

Etude expérimentale sur modèles réduits de toitures en voiles minces

Autor(en): **Benito, C.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH
Kongressbericht**

Band (Jahr): **5 (1956)**

PDF erstellt am: **28.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-5981>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

IIa1

**Etude expérimentale sur modèles réduits de toitures
en voiles minces**

Experimental scale model investigation of shell roofs

**Modellversuche zur Bestimmung der Verformungen
von Schalen-Dachbauten**

**Estudo experimental em modelos reduzidos de coberturas
delgadas**

PROF. C. BENITO

*Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Madrid*

Nous appelons voile mince celui où l'épaisseur est très petite par rapport aux autres dimensions. Nous ne connaissons pas jusqu'ici, de procédé de calcul qui puisse s'appliquer à une forme quelconque de voile de ce type, et les théories ou méthodes de calcul actuellement en usage sont seulement applicables à certaines formes particulières. Même dans ces cas spéciaux un grand nombre de théories admettent que le matériau du voile est homogène et élastique; ceci n'est en accord avec la réalité que d'une manière approximative, ce type de couverture étant, dans la plupart des cas, plutôt construit en béton armé. Dans ces théories il est nécessaire de développer le calcul d'accord avec les hypothèses de l'élasticité et d'admettre ensuite de nouvelles simplifications; celles-ci consistent, dans certains cas, à supposer que le coefficient de Poisson du matériau constituant le voile est égal à 0 et dans d'autres que certains efforts sont nuls ou égaux.

Dès que l'on connaît, par ces procédés de calcul, les contraintes ou efforts dans différentes sections du voile, on peut aisément les dimensionner d'accord avec les théories du béton armé ou du béton précontraint.

Dans le cas général où la forme du voile est à double courbure, de calcul difficile quand il n'est pas de révolution, ou quand les conditions aux bords sont compliquées, il est nécessaire de recourir à des nouvelles simplifications; on atteint ainsi des résultats dont la correspondance avec la réalité est assez difficile à évaluer. C'est précisément dans ces cas

qu'il devient nécessaire de faire appel à l'expérimentation sur modèles réduits pour comparer, après avoir interprété les résultats, la qualité des méthodes de calcul appliquées et le coefficient de sécurité de la structure projetée.

Pour pouvoir réaliser une étude sur modèle réduit, il est nécessaire de disposer :

- 1 – De matériaux et de méthodes appropriés permettant la fabrication du modèle.
- 2 – De procédés de charge, et
- 3 – De dispositifs de mesure des différentes grandeurs qui peuvent présenter un intérêt.

Des lois de similitude entre le prototype et le modèle, on déduit que le matériau doit remplir des conditions déterminées, l'une d'elles étant que le rapport entre les contraintes et les déformations du matériau du modèle soit semblable à celui du matériau dont sera constitué le voile. Leurs coefficients de Poisson doivent aussi être égaux. Il est de plus nécessaire que ce matériau soit moulable pour qu'il puisse prendre la forme et les dimensions du modèle.

Quand au procédé de charge, il doit être tel qu'il agisse d'une manière analogue à celle dont se produisent les charges en réalité. C'est-à-dire que, si les charges sont celles que l'on trouve généralement dans une toiture, (poids propre, poids de la neige ou poussée du vent), il est nécessaire que la charge dans le modèle puisse s'appliquer lentement et qu'elle augmente proportionnellement sur la surface où elle agit de manière à éviter des états partiels de charge qui, tout en ne pouvant se produire dans la réalité, produisent néanmoins des fissures, fentes, et même dans certains cas, la rupture du modèle.

Les dispositifs de mesure dépendent des grandeurs que l'on désire mesurer et de la précision que l'on veut atteindre. Ces renseignements sont intimement liés à l'échelle du modèle; il est facile de comprendre qu'entre deux modèles réduits d'un même prototype, il se produit des déplacements plus grands dans celui dont les dimensions sont plus grandes.

Si l'on dispose d'un procédé de charge convenable et d'un matériau dont le rapport entre contraintes et déformations soit absolument semblable à celui du matériau constituant l'ouvrage réel, l'essai peut être réalisé, non seulement pour les charges comprises dans la zone de proportionnalité entre contraintes et déformations, mais jusqu'à la rupture. Pour expliquer ceci, supposons que nous désirions étudier un voile en béton armé en nous servant d'un modèle réduit construit avec ce même matériau. Dans ce cas le coefficient de Poisson et le module d'élasticité dans le matériau du modèle et le matériau réel sont égaux et par conséquent l'échelle de contraintes, ou ce qui revient au même, l'échelle de charges par unité de surface, est égale à l'unité, c'est-à-dire, que pour des charges par unité de surface semblables sur le modèle et le prototype, il se produit en des points analogues des deux structures des contraintes égales et des déplacements qui sont dans le même rapport que l'échelle des longueurs du modèle. On pourrait alors augmenter la surcharge dans

le modèle jusqu'à sa fissuration partielle ou à sa rupture, et connaître ainsi avec certitude la valeur du coefficient de sécurité à la fissuration ou à la rupture.

