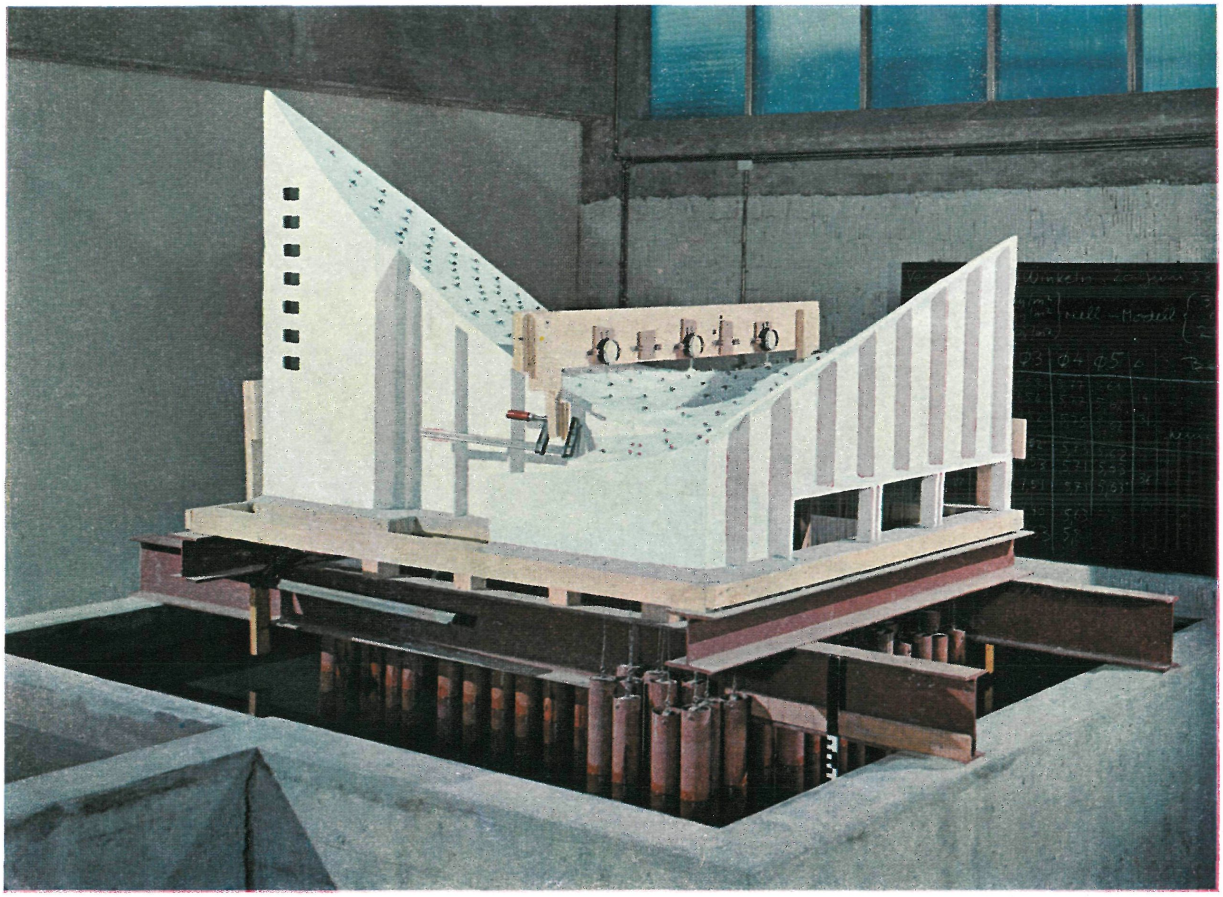
Informes de la Construcción Vol. 13, nº 122
Junio, julio de 1960

