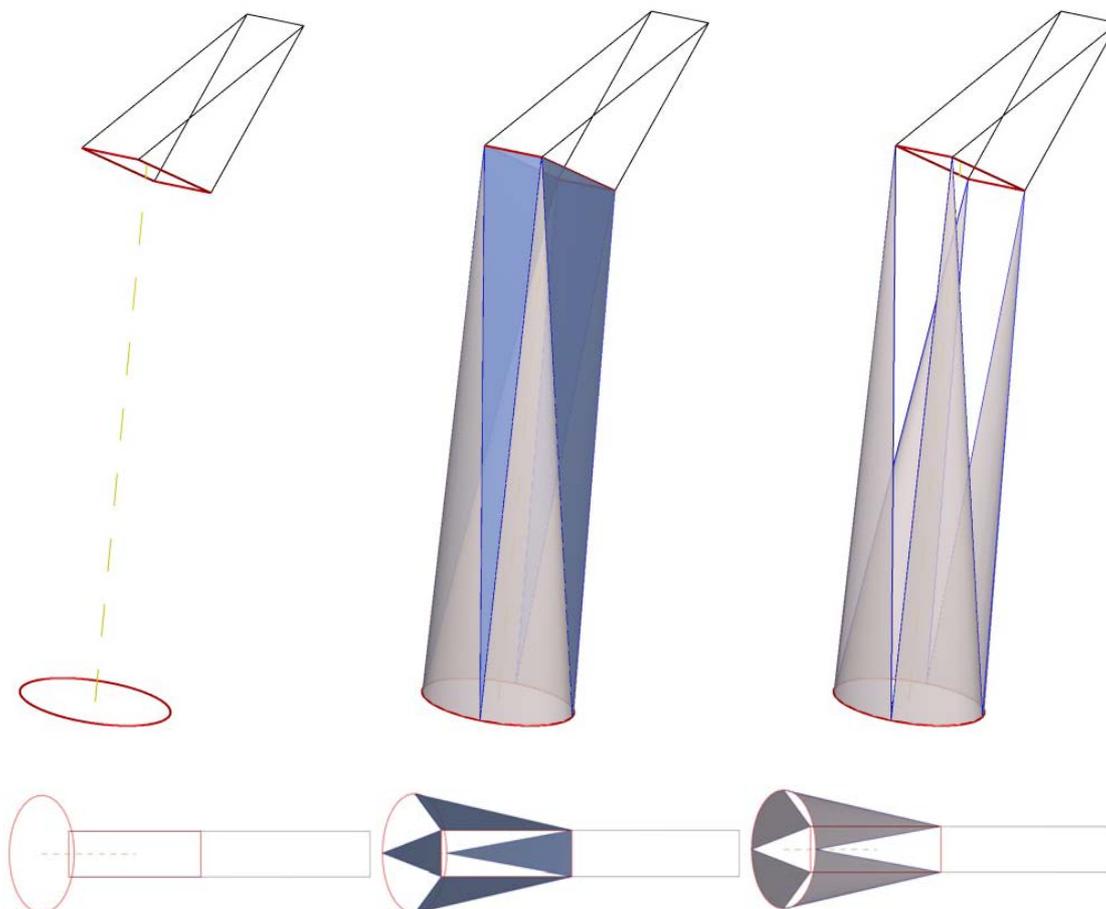
Dibujo diédrico de los pilares. En la planta se han dibujado algunas secciones horizontales intermedias del fuste.

Los pilares están concebidos como los pies del edificio y su forma y disposición libera la distribución de la planta baja y la colocación del cierre de fachada, siguiendo las premisas de la arquitectura moderna.



A partir de las dos secciones extremas del pilar, y con una disposición inclinada de su eje longitudinal, se plantea el problema de la transformación de la forma elíptica a la forma rectangular.

La superficie del fuste se resuelve planteando unas aristas longitudinales entre la elipse de la base y el rectángulo inclinado del capitel. De este modo una parte de la superficie del pilar queda formada por caras planas, con lo cual, las caras curvas, reducidas a lo imprescindible, resultan fácilmente controlables. De hecho, esas caras curvas vienen definidas por el conjunto de rectas dispuestas entre un arco de un cuarto de elipse y uno de los cuatro vértices del rectángulo. Por lo tanto se trata de simples conos. Conos de directriz recta elipse y, por consiguiente, escalenos.