Pour ne pas tirer des conclusions erronées, il convient de tenir compte de ce que le poids propre par mètre carré du modèle et de l'ouvrage réel, sont dans le rapport de l'échelle des longueurs: ainsi, la surcharge qui produirait la rupture de l'ouvrage réel n'est pas la même que celle appliquée au modèle, mais la rupture dans les deux cas se produirait pour une charge totale égale à la surcharge appliquée plus le poids propre.

Dans un voile mince, le béton est d'habitude confectionné avec une dimension maximum d'agrégat relativement petite, puisque son épaisseur est elle-même petite. A cause de cela il est impossible de réaliser un modèle réduit de voile de ce type avec du béton armé, mais si l'on réduit la dimension maximum de l'agrégat, en tenant compte de l'échelle on constate qu'il est possible de réaliser les modèles avec du mortier de ciment, qui, dosé avec soin peut reproduire complètement, non seulement le module d'élasticité du béton, mais aussi ses charges de rupture à la compression et à la traction, le comportement du mortier du modèle étant ainsi identique à celui du béton de l'ouvrage. Il est également nécessaire de réduire le diamètre des armatures, ce qui n'est pas difficile, en les substituant par des fils d'acier. Même avec ces facilités, la construction d'un modèle avec ce matériau, comme ceux que nous avons déjà réalisés et que nous citons plus loin, est très pénible à cause de la grande quantité d'armatures qu'il faut placer et de la nécessité de reproduire le coffrage avec des formes qui, très souvent, ne sont pas faciles à obtenir. A cause de cela, la construction de ces modèles est très longue et laborieuse. D'ailleurs, ce matériau, est tellement semblable au béton, que, après que le modèle ait été construit, il est nécessaire d'attendre plusieurs jours de manière à ce que le mortier durcisse et atteigne la résistance nécessaire à la réalisation des essais. On peut réduire ce temps, dont on ne peut pas toujours disposer, en utilisant des ciments spéciaux à haute résistance initiale.

Sur ces modèles en mortier armé, il faut appliquer des charges réparties égales à celles qui agiraient en réalité, ce qui présente une difficulté considérable. Nous l'avons surmontée en suspendant à la couverture du modèle à essayer et en des points très rapprochés un grand nombre de flotteurs plongés dans un grand réservoir plein d'eau. Tant que le réservoir est plein, les charges flottent et n'agissent pas sur le voile; quand on fait descendre le niveau de l'eau dans le réservoir -ce qui peut se faire aussi lentement que l'on désire- la charge agit peu à peu et de la même façon que dans la réalité. Ce procédé qui a donné de très bons résultats, oblige à disposer d'un grand nombre de flotteurs (nous en avons parfois utilisé plus de 400) et, en plus, d'un réservoir approprié et ayant la forme approximative de la projection plane du voile, ce qui peut exiger la construction d'un réservoir pour chaque voile que l'on étudie.

En ce qui concerne les grandeurs à mesurer, nous utilisons au Laboratoire Central d'Essais de Matériaux de Construction à Madrid, des fleximètres qui donnent le centième de millimètre pour les déplacements, et des clinomètres qui estiment une dixmillième de radian, pour

les rotations, et pour la mesure des déformations, des extensomètres électriques ou mécaniques. Avec des extensomètres dont la sensibilité permet de mesurer des déformations de 1×10^{-5} , et avec un module d'élasticité du mortier de 200.000 Kg/cm² environ, la précision dans la mesure des contraintes est proche de 2 Kg/cm² ce qui paraît suffisant; mais, si l'on considère que, en chaque point de la surface, pour déterminer les contraintes principales, il serait nécessaire d'avoir quatre extensomètres de cette sensibilité et composer après les résultats, on voit combien il est difficile de maintenir cette précision, et comme il serait pratique de disposer d'un procédé par lequel on obtiendrait des isostatiques avant de placer les extensomètres, ce qui permettrait de ne pas perdre la précision.

En appliquant ces méthodes nous avons étudié, entre autres, un voile mince préfabriqué et démontable, projeté par le Professeur Torroja et un autre ayant la forme d'un paraboloïde hyperbolique, projeté par le Professeur Roglá, ces deux ouvrages étant des constructions espagnoles; une coupole élliptique, projetée par l'Ingénieur Schubiger, qui couvre l'église Félix et Régula de Zürich, et qui fut mentionnée par M. Stein-

mann ⁽¹⁾ au Congrès de Cambridge, et dernièrement, une couverture cylindrique précontrainte, projetée par le Professeur Haas, pour une usine hollandaise. Les photographies des figures 1 et 2 correspondent à ces deux dernières couvertures.