heinz hossdorf



831 - 27

cubiertas de dos iglesias

Cubierta laminar de la Bruderklausenkirche, en Winkeln, St. Gallen

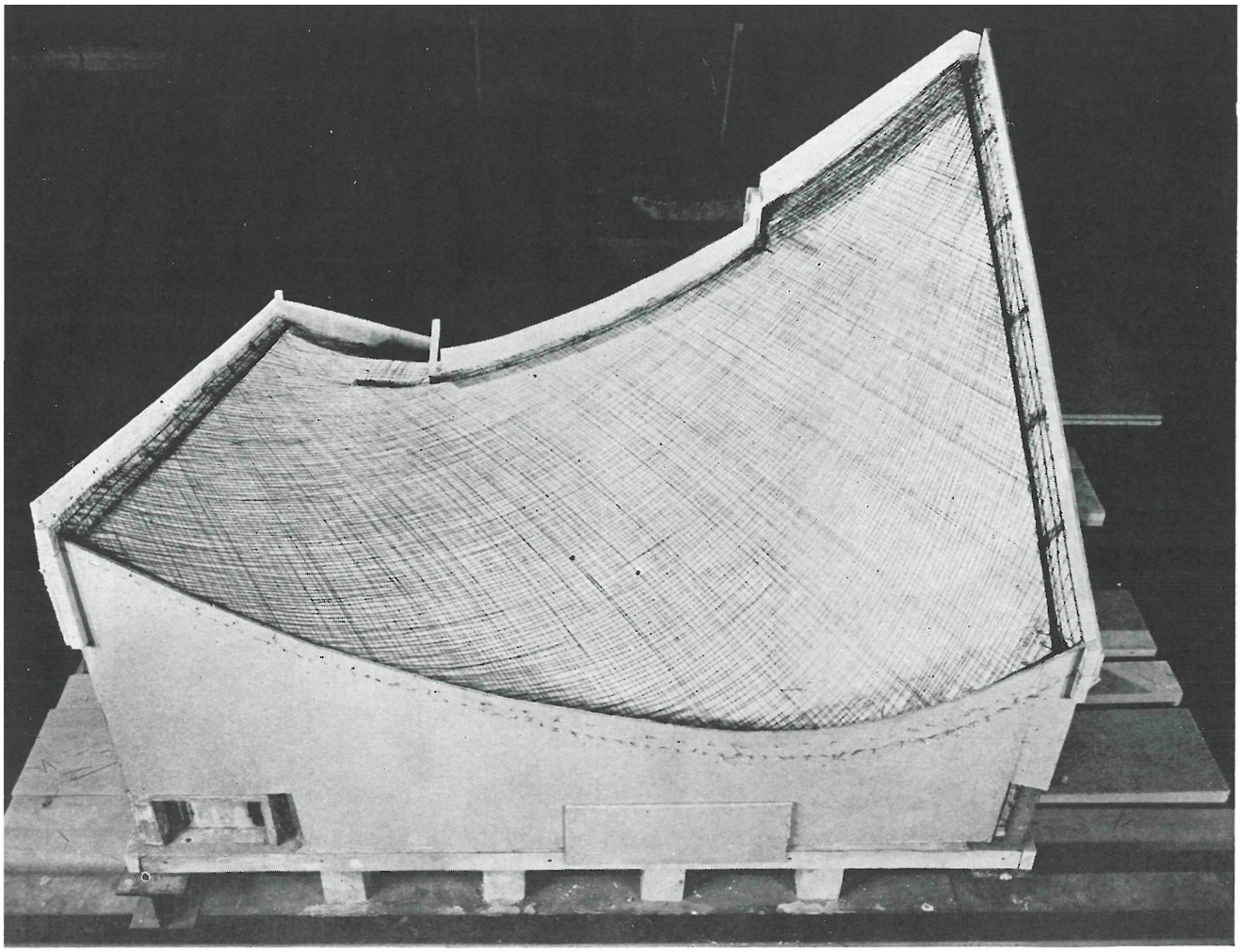
El cálculo y construcción de una cubierta laminar de concepción formal excepcionalmente libre, constituye un trabajo muy particular, en cuya solución hay que seguir métodos especiales.

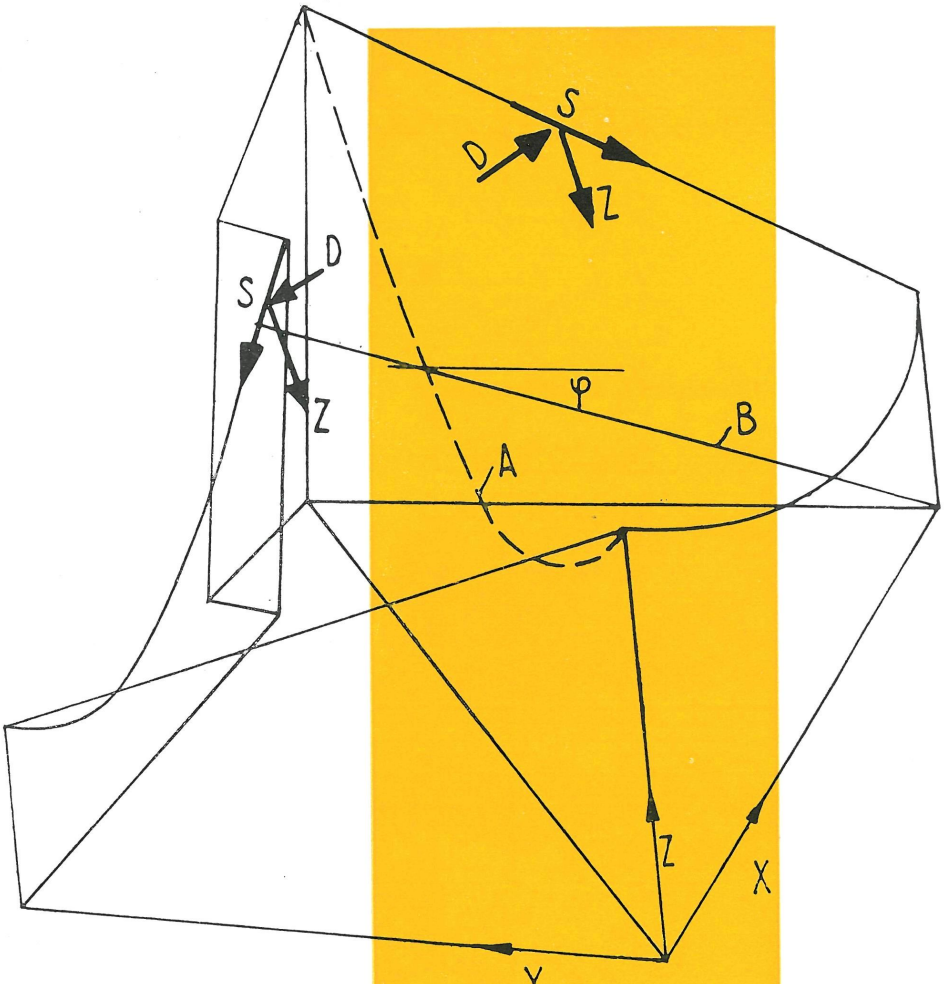
Primeramente hay que tratar de expresar en forma matemática la forma arquitectónica materializada en una maqueta de plastilín, pero sin perjudicar en ningún sentido la idea viva del arquitecto. En el caso de la cubierta laminar que nos ocupa, proyectada por el arquitecto Ernest Brantschen, al fin se consiguió descomponer su forma como superficie regular. Sobre la parábola A, que transcurre en diagonal por la nave de la iglesia entre ambas puntas de la fachada una recta B gira de tal forma hacia una función, $\varphi = f(x)$, que ésta corta la fachada longitudinal en una línea de borde, con la curvatura fijada por el arquitecto proyectista.

