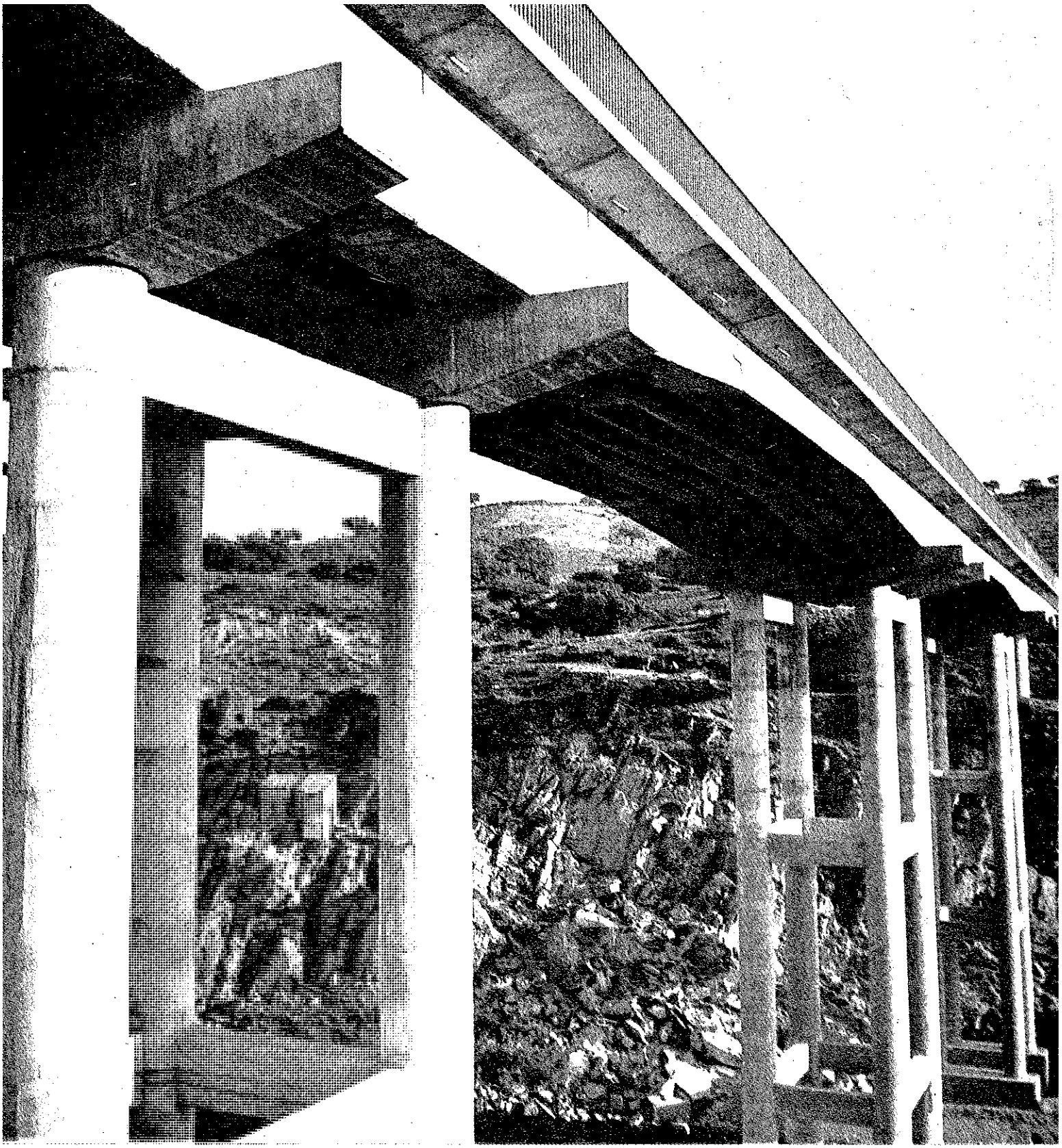


ASOCIACION TECNICA ESPAÑOLA
DEL PRETENSADO

INSTITUTO EDUARDO TORROJA DE LA
CONSTRUCCION Y DEL CEMENTO

COSTILLARES - CHAMARTIN
MADRID - 16

y acero

n. 97

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

MIEMBROS PROTECTORES DE LA ASOCIACION TECNICA ESPAÑOLA DEL PRETENSADO

Dentro de nuestra Asociación existe una categoría, la de **"Miembro Protector"**, a la que pueden acogerse, previo pago de la cuota especial al efecto establecida, todos los Miembros que voluntariamente lo soliciten. Hasta la fecha de cierre del presente número de la Revista, figuran inscritos en esta categoría de **"Miembro Protector"** los que a continuación se indican, citados por orden alfabético:

CANTERAS Y AGLOMERADOS, S. A. — Pintor Fortuny, 3. Barcelona-1.
CENTRO DE TRABAJOS TECNICOS, S. L. — Consejo de Ciento, 304. Barcelona-7.
CONSTRUCCIONES CARLOS ERROZ. — Avda. Carlos III, 50. Pamplona (Navarra).
ELABORADOS METALICOS, S. A. (EMESA). — Apartado 553. La Coruña.
FORJADOS DOMO. — General Mola, 31. Madrid-1.
INTEMAC, S. A. — Monte Esquinza, 30. Madrid-4.
MEDITERRANEA DE PREFABRICADOS, S. A. — Apartado 34. Benicarló (Castellón).
NUEVA MONTAÑA QUIJANO, S. A. — P.º de Pereda, 32. Santander.
PACADAR, S. A. — Castelló, 48. Madrid-1.
PREFABRICACION PESADA Y PRETENSADOS. — Comandante Zorita, 2. Madrid-20.
PROCEDIMIENTOS BARREDO. — Raimundo Fernández Villaverde, 45. Madrid-3.
PROYECTOS DE INGENIERIA CIVIL. — General Perón, 20. Madrid-20.
S. A. ECHEVARRIA. — Apartado 46. Bilbao-8.
S.A.E. BBR. — Rosellón, 229. Barcelona-8.
SICOP, S. A. — Princesa, 24. Madrid-8.

La Asociación Técnica Española del Pretensado se complace en expresar públicamente su agradecimiento a las Empresas citadas, por la valiosa ayuda que le prestan, con su especial aportación económica, para el desenvolvimiento de los fines que tiene encomendados.

Nuevos miembros correspondientes del Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento

En la sesión del Consejo Técnico Administrativo de este Instituto Eduardo Torroja, celebrada el día 22 de abril del presente año 1970, se trató sobre los deseos de estrechar los lazos de unión con el I.E.T.c.c., expresados por el Departamento Técnico y Laboratorios de Aprovence, Caracas.

En este sentido, el Consejo hizo constar el especial interés y cariño con que acoge los deseos de dicho Departamento en la seguridad del positivo beneficio que reportará toda acción encaminada a fortalecer las relaciones entre ambas instituciones.

En consecuencia, y por unanimidad, se tomó el acuerdo de conceder al Departamento citado, a todos los efectos de colaboración a que pueda dar lugar, el título de miembro correspondiente del Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento.

son instituciones miembros correspondientes del Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento

La Pontificia Universidad Católica de Chile.
La Facultad de Arquitectura de la Universidad del Valle de Calí (Colombia).
El Departamento de Ingeniería de la Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca (República Argentina).
La Facultad de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú.
La Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela.
La Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica de Córdoba (República Argentina).
La Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad de Chile (Santiago de Chile).
El Instituto de la Construcción de Edificios de la Facultad de Arquitectura. Montevideo (Uruguay).
El Instituto Nacional de Tecnología Industrial. Buenos Aires.
La Facultad de Arquitectura de la Universidad Nacional de Colombia.
La Universidad Autónoma - Guadalajara, Jalisco, México.
El Departamento Técnico y Laboratorios de Aprovence, Caracas.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

ASOCIACION TECNICA ESPAÑOLA DEL PRETENSADO

hormigón y acero

n. 97

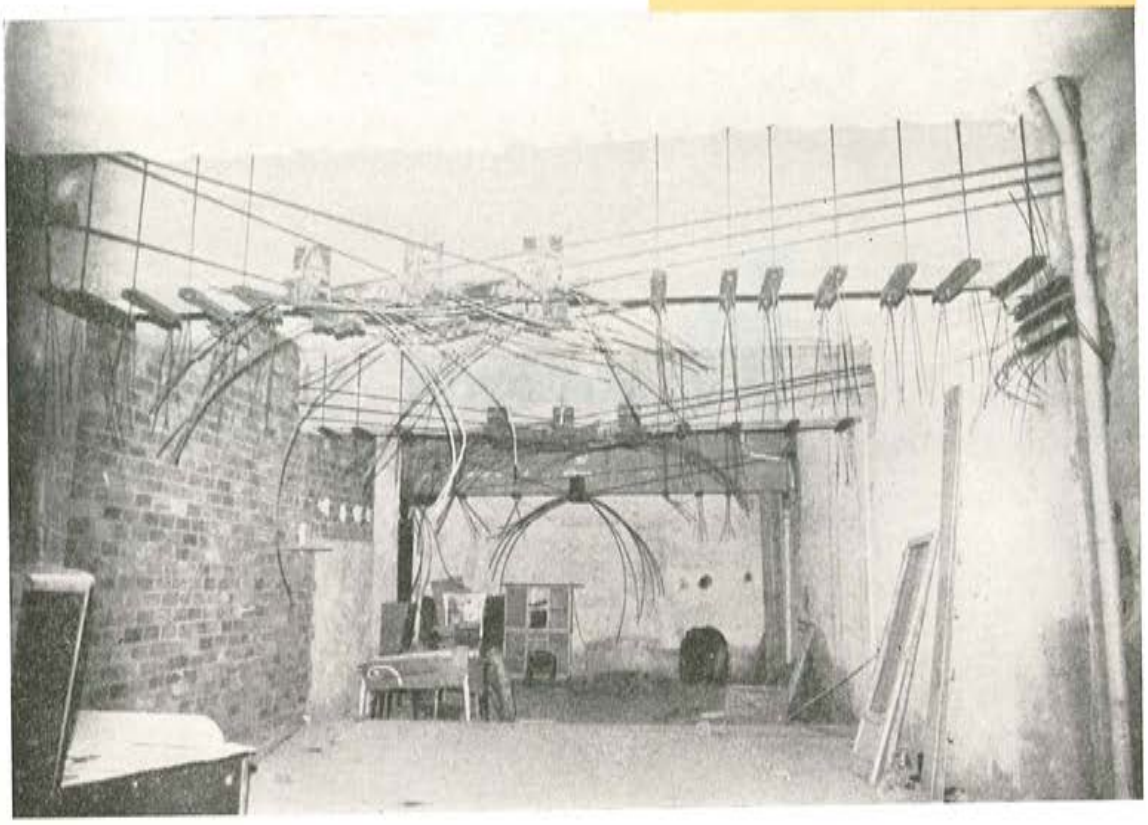
4.º trimestre 1970

INSTITUTO EDUARDO TORROJA DE LA CONSTRUCCION Y DEL CEMENTO. – COSTILLARES – CHAMARTIN – MADRID-16

Depósito Legal: M 853-1958
Tipografía Artística. - Madrid.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

procedimientos **Barredo**



REFUERZO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGON

- Sistemas Barredo y Multi-B de hormigón postesado
- Cimbras para lanzamientos de vigas

Raimundo Fernández Villaverde, 45 - Teléfono 233 03 00 - MADRID - 3

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

asociación técnica española del pretensado

CUOTA ANUAL	ESPAÑA	EXTRANJERO
	Pesetas	Dólares
Socios protectores	5.000	100,—
Socios colectivos	2.000	40,—
Socio individual, no adherido al I. E. T. c. c.	600	12,—
Socio individual, adherido al I. E. T. c. c.	300	6,—

Ni la Asociación ni el Instituto, una de cuyas finalidades es divulgar los trabajos de investigación sobre la construcción y sus materiales, se hacen responsables del contenido de ningún artículo y el hecho de que patrocinen su difusión no implica, en modo alguno, conformidad con la tesis expuesta.

De acuerdo con las disposiciones vigentes, deberá mencionarse el nombre de esta Revista en toda reproducción de los trabajos insertos en la misma.

hormigón y acero n. 97

índice

Páginas

457-0-44 ***La edición "Praga 1970" de las Recomendaciones internacionales para el hormigón armado y pretensado*** 7
L'édition "Prague 1970" des Recommandations internationales pour le béton armé et le béton precontraint.
The "Prague 1970" edition of the international Recommendations for reinforced and prestressed concrete.
F. Levi.

457-8-36 ***Examen de algunos accidentes en pretensado*** 13
Examen de quelques accidents en précontrainte.
Examination of some accidents in prestressed concrete structures.
M. C. Hossard

591-0-20 ***Realizaciones recientes en hormigón pretensado, según la técnica francesa*** 23
Réalisations récentes en béton précontraint, suivant la technique française.
Recent projects in prestressed concrete in accordance with French technology.
R. Cherki.

591-8-17 ***Informe de la Comisión de la FIP sobre prefabricación*** 37
Rapport de la Commission de la FIP sur la préfabrication.
Report of the FIP Committee on prefabrication.

591-9-27 ***Estudio teórico de la forma que debe darse a las presas de gravedad pretensadas*** 65
Etude théorique de la forme à donner aux barrages-poids en béton précontraint.
Theoretical study of the conformation of prestressed concrete gravity dams.