Ce procédé, qui est très utile pour trouver le coefficient de sécurité à la fissuration ou à la rupture d'une voile mince en béton armé et qui permet en même temps de mesurer les déplacements et les ro-

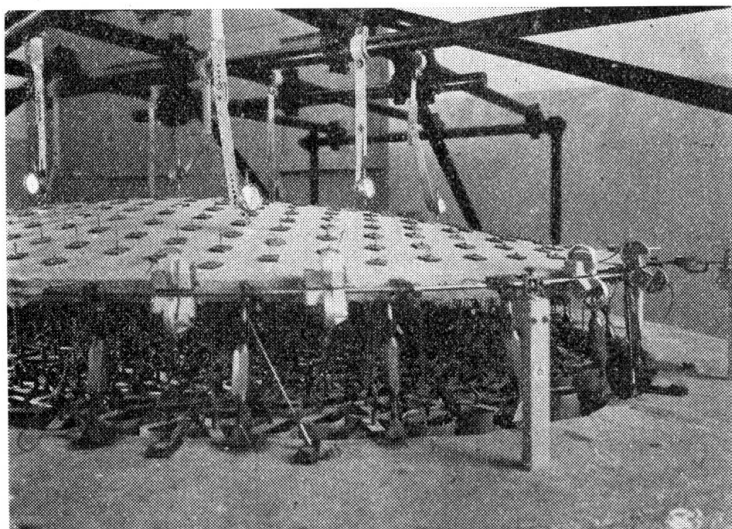


FIG. 1

tations, présente quelques inconvénients, que nous avons déjà indiqués et que nous résumons par la suite: la fabrication du modèle est très laborieuse, le procédé de charge est cher, et entre la fabrication et le durcissement et mesure, il s'écoule environ trois ou quatre mois, en comptant à partir du début des travaux.

Nous croyons qu'il serait convenable de disposer d'un procédé de fabrication et d'essai de modèles réduits de voiles minces, qui par sa rapidité et coût réduit permettrait à l'auteur d'un projet d'essayer des formes nouvelles, dont la difficulté de calcul a été la cause de leur rejet

⁽¹⁾ «Ponts et voiles minces en béton précontraint» par G. Steinmann. A. I. P. C. Quatrième Congrès. Rapport Final.

jusqu'ici. Ce procédé conviendrait pour essayer des formes nouvelles, et il rendrait également des services appréciables pour constater si les hypothèses admises dans les nouveaux procédés de calcul sont d'accord avec le comportement réel de ce type de couvertures. Pour ceci il est nécessaire d'obtenir avant tout un matériau qui puisse facilement prendre la forme du modèle, qui acquière rapidement ses caractéristiques mécaniques ou élastiques et qui exige des procédés de charge économiques et faciles à réaliser. Ses avantages seraient intéressants bien que leur obtention nous oblige à sacrifier en partie l'exactitude qu'exige la similitude entre le modèle et la réalité.

Afin de réduire autant que possible les dispositifs de charge des modèles, nous avons imaginé de construire ceux-ci avec des matériaux suffisamment déformables, pour que, en agissant exclusivement sur le poids propre du modèle, il se produise des déplacements, déformations et rotations, mesurables avec assez d'exactitude.

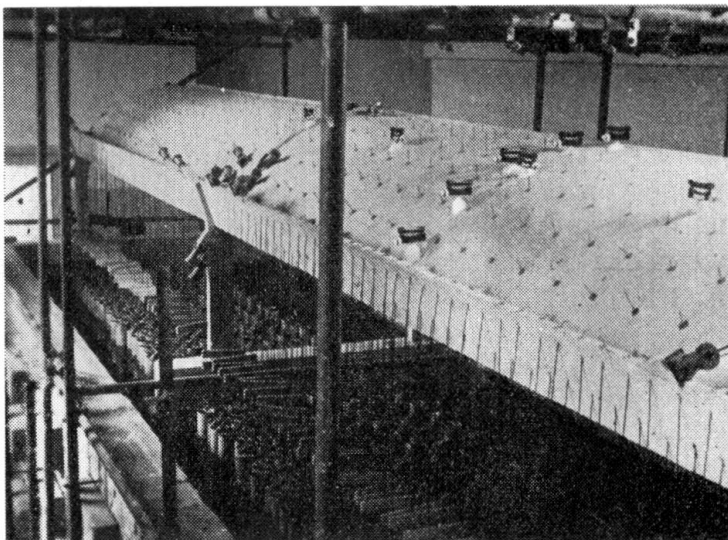


FIG. 2

Etant donné que le poids propre agit sur le modèle lorsque l'on enlève les moules ou coffrages, il est très difficile de placer les appareils de mesure des déformations en n'importe quel point de la surface du modèle avant que le poids propre commence à agir. Cette difficulté peut être surmontée en laissant agir le poids propre du modèle; on place alors les appareils de mesure et on fait tourner le modèle et les supports des appareils de 180° autour d'une axe horizontal. Ce procédé a les avantages suivants:

1. — Il permet de répéter la mise en charge tous les fois qu'il est nécessaire.

2. — Les grandeurs mesurées sont le double de celles qui correspondraient à une charge égale à celle due au poids propre, ce qui revient à doubler la sensibilité du système de mesure, et

3. — En imposant aux points du modèle des déplacements de grandeur finie dans un sens et des déplacements égaux et opposés ensuite, les différences des déplacements mesurés dans les deux cas, pour un point quelconque du modèle, ne différeront des déplacements donnés par la

théorie linéaire que par des infiniment petits du troisième ordre⁽²⁾. Ce qui veut dire que l'influence des grandes déformations qui peuvent se produire est négligeable.

L'utilisation de matériaux très déformables -ou ce qui revient au même de bas module d'élasticité- sur le modèle d'un voile en béton armé rendrait nécessaire l'emploi d'armatures également très déformables. Ceci, qui en principe semble être une difficulté grave, peut être surmonté en utilisant des fils de matériau plastique qui, pour les petites contraintes auxquelles travaille le modèle se comportent comme élastiques, puisque, en agissant sur le modèle seulement par le poids propre, les contraintes qui se produisent sont plus petites que celles dues aux charges dans la couverture réelle.

Ces modèles permettraient d'étudier le comportement des voiles minces en régime élastique, mais ils ne rendraient guère la construction meilleur marché étant donné le grand nombre d'armatures qu'il serait nécessaire d'inclure. Pour cette raison, et sacrifiant un peu la valeur de la similitude, comme nous l'avons déjà indiqué, nous avons préféré

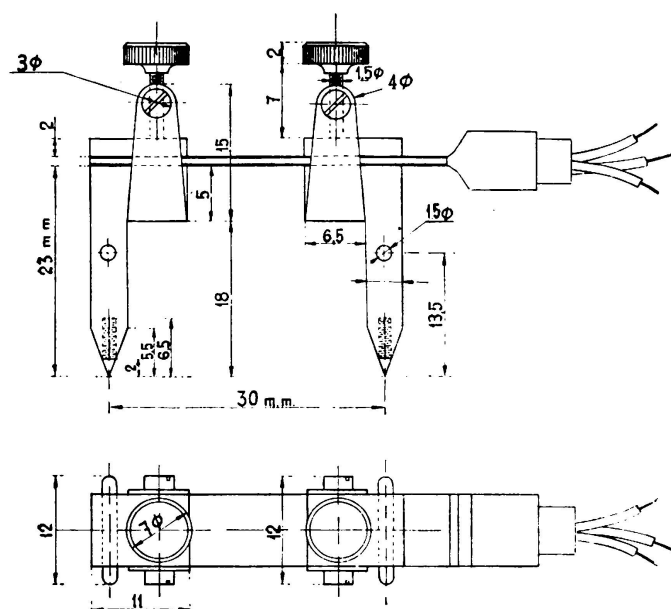


FIG. 3

construire nos modèles réduits avec des matériaux homogènes sans armatures et ayant un module d'élasticité bas. Cette simplification est la même qu'admettent tous les procédés de calcul fondés sur la théorie de l'élasticité. Logiquement, en enlevant les armatures, le matériau du modèle devrait résister tant à la compression qu'à la traction, avec un rapport linéaire entre les contraintes et les déformations. Le matériau que nous avons utilisé est ce que nous appelons «litar-gel», composé par un mélange de litharge, gélatine, glycerine et eau, analogue à celui que nous avons dé-

fini dans une communication présentée au Congrès de Cambridge⁽³⁾.

Ces matériaux tellement déformables, que nous voulons suffisamment sensibles pour réagir sous le simple effet de leur poids propre, rendent nécessaire l'utilisation de procédés de mesure qui, tout en étant très sensibles devront également être très légers. Nous avons au début pensé utiliser des extensomètres électriques, lesquels, comme nous le savons,

⁽²⁾ Théorème démontré par Ch. Massonet dans «L'Etude des constructions sur modèles réduits sans emploi de microscopes». Bulletin C. E. R. E. S., tome VI, 1953.