Esta superficie queda en su forma con tanta libertad que, en consecuencia, no se puede calcular por ninguna de las teorías laminares conocidas. La asimilación de los efectos de cargo como aproximación a una cubierta colgante resulta también falsa, ya que los muros esbeltos no pueden acoger directamente ningún esfuerzo de tracción (Z) de la lámina. Los muros solamente transmiten esfuerzos cortantes (S) puros. Esto obliga a la lámina a acoger esfuerzos de compresión (D) relativamente elevados, los que en las zonas de curvatura débil pueden representar un peligro de abolladura. Para conseguir un conocimiento suficientemente exacto del comportamiento de la carga, necesario para la realización de la cubierta laminar, no quedó otra solución que la de combinar la teoría con una serie de ensayos sobre modelos, siguiendo éstas paso a paso, con objeto de poder alcanzar el conocimiento de la realidad.

Por la forma de la lámina se preveía que se comportaría como una membrana bastante pura, sin perturbaciones en el borde. Por este motivo se intentó primeramente la aplicación de la ecuación diferencial general de la membrana para la determinación de las tensiones principales, e integrarla en caso determinado. Esto se consiguió aproximadamente, ya que en principio no se conocía ninguna condición de borde de la membrana como consecuencia de su forma libre y por la falta de cualquier simetría, y, por tanto, se tenía que operar con valores y condiciones de borde estipuladas, cuya exactitud se podía comprobar nuevamente después del resultado.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