Notas de la FIP correspondientes a los meses de enero-abril de 1970 107

Nota de la A.T.E.P. Intercambio de publicaciones. 125

PORTADA: ***Puente del Ahigal. Proyecto de A. Martínez Santonja.***

Comité de Redacción de la Revista Hormigón y Acero

AROCA, Ricardo
BARREDO, Carlos
CUVILLO, Ramón
FERNANDEZ TROYANO, Leonardo
FERNANDEZ VILLALTA, Manuel
JODAR, Juan
MANTEROLA, Javier
MARTINEZ SANTONJA, Antonio
MONEO, Mariano
MORENO TORRES, Juan
PIÑEIRO, Rafael
ROMERO, Rafael

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

RELACION DE EMPRESAS QUE, EN LA FECHA DE CIERRE DEL PRESENTE NUMERO, FIGURAN INSCRITAS EN LA ASOCIACION TECNICA ESPAÑOLA DEL PRETENSADO, COMO "MIEMBROS COLECTIVOS"

E S P A Ñ A

AEDIUM, S. A. — Basauri (Vizcaya).
AGRUPACION NACIONAL DE LOS DERIVADOS DEL CEMENTO. — Madrid.
AGUSTI, S. L. — Gerona.
ARION, S. A. — Barcelona.
ASOCIACION TECNICA DE DERIVADOS DEL CEMENTO. — Barcelona.
AUTOPISTAS, CONCESIONARIA ESPAÑOLA, S. A. — Barcelona.
BAGANT. — Castellón.
BUTSEMS, S. A. — Barcelona.
BUTSEMS, S. A. — Madrid.
BUTSEMS, S. A. — Valencia.
CAMARA, S. A. — VIGUETAS CASTILLA. — Valladolid.
CAMINOS Y PUERTOS, S. A. — Madrid.
CASA GARGALLO, S. A. — Madrid.
CENTRO DE ESTUDIOS C.E.A.C. — Barcelona.
CERAMICA RUBIERA. — Gijón (Oviedo).
CIDESA, CONSTRUCCION INDUSTRIAL DE EDIFICIOS, S. A. — Barcelona.
CIMACO, S. A. — Madrid.
COLEGIO OFICIAL DE APAREJADORES. — La Coruña.
COLEGIO OFICIAL DE ARQUITECTOS VASCO-NAVARRO. — Bilbao.
COMPAÑIA AUXILIAR DE LA EDIFICACION, S. A. — Madrid.
CIA. DE CONSTRUCCIONES HIDRAULICAS Y CIVILES, S. A. — HIDROCIVIL. — Madrid.
CONSTRUCCIONES BETIKO, S. A. — Bilbao.
CONSTRUCCIONES COLOMINA G. SERRANO, S. A. — Madrid.
CONSTRUCCIONES Y CONTRATAS, S. A. — Madrid.
CONSTRUCCIONES PUJOL, S. A. — Madrid.
CONSTRUCTORA MAXACH, S. A. — Madrid.
COTECOSA. — Bilbao.
CUPRE. —Valladolid.
DIREC. GENERAL DE FORTIFICACIONES Y OBRAS.—MINIST. DEL EJERCITO.—Madrid.
DRAGADOS Y CONSTRUCCIONES, S. A. — Madrid.
EDES, S. A. — Madrid.
EMPRESA AUXILIAR DE LA INDUSTRIA. — AUXINI. — Madrid.
ENAGA, S. A.— Madrid.
ENTRECANALES Y TAVORA, S. A. — Madrid.
ESTUDIOS Y PROYECTOS TECNICOS INDUSTRIALES, S. A. — Madrid.
E. T. S. ARQUITECTURA. — Barcelona.
EUROESTUDIOS, S. A. — Madrid.
EXPOSICION PERMANENTE E INFORMACION DE CONSTRUCCION. — EXCO. — Madrid.
FABRICADOS PARA LA CONSTRUCCION, S. A. — FACOSA. — Madrid.
FERGO, S. A. DE PRETENSADOS. — Valencia.
FERNANDEZ CONSTRUCTOR, S. A. — Madrid.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

FERROLAND, S. A. — Valencia.
FORJADOS "DOL". — Esquivias (Toledo).
FORMO, S. A. — Barcelona.
GABINETE DE ORGANIZACION Y NORMAS TECNICAS. — MINIST. DE O. P. — Madrid.
GUARNER Y TRIGO, S. L. — Madrid.
HEREDIA Y MORENO, S. A. — Madrid.
HIDAQUE, S. A. — Granada.
HIERROS FORJADOS Y CEMENTOS, S. A. — HIFORCEM. — Sevilla.
HORPRESA, S. A. — Madrid.
HORSA, S. A. — Barcelona.
HUARTE Y CIA., S. A. — Madrid.
INDUSTRIAS ALBAJAR, S. A. — Zaragoza.
INDUSTRIAS DEL CEMENTO. — VIGUETAS CASTILLA, S. A. — Sestao (Vizcaya)
INDUSTRIAS DEL HORMIGON. — INHOR. — Madrid.
INGENIERIA Y CONSTRUCCIONES SALA AMAT, S. A. — Barcelona.
INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZACION. — Madrid.
INTERNACIONAL DE INGENIERIA Y ESTUDIOS TECNICOS, S. A. — INTECSA. — Madrid.
JEFATURA PROVINCIAL DE CARRETERAS DE VALENCIA. — Valencia.
3.ª JEFATURA REGIONAL DE CARRETERAS. — SERVICIO DE CONSTRUCCION. — Bilbao
3.ª JEFATURA REGIONAL DE CARRETERAS. — SERVICIO DE MATERIALES. — Bilbao.
5.ª JEFATURA REGIONAL DE CARRETERAS. — Barcelona.
JOSE MARIA ELOSEGUI. — CONSTRUCCIONES. — San Sebastián (Guipúzcoa).
JUNTA DEL PUERTO DE ALMERIA. — Almería.
LABORATORIO DE INGENIEROS DEL EJERCITO. — Madrid.
LABORATORIO DEL TRANSPORTE Y MECANICA DEL SUELO. — Madrid.
MAHEMA, S. A. — Granollers (Barcelona).
MATERIALES PRETENSADOS, S. A. — MATENSA. — Madrid.
MATERIALES Y TUBOS BONNA, S. A. — Madrid.
MATUBO, S. A. — Madrid.
J. MIRO TREPAT, CONSTRUCCIONES, S. A. — Barcelona.
OTAISA. — Sevilla.
OTEP INTERNACIONAL, S. A. — Madrid.
V. PEIRO, S. A. — Valencia.
PIEZAS MOLDEADAS, S. A. — PIMOSA. — Barcelona.
PREFABRICACION DE ELEMENTOS PARA LA CONSTRUCCION. — PRELCONSA. — San Claudio (Oviedo).
PREFABRICADOS ALAVESES, S. A. — PREASA. — Vitoria (Alava).
PREFABRICADOS DE CEMENTOS, S. A. — PRECESA. — León.
PREFABRICADOS ELKAR, S. A. — Burlada (Pamplona).
PREFABRICADOS POUSA, S. A. — Santa Perpetua de Moguda (Barcelona).
PREFABRICADOS STUB. — MANRESANA DE CONSTRUC., S. A. — Manresa (Barcelona).
PRETENSADOS AEDIUM, S. L. — Pamplona (Navarra).
PRODUCTOS DERIVADOS DEL CEMENTO, S. L. — Valladolid.
PRODUCTOS PRETENSADOS, S. A. — POSTENSA. — Bilbao.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

REALIZACIONES Y ESTUDIOS DE INGENIERIA, S. A. — Madrid.
RUBIERA PREFLEX, S. A. — Gijón (Oviedo).
S. A. E. M. — Valencia.
SAINCE. — Madrid.
SALTOS DEL SIL, S. A. — Madrid.
SECOTEC. — Madrid.
SENER, S. A. — Las Arenas (Vizcaya).
SERVICIO MILITAR DE CONSTRUCCIONES. — Barcelona.
SIKA, S. A. — Madrid.
SOCIEDAD ANONIMA ESPAÑOLA TUBO FABREGA. — Madrid.
SOCIEDAD ANONIMA DE MATERIALES Y OBRAS. — Valencia.
SOCIEDAD FRANCO-ESPAÑOLA DE ALAMBRES, CABLES Y TRANSPORTES AEREOS, SOCIEDAD ANONIMA. — Erandio (Bilbao).
SOCIEDAD GENERAL DE OBRAS Y CONSTRUCCIONES. — OBRASCON. — Córdoba.
TAU CENTRO, S. A. — Madrid.
TEJERIAS "LA COVADONGA". — Muriedas de Camargo (Santander).
TENSYLAND, S. A. — Gironella (Barcelona).
TEPSA. — Tarrasa (Barcelona).
TOSAM, S. L. — Segovia.
TRENZAS Y CABLES DE ACERO, S. A. — Santa María de Barbará (Barcelona).
TUBERIAS Y PREFABRICADOS, S. A. — TYPSA. — Madrid.
UNION MADERERA CACEREÑA, S. L. — Cáceres.
VALLEHERMOSO, S. A. — Madrid.
VIAS Y OBRAS PROVINCIALES.— San Sebastián (Guipúzcoa).
VIGAS REMARRO. — Motril (Granada).
VIGUETAS ASTURIAS, S. L. — Oviedo.
VIGUETAS BORONDO. — Madrid.
VIGUETAS CORONA, S. A. — Sevilla.
VIGUETAS FERROLAND, S. A. — Santa Coloma de Gramanet (Barcelona).
VIGUETAS NUÑEZ. — Salamanca.

EXTRANJERO

CACERES & PIAGGIO, CONTRATISTAS GENERALES, S. A. — Lima (Perú).
EMPRESA DE CONSTR. CIVIS E INDUSTRIAIS, LDA. — Lourenço Marques (Mozambique).
ESCUELA DE CONSTRUCCION CIVIL. — Univ. Católica de Valparaíso. Valparaíso (Chile).
FACULTAD DE INGENIERIA (BIBLIOTECA). — Buenos Aires (Rep. Argentina).
FACULTAD DE INGENIERIA. — Universidad Católica de Salta. — Salta (Rep. Argentina).
INSTITUTO TECNOLOGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY (BIBLIOTECA). — Monterrey N. L. (México).
MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS. — DIRECCION DE VIALIDAD. — DIV. BIBLIOTECA Y PUBLICACIONES. — La Plata (Prov. de Buenos Aires), República Argentina.
NATIONAL REFERENCE LIBRARY OF SCIENCE AND ANVENTION. — Londres (Inglat.).
UNIVERSIDAD DE CHILE. — AREA DE ARTE Y TECNOLOGIA (Departamento Tecnológico. — Valparaíso (Chile).
UNIVERSIDAD DE CHILE— FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS — DEPARTAMENTO DE O. C. — (Biblioteca Central). — Santiago de Chile (Chile).
UNIVERSIDAD MAYOR SAN ANDRES — FACULTAD DE INGENIERIA. — La Paz (Bolivia).
UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO (Biblioteca). — Mayaguez (Puerto Rico).

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

la edición "Praga 1970" de las recomendaciones internacionales para hormigón armado y hormigón pretensado

Prof. Ing. FRANCO LEVI
Presidente h.c. del C. E. B.
Presidente honorario de la F. I. P.

Por segunda vez en el espacio de una década, un milagro se ha producido: los más autorizados representantes de la técnica del hormigón armado, teóricos y constructores, investigadores y calculistas, han logrado, a costa de considerables esfuerzos, ponerse de acuerdo para redactar un conjunto de Principios y Recomendaciones que han de servir, a la vez, como base filosófica para la puesta al día y la unificación de las diversas Normas nacionales y como documento prototipo en el que se da una veraz interpretación de las reglas fundamentales enunciadas.

Los autores de este milagro han sido el Comité Europeo del Hormigón y la Federación Internacional del Pretensado, quienes han sabido movilizar y hacer trabajar en colaboración a los más eminentes especialistas del mundo entero. Séanos permitido destacar este éxito como una victoria del espíritu de síntesis sobre las tendencias dispersivas que, con excesiva frecuencia, caracterizan la evolución de la ciencia moderna; como un ejemplo metodológico en el cual podrían inspirarse con provecho un buen número de las actuales agrupaciones internacionales.

Con seguridad, sobrepasaríamos los límites de esta breve presentación si quisiésemos analizar con detalle los innumerables progresos que separan la edición del 64 de las Recomendaciones del CEB para hormigón armado ordinario y la propuesta FIP/CEB del 66 para hormigón pretensado, de la actual edición. En consecuencia, nos limitaremos a destacar las líneas esenciales de la evolución experimentada.

Esto nos lleva, de un modo natural, a tratar ante todo de los principios de la seguridad, los cuales, aun permaneciendo fieles a los conceptos del método "semiprobabilista en los estados límites", han evolucionado realizándose importantes avances en lo que se refiere a una interpretación más correcta de los fenómenos reales.

Un primer paso de considerable alcance lo constituye el hecho de haber introducido una clasificación de las acciones (se designan así las influencias capaces de producir estados de tensión en las estructuras) en dos categorías: las fuerzas, o acciones directas, por un lado y las deformaciones impuestas, o acciones indirectas, por otro. De esta forma queda definitivamente establecida la diferencia fundamental que, desde el punto de vista de la seguridad, existe entre las cargas permanentes o variables que la estructura soporta y cuyo equilibrio debe asegurar, y las deformaciones impuestas cuya compatibilidad con las uniones entre distintos elementos del sistema estructural que se considera queda garanti-

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

zada por la aparición de "deformaciones complementarias". Lo que demuestra de un modo evidente que, el efecto estático de las deformaciones complementarias depende de la deformabilidad de la estructura y tiende a disminuir en la fase de comportamiento anelástico.