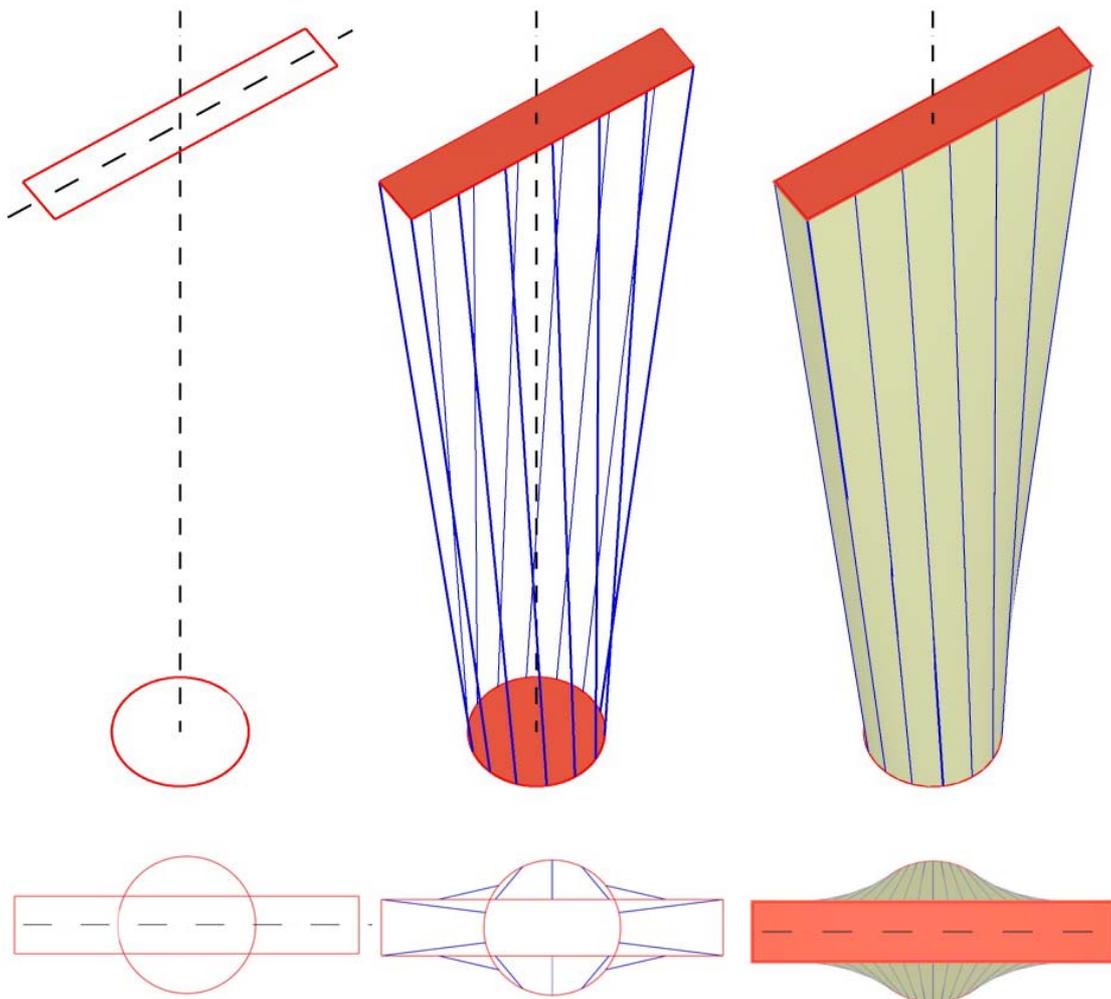
La secuencia de imágenes en planta da una imagen sintética de la construcción geométrica de este fuste.

### ***Pilares de la sala de asambleas***

Los seis pilares centrales de la sala de asambleas son también un ejemplo de cambio de sección. La base es un círculo y el capitel un rectángulo muy alargado con una proporción de seis a uno) que adapta su forma a las nervaduras de la losa plegada que forma la cubierta de este edificio. Con esta figura cambiante estos pilares siguen los principios de los pilares del secretariado, que se han descrito antes: un pie que busca un solo punto de apoyo y un capitel dispuesto en la dirección de los momentos flectores más importantes.

La solución de la transformación entre estas dos secciones extremas es diferente a aquella que se ha planteado en el secretariado. Aquí no se ha querido ni marcar unas aristas longitudinales ni construir ninguna cara plana, sino que se ha pretendido la máxima continuidad tanto en sentido vertical como en sentido transversal, con lo que se disuelve al máximo la idea de dirección predominante.

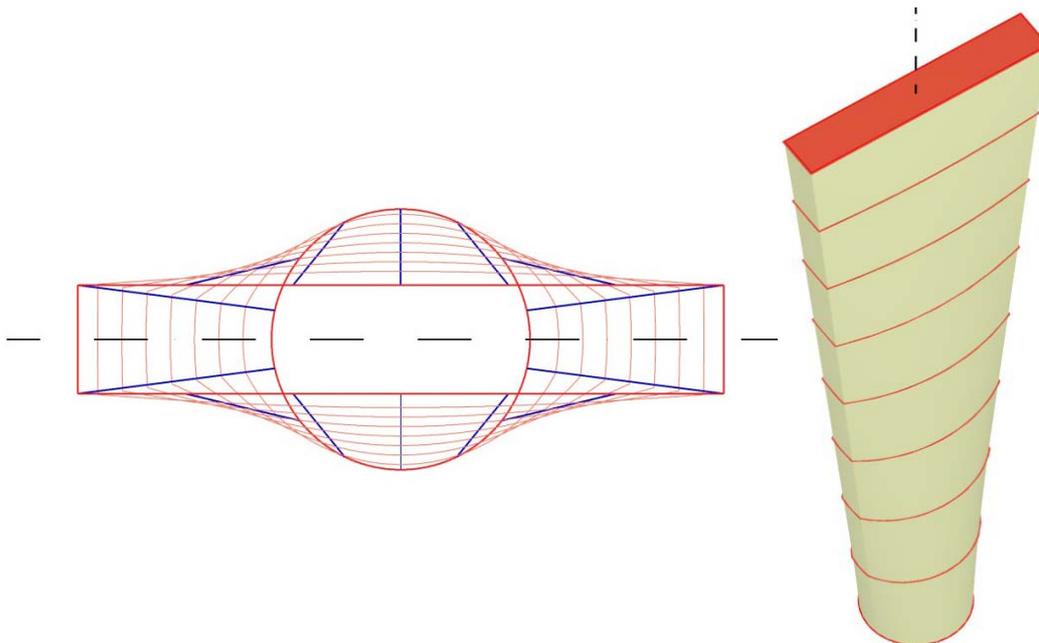
La manera de conseguir esta conversión de una forma tan alargada en una forma central como la circunferencia ha sido dividir la longitud total de ambas secciones extremas en el mismo número de partes iguales. Al tratarse de un rectángulo de 6:1, su perímetro se puede dividir en 14 segmentos iguales. El círculo se divide en el mismo número de segmentos y de esta manera se puede resolver el fuste de manera que a cada lado menor del capitel le corresponde uno de estos segmentos mientras que a cada lado mayor le corresponden seis; entre estos se forma una superficie alabeada reglada.