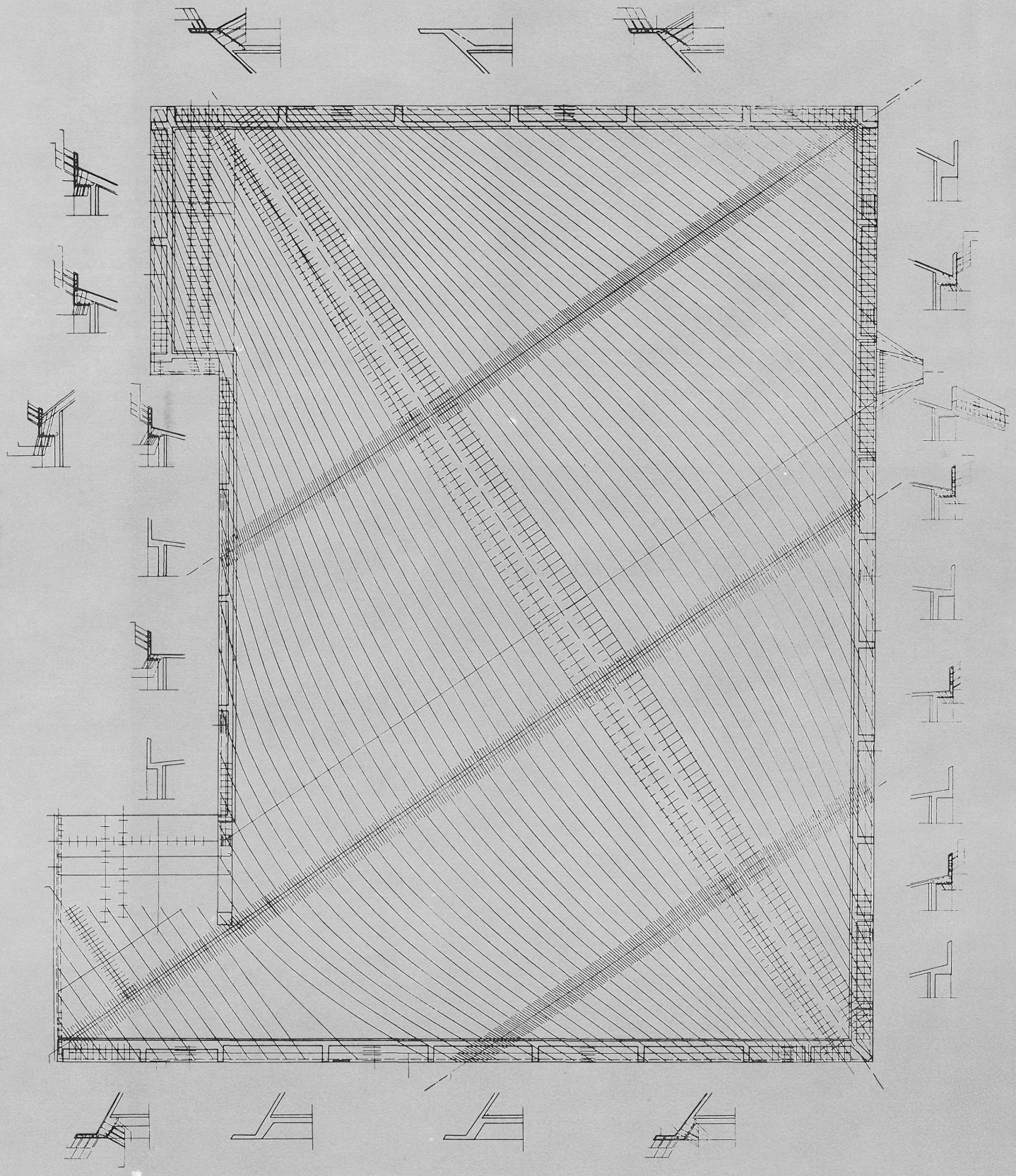




A pesar de todo, resultó de este cálculo una idea bastante clara sobre la dirección y la amplitud de las tensiones principales y del valor de la compresión por efecto de la carga en la lámina, lo que resultaba con exactitud suficiente para el proyecto de la armadura de la membrana. Este cálculo permitió suponer que resultaría suficiente un espesor de la lámina de 7 mm (el mínimo constructivo para tres capas de armadura), y se elaboró un primer modelo en plexiglás, con el que se realizó un ensayo de abolladura y la medición de los momentos de perturbaciones en el borde por medio de bandas de dilatación. Después de conseguir una seguridad a la abolladura de n=7, con la suposición de un módulo E de 150.000 para el hormigón, se terminó el ensayo. Se puede suponer que el efecto estabilizante de las tensiones principales que transcurren en la banda curvada hacen imposible en todas las partes un abollamiento. Los momentos medidos de las perturbaciones de borde resultaron tan pequeños, que fué superfluo disponer un refuerzo en el borde de la lámina. Solamente se ha previsto una ligera armadura de momentos a lo largo del borde de la lámina.

Al fin se habían conseguido datos suficientes para redactar los planos para la lámina y los muros, en los que también se consideró la influencia, no de poca importancia, de la retracción y de la deformación lenta. Especialmente, la retracción puede originar un desplazamiento considerable de las tensiones de la membrana por el levantamiento de la cubierta en dirección diagonal.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es



planta

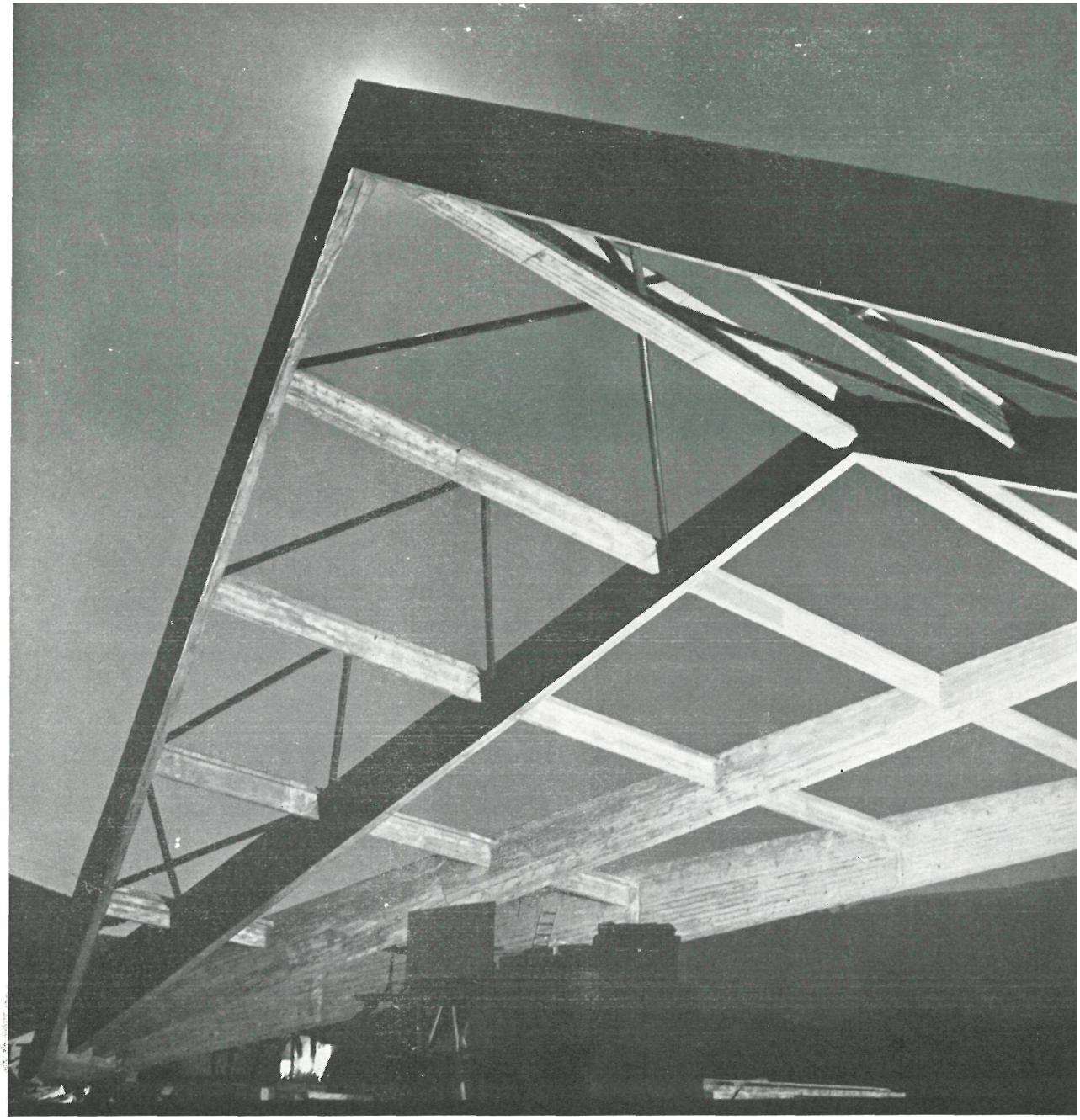
Distribución de armaduras y detalles de la línea de borde.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

Para poder comprobar nuevamente la certeza o acierto de las medidas dispuestas y de los conocimientos reunidos hasta este momento se realizó un modelo, en escala 1:20, de todo el cuerpo de la iglesia a base de mortero armado según el plano de la armadura, sometiendo a continuación este modelo a un ensayo de carga. El modelo mostró, hasta una carga doble, un comportamiento elástico prácticamente puro. No se pudieron observar grietas. La variación de flecha, bajo peso propio de 4 mm, permitió también poder prescindir de consideraciones especiales por «cedimientos».