⁽³⁾ «Nouvelle méthode d'analyse tridimensionnelle sur modèles réduits». C. Benito. A. I. P. C. Quatrième Congrès. Publication préliminaire, 1952.

s'utilisent collés à la surface du modèle au moyen d'une bande de papier; nous nous sommes néanmoins heurtés à une grave difficulté, la rigidité, du papier étant suffisante pour fausser les résultats de l'essai. Nous avons mis de côté les extensomètres mécaniques que nous avions à cause de leur poids excessif, et nous en avons construit d'autres dans lesquels deux extensomètres électriques ont été collés à la poutre d'un portique dont les pattes s'appuient sur la surface du modèle. Chaque appareil, dont la forme et les dimensions sont indiquées dans la figure 3, pèse seulement 9 grammes, ce qui équivaut dans l'ouvrage réel à une charge concentrée pratiquement négligeable. Sa rigidité est, d'autre part, très petite et n'a aucune influence sur les résultats de l'essai, comme nous avons pu le constater à l'aide d'éprouvettes soumises à la compression simple.

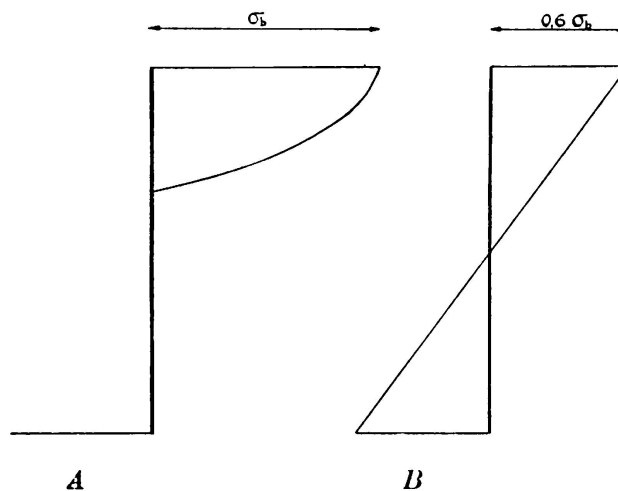


FIG. 4

Il faut tenir compte de ce que, le modèle étant constitué par un matériau homogène, les contraintes maxima sur les surfaces sont inférieures à celles qui leur correspondraient dans un modèle semblable mais construit en mortier armé. Ainsi, si une section en béton armé a un diagramme de contraintes comme celui indiqué dans la figure 4a, avec une section homogène on obtiendrait celui de la figure 4b, où les contraintes maxima sont à peu près 60 % de celles mesurées dans le cas précédent.

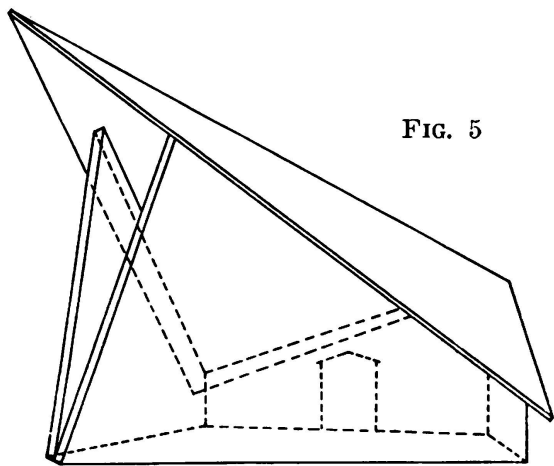


FIG. 5

En résumé, la méthode que nous proposons et que nous avons déjà essayée, consiste à construire le modèle réduit du voile mince, avec un matériau homogène résistant à la traction et à la compression, et dont le module d'élasticité, soit suffisamment petit pour que seul le poids propre du modèle produise des déformations, rotations, et déplacements que l'on puisse mesurer avec précision.

Pour avoir une idée des ordres de grandeur des différentes quantités qui interviennent dans le problème, nous allons supposer que l'on désire construire le modèle réduit d'un voile mince en béton armé qui, en vraie grandeur, a des dimensions déterminées en plan et une épaisseur moyenne de 8 cm, et qui va être soumis pour l'ensemble de son poids

propre et de la surcharge, à une charge totale de 320 Kg/cm^2 . Si pour des raisons d'encombrement nous construisons le modèle à échelle $1/10$, l'épaisseur moyenne du modèle sera de 8 mm , et si le poids spécifique du matériau employé est de 2 ton/m^3 , le modèle aura un poids par unité de surface de 16 Kg/cm^2 . Alors, l'échelle de pressions ou charges par mètre carré sera de $16 \times 2/320 = 1/10$, qui est l'échelle des contraintes entre le modèle et la réalité. Si l'on admet une contrainte maximum à la compression de 50 Kg/cm^2 pour le béton du voile réel, dans un voile de mêmes dimensions, mais construit avec un matériau homogène, la contrainte maximum serait à peu près de $0,6 \times 50 = 30 \text{ Kg/cm}^2$, et la traction maximum ou compression sur le modèle serait de 3 Kg/cm^2 .