Esta distribución de la superficie por fragmentos se manifiesta en la huella del listonado que el encofrado ha dejado, que se identifica con el reglado de la superficie que cubre esta transición entre la silueta recta y la curva.



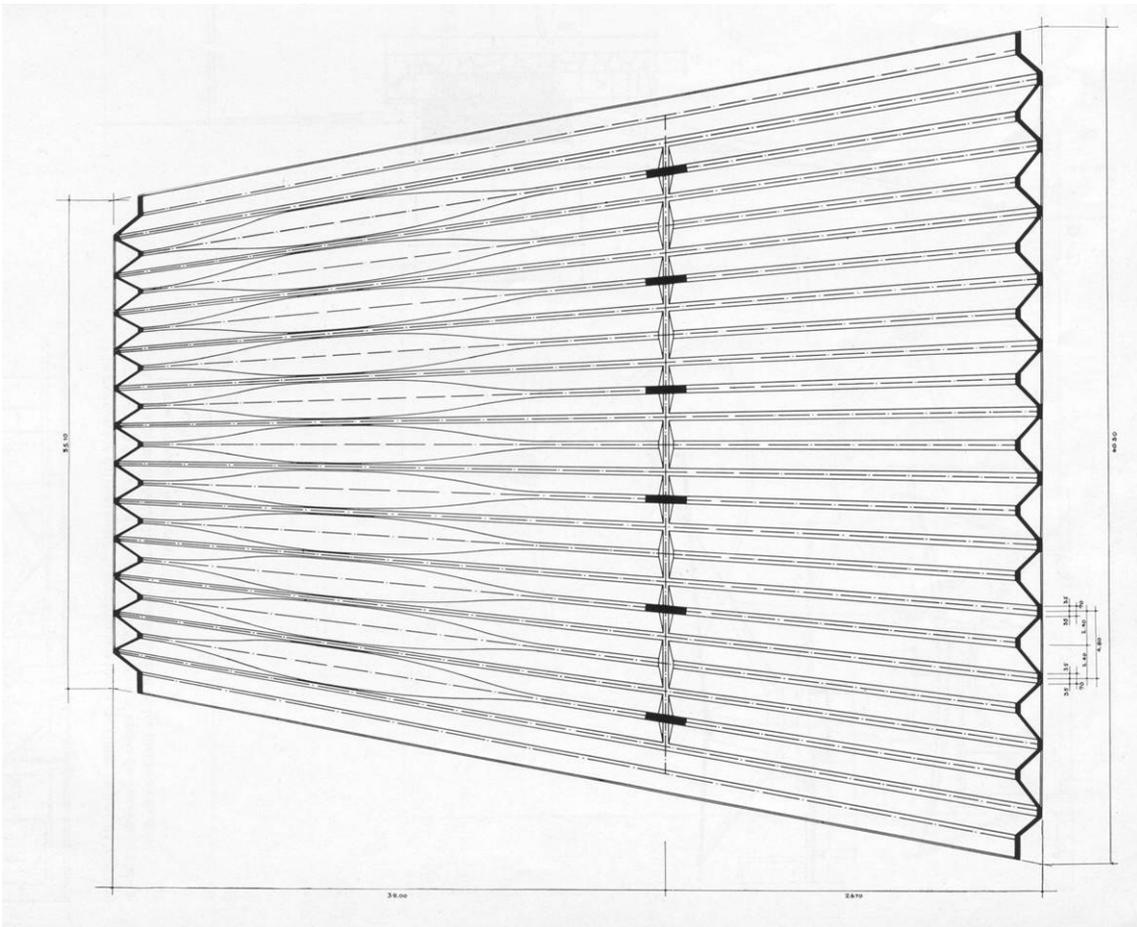
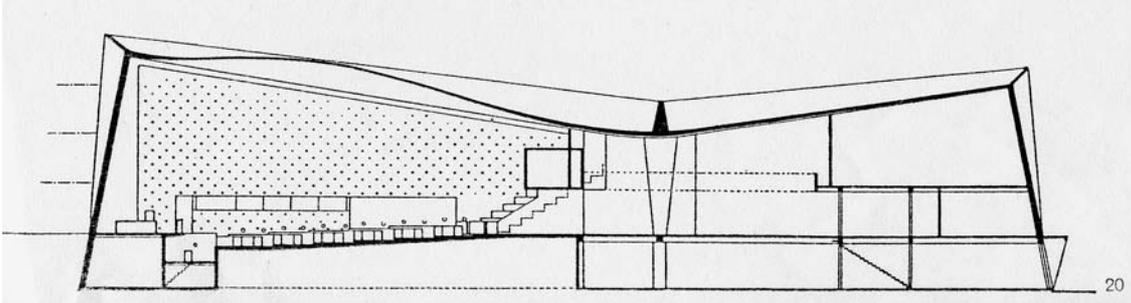
El pilar en construcción muestra también el rastro de los diferentes vertidos sucesivos que corresponden a los tramos en que se ha tenido que fragmentar el encofrado, por secciones transversales.



Planta y axonometría del pilar descrito por sus secciones transversales, como un plano de formas.