La lámina, con un efecto en grandes zonas como cubierta colgante, se equipó con una armadura normal. Los topes de la armadura principal con trabajo a tracción se soldaron montando un poco los extremos. El hormigonado se realizó prácticamente sin «contralámina», es decir, con sólo encofrado inferior, y en un trabajo continuo sin interrupciones, de cuarenta horas.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)



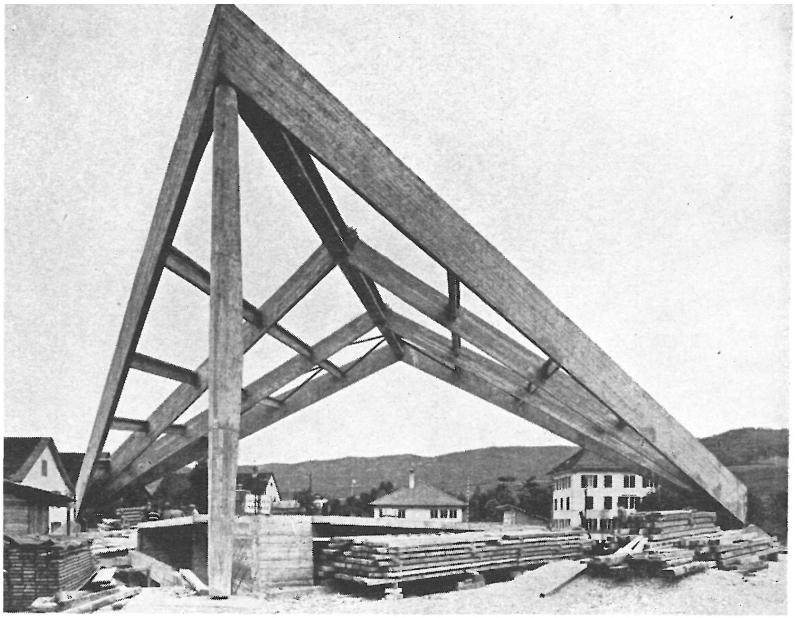
Estructura espacial de pórticos pretensados para una iglesia en Vicques (Berner Jura)

Sobre la nave central de la iglesia, proyectada por el arquitecto Pierre Dumas, se tenía que disponer una cubierta con un voladizo de más de 45 m, apoyada solamente en tres puntos y, además, para acentuar la ligereza de la construcción había que cuidar especialmente la concepción elegante de estos puntos de apoyo. Como los frentes de la cubierta tenían que permanecer diáfanos, se proyectó una construcción de pórtico en hormigón pretensado, construcción que, por su ordenación espacial, presentaba interesantes problemas estáticos y constructivos.

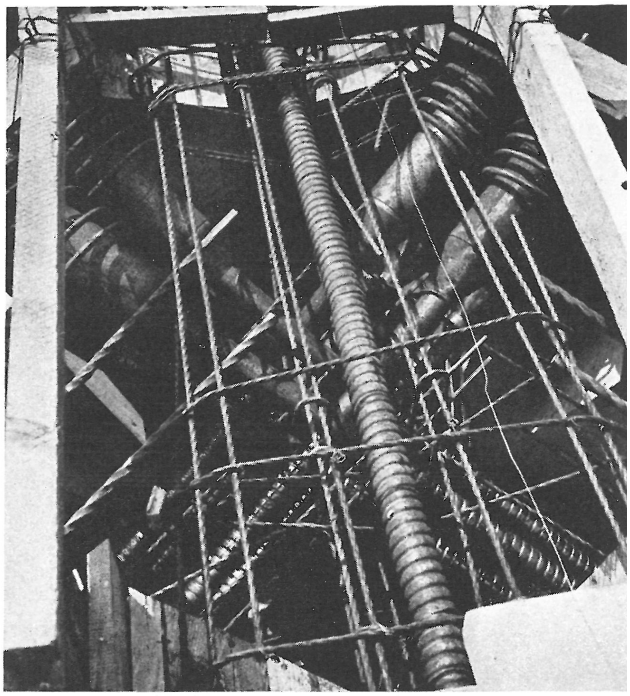
La construcción presenta, desde el punto de vista estático, un sistema de cuatro arcos de dos articulaciones de inclinación diferente, acoplados elásticamente entre sí y que arrancan de dos articulaciones comunes, estando el conjunto estabilizado por un apoyo, tipo péndulo, como punto tercero.