Otra idea nueva, que seguramente constituirá el punto de partida para ulteriores avances, es el inicio de una subdivisión más detallada de los coeficientes correctores γ_m y γ_s que sirven para calcular las resistencias o las acciones y solicitaciones de cálculo. En efecto, la aplicación correcta de los principios probabilistas a las estructuras hiperestáticas lleva a establecer una distinción entre los factores cuya influencia se deja sentir sobre el conjunto de la estructura (disminución general de las resistencias, aumento general de la intensidad de las acciones, etc.) y aquéllos que sólo producen un efecto local (reducción de la resistencia en un punto, aumento local de las solicitaciones como consecuencia de una variación de las dimensiones geométricas, etc.). Ello conduce a desarrollar un cálculo en dos etapas: la primera, efectuada en régimen no lineal destinada a tener en cuenta los factores de incertidumbre que tienen una influencia de carácter global; la segunda, en la cual solicitaciones y resistencias aparecen afectadas por correcciones proporcionales, destinada a considerar los fenómenos que actúan localmente.

Resulta interesante señalar a este respecto que, el empleo de estos coeficientes diferenciados a los cuales acabamos de referirnos, equivale en definitiva a la aplicación del método que consiste en efectuar una "transmisión" de momentos. En efecto, se puede demostrar fácilmente que el "coeficiente de transmisión" equivale al coeficiente de redistribución que caracteriza la fase anelástica del cálculo. En otras palabras, el método de los coeficientes diferenciados permite dar una explicación racional al concepto de transmisión.

De igual modo, se ha realizado también un gran esfuerzo en el estudio de las combinaciones de acciones que deben tenerse en cuenta en los cálculos; sin embargo, en este campo los resultados obtenidos son todavía discutibles debido a la ausencia de bases estadísticas suficientemente garantizadas. A este respecto, el CEB y la FIP se reservan el derecho a adoptar en breve plazo, las iniciativas necesarias para lograr, de acuerdo con las otras Asociaciones interesadas, una definición más precisa de los datos del problema.

Nos limitaremos a señalar, de pasada, las significativas mejoras introducidas en los cálculos en el estado límite de rotura bajo tensiones normales y en las comprobaciones en los estados límites de inestabilidad; así podremos insistir de un modo especial en la evolución de las teorías de fisuración y en la introducción del nuevo concepto de "clase de comprobación".

Los redactores de la edición del 70 han tropezado, en este campo, con numerosas dificultades. Se trataba, en efecto, de establecer una continuidad entre el hormigón armado ordinario y el hormigón pretensado, lo que exigía necesariamente una definición racional de los estados límites de fisuración que caracterizan el paso de una a otra técnica. Pero al propio tiempo era preciso tener en cuenta la inevitable imprecisión que lleva consigo cualquier estudio sobre los estados límites de utilización del complejo acero-hormigón, imprecisión que es precisamente una de las causas principales que motivaron al abandono de los métodos clásicos de cálculo. Hubo, por tanto, que introducir innovaciones aun sabiendo que, sin embargo, no era posible aspirar a la perfección

En consecuencia, se empezó por definir tres estados límites de fisuración: el estado de descompresión, caracterizado por una tensión nula en la fibra menos comprimida (y co-

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

rrespondiente a una probabilidad muy pequeña de fisuración); el estado límite de formación de fisuras, que entraña una limitación de las tensiones en el hormigón y en el acero sometidos a tracción (para mantener la probabilidad de fisuración por debajo de un límite suficientemente pequeño, previamente fijado); y el estado límite de abertura de fisuras, correspondiente a una probabilidad, fijada a priori, de que las aberturas máximas de las fisuras, no excedan de unos determinados valores. Para calcular estas aberturas se han propuesto nuevos métodos de origen teórico-experimental.

En correspondencia con estos diferentes estados límites se definen cuatro "clases de comprobación" que cubren todas las formas de funcionamiento que, durante su vida de servicio, puede adoptar el complejo acero-hormigón. La clase I corresponde al hormigón pretensado total y debe comprobarse en el estado límite de descompresión, para la totalidad de las acciones. La clase II se comprobará en el estado límite de descompresión bajo la fracción X de las cargas variables que totalicen, por año, una gran duración de aplicación, y en el estado límite de formación de fisuras, bajo la totalidad de las acciones. La clase III se comprobará en el estado límite de formación de fisuras, bajo la fracción X de las cargas variables y, en el estado límite de abertura de fisuras, bajo la totalidad de las acciones. Debe evitarse esta clase III en ambientes agresivos o cuando se prevea que pueden presentarse fenómenos de fatiga. Finalmente, la clase IV (que corresponde a las estructuras sin armaduras de pretensado) se comprobará siempre en el estado límite de abertura de fisuras, pero con limitaciones distintas, sin embargo, según las condiciones de carga.

En el capítulo "Solicitaciones tangentes" se han introducido también novedades sustanciales que permiten augurar, para el futuro, importantes progresos. La necesidad de estudiar el comportamiento de las zonas de fisuración sistemática, así como el de las regiones en las que el pretensado limita estrechamente la aparición de fisuras y, a veces, incluso las elimina por completo, ha inducido a diferenciar tres formas de equilibrio: la forma A, en la cual la resistencia depende de la integridad del hormigón; la forma B, en la que la resistencia puede depender, bien de la integridad del hormigón, bien de la constitución de una red acero-hormigón como consecuencia de una fisuración moderada, y la forma C, típica de las vigas, en la que la resistencia queda asegurada por la formación de complejos mecanismos en los que intervienen simultáneamente las cabezas de la sección, las bielas inclinadas de hormigón y las armaduras. De esta manera, se tienen en cuenta todas las formas que puede adoptar el funcionamiento del complejo acero-hormigón en presencia de estados planos de tensión; lo que permite generalizar los cálculos en cuestión a las estructuras planas o de débil curvatura (láminas planas, etc.). Cada forma de equilibrio exige comprobar la seguridad, tanto respecto al hormigón como respecto al acero. Sin embargo, en el caso A, esta última queda asegurada simplemente con la presencia de una cuantía mínima de armadura. Por regla general, en las vigas, las fórmulas adoptadas permiten conseguir una importante economía de armadura. Como contrapartida, se hace preciso respetar rigurosamente normas muy precisas respecto a la colocación de armaduras, anclajes y ejecución.

También se incluyen prescripciones complementarias relativas a la seguridad respecto a la fisuración por esfuerzo cortante; en este campo, sin embargo, se continúa investigando con el fin de poder simplificar los métodos de cálculo y ver si se logra evitar que haya que realizar dos comprobaciones distintas: en el estado límite de rotura y en el estado límite de fisuración.

En la edición del 70 de las Recomendaciones, aparecen también nuevas indicaciones

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

en relación con la resistencia a la torsión, si bien aplicables solamente al hormigón armado clásico, y se han mejorado las normas sobre adherencia y anclaje de armaduras.

Por otra parte, no podemos dejar de señalar el perfeccionamiento de las fórmulas aplicables al cálculo de las deformaciones; el mayor número de datos relativos a los materiales (en particular con respecto a la retracción y fluencia del hormigón y a la relajación del acero), la introducción de normas de cálculo para los hormigones de áridos ligeros y una notable ampliación realizada en estrecha colaboración con la RILEM de los capítulos dedicados a disposiciones constructivas y ejecución de las obras.

La finalidad de estos capítulos es garantizar que la ejecución de las estructuras se ajusta estrictamente a las previsiones del proyectista, con el fin de, por una parte, asegurarse de que se respeten las condiciones que exige la adopción de los métodos de cálculo, más afinados, previstos en las Recomendaciones y, por otra parte, con el objeto de garantizar la durabilidad de las obras. Esto, en aplicación del Principio, según el cual "la durabilidad de una obra es tan esencial como su resistencia".

Para completar el cuadro de documentos puestos a punto por el CEB y la FIP con ocasión del Congreso de Praga de junio de 1970, falta todavía enumerar el contenido del segundo volumen (que actualmente se está terminando de imprimir) y que es el siguiente:

— Normas para la homologación de los aceros de alta adherencia.
— Normas para la homologación de los aceros de pretensado.
— Recomendaciones relativas a la resistencia al fuego de las estructuras de hormigón armado ordinario o de hormigón pretensado.
— Resúmenes de trabajo de la Comisión de la FIP sobre durabilidad de las estructuras.
— Recomendaciones para el cálculo de las vigas pared y de las zapatas de cimentación.

Estos "fascículos" (tal es su denominación oficial) vienen a unirse a las otras publicaciones que, durante los últimos años, el CEB ha puesto ya a disposición de los constructores:

— Recomendaciones para el cálculo y la ejecución de estructuras prefabricadas a base de grandes paneles unidos entre sí.
— Anejo sobre el cálculo de estructuras hiperestáticas (en prensa).
— Anejo sobre el cálculo de placas, según la teoría de las líneas de rotura (en prensa).

° ° °

Una vez bosquejado, en esta visión de conjunto, el cuadro de los trabajos desarrollados hasta el presente por el CEB y la FIP debemos indicar resumidamente la orientación prevista para sus futuras actividades.

En el preámbulo de las Recomendaciones se dice que el nuevo texto, a pesar de los esfuerzos realizados, "todavía presenta bastantes lagunas y, con respecto a ciertos puntos, ha sido preciso contentarse con soluciones de compromiso o, incluso, simples esbozos de soluciones". Algunos de estos puntos han sido ya reseñados de pasada: la subdivisión de los coeficientes γ, las combinaciones de sobrecargas, la fisuración, la torsión. Otros capítulos incompletos son los que se refieren al estudio de las deformaciones y su repercu-

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

sión en el pandeo y los cálculos hiperestáticos. Todavía hay otros, por ejemplo, el relativo al esfuerzo cortante, que seguramente se perfeccionarán en el futuro.

Es evidente, por tanto, que el CEB y la FIP deberán proseguir su trabajo en común y continuar realizando la síntesis de los progresos logrados en sus respectivos campos de actividad. Probablemente, sin embargo, la puesta al día de la edición del 70 sea menos rápida que la de la edición del CEB del 64, debido a que el nivel del actual texto es netamente superior y permite ya un análisis satisfactorio de la mayor parte de los problemas normales. Por estos motivos, y al propio tiempo para eliminar el riesgo de que la permanente búsqueda de la perfección científica llegue a anular el espíritu de síntesis que anima los trabajos de los organismos técnicos de las dos Asociaciones, se ha previsto iniciar otras actividades de carácter concreto, tales como la redacción de Manuales de Aplicación que ayuden a difundir las ideas básicas de las Recomendaciones, en las oficinas de proyectos y en las obras. Aunque este programa no está aún definido en sus detalles, es probable que se preparen distintos tipos de Manuales. Primero se publicarán unos "Complementos", destinados a los proyectistas, que servirán para justificar el contenido de las Recomendaciones y dar algunos ejemplos de aplicación. Probablemente, después se irán editando una serie de verdaderos "Manuales" sobre el cálculo a flexión, esfuerzo cortante, inestabilidad, en los cuales las oficinas de proyectos encontrarán todos los datos necesarios para la utilización práctica de los métodos propuestos. Por último, se dedicarán otros volúmenes a tratar temas tales como: la preparación de las armaduras, el empleo de los hormigones ligeros, etc.

Así, se podrá proseguir, en un justo equilibrio, el esfuerzo para evitar toda escisión entre el progreso científico y el desarrollo de las aplicaciones prácticas, lo que constituye la razón de ser de la colaboración entre el Comité Europeo del Hormigón y la Federación Internacional del Pretensado.

(Traducido por Rafael Piñeiro.)

Fe de erratas

En la página 83 del número 96 de Hormigón y Acero, dentro del artículo "El hormigón pretensado en la arquitectura española", se cita, erróneamente, como constructor del edificio IBM a la Empresa JOTSA, cuando en realidad dicho edificio ha sido construido por Entrecanales y Távora, S. A.