### ***La forma de la cubierta de la sala de asambleas***

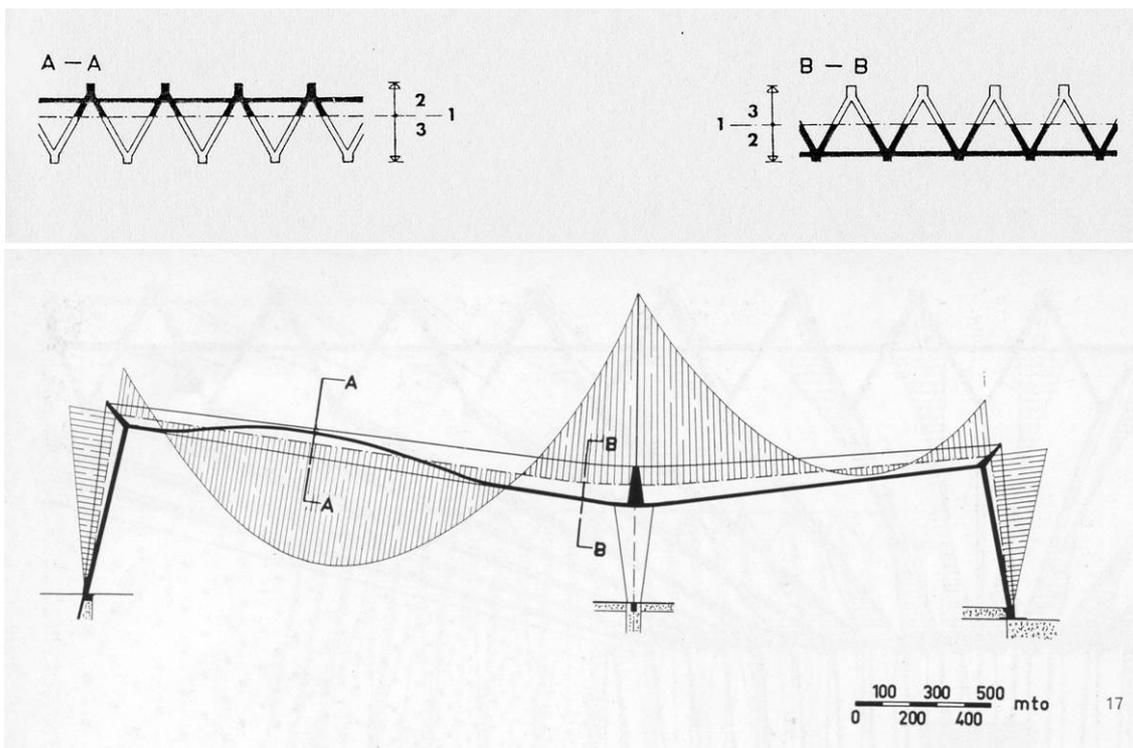
La planta del pabellón es trapezoidal y la estructura de la cubierta se plantea en el sentido largo entre las bases del trapecio. De manera que la disposición de las “vigas” es en forma de abanico.



Planta y sección del edificio.

Esta cubierta es un caso paradigmático de lámina plegada. La superficie de hormigón se diseñó con una sección transversal en zigzag. Esta estructura formal por sí sola ya dota a la superficie laminar de mucha más estabilidad ante las cargas, ya que dispone el material en el sentido de mayor inercia: casi paralelo al peso, pero sin perder la continuidad que da estabilidad a la losa en sentido transversal.

Sin embargo la extremada esbelteza de la placa ondulada que se proponía no habría sido posible sin la colaboración de un segundo elemento: otra lámina transversal que rigidiza el conjunto. Esta lámina de hormigón se dispone en horizontal y se va desplazando a las zonas donde hay mayor compresión (arriba, en el centro de la luz, y abajo cerca de los empotramientos).



Sección longitudinal superpuesta al diagrama de momentos. Arriba secciones transversales.

El resultado, en conjunto, es un forjado de vigas de sección triangular, vigas prismáticas cambiantes que disponen una arista hacia el lado de las tracciones y una cara horizontal hacia el lado de las compresiones.

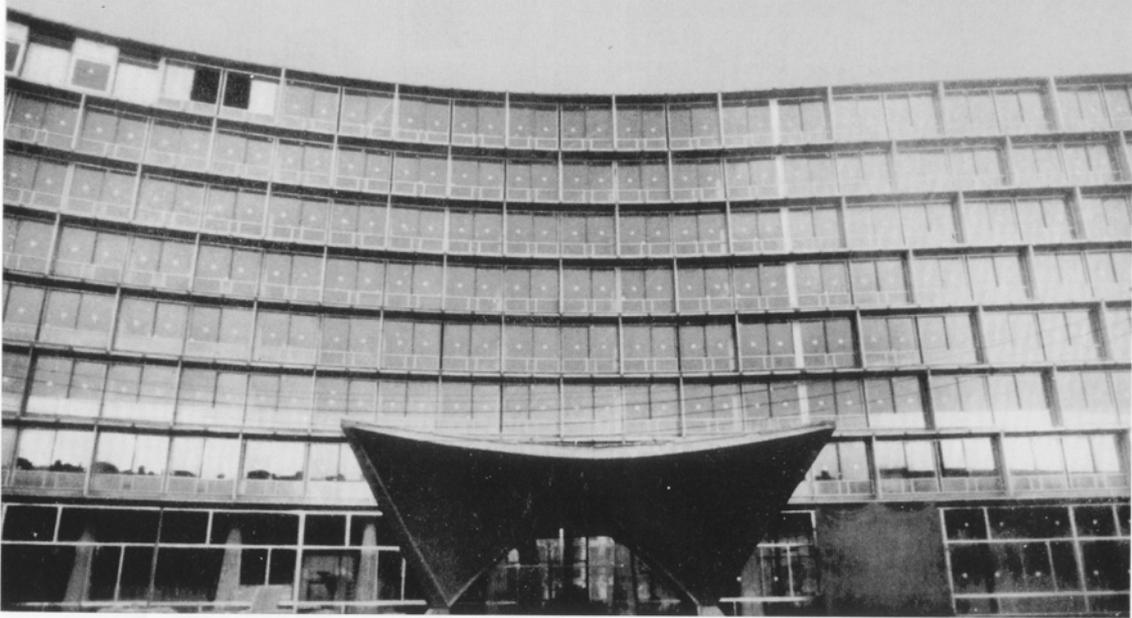


Vistas de la cubierta durante y después de la construcción.