Supposons maintenant que nous voulions mesurer les contraintes sur le modèle avec une erreur inférieure au $1/100$ de la contrainte maxima; ceci équivaldrait dans la réalité à obtenir une précision de $0,5 \text{ Kg/cm}^2$, ce qui nous semble excellent. Avec nos extensomètres nous pouvons mesurer des déformations de 1×10^{-4} et par conséquent, le module

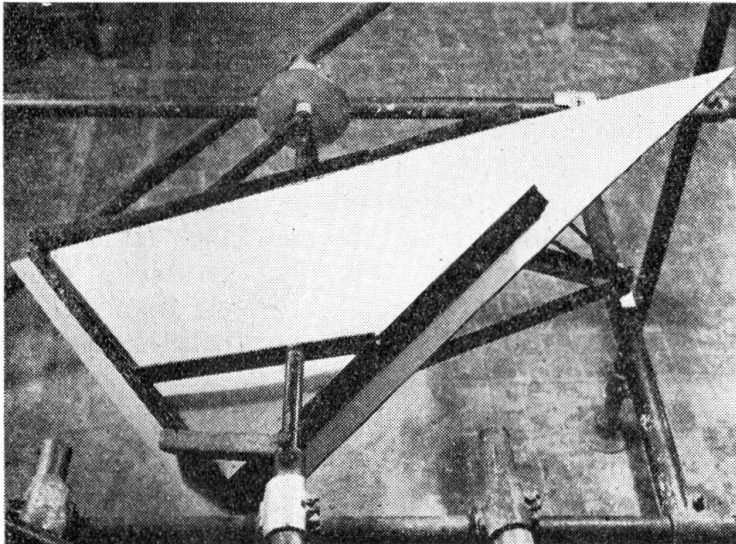


FIG. 6

d'élasticité du matériau serait de $0,03/10^{-4} = 300 \text{ Kg/cm}^2$. C'est-à-dire, que, si l'on construit le modèle avec un matériau ayant ce module d'élasticité et dont le comportement soit semblable à celui d'un matériau élastique, tant à la traction comme à la compression pour des contraintes plus petites de 3 Kg/cm^2 , et ayant un poids spécifique de 2 ton/m^3 , son poids propre produira un effet analogue à celui que produirait dans la structure réelle le poids propre de cette structure

plus la surcharge prévue, les mesures étant obtenues en réalité avec une précision de $0,5 \text{ Kg/cm}^2$.

Comme nous l'indiquions plus haut au sujet de la mesure des déformations dans les modèles en mortier, l'idéal pour ne pas diminuer la précision en déduisant les contraintes principales, serait de connaître les isostatiques avant de placer les extensomètres, de manière à n'avoir à placer, au lieu de quatre, que deux extensomètres le long les directions des contraintes principales. Ceci est rendu possible pour ce matériau, car si l'on applique sur ses deux faces une couche très fine de laque fragile, en démoulant le modèle et en faisant agir le poids propre, la laque se fissure dessinant des isostatiques de traction; ces fissures sont facilement visibles en saupoudrant finement le modèle avec du sulphure de sodium, lequel, pénétrant dans les fissures attaque l'oxide de plomb du

litharge et forme du sulphure de plomb de couleur noire. Dans la description de la partie expérimentale, on trouvera des photographies et des dessins des isostatiques obtenues.

Dans le premier calcul que nous avons fait pour déterminer l'ordre de grandeur des caractéristiques du matériau, nous avons supposé que la compression maximum du béton était de 50 Kg/cm^2 . En réalité, les contraintes que se produisent sont assez petites, surtout si la couverture est à double courbure. Pour cette raison, nous avons étudié des compositions différentes du matériau des modèles, afin d'obtenir des modules d'élasticité plus bas que celui prévu, et nous pouvons actuellement fabriquer des matériaux dont le module soit compris entre 10 et 500 Kg/cm^2 . Pour le moment, ces matériaux présentent l'inconvénient d'avoir un coefficient de Poisson un peu plus haut que celui du béton, qui est d'habitude compris entre $0,3$ et $0,4$. Plus le module d'élasticité est bas, plus le coefficient se rapprochant de cette dernière valeur.

Nous allons exposer très brièvement, les résultats obtenus jusqu'ici dans un cas pratique dont l'étude n'est pas encore finie.