En la página 100 del número 94-95 (extraordinario) de Hormigón y Acero, dentro del artículo "Alargamiento y límite elástico de los aceros. Normalización", dice:

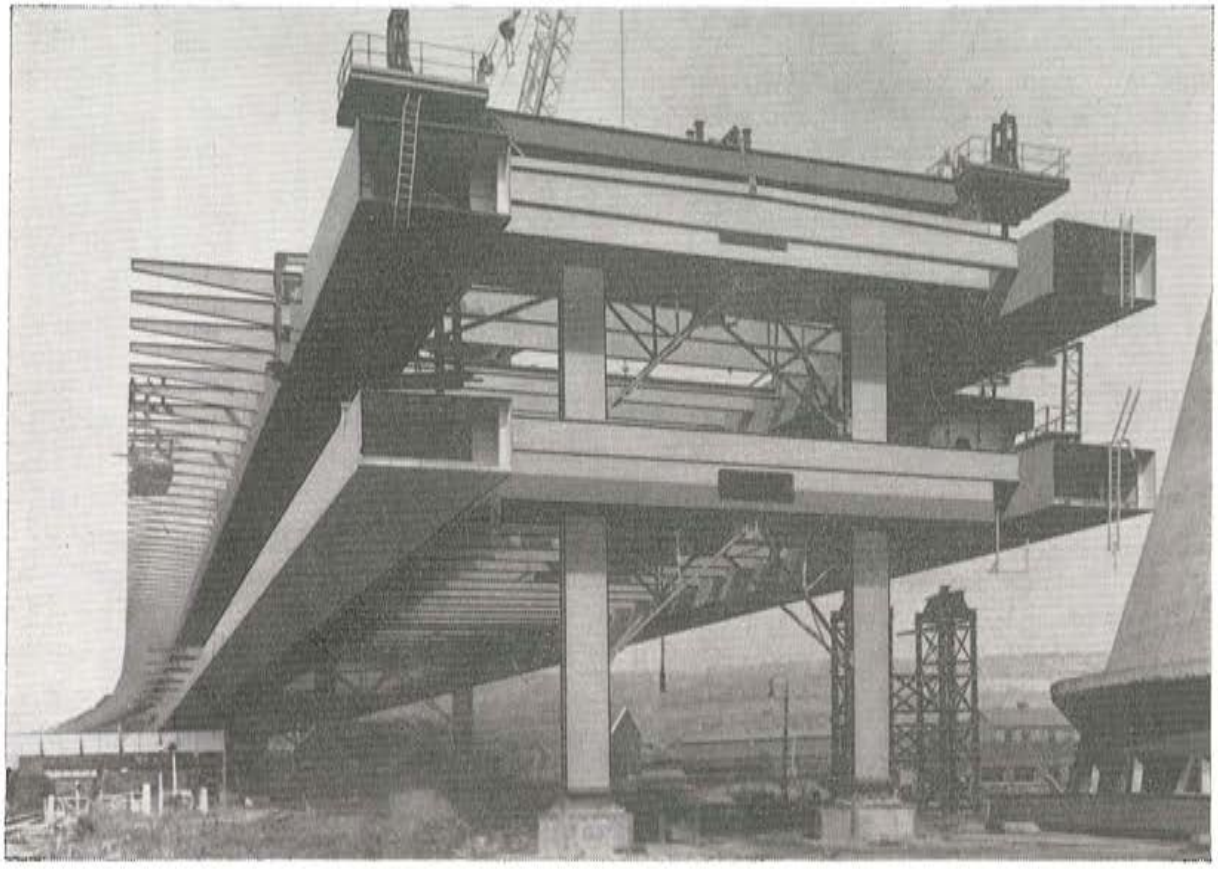
a) Alargamiento plástico de rotura uniformemente repartido.
b) Alargamiento total de rotura (con estricción) en 250 mm.
c) Alargamiento plástico de rotura (con estricción) en 250 mm.
d) Alargamiento plástico de rotura (con estricción) en 100 diámetros.

cuando debiera decir:

b = alargamiento plástico de rotura uniformemente repartido.
c = alargamiento total de rotura (con estricción) en 250 mm.
d = alargamiento plástico de rotura (con estricción) en 250 mm.
e = alargamiento plástico de rotura (con estricción) en 10 diámetros.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

¿conoce las posibilidades de las nuevas calidades de acero...



... de alto límite elástico y baja aleación?

ACERO EX-TEN 50. De acuerdo con nuestro objetivo de ofrecerle nuevas y más altas calidades, nos complacemos en anunciar el lanzamiento de dos nuevos aceros de alto límite elástico y baja aleación.

El acero Ex-Ten 50 es un acero de alta resistencia y perfecta soldabilidad. Su alto límite elástico -36 kg/mm² - permite obtener importantes reducciones en el peso y espesor de los materiales, dando lugar a una notable economía de los costos.

Laminado en chapa media y gruesa, estructurales, etc., ofrece inmejorables condiciones para la construcción de puentes, chasis de vehículos, maquinaria, etc.

ACERO RESISTENTE A LA CORROSION. A las características fundamentales del acero Ex-Ten 50, este acero aporta la importantísima cualidad de ser resistente a la corrosión evitando con ello todo gasto de mantenimiento. Expuesto a la intemperie adquiere una pátina de óxido sumamente densa y adherente que le protege eficazmente de corrosiones posteriores. Dicha capa de óxido toma un color ocre oscuro que adquiere una gran belleza con el transcurso del tiempo.

Sus principales aplicaciones son: la edificación, obras públicas y transportes.

Para una mayor información sobre estos aceros diríjanse a nuestras delegaciones comerciales.

"la siderúrgica integral plenamente dedicada a la fabricación de calidades"

Altos Hornos de Vizcaya S.A.

APARTADO 110 - BILBAO - TELEX 32044-45 - TELEFONO 25 00 00

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

457 - 8 - 36

examen de algunos accidentes en pretensado

M. C. HOSSARD (*)

Las condiciones económicas de utilización del hormigón pretensado conducen al empleo de aceros de resistencia a rotura lo más elevada posible que puedan utilizarse a tensiones iniciales muy altas, así como al empleo de hormigones que puedan resistir tensiones de compresión importantes.

HORMIGON

No nos extenderemos sobre los métodos que permiten obtener hormigones de alta resistencia a compresión.

Indicaremos solamente que la resistencia a compresión de los hormigones depende de tres parámetros principales:

a) *Los áridos.*—El empleo de áridos muy duros permite mejorar notablemente la resistencia a compresión de los hormigones.

b) *El aglomerante.*—Los de alta resistencia, como las resinas, conducen a resistencias a compresión muy superiores a las que se obtienen actualmente.

c) *La composición del hormigón.*—Los parámetros anteriores no son totalmente eficaces si no se estudia la composición del hormigón de forma profunda, especialmente en lo relacionado con su granulometría.

ACERO

La fabricación de aceros de resistencia muy elevada se efectúa a partir de aceros que, por su composición química, son de dureza natural (alto contenido en carbono) y cuyas características mecánicas se mejoran todavía mediante tratamientos de diversos tipos:

— Tratamientos térmicos que aprovechan esencialmente los fenómenos provocados por el temple de los aceros.

— Tratamientos mecánicos que aprovechan esencialmente el efecto de estirado que se produce al pasar los alambres por la hilera.

(*) Agradecemos a M. C. Hossard su amabilidad al concedernos su autorización para publicar la traducción de este artículo, aparecido en el *Bull. Liaison Lab. Routiers P. et Ch.*, número 40, sept-oct. 1969, y facilitarnos los originales de las fotografías que lo ilustran.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

Durante mucho tiempo se ha creído que el empleo de tensiones iniciales muy altas en hormigón pretensado no reportaba más que ventajas:

— Permite economizar en la cantidad de acero a emplear.

— Constituye una prueba de carga de la obra que garantiza su buen comportamiento en el tiempo.

En efecto, en el momento del tesado, la resistencia del hormigón es inferior a su valor definitivo, en tanto que la tensión de las armaduras es superior a su valor definitivo. Si la obra se comporta bien durante su tesado inicial puede asegurarse que funcionará satisfactoriamente a lo largo del tiempo.

De hecho, no obstante, el problema no es tan sencillo y la experiencia empieza a enseñarnos que el empleo de tensiones iniciales muy elevadas puede crear incidentes no sólo durante la construcción, sino también en la vida de la obra.

Comenzaremos por referirnos a los incidentes o accidentes que pueden producirse durante el tesado, que son muy diversos. Entre los principales pueden citarse los que a continuación se indican.

ROTURA DE ALAMBRES O CABLES

Es excepcional que se produzcan roturas por aplicar una tensión demasiado alta. Para que esto se produzca tiene que darse una descorrección verdaderamente muy importante de los manómetros. No hay que olvidar, no obstante, que debe procederse a la comprobación de estos paratos con discreta frecuencia.

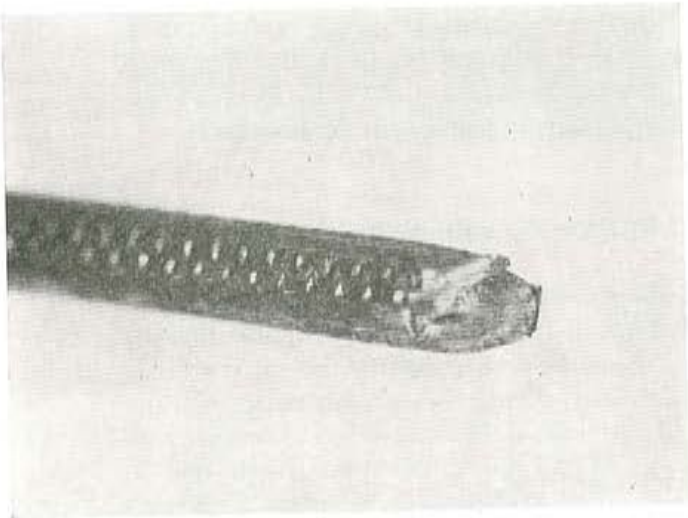
Por el contrario se presentan problemas frecuentes relativos a valores excesivos de los alargamientos observados en el transcurso de las operaciones de tesado. Muy a menudo se observan alargamientos muy importantes debidos al hecho de que los coeficientes de rozamiento considerados en el proyecto son superiores a los que realmente se presentan en obra. Ello se debe, sencillamente, a que el proyectista debe adoptar, por seguridad, valores pesimistas de estos coeficientes. Se trata de un incidente no grave, siempre que no se sobrepase el alargamiento previsto, incrementado en la tolerancia admisible (un 5 por 100 en general).

Hay que señalar, no obstante, un incidente que se produjo en una obra, debido a un cambio en la calidad del acero suministrado por el fabricante de cables. Este cambio de calidad hizo que al tesar el acero suministrado a los valores de tensión previstos estuviese extraordinariamente próximo a su carga de rotura, lo que llevaba consigo unos alargamientos plásticos muy importantes. La recomendación práctica que de ello se deduce es que debe controlarse con cuidado que los aceros suministrados son de la calidad prevista en el proyecto de ejecución.

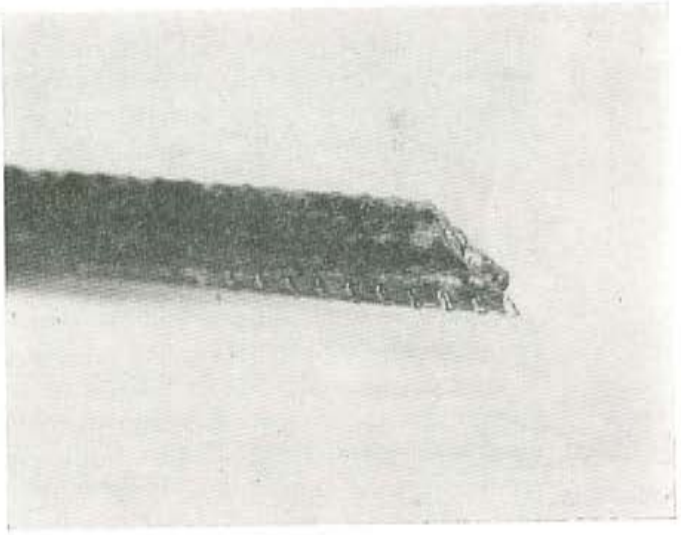
De forma relativamente frecuente se observan roturas de alambres o cordones durante el tesado, debidas al hecho de que existen en su superficie pequeñas entalladuras o defectos mecánicos provocados por choques de los cables durante su manipulación u originados por los propios enclajes, especialmente en los anclajes de cuñas (fig. 1).

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

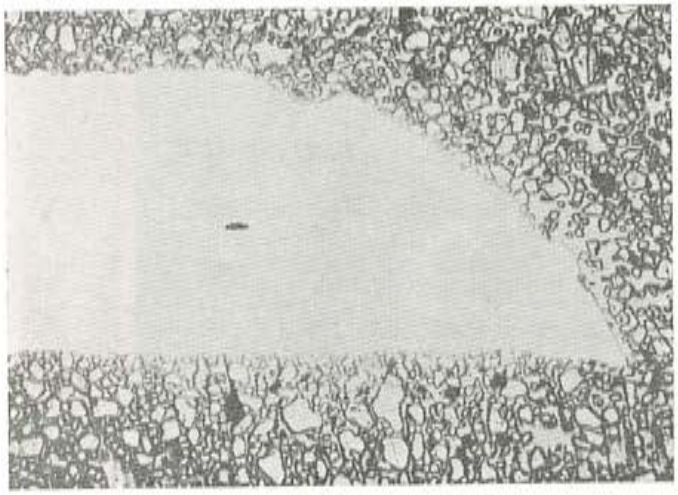
EXAMEN MACROGRAFICO Y MICROGRAFICO DE LA RUPTURA DE UN ALAMBRE DEFECTUOSO



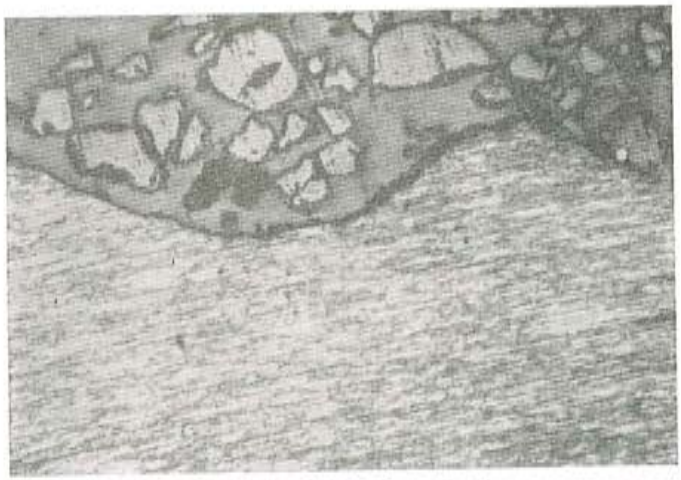
Ma. 1. — Fisonomía de la ruptura.