Por otro lado, el movimiento de esta segunda lámina de trabazón sigue una onda que crea, precisamente en el techo de la sala de asambleas, una concavidad que favorece su acústica.

### ***Marquesina de acceso peatonal en el lado sudoeste***

En el lado sudoeste del edificio del secretariado, se colocó una marquesina que significaba la entrada al edificio. Este elemento exento era una buena excusa para la experimentación formal. Es un ejemplo del uso del hormigón armado en una forma mucho más libre. Pero no se trata de un elemento escultórico. Como marquesina de entrada tiene una carga simbólica y funcional especial que singulariza el punto de acceso pero también ritualiza la acción de entrar en el edificio.



Vista de la marquesina de acceso al Secretariado.



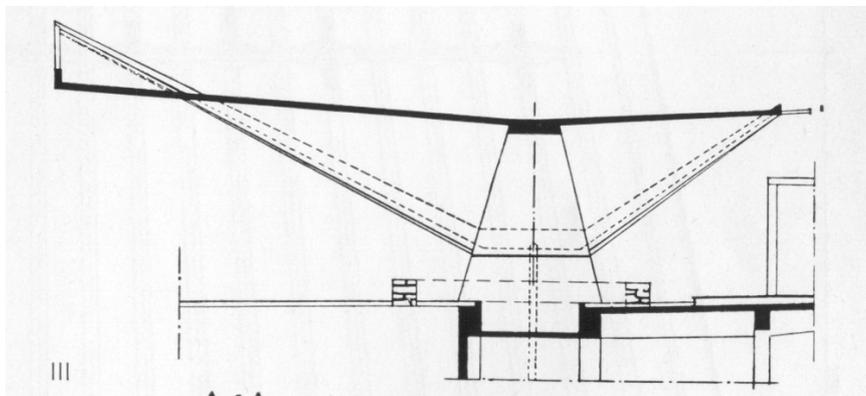
Vista de la marquesina de acceso al Secretariado.

Su fuerza expresiva no se confía a la decoración –como habría sido en el siglo anterior- sino que se confía a la propia forma. Se trata de un buen ejemplo de coordinación entre geometría y comportamiento estructural. Aquí, como en tantos otros casos, la forma se ajusta a las tensiones, y la delgadez de la lámina es la mejor comprobación de ello. La losa llega a los 6 cm en los extremos de los voladizos y en la parte central tiene sólo el doble.

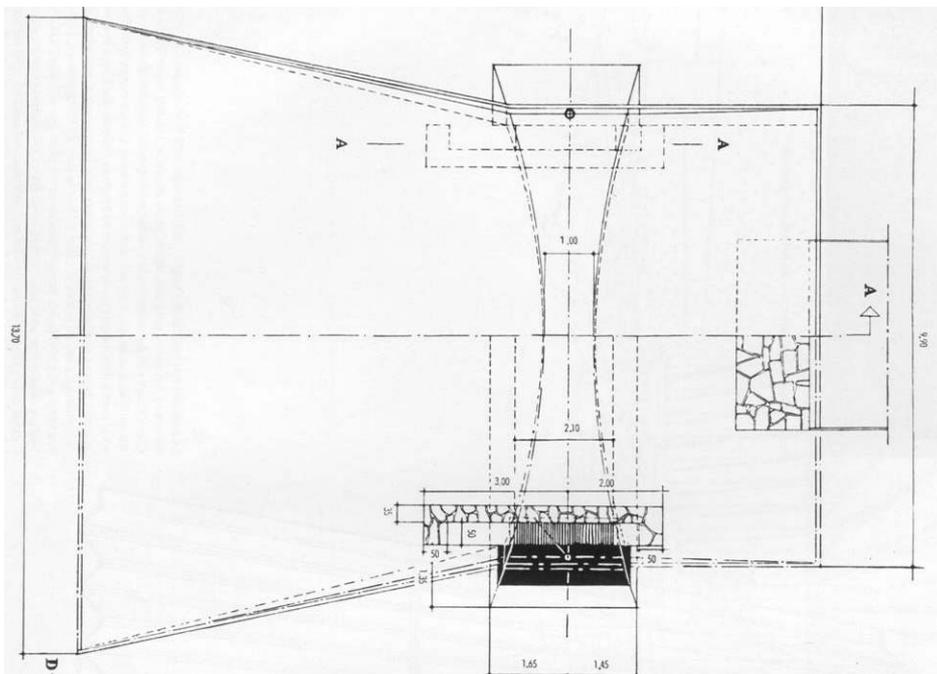
### ***Geometría de la marquesina***

Un segmento de la bóveda cilíndrica, de directriz parabólica, limitado por dos planos inclinados no paralelos, sujeta los dos voladizos. Uno de ellos queda abierto al edificio del secretariado, al cual ofrece una arista recta horizontal. El otro, abierto hacia afuera, al sudoeste, se dobla levantando los extremos hacia arriba y describiendo una parábola de plano vertical, con el vértice hacia abajo. Esta vuelta al revés de la curvatura ofrece una mayor estabilidad gracias precisamente a la forma.

Entre cada parábola extrema del arco portante y su correspondiente línea terminal del voladizo –recta y parábola invertida- se definen dos superficies regladas.