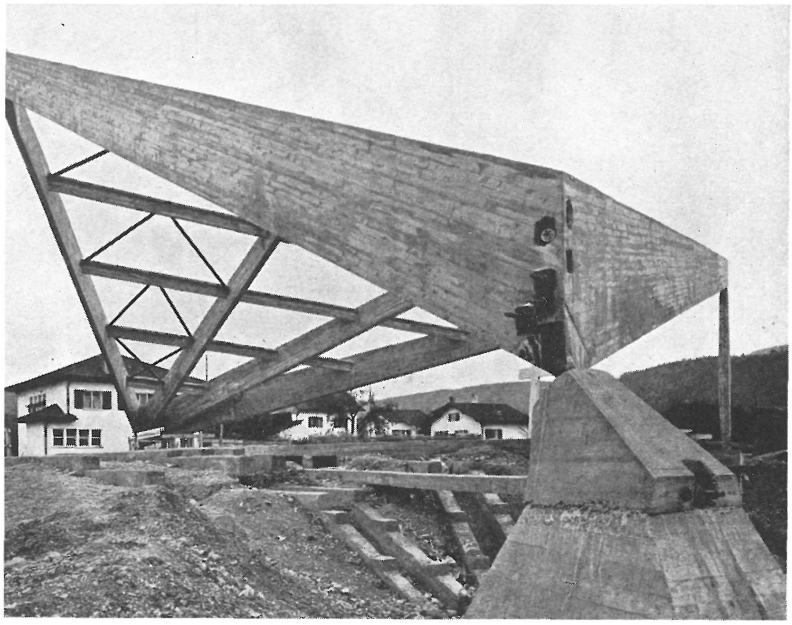
El cálculo se realizó exactamente por medio de las ecuaciones elásticas, considerando los efectos de torsión. Problemas constructivos especiales aparecieron en el anclaje de los cables tensores cruzados en el espacio. En el punto de nudo del apoyo se juntan, por ejemplo, 12 cables en una altura de 2,20 m con direcciones diferentes. La disposición exacta de los cables se pudo aclarar solamente en este caso a base de un modelo.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es



Distintos aspectos del pórtico espacial y detalle de anclajes de armaduras tesas.





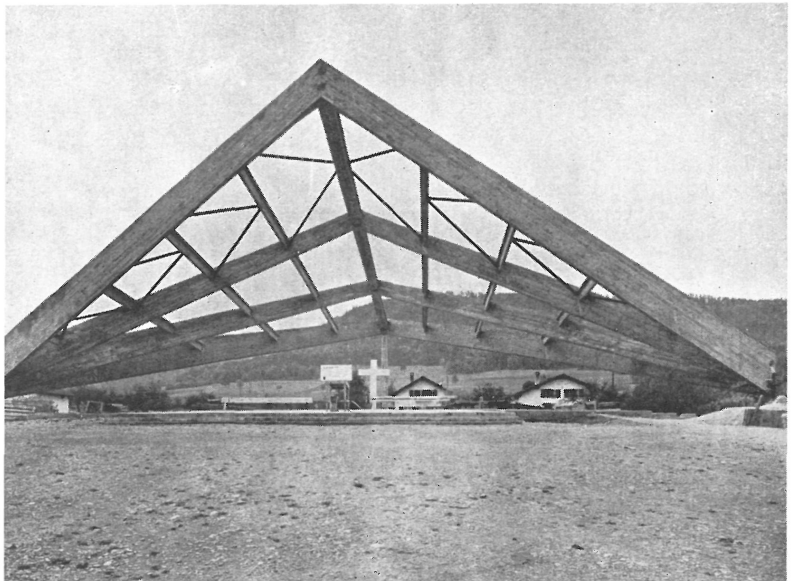
Las correas secundarias se han realizado también en hormigón para solidificar las vigas principales esbeltas contra el basculamiento y contra la flexión por compresión axial, así como para transmitir los esfuerzos del viento al arriostramiento compuesto por tubos de acero soldados.

Los apoyos principales, que tienen que transmitir una carga resultante de 196 toneladas, están formados por zapatas de acero soldadas, de cuyas puntas sale un pivote de 15 cm ∅ con cabeza en forma de bola, la que por su parte descansa en un apoyo tipo sartén. El empuje horizontal es acogido, finalmente, por una banda de tracción pretensada.

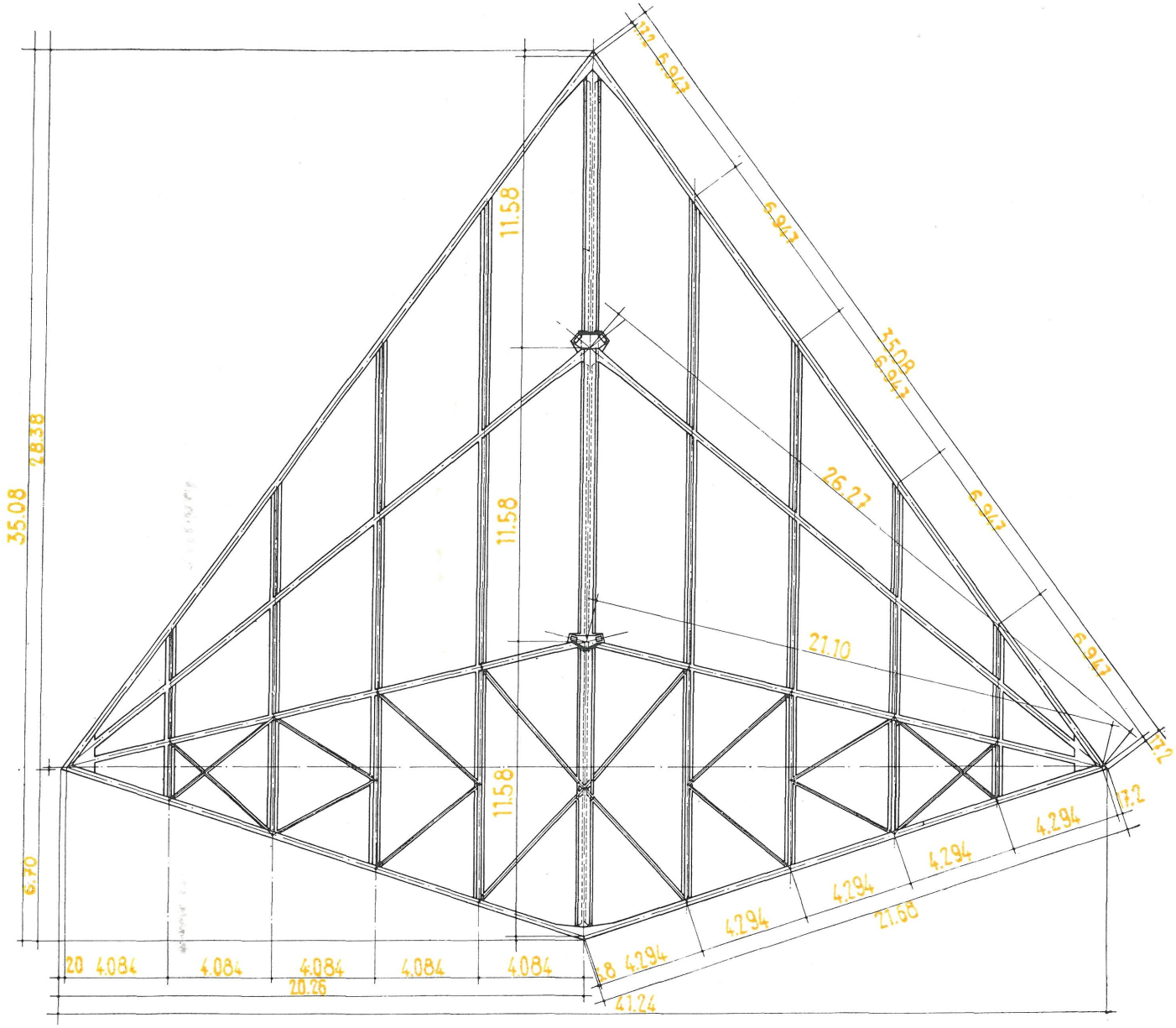
Más atención que los problemas estáticos y constructivos presentó la realidad, de un dato no conocido durante el proyecto: los 850 habitantes de la comunidad de Vicques deseaban levantar la obra con su propia fuerza, es decir, sin empresa constructora. Este imprevisto, que representaba sin duda un riesgo extraordinario, se salvó gracias a la calidad humana dirigida por un par de personas especializadas y la muy buena voluntad del resto de los habitantes del pueblo.