Le Professeur Torroja a projeté une chapelle à construire dans les hautes Pyrénées espagnoles. En plan, la chapelle est un quadrilatère dont les deux diagonales mesurent 19 et 13 mètres. Sa couverture est formée par deux plaques égales en béton armé ayant la forme d'un triangle rectangle. Les deux plaques sont encastrées l'une sur l'autre le long de leurs hypothénuses. La couverture s'appuie sur les murs, qui ne forment pas une enceinte fermée l'un des coins ayant été remplacé par un ample vitrail, devant lequel est placé l'autel. Dans la figure 5 on peut voir une perspective de l'ensemble.

Le poids propre de la couverture et les surcharges de vent et neige produisent des poussées inclinées sur les murs de contour, et quoique ceux-ci puissent être supposés rigides dans les trois angles pleins, ils se déforment dans les proximités du vitrail, produisant des flexions secondaires dans la couverture. Par les essais réalisés on désire, en premier lieu, connaître l'état de contrainte, en supposant les murs indéformables pour étudier par la suite l'influence de leurs déformations. Pour cela on a construit un modèle de la couverture au $1/15$ (fig. 6), et on a substitué les murs d'appui, par une structure métallique ajustée au contour de la couverture, par dessous et par dessus, permettant les rotations du voile, de

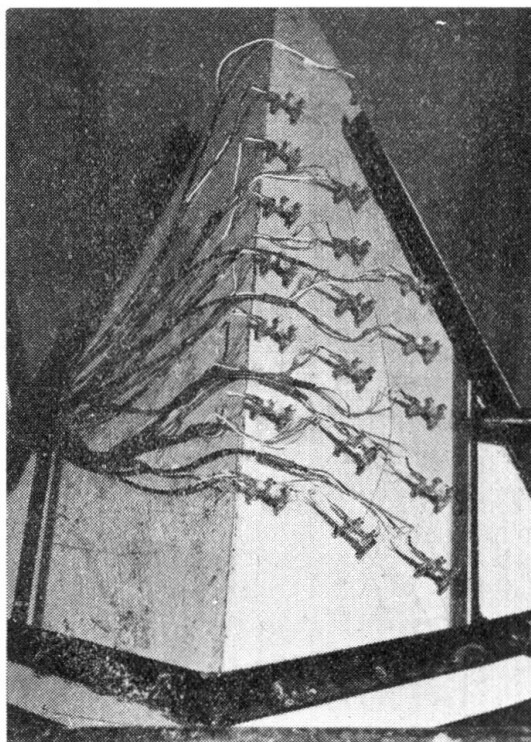


FIG. 7

telle façon que les conditions d'appui ne varient pas en faisant le tour complet du modèle ce qui est le procédé de charge décrit plus haut.

Après avoir demoulé le modèle, on a appliqué sur ses surfaces externe et interne une couche de laque fragile, obtenant ainsi, sous l'action du poids propre les isostatiques sur presque toute la surface (fig. 7). On a observé que dans certaines petites zones il ne se produisait pas de fissures dans la laque, ceci étant dû aux valeurs des contraintes sur les surfaces qui étaient très petites. Avec ces renseignements et quelques mesures complémentaires, on a dessiné les isostatiques représentées dans la figure 8. Les isostatiques représentées dans la moitié supérieure de