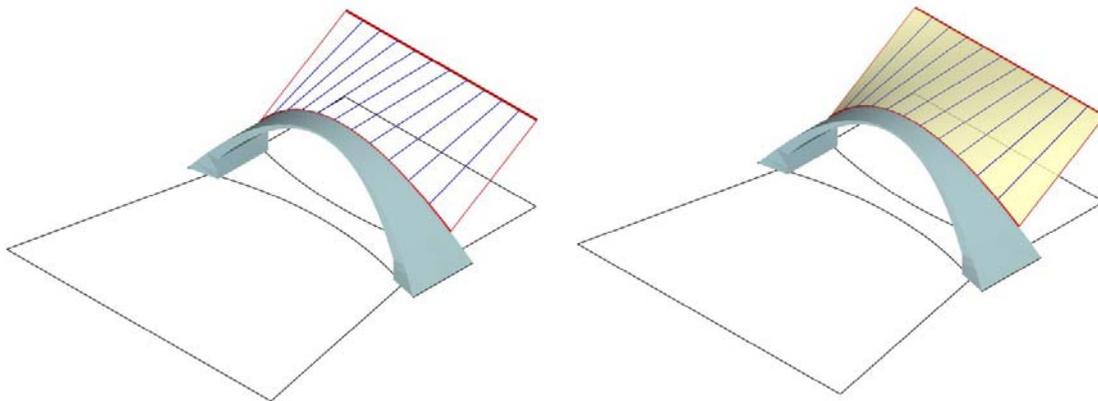
Sección longitudinal de la marquesina.



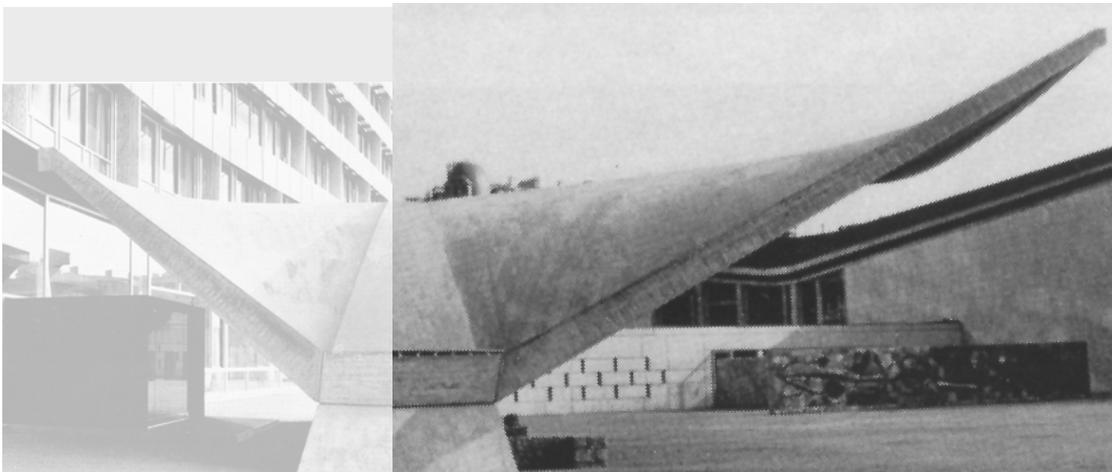
Planta de la marquesina.



El voladizo hacia la fachada del Secretariado es un conoide con las tres directrices bien definidas: una parábola en el arco de soporte, una recta de igual envergadura que la parábola, y un plano vertical al que son paralelas todas las generatrices. Según las clasificaciones clásicas de las superficies regladas se trata pues de un conoide recto cuya directriz curva es una parábola.

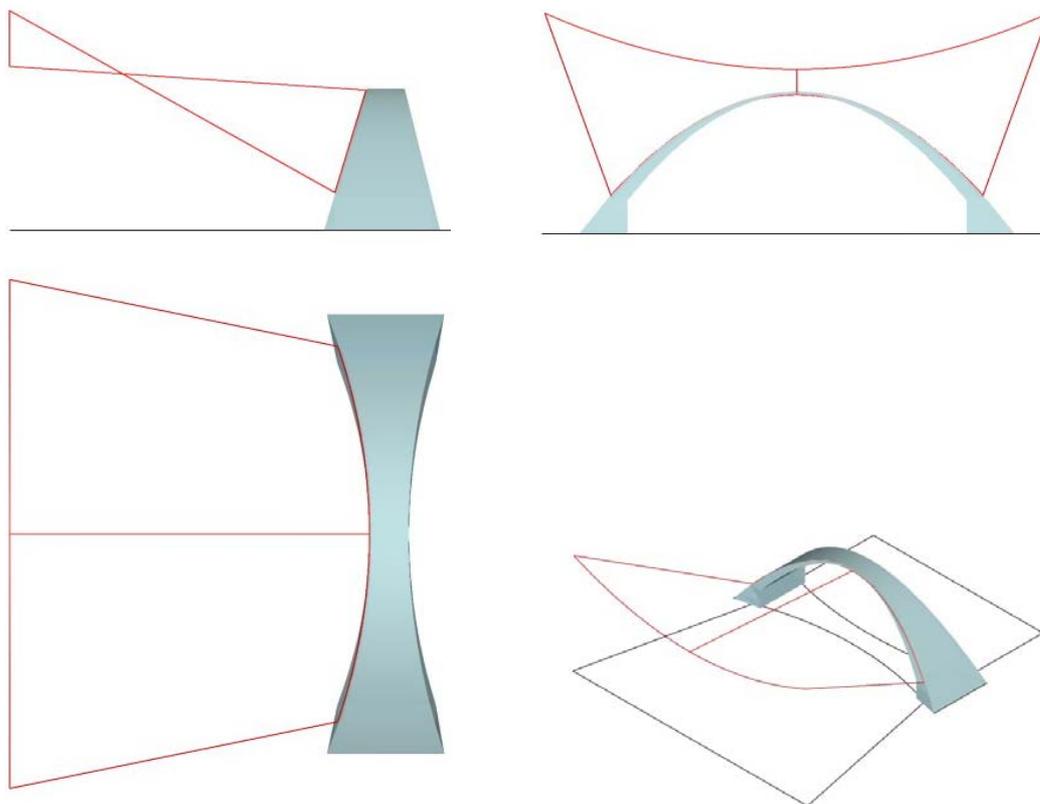


La otra lámina es algo más sofisticada. En ella se plantea la superficie reglada entre la directriz parábola del arco y una parábola invertida en el extremo del voladizo.