Durante la construcción del sótano, la gente tuvo ocasión de mostrar sus aptitudes. A base de esta prueba, se comenzó la gran empresa: la cimbra se levantó; el encofrado se realizó con perfección ejemplar, y las armaduras y los cables tensores se dispusieron con una exactitud de relojero. Solamente para los trabajos de colocación de hormigón se alquilaron máquinas y grúas y se emplearon algunos albañiles de fuera.

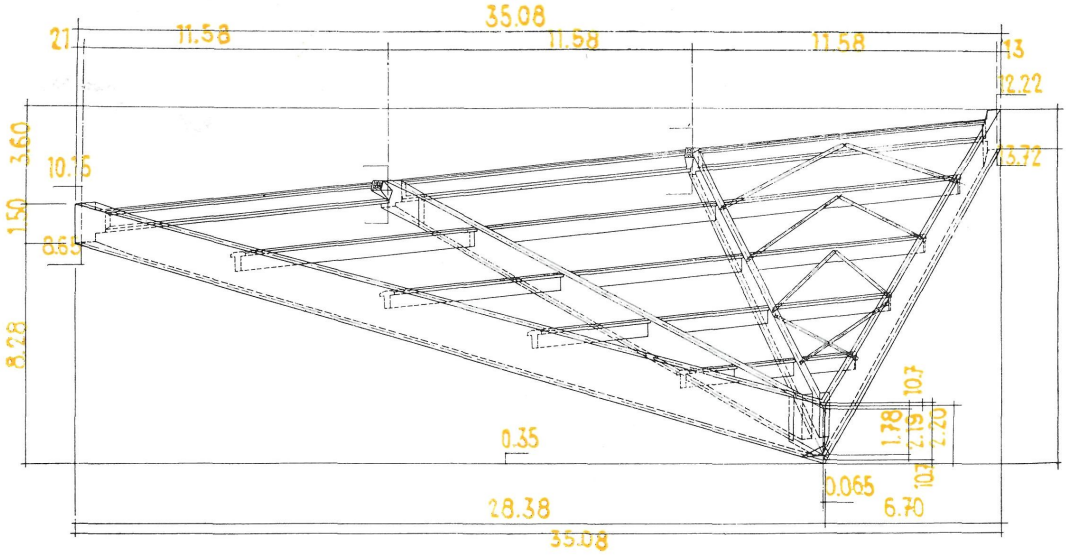
Con manos artesanas sin experiencia constructiva, y sin el menor fallo, se ha creado una obra resistente tan complicada, que es una nueva demostración de que la buena voluntad, unida a un sentido de la responsabilidad e inteligencia, puede sustituir cualquier «experiencia».



© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)