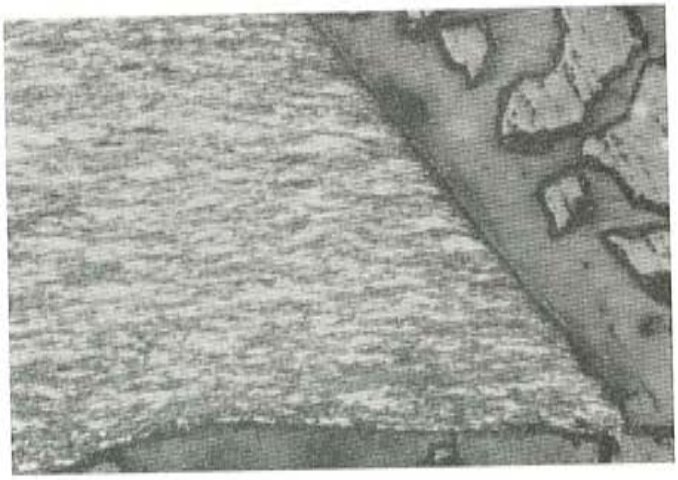
Ma. 2. — Plano de ruptura.



Ma. 3 × 11. — Corte longitudinal a partir de la ruptura.



Mi. 1 × 200. — Detalle de la parte A.



Mi. 2 × 200. — Detalle de la parte B.

Figura 1.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

APLASTAMIENTO DEL HORMIGON BAJO LOS ANCLAJES

Este riesgo resulta muy disminuido con el empleo de placas de anclaje prefabricadas. Pero incluso en este caso, y mucho más cuando no se emplean tales placas, hay que prestar una particular atención al hormigonado de las zonas situadas junto a los enclajes, las cuales van siempre muy armadas y hacen difícil una correcta colocación del hormigón.

FISURACION LONGITUDINAL DE LAS CABEZAS INFERIORES DE LAS VIGAS

Un hormigón sobre el que se ejerce un esfuerzo de compresión dirigido según un cierto eje resulta sometido a una tensión de tracción en el sentido perpendicular. Este es el caso, en particular, de los talones de las vigas isostáticas en su parte media, donde la compresión creada por el tesado es muy importante y donde se corre el riesgo de que aparezcan fisuras longitudinales originadas por la tracción del hormigón en el sentido perpendicular a la compresión. Resulta agravado este hecho por la circunstancia de que se trata también aquí de una zona de hormigonado difícil, dado que en el centro de la viga se agrupan todos los cables en el talón (fig. 2).

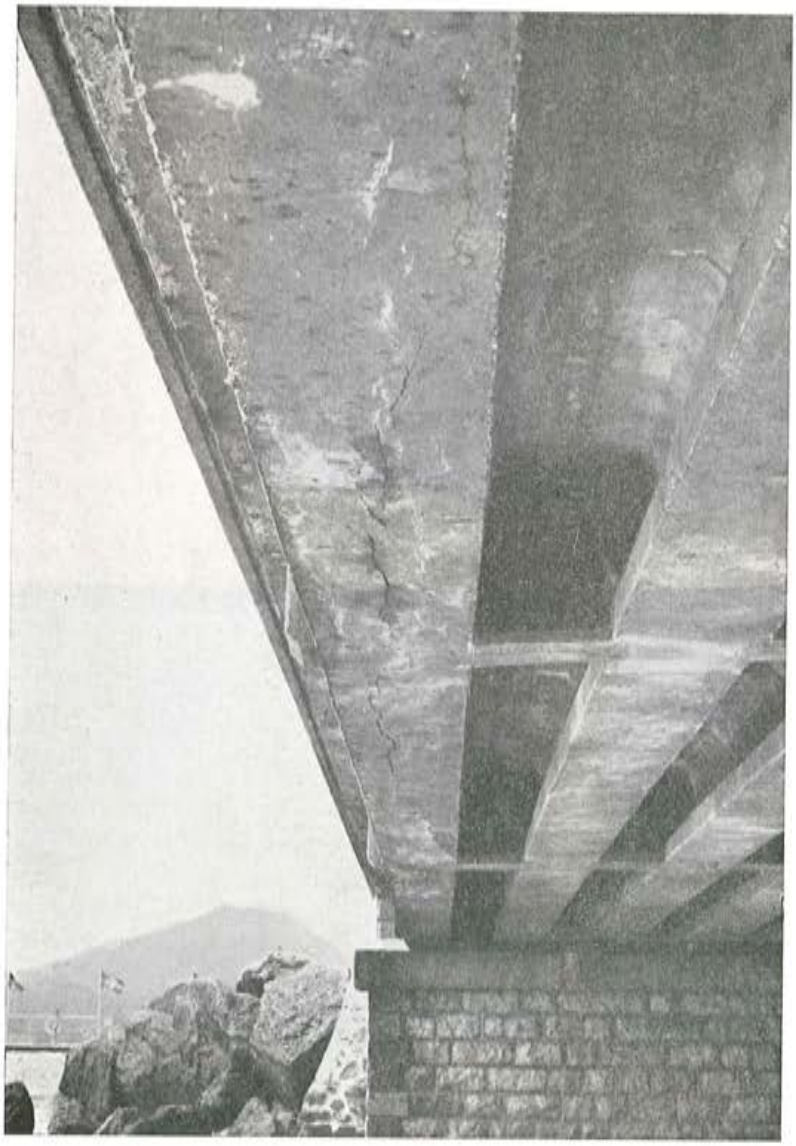


Figura 2.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

Estas fisuras longitudinales pueden manifestarse durante el tesado o bien aparecer más tarde; volveremos sobre ellas cuando examinemos los incidentes diferidos que pueden producirse durante la vida de la obra. No obstante, puede ya sacarse la conclusión práctica de que la fabricación y colocación del hormigón en estas zonas muy comprimidas deben ser extraordinariamente cuidadosas.

EMPUJE AL VACIO DEBIDO A LA EXCENTRICIDAD DE LOS CABLES DE PRETENSADO

La excentricidad accidental de los cables de pretensado puede provocar, durante el tesado, un empuje al vacío que puede traducirse, por ejemplo, en la expulsión de lajas de hormigón como ya se han presentado casos (fig. 3).

Figura 3.

Las precauciones prácticas que deben adoptarse contra este efecto consisten en comprobar cuidadosamente que la colocación de los cables está de acuerdo con su trazado teórico y que éstos resultan convenientemente sujetos, de forma que no puedan desplazarse durante la puesta en obra y vibración del hormigón.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

ROTURA DE VIGAS

Se trata aquí de accidentes graves de los que ya se han dado casos. En la mayor parte de ellos son roturas por falta de resistencia local del hormigón.

Se ha visto así el caso de una viga de hormigón pretensado en la que la parte central comprendía una amasada de hormigón de resistencia netamente inferior a la del resto de la viga. En el momento de la transferencia, esta zona media experimentó una fuerte compresión y se observó un verdadero estallido de la viga (fig. 4).

Figura 4.

Esto debe llevarnos a vigilar muy atentamente, por ejemplo, el empleo de aditivos cuando es el caso. Un exceso de retardador de fraguado puede tener consecuencias muy graves y no hay que olvidar que un aditivo que no sea retardador de fraguado puede tener un efecto retardador si resulta sobredosificado.

Además no hay que olvidar que el tesado es una operación peligrosa y que siempre hay que tomar medidas de protección cuando se trate de este tipo de operaciones.

Llegamos ahora a los incidentes diferidos que pueden presentarse durante la vida de la obra.

PROBLEMAS DE DEFORMACIONES DIFERIDAS

Es muy difícil calcular correctamente las deformaciones diferidas de una obra de hormigón pretensado. En efecto, estas deformaciones llevan consigo la evaluación de la fluencia del hormigón, de la relajación de los aceros y de ambos fenómenos combinados (pérdida de tensión en las armaduras). Las únicas magnitudes que se pueden medir en laboratorio son la fluencia pura (bajo carga constante) y la relajación pura (a deformación cons-

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

tante). Por ejemplo, estudios hechos en laboratorios han demostrado que la relajación de un acero de pretensado crece muy aprisa en función de la tensión inicial, lo que llevado al límite puede hacer inútil todo incremento de dicha tensión inicial en las obras.

Pero la combinación de los dos fenómenos (que se produce en la práctica de las obras) se conoce muy mal y puede llegarse a cometer errores graves en la evaluación de las tensiones finales de los cables de pretensado, lo que puede provocar la aparición de deformaciones diferidas muy alejadas de las que se habían previsto. Ello puede traer consigo irregularidades serias, especialmente en las obras isostáticas en las que no existen coacciones que limitan la amplitud de las deformaciones diferidas que pueden producirse.

Esto es lo que se ha producido en una obra cuyos tramos están constituidos por ménsulas empotradas en las pilas y ligadas entre sí, en clave, mediante articulaciones que transmiten únicamente los esfuerzos cortantes. La infraestimación, en el cálculo de la obra de la fluencia del hormigón y de la relajación de los aceros, provocó importantes deformaciones diferidas que se tradujeron en descensos de nivel de las claves, que llegaron hasta 25 cm para una luz de alrededor de 80 m.

INSUFICIENCIA DE PRETENSADO

Con independencia de las cuestiones sobre fluencia y relajación, puede suceder que el esfuerzo de pretensado introducido en una obra resulte insuficiente por causas accidentales. Esto es lo que ha sucedido en una obra de vigas isostáticas que es uno de los primeros puentes pretensados construidos en Francia. En la época de su construcción, los cables no se colocaban bajo vainas metálicas como se hace ahora: iban sencillamente impregnados de betún y rodeados de papel Kraft. En la fabricación de las vigas, los cables se colocaron antes del hormigonado, lo que hizo que en diversos puntos se desgarrase el papel de muchos cables y que el hormigón viniese a adherirse a los cables. Resultó por ello imposible tesar esos cables a las tensiones previstas y resultó que, en el centro de las vigas, aparecían tensiones de tracción en el hormigón, bajo las sobrecargas. Como el puente debía trabajar normalmente en situación de "pretensado total", las armaduras secundarias eran de todo punto insuficientes para limitar la abertura de las fisuras formadas. Por ello, las fisuras alcanzaron hasta las armaduras de pretensado. En el caso en que los cables iban adheridos al hormigón, podía limitarse la anchura de las fisuras, pero los cables trabajaban a fatiga debido a la abertura y cierre de las fisuras, al paso de las sobrecargas (figura 5).

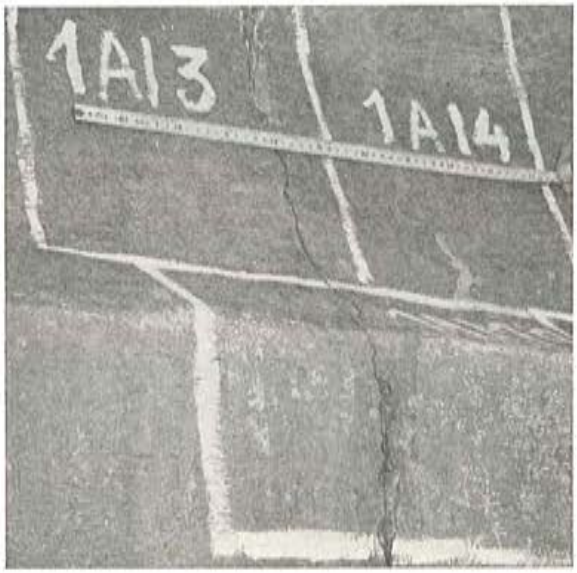


Figura 5.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

En el caso en que los cables no iban adheridos al hormigón, la fisura podía sobrepasar fácilmente el nivel de las armaduras. Además, en ambos casos, la humedad ambiente podía alcanzar las armaduras y provocar su corrosión. Por supuesto que, actualmente, los cables van envainados, pero puede suceder, cuando van muy próximos unos a otros, que la lechada de inyección pase de una vaina a la adyacente, lo cual puede dificultar el tesado del cable así "contaminado".

HIELO EN LAS VAINAS NO INYECTADAS O MAL INYECTADAS

La presencia de humedad en las vainas ofrece, para los aceros, graves peligros sobre los que hemos de volver. Pero también puede presentarlos para el hormigón en tiempo frío.

El agua atmosférica puede penetrar en las vainas y acumularse allí (con el cable ya colocado o no, ya teso o no), especialmente en el caso de cables de trazado curvo. La presencia de agua puede deberse igualmente a la utilización de una lechada demasiado líquida y a la decantación consiguiente. O bien si la lechada no rellena completamente las vainas y si no está perfectamente asegurada la estanquidad de la obra puede llegar humedad a las vainas.

En todos los casos en que existe una cantidad de agua importante en las vainas y la temperatura ambiente es fría se corre el riesgo de que aparezca una fisuración del hormigón debida al efecto expansivo del hielo. Conviene, por tanto, poner mucho cuidado en la obturación de las vainas y en su limpieza con chorro de aire en tiempo frío (fig. 6).