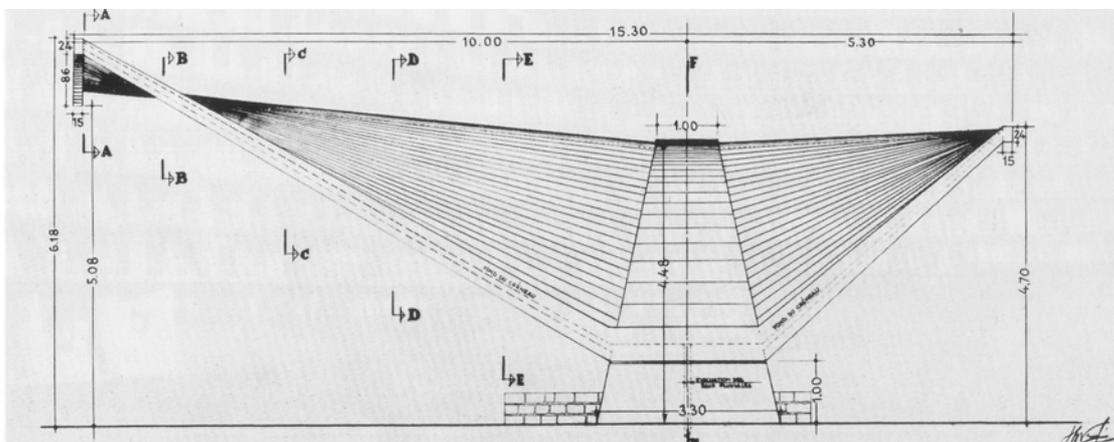


Esta segunda curva tiene mayor envergadura que la primera por consiguiente las rectas generatrices no podrán ser paralelas a ninguna orientación del espacio, es decir, que no será una reglada de plano director. Sí que tiene, en cambio, un plano vertical de simetría y las dos aristas extremas son rectas generatrices.

Una vez fijadas estas dos generatrices extremas y el punto en el espacio donde se encuentran, cualquier familia de planos cuya recta común pasara por ese punto determinaría un haz posible de rectas generatrices.

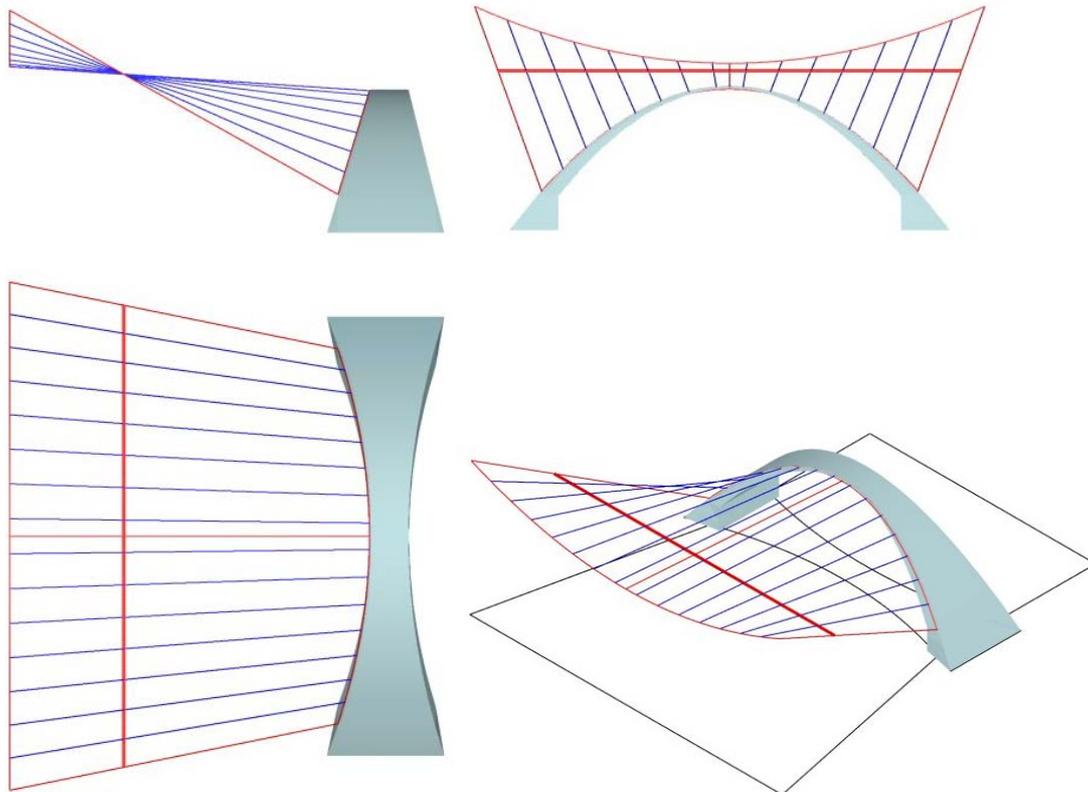


Sin embargo, hay que tener en cuenta un dato más: en los dibujos de Nervi para este proyecto, en los alzados laterales - donde las dos parábolas extremas quedan en planos proyectantes -, se expresa claramente que las proyecciones de todas las generatrices de la superficie tienen un mismo punto de coincidencia. Este particular dato implica que esas generatrices pasan por una directriz recta horizontal. Si no fuera así la superficie haría una inflexión en el plano de simetría, es decir, un corte transversal por el plano de coincidencia daría una forma de curva doble.



Alzado donde se dibujan las líneas del reglado de la superficie.

En consecuencia, es lógico suponer que las dos directrices que determinan la superficie son la parábola del arco de soporte y esa recta horizontal. La curva parabólica del extremo del voladizo podría ser solamente la prolongación de las generatrices hasta ese plano vertical. Con esto, la superficie se ajusta a la definición de superficie alabeada reglada, del tipo de los conoides.