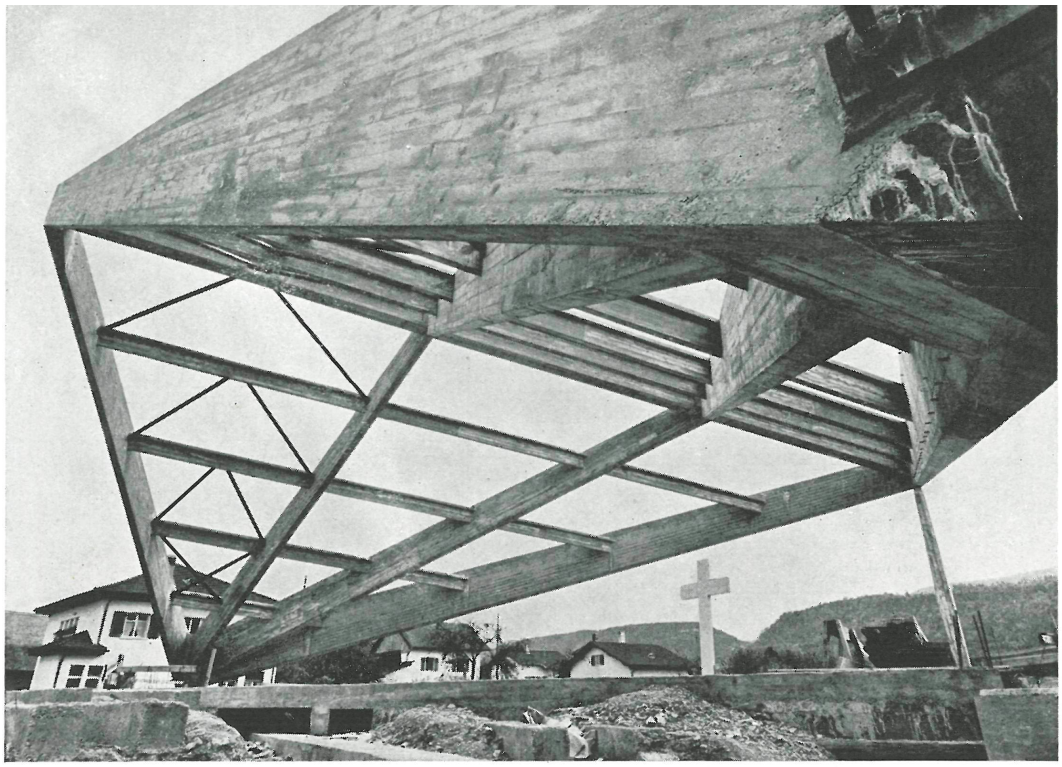
planta



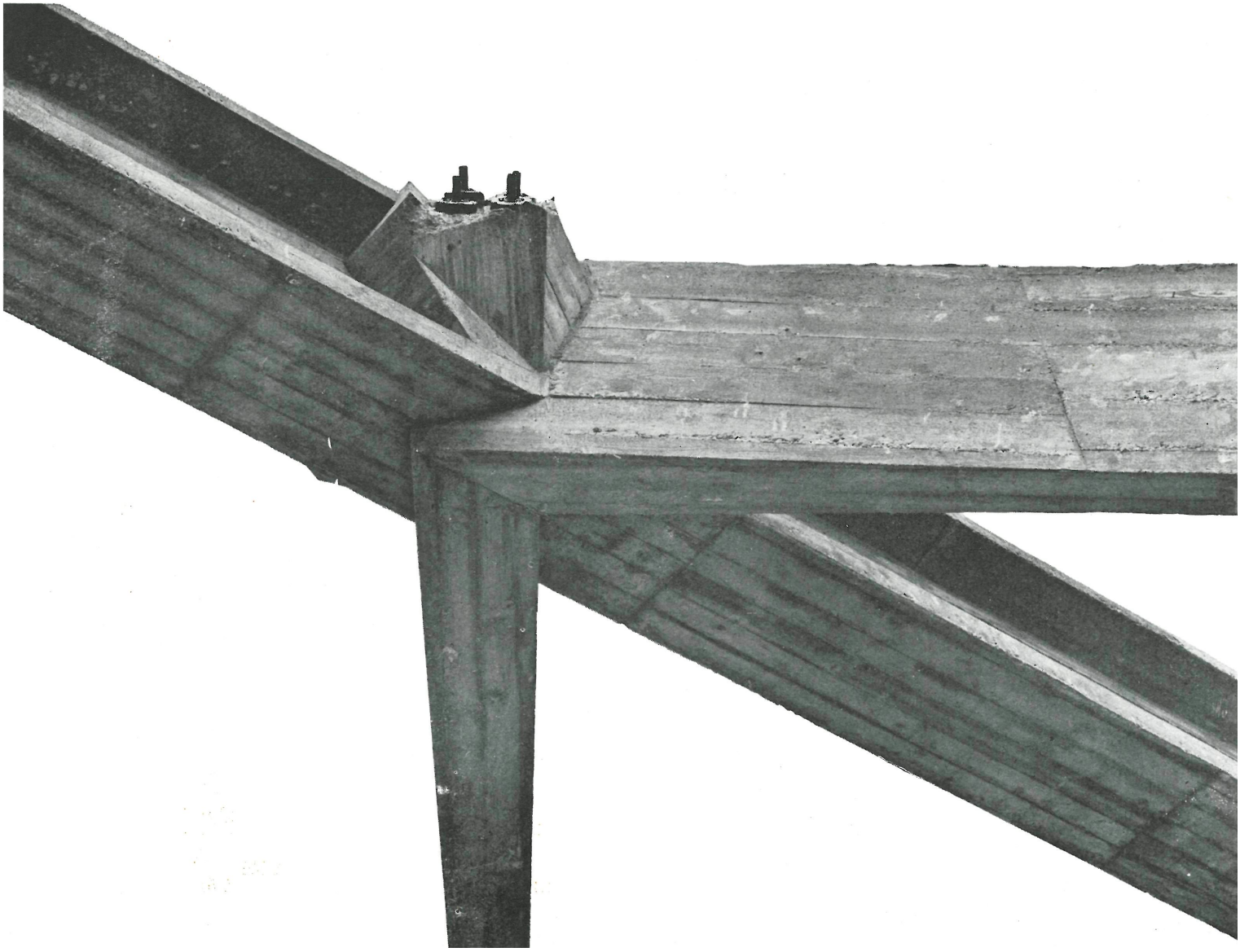
alzado

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

Perspectiva de la estructura y detalle de nudo.



Fotos: WALTER GRUNDER



© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)