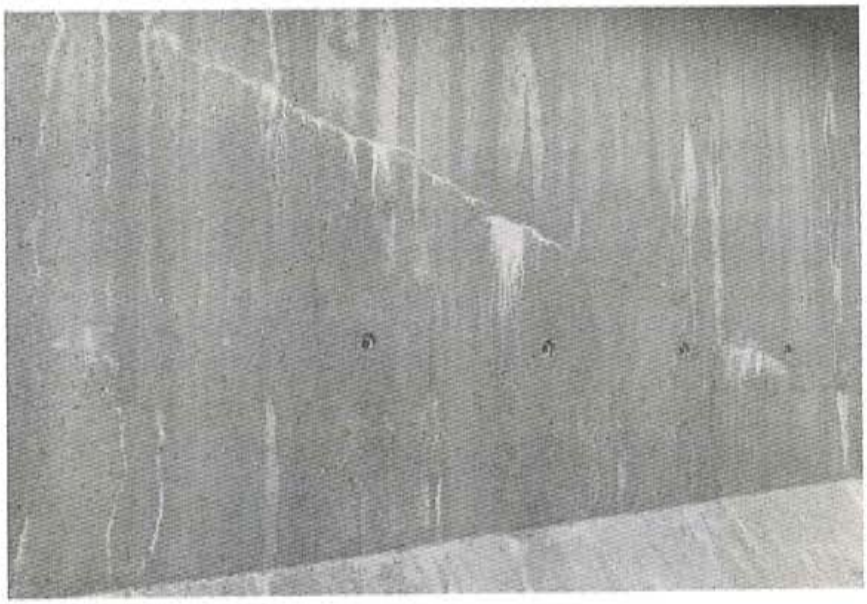


Figura 6.

CORROSION BAJO TENSION DE LOS ACEROS DE PRETENSADO

Con independencia de los riesgos que provoca en el hormigón en tiempo frío, la presencia de humedad en las vainas puede producir graves riesgos en los aceros de pretensado cuando están en tensión. En tal caso, en efecto, se está en presencia de condiciones tales

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

que permiten la aparición del fenómeno de corrosión bajo tensión. Se trata de un fenómeno específico de los aceros de alta resistencia que se manifiesta cuando estos aceros, tesos, están rodeados por una atmósfera de aire húmedo.

Cuando se expone al aire húmedo un alambre teso de alta resistencia se observa sobre su superficie la formación de picaduras de corrosión y, al cabo de un tiempo que depende de la tensión del alambre y de su naturaleza, aparecen fisuras que parten de la superficie y se prolongan en el alambre.

Estas fisuras pueden conducir a una rotura espontánea del alambre si se prolonga suficientemente el ensayo o bien provocar una rotura frágil si se efectúa un ensayo de tracción sobre un alambre del que no se esperaba que rompiese espontáneamente.

Las principales conclusiones que pueden sacarse del estudio de este fenómeno son las siguientes (1):

a) La tensión inicial es un parámetro importante para la duración de la vida de un alambre sometido a corrosión bajo tensión. A mayor tensión inicial corresponde vida más corta.

b) Los alambres endurecidos por tratamiento térmico son más sensibles a la corrosión bajo tensión que los estirados en frío, al menos para los aceros no aleados.

c) La estructura superficial de los alambres tratados térmicamente es un parámetro importante del plazo de aparición de fisuras en los alambres sometidos a la corrosión bajo tensión.

No entraremos en el detalle del mecanismo de este fenómeno de corrosión bajo tensión que está siendo objeto actualmente de numerosas investigaciones. Una de las cuestiones más controvertidas es el papel que juega el hidrógeno en el fenómeno. En efecto, las reacciones de oxidación del acero provocan un desprendimiento de hidrógeno y no es imposible que este último juegue un papel fragilizante hacia el acero. Es posible obtener, desde luego, roturas frágiles de acero de alta resistencia por desprendimiento de hidrógeno en la superficie del acero.

Por esta razón se prohíbe el empleo de los aditivos llamados "expansivos" que contienen polvo de aluminio, cuya reacción con la cal de la lechada de inyección desprende hidrógeno.

Por tanto, existe riesgo de corrosión bajo tensión de armaduras de pretensado en los casos siguientes:

a) *Armaduras tesas y no inyectadas.*—Si transcurre mucho tiempo entre el tesado y la inyección puede iniciarse un proceso de corrosión bajo tensión. Existe el riesgo de que este proceso continúe incluso después de la inyección e incluso aun cuando ésta esté bien hecha, porque puede subsistir humedad en contacto con los alambres en las zonas de contacto de los alambres entre sí y en las zonas de contacto de los alambres con las vainas. En efecto, en estas zonas, la inyección no puede envolver completamente a los alambres (fig. 7). Importa por ello respetar cuidadosamente los plazos máximos que pueden transcurrir entre el tesado y la inyección.

b) *Lechada de inyección demasiado líquida.*—En la que puede producirse una de-

(1) Conferencia de Mme. Brachet en el I.T.B.T.P., el 25 de marzo de 1969: "Balance de varios años de observación de fenómenos de corrosión bajo tensión de aceros de alta resistencia".

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

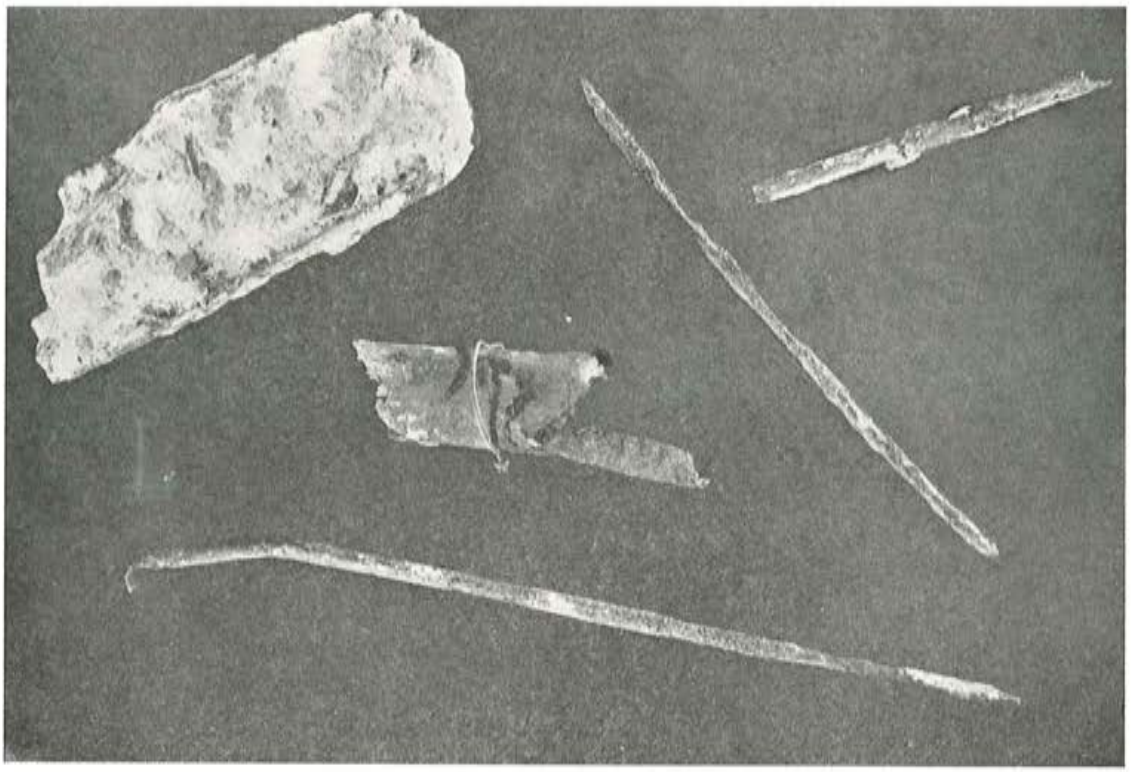


Figura 7.

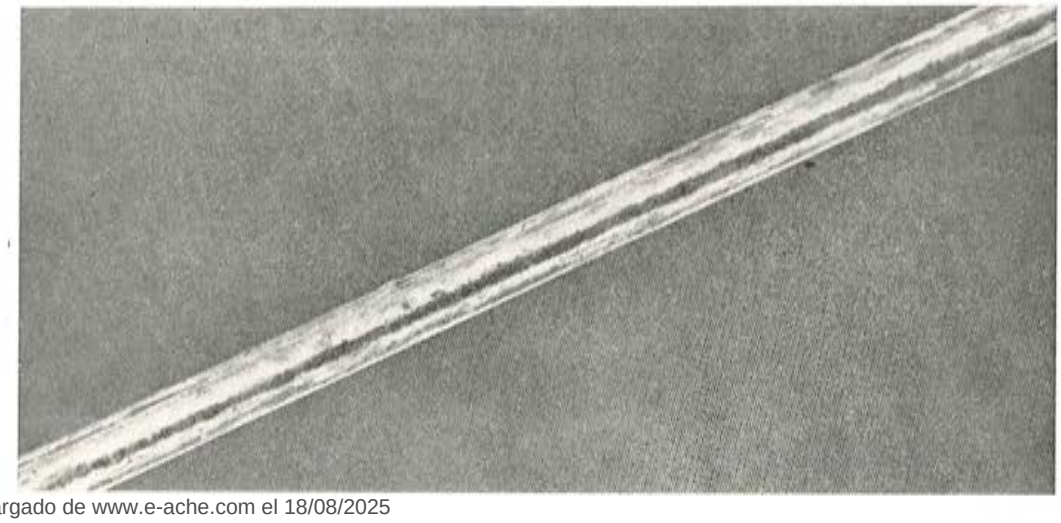
cantación y, por consiguiente, la presencia de agua libre en las vainas. Hay que luchar contra la tendencia que existe de añadir agua a la lechada cuando existen dificultades de inyección.

c) *Lechada que no rellena perfectamente las vainas.*—Se corre entonces el riesgo de que llegue agua del exterior si la estanquidad de la obra es insuficiente (durante una época se hicieron las obras de hormigón pretensado sin chapa de estanquidad) o si el hormigón está fisurado (compresión excesiva en el momento de la transferencia). Las fisuras provocadas por una compresión excesiva pueden ser muy finas y prácticamente invisibles al comienzo, pero si penetra la humedad se agravan por corrosión de la armadura secundaria, con lo que la cantidad de humedad que alcanza a las armaduras de pretensado se hace cada vez más importante (fig. 8).

Es necesario, por tanto, vigilar cuidadosamente las operaciones de inyección (purgadores, mantenimiento de la presión antes de obturar las vainas, etc.).

(Traducido por A. García Meseguer.)

Figura 8.



Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

591 - 0 - 20

realizaciones recientes en hormigón pretensado, según la técnica francesa

Texto de la conferencia que, organizada por la Asociación Española del Hormigón Pretensado, pronunció el señor Cherki, Ingeniero de la S. T. U. P., en el Instituto Eduardo Torroja, el 10 de junio de 1969.

GENERALIDADES

El hormigón pretensado es un material lo suficientemente conocido hoy como para que cualquier ingeniero piense en él como solución posible, cuando se le plantea un problema incluso de carácter ordinario.

Hasta época reciente, que puede fijarse en los años sesenta, el hormigón pretensado no conseguía imponerse más que en los casos que suponían verdaderos alardes técnicos. Hoy día, conserva afortunadamente esa misma capacidad, pero la experiencia ha demostrado que también es un material "de todo uso", ya que posee todas las características económicas deseables desde que su empleo se ha generalizado lo suficiente.

Como material nuevo, el hormigón pretensado experimentó todos los inconvenientes económicos de una nueva técnica en sus fases de despegue. Cuando las obras que se realizan son muy elaboradas, el empleo del pretensado es delicado y requiere la intervención de técnicos altamente calificados, que emplean un material importante. Estos factores hacían que su utilización fuese costosa y, por tanto, limitada a ciertas obras excepcionales y poco numerosas. Pero este proceso, aparentemente interminable en una técnica tan especializada, se ha visto interrumpido en Francia con el lanzamiento de los primeros programas importantes de autopistas.

En efecto, pronto se percataron los Ingenieros de Caminos, responsables de estos trabajos, de que era imposible realizar el gran número de obras necesarias con arreglo a las técnicas tradicionales de puentes en hormigón armado o metálicos. Un estudio económico afinado, con la confirmación de algunas realizaciones anteriores, mostró que, a pesar de los altos precios del pretensado, la solución de losa continua en hormigón pretensado era la más económica para resolver los pasos superiores sobre autopistas. Así nació el P.S.H.P. (paso superior en hormigón pretensado), primera obra en serie que utiliza el pretensado sin ribetes de realización excepcional.

Esta decisión aceleró, sin ninguna duda, una evolución que de todas formas habría sido inevitable, fue origen de que muchas empresas, incluso sin calificación especial, comenzasen a construir en hormigón pretensado, siendo utilizada esta técnica en sus aspectos más simples. Produjo un aumento considerable de consumo de anclajes y acero de

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

pretensado, con la consecuencia de reducir considerablemente los precios unitarios y ello a pesar del aumento del coste de vida. En fin —y esto es, posiblemente, el aspecto más importante— despojó al hormigón pretensado de su aureola de material muy especial reservado tan sólo a los iniciados para colocarlo al alcance de todos.

Esta evolución va acelerándose por un efecto acumulativo propio del período actual de crecimiento de los países desarrollados de la sociedad de consumo. En efecto, la reducción obtenida en los precios unitarios por el aumento de empleo de hormigón pretensado, ha aumentado considerablemente su capacidad competitiva frente al hormigón armado y al acero. Actualmente, el hormigón pretensado no tiene prácticamente competencia, en materia de tableros de puente, para luces comprendidas entre 20 y 150 m, salvo en los casos excepcionales en que unas condiciones de gálibo particularmente exigentes prohíban su empleo. Las diferencias de coste entre el hormigón pretensado y el acero vienen a ser, para los tableros, de un 20 a un 40 por 100 en luces próximas a los 100 metros y, aunque las referencias no sean suficientes para poder ser categóricas, es probable que el hormigón pretensado continúe siendo competitivo hasta los 200 m de luz. Su campo de aplicación se amplía constantemente y, como cada vez se populariza más, el hormigón pretensado encuentra cada vez más proyectistas y técnicos dispuestos a emplearlo, y ello en sus formas más variadas.