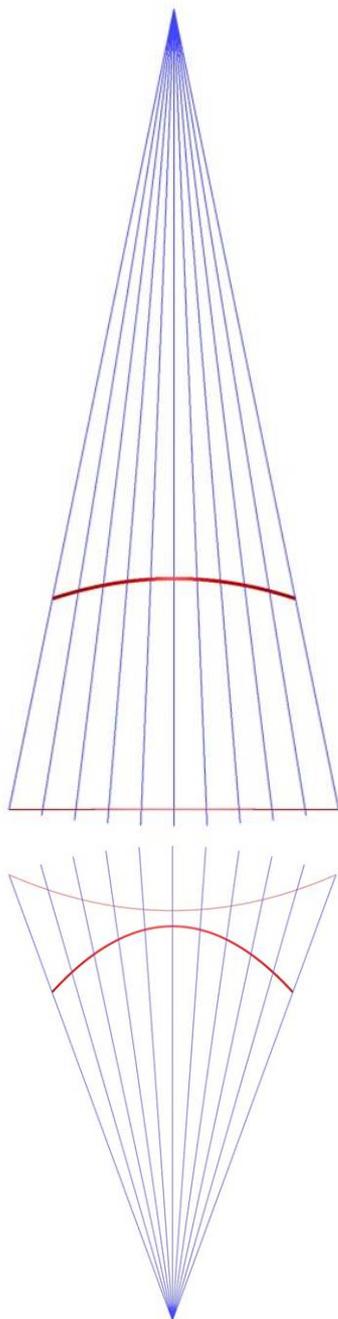
A partir de estas dos líneas de partida sólo faltaría definir la tercera directriz de la superficie reglada. Es decir, la ley que define la familia de rectas generatrices. Las generatrices son rectas que unen un punto de una directriz con otro de otra directriz. Lo que puede variar es el criterio de selección de estas parejas de puntos. Pero esta ley puede ser una tercera directriz puesto que las rectas que cortan tres líneas del espacio no coplanarias son únicas. Por tanto la curva del extremo del voladizo puede ser esta tercera línea que definiría la superficie.

De hecho, el modelo representado en el dibujo anterior reproduce la construcción de la superficie reglada a partir de las dos curvas extremas fijadas y la familia de planos que tienen la directriz de punta como recta común. Estos planos se cortarían con las dos parábolas en sendos puntos que definirían cada una de las generatrices.

Pero podría ser otra la generación de la superficie: la construcción del encofrado podría hacerse por reparto equidistante del listonado sobre el arco parabólico, por un lado, y sobre una biga recta en la posición de la directriz rectilínea. Esta sería otra ley que no sigue un principio puramente geométrico sino con arreglo a criterios de lógica constructiva.

En cualquier caso, y a falta de la información sobre el proceso constructivo concreto que finalmente se ejecutó, la solución según la cual las generatrices quedan definidas por un haz de planos verticales, como en el siguiente dibujo, o bien por un haz de planos de canto, no se ajusta a lo que se ha construido ni tampoco a lo que se defina en los dibujos del proyecto.

El problema tridimensional queda simplificado en el dibujo diédrico, tal como se analiza el edificio en el texto teórico de geometría descriptiva<sup>2</sup>.

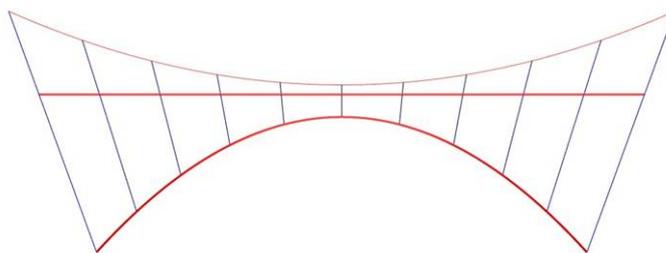


Opción A: Si se toma como dibujo de análisis la planta, (como se explica en el primer esquema de la izquierda) el trazado de rectas que cortan las dos líneas iniciales resulta un haz de rectas que coinciden, en proyección horizontal, con las dos generatrices extremas en un punto, esto daría una superficie, cuya tercera directriz sería la recta común de la familia de los planos verticales.

Opción B: Pero si se toma el alzado (segundo dibujo de la izquierda), la superficie sería otra, puesto que las parejas de puntos son distintas. En este otro esquema se representa la familia de planos de canto que determinarían otra familia de generatrices. Esto evidencia que la solución no es única.

Si ponemos estos dos esquemas, correspondientes a las dos proyecciones de análisis en relación de proyección diédrica, se puede ver que las generatrices en uno y en otro son distintas.

Opción C: Otra posibilidad sería la que resultaría de dividir las dos líneas directrices iniciales, la recta horizontal y la parábola del arco, en un número de partes iguales y unir estos puntos entre sí. Esta opción tendría una justificación más sólida que la pureza geométrica y responde mejor a la práctica constructiva. Si pensamos en la formación del encofrado y la huella que el listonado de madera del molde deja en la lámina de hormigón, parece que ésta se convierte en la opción más lógica.



El primer dibujo (izquierda arriba) es la planta con la familia de planos de eje vertical. El segundo (abajo izquierda) representa la solución de planos con una recta común horizontal. La tercera opción (derecha) reparte las generatrices de modo que dividen la generatriz inferior y la horizontal en partes iguales quedando la parábola del voladizo como una prolongación de las rectas.

La superficie, sería la reglada determinada por las dos directrices: la parábola del arco y la recta horizontal y la parábola del voladizo estaría contenida en ella.

<sup>2</sup> IZQUIERDO ASENSI, Fernando: *Geometría descriptiva superior aplicada*. Editorial Dossat s.a. Madrid 1980. Pág.440.