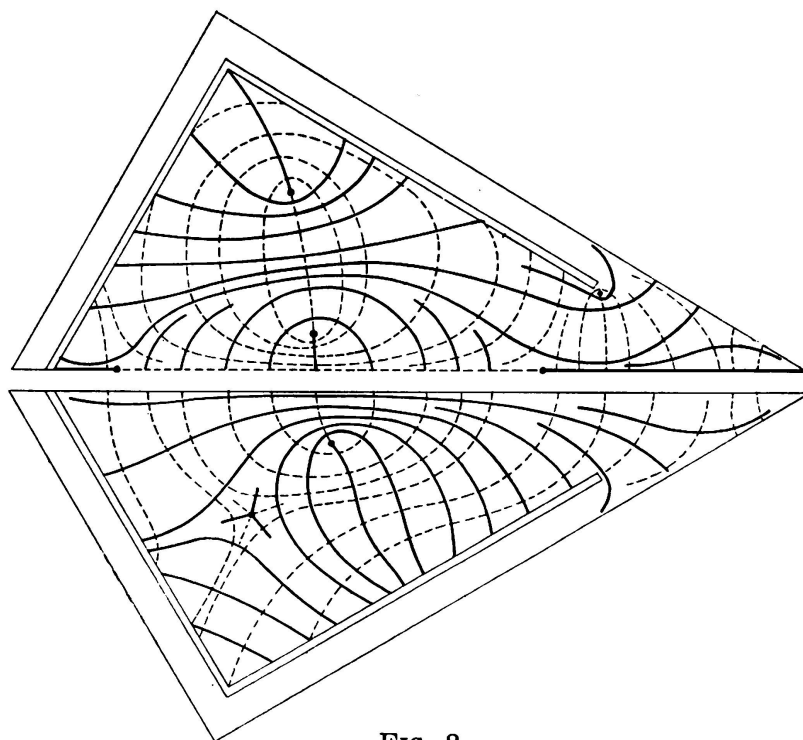


FIG. 8

cette figure, correspondent à celles de la surface externe de la couverture, et les autres à celles de la surface interne. De l'étude comparative des inclinaisons des isostatiques sur les surfaces externe et interne d'un parallélépipède élémentaire, on déduit d'une manière qualitative l'importance des efforts tranchants et de torsion.

Actuellement, et comme on peut l'observer sur la figure 7, on a commencé à mesurer les déformations en divers points du modèle; ces mesures ne seront pas finies lors de la remise de cette communication au Secrétariat de l'Association, nous espérons cependant pouvoir présenter nos conclusions lors des sessions du prochain Congrès.

Tous ces travaux ont été réalisés au Laboratoire Central d'Essais de Matériaux de Construction de l'Ecole d'Ingénieurs de «Camino, Canales y Puertos» de Madrid, sous la direction du Professeur Torroja et avec la collaboration de M. A. Moreno, «Perito Industrial» de ce Laboratoire. L'auteur désire exprimer sa gratitude à ces messieurs pour la collaboration qu'ils ont apporté au développement de cette méthode.

R É S U M É

Après s'être référé aux essais réalisés au Laboratoire Central de Madrid, sur des modèles réduits de toitures en voiles minces, construits en mortier armé, l'auteur propose l'utilisation d'un matériau homogène résistant à la traction et à la compression, et possédant un faible module d'élasticité, de manière à ce qu'il puisse se déformer d'une manière appréciable sous le seul effet de son propre poids.

Il décrit les caractéristiques de ce matériau, l'obtention des isostatiques dans le modèle à l'aide de vernis craquelants et les appareils utilisés pour la mesure des déformations.

Il termine en décrivant l'application à un cas pratique, dont les résultats finals seront présentés au prochain Congrès.

S U M M A R Y

The author describes experimental work carried out at the Central Laboratory of Madrid on reduced scale models of shell roofs made of reinforced concrete. He then suggests the use of a material of homogenous tensile and compressive strength and low modulus of elasticity, so that it deforms appreciably merely under its own weight.

The properties of such a material, as well as the determination of its isostatic pattern are dealt with: in particular, description is given of the method used for obtaining the distribution of isostatics on the models, using brittle lacquer coatings, and the equipment used for deformation recording.

The author finally describes an application to a particular case, final results of which will be submitted at the next Congress.

ZUSAMMENFASSUNG

Unter Hinweis auf die in der Materialprüfungsanstalt der Technischen Hochschule in Madrid durchgeführten Versuche mit Modellen von Schalen-Dachbauten, konstruiert aus bewehrtem Zementmörtel, wird in der vorliegenden Arbeit angeregt, für ähnliche Versuche ein homogenes Material zu verwenden, das neben einer entsprechenden Widerstandsfähigkeit gegen Zug und Druck, auch ein niedriges Elastizitätsmodul besitzt, sodass es durch sein Eigengewicht eine gut ausgeprägte Verformung erleidet.

Es werden die besonderen Eigenschaften des betreffenden Materials beschrieben, sowie der Verlauf der isostatischen Linien desselben, und der Verlauf derselben bei dem mit leicht brüchigem Lack bestrichenen Modell; ebenfalls werden die für die Messung der Verformungen benützten Apparate angegeben.

Zum Schluss wird die Anwendung auf ein praktisches Beispiel erklärt und die Bekanntgabe der Resultate für den nächsten Kongress in Aussicht gestellt.

RESUMO

Depois de referir-se aos ensaios realizados no Laboratório Central de Madrid, em modelos reduzidos de coberturas delgadas, construídos em betão armado, o autor, propõe a utilização de um material homogéneo, resistente à tracção ou à compressão e de fraco módulo de elasticidade, de modo a obterem-se deformações apreciáveis sob a simples acção do seu peso próprio.

Descrevem-se as características do referido material, a obtenção das isostáticas no modelo com lacas frágeis e os aparelhos utilizados para medir deformações.

O autor termina descrevendo a aplicação a um caso prático, cujos resultados finais serão apresentados no próximo Congresso.