Una estadística reciente ha mostrado que el número de puentes en acero o en hormigón armado se ha duplicado en seis años, mientras que el de puentes en hormigón pretensado se ha multiplicado por diez, abarcando así el 80 por 100 del mercado, en número de puentes.

Actualmente en Francia nos encontramos en plena corriente de crecimiento. No trataré de sacar la filosofía de las múltiples vías que estamos actualmente emprendiendo, sino tan sólo intentaré dar a ustedes una descripción de conjunto.

Los tipos de problemas y de estructuras más variados, son los que plantean los puentes, por lo que ocuparán un lugar preferente en mi exposición. Pero, bajo una forma más modesta aunque económicamente muy importante, el pretensado extiende considerablemente su campo de acción a otros tipos de estructuras de las que también hablaremos.

PUENTES ISOSTATICOS

Este tipo de puente es el más antiguo, el más conocido y el más utilizado en el mundo, esencialmente en la forma de vigas isostáticas prefabricadas. Y en esta forma se encuentran importantes ventajas ligadas al empleo del hormigón pretensado, en particular desde el punto de vista de organización de la obra.

Las condiciones económicas actuales hacen que esta técnica no sea válida más que con un número mínimo de vigas del orden de 30, cuando no existen condiciones particulares que limiten o impidan el empleo de cimbras. Si existen, como en el caso de ríos de muy fuertes avenidas, puede resultar económico hacer un puente de cuatro vigas prefabricadas.

Uno de los reproches clásicos que se ha hecho a este tipo de obras proviene de las empresas que las construyen. Tradicionalmente, después de la ejecución y colocación de las vigas prefabricadas se hormigonaban las traviesas y después los forjados entre vigas, multiplicándose así un gran número de operaciones pequeñas.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

Figura 1.

Los estudios teóricos de Guyon y después de Massonet, han abierto una vía hacia la supresión total de las traviesas intermedias, confiándose el enlace entre vigas únicamente al forjado, que debe estudiarse y armarse en consecuencia. Así se ha podido simplificar la ejecución y acelerar considerablemente la realización de las obras.

El puente más importante de este tipo realizado este año es el viaducto que salva el Cementerio de Batignolles (fig. 1), sobre el bulevar periférico de París, que tiene 440 m de longitud y 35 m de anchura. La obra consta de 12 tramos de 36 y 33 m de luz, con 10 vigas por tramo, es decir, con 120 vigas en total. Estas vigas se construyeron a razón de seis por semana en una instalación especial con curado al vapor, lo que permitió realizar la obra, de más de 15.000 m², en doce meses. Al no haber traviesas intermedias, el forjado de enlace de las vigas de cada tramo se podía realizar totalmente en una semana, mediante un encofrado rodante sobre las vigas y gracias a un calentado eléctrico del hormigón junto a los anclajes transversales, que permitía realizar el pretensado a edades tempranas.

La ejecución de pilas, zapatas y pilotes de cimentación en algunos apoyos, así como la ejecución de aceras y capa de estanquidad del tablero, se efectuó en seis meses, lo que dejó tan sólo otros seis para la ejecución del tablero.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

Esta realización espectacular no debe hacernos olvidar que, corrientemente, los puentes isostáticos que construimos son mucho más modestos, por su menor luz o por su pequeño número de vigas. En tales casos, es obligado ir a formas de encofrado más sencillas y al hormigonado in situ del tablero, siempre que sea posible emplear cimbra. El tablero suele ser entonces de losa llena, o con nervios rectangulares de canto variable según las posibilidades que ofrezca el gálibo, que suelen ser determinantes. Este tipo de puente ha recibido recientemente un glorioso espaldarazo al alcanzar una luz de 83,50 m, probablemente la mayor existente en viga isostática pretensada. (Puente sobre el Mayo Onlo, en el Camerún.)

Figura 2.

Queda visto así que es muy amplio el abanico de problemas que pueden resolverse con una estructura isostática de hormigón pretensado, y se comprende que en numerosos países estas estructuras sean las únicas que se utilizan permanentemente.

En Francia, el tipo de viaducto de vigas isostáticas prefabricadas ha llegado a una especie de perfección tal, que se ha considerado interesante construir en diversos lugares el mismo viaducto. Así, el viaducto de Roberval (fig. 2), que tenía 31 tramos de 33 m de luz, ha sido repetido íntegramente primero en Tours y después en un puente sobre el Cher y en un viaducto en Toutry. Las mismas pilas se han repetido en varias decenas de ejemplares, y las mismas vigas, en varias centenas.

Pero estos éxitos se están viendo nublados actualmente por algunos reproches que provienen de los servicios de explotación de Obras Públicas. Los reproches se refieren,

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

esencialmente, a la dificultad de realizar un perfil longitudinal correcto de la carretera, como consecuencia de la evolución nada despreciable de las flechas por causa de la fluencia del hormigón; y por otra parte, a las irregularidades que se presentan en las juntas al trabajar en condiciones anormales.

Como las vigas isostáticas sólo proporcionan soluciones económicas en los campos expuestos, es obligado disponer de un repertorio suficientemente amplio de estructuras para puentes continuos, con objeto de poder resolver otros tipos de problemas.

PUENTES CONTINUOS

Cuando se realiza el hormigonado in situ, no hay ninguna razón para no realizar una estructura continua, puesto que, al contrario de lo que sucede en prefabricación, el hormigonado in situ no introduce complicaciones en el establecimiento de la continuidad.

Algunos técnicos se han opuesto a este tipo de estructura por razones de asientos de apoyo y por dificultades de cálculo del pretensado. Pero está claro hoy que estas oposiciones se debían a un insuficiente conocimiento del problema.

Un asiento de apoyo que se mantenga dentro de los límites normales de lo que puede suceder accidentalmente, es decir, del orden de algunos centímetros, tiene un efecto muy pequeño sobre un puente continuo y nunca supone riesgos graves para tales valores. Cuando son previsibles asientos de mayor importancia, resulta fácil, en general, adoptar precauciones para obviar la aparición de irregularidades, gracias a la vigilancia del perfil longitudinal que permite reponer a los apoyos en su nivel primitivo en cuanto el asiento sobrepasa el valor admisible.

Los efectos hiperestáticos del pretensado, que mejoran considerablemente su eficacia en las estructuras continuas, son objeto de análisis en numerosas publicaciones, referidas a los casos más corrientes. Si bien es cierto que tales efectos dificultan el cálculo, ello no debe constituir un obstáculo para la evolución de la técnica. Un ingeniero de formación normal puede asimilar perfectamente el problema en algunas semanas o algunos meses de práctica.

El P.S.H.P. ha constituido, a este respecto, una escuela excelente para todos los ingenieros franceses, puesto que han podido formarse en el cálculo a través de trazados de cables sencillos.

Resueltos los problemas de base, debe subrayarse que la evolución de la técnica de los cables permite, por mejora de los aceros, las vainas y los productos de inyección, poner en obra sin dificultad cables de hasta 150 m presentando ondulaciones múltiples. Este proceso de ir a cables cada vez más largos, corre parejas con el de aumentar la tensión en los cables, lo que permite obtener una reducción en la densidad de ferralla, análoga a la obtenida en hormigón armado con el aumento de diámetro de las barras. Todos estos factores hacen muy atractivas las soluciones de puentes continuos de longitud muy grande.

FORMAS DE TABLEROS

Como la continuidad reduce la importancia de las cargas repartidas, al fraccionar los momentos flectores entre el vano y los apoyos, la reducción del peso propio no es aquí tan rentable como en el caso de puentes de vigas prefabricadas. Esta afortunada circunstancia presenta una doble ventaja:

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

— Permite una simplificación de las formas y, por tanto, una reducción simultánea de la complejidad y el coste del encofrado, lo cual es ventajoso en razón de las menores posibilidades de reutilización del encofrado.

— Facilita la ubicación de grandes unidades de pretensado y la circulación de los cables.

Se comprende entonces que, salvo casos excepcionales en que hay que limitar severamente el peso propio, sea por la importancia de la luz, sea por el proceso de ejecución, la tendencia sea siempre ir a formas estructurales simples, a base de losas, losas nervadas o nervios, distinguiéndose la losa nervada del nervio según que la relación entre canto y ancho del nervio sea o no inferior a uno.

LOSAS

No es necesario definir en detalle los casos de empleo de losas, que están en la base de los P.S.H.P. Para luces de 15 a 20 m, en continuidad sobre tres o cuatro vanos de los que los laterales suelen ser más pequeños que los centrales, las losas permiten esbelteces superiores a 1/30 de las luces intermedias, lo que resulta económico en las condiciones francesas.

Se utilizan igualmente para puentes de una sola luz hasta 25 m, empotrándolas sobre los muros de los estribos (que pueden reducirse mucho) mediante el empleo de cartabones eventuales, para crear pórticos particularmente económicos.

Continúan realizándose obras de este porte, las cuales constituyen una fracción importante, en términos de superficie, de los puentes construidos.

Es cierto que la economía encontrada en Francia en este tipo de obra proviene de una evolución "a la americana", en la que el costo de los materiales permanece estable en tanto que el de la mano de obra experimenta un alza constante. En condiciones económicas diferentes, especialmente con precios bajos de encofrado y altos de acero, es más ventajoso evidentemente el reemplazar las losas por nervios de menor esbeltez, del orden de 1/20, por ejemplo.

Igualmente, todas las esbelteces citadas podrían reducirse en esta hipótesis, sin que hubiese que modificar fundamentalmente las conclusiones globales del presente análisis.

LOSAS NERVADAS

Para luces comprendidas entre 20 y 35 m, resulta indispensable aligerar las losas. Como los ensayos realizados de aligeramientos interiores han demostrado importantes dificultades de ejecución, se ha adoptado casi sistemáticamente el sistema de losa nervada. Según la anchura, la losa comporta un solo nervio entre voladizos, o varios nervios ligados por forjados, pero nunca por traviesas, salvo en los apoyos de borde. La esbeltez suele ser de 1/25.

Se construyen así puentes continuos normales y puentes de apoyos triangulados, generalmente hormigonando los nervios uno a uno para poder reutilizar el encofrado. Hay que hacer notar para este último tipo de puentes que la colección oficial del servicio especial de autopistas, establecida por el Ministerio de Obras Públicas, preveía un aligera-

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

miento de los nervios mediante encajonado. Todas las realizaciones efectuadas han demostrado que este encajonado era demasiado caro y que convenía más escoger estructuras llenas de tipo nervado, que son más económicas. Este hecho se coloca en la línea general de la evolución que se está exponiendo aquí.

NERVIOS

Para luces comprendidas entre 35 y 55 ó 60 m, se ha estimado que la modificación de precios unitarios hacía interesante un estructura transversal constituida por nervios altos y a condición de que el gálibo posible permita pequeñas esbelteces (entre 1/17 y 1/20).

Figura 3.

Este tipo de estructuras, en efecto, se presta muy bien a una multitud de formas de ejecución según la importancia de la obra, con una ejecución nervio a nervio, tramo a tramo, o combinación de ambos.

Recientemente, este tipo de estructuras, que no lleva traviesas más que sobre los apoyos, ha dado lugar en Francia a la realización de dos obras que utilizan cimbras metálicas capaces para un tramo entero, asegurándose la continuidad con el tramo precedente empalmando mediante manguitos los cables de pretensado. La junta de hormigonado, situada al quinto de la luz, supone que los momentos debidos al peso propio no son muy perturbados por el proceso de ejecución.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

El primero de estos puentes, el Incarville (fig. 3), tiene dos tableros de 15 m de anchura cada uno, con ocho tramos iguales de 43 m. El puente de hormigonado, situado por encima, evita todo apoyo sobre el suelo al descansar por detrás en el tablero ya realizado y por delante en la cabeza de la pila. Esta solución, muy rápida, permite concentrar mucho la obra y mecanizarla marcadamente, alcanzándose elevados ritmos de ejecución y precios de coste interesantes, análogos a los de tableros de vigas isostáticas.

El segundo de estos puentes, situado en Maxéville, al Este de Francia, tiene un solo tablero de 23 m de anchura y seis tramos de 2×40 m y 4×50 m. Como la importancia de la obra no justificaba un puente de hormigonado análogo al de Incarville, se utilizó otra estructura más ligera que apoyaba en soportes metálicos intermedios cimentados sobre zapatas. El tablero se ejecutaba en dos veces, hormigonando in situ una junta entre los dos semitableros.

Estas obras presentan un conjunto de características que justifican el sistema estructural y el proceso de ejecución escogido.

Están situadas a una altura del suelo superior a 10 m y sus cimentaciones son relativamente difíciles, siendo además curvo su trazado en planta. Estas razones, por sí solas, habrían provocado un encarecimiento no despreciable en la solución de vigas isostáticas.

Por otra parte, al no estar limitado su canto por un gálibo, era posible escoger para los nervios una sección rectangular, que permite una colocación cómoda de los cables necesarios sin aumentar por ello el peso de la obra, ya que el espesor medio queda comprendido entre 0,50 y 0,55 m. Como estos nervios rectangulares son resistentes a torsión, no son necesarias traviesas intermedias, y la ferralla del forjado no resulta muy complicada por los fenómenos de desnivelación entre nervios, ya que hay una gran distancia entre tales nervios (de 5 a 7 m).

Pero estas razones técnicas se justifican también desde un punto de vista económico. El ritmo de ejecución de los tableros fue de 650 m² cada quince días en Incarville y de 550 m² cada tres semanas en Maxéville, lo que da unas posibilidades anuales teóricas de 17.000 y 9.500 m², respectivamente, obtenidas con poco personal. Estos ritmos no son máximos y nada impediría aumentarlos mediante una mecanización complementaria. Como el procedimiento de construcción permite entregar por adelantado un tablero terminado, la organización de la obra debe llevarse por ciclos en los que la unidad es el tramo entero, es decir, que está perfectamente localizado el trabajo. Hay por tanto una posibilidad de industrialización de la obra, con el consiguiente aumento de productividad.

Se han realizado también obras de este tipo con un cajón único como estructura resistente, que venía impuesto por las importantes curvaturas en planta de las estructuras (autopista Roquebrune-Menton, cerca de Niza). Pero la cimbra metálica de hormigonado resulta entonces complicada y más gravosa que en el caso anterior.

CAJONES

Las estructuras en cajón son antiguas y se tiende a abandonarlas en razón de su complejidad, salvo en algunos casos particulares bien conocidos: puentes por voladizos sucesivos, puentes muy curvos, puentes de gran luz (superior a 50 m) y de gran esbeltez (de 1/30 a 1/35).

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

En el campo de los puentes por voladizos sucesivos se observa la coexistencia de dos formas de ejecución: dovelas hormigonadas in situ en un carro móvil para los puentes de escasa o media importancia y dovelas prefabricadas, unidas con resina epoxi, para las obras de gran dimensión.

Esta última técnica, puesta a punto por las empresas Campenon-Bernard y de la que es ejemplo notable el viaducto del Oléron (fig. 4), está en desarrollo continuo porque ha permitido resolver problemas unidos a los plazos de ejecución, desde el momento en que una obra por voladizos sucesivos presenta un número suficiente de tramos.

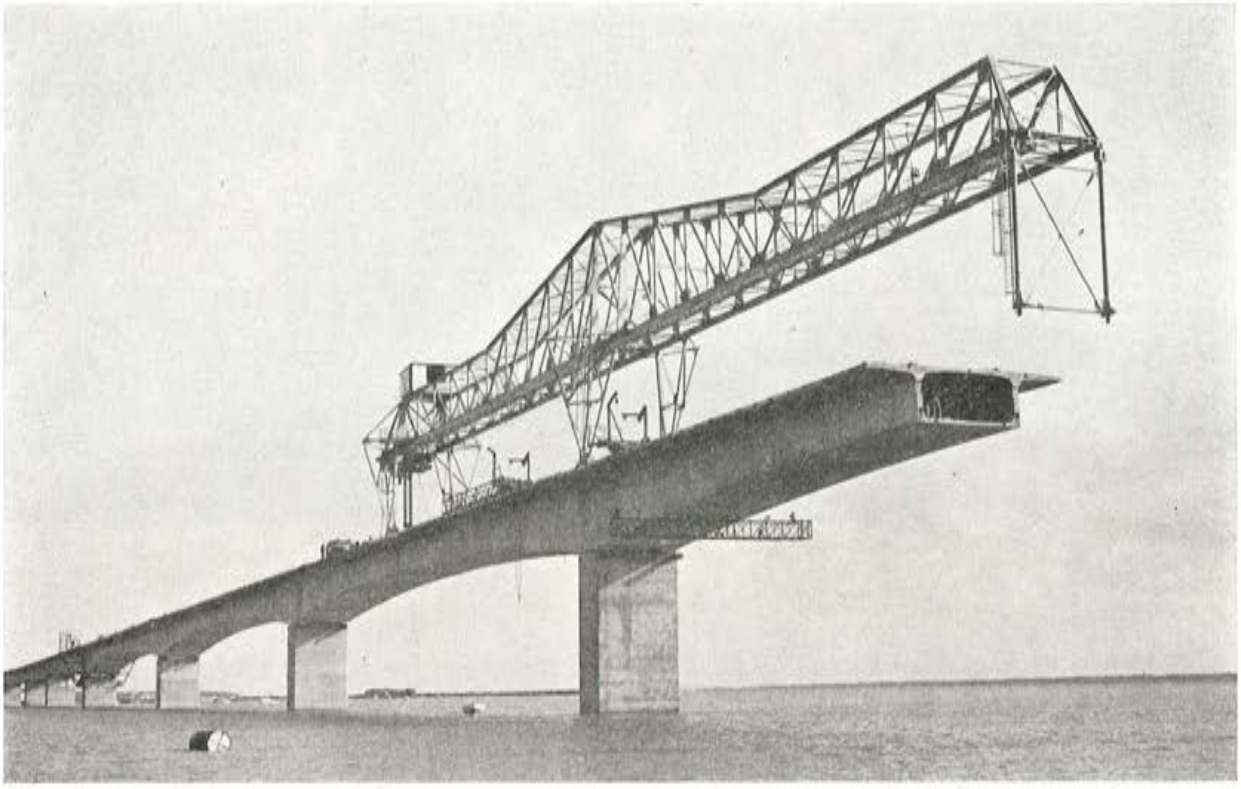


Figura 4.

Después del viaducto de Oléron, se han construido en Francia varias obras, como los puentes del bulevar periférico de París sobre el Sena y el puente de Bompas sobre el Durance. Se trata de obras de varios centenares de metros de longitud y de 20 a 40 m de anchura. Próximamente se construirá un puente de dimensiones análogas en Blois, sobre el Loira.

Pero el éxito de esta técnica ha motivado su exportación al extranjero, especialmente para la construcción del viaducto de Chillon, en Suiza (fig. 5), que consta de dos tableros yuxtapuestos de 13 m de anchura y 2.200 m de longitud; y sobre todo, para el puente que unirá Río de Janeiro con Niteroi, sobre la Bahía de Guanabara, que tendrá dos tableros de 15 m de anchura con longitud de ¡8 kilómetros!

Los puentes por voladizos sucesivos entran hoy día en el dominio ordinario del proyectista y constituyen una solución de muy elegante ejecución. Al limitar la ejecución a

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

Figura 5.

dovelas de pequeña longitud, se facilita la construcción y se reduce a la vez el personal necesario, que debe ser muy cualificado. La forma de los encofrados puede ser compleja, puesto que tienen múltiples reutilizaciones como en el caso de las vigas prefabricadas. En particular, no hay problemas con la variación de canto, y las luces pueden ser muy importantes. La única complicación que conviene evitar es la resultante de un cajón de almas múltiples. Si pueden encajarse con cajones de dos almas, los puentes por voladizos sucesivos constituyen ciertamente, en su forma actual, la única solución económicamente válida en el rango de luces de 70 a 150 m e incluso más si las condiciones de apoyo lo permiten.

Los puentes curvos de grandes luces (los de pequeña luz se hacen en losa, generalmente) deben preverse igualmente en cajón, única forma que posee rigidez a torsión suficiente para soportar los esfuerzos debidos a la curvatura. Existe un número importante de este tipo de puentes en los intercambiadores (Puerta de Bercy, en París; puente de Romainville, sobre la autopista B-1, etc.).

PUENTES ESPECIALES

Se trata aquí de un tema cuya existencia viene ligada a suelos superpoblados y a la necesidad siempre creciente para los proyectistas de vías de comunicación, de entorpecer lo menos posible las circulaciones inferiores.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

Se deben estas obras especiales a cruces de vías cuyo enlace se efectúa ora tangencialmente, ora normalmente, siendo de ordinario las vías que se cruzan de anchura muy diferente (enlace de un ramal sobre la vía principal):

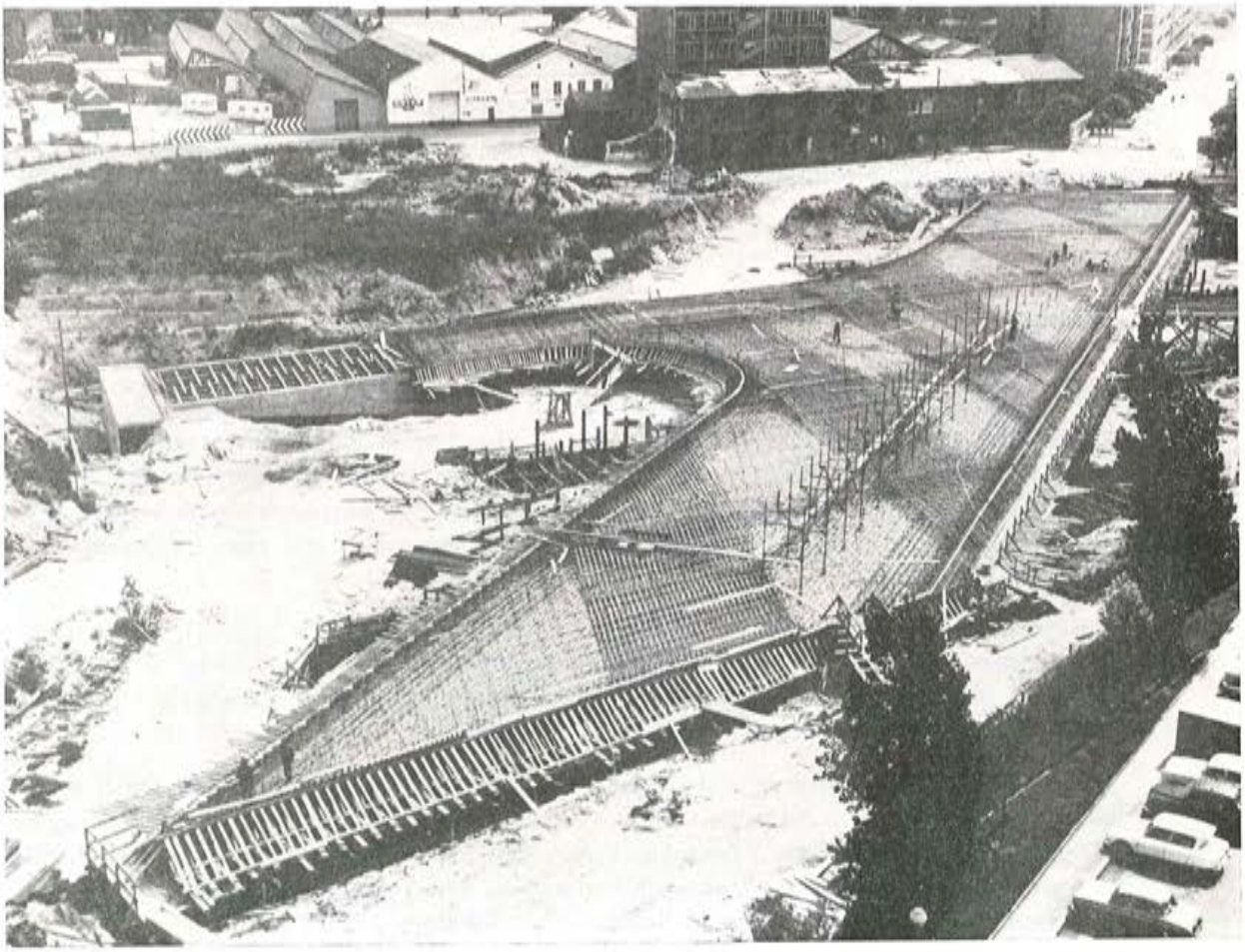
Estos casos son cada vez más numerosos:

— Las obras Ibsen y Cartelier (fig. 6), sobre el bulevar periférico, son en losa porque el fortísimo esviaje de sus líneas de apoyo imponía esta estructura. Estas obras, notables por sus dimensiones (3.000 y 3.500 m²), se hormigonaron de forma continua durante varios días, a razón de 30 m³/hora como media.

— El puente de la entrada E-1 está resuelto en cajón dada su gran esbeltez, viniendo el ramal a entroncarse sobre dos líneas de apoyo mediante una estructura apropiada.

En estas obras, las dificultades vienen esencialmente de la elección de la posición de los apoyos. Cuando hay libertad para escogerlos, con un margen conveniente, es prácticamente posible siempre disponer un ramal sin mayores inconvenientes para la estructura de la obra principal, añadiendo traviesas eventualmente. Pero es bueno recordar que

Figura 6.



Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

el análisis de la solución y, por tanto, la determinación de la buena solución, es tanto más fácil cuanto más sencilla es la estructura; y que la elección de los apoyos y de la estructura deben estar unidas desde el comienzo de los estudios.

CABEZALES

Las necesidades de colocación de apoyos en terreno urbano, así como el aumento de la carga portante de los pilotes, hacen que resulte interesante casi siempre el reducir al máximo el número y dimensión de las pilas por línea de apoyo. Esta reducción sólo es posible a base del empleo, cada vez más frecuente, del pretensado en los cabezales que se disponen sobre las pilas o incorporados al tablero.

El uso del pretensado en los cabezales sobre pilas, que ha hecho posibles las "pilas martillo" del viaducto de Roberval, ha conducido igualmente a las pilas muy airosas del viaducto de Batignolles, distantes 17 m entre ejes. Se escogió aquí una solución a base de dos soportes, coronados por una cabeza de hormigón pretensado con dos voladizos. La sencillez general de las formas de la ejecución permitió obtener unos costes particularmente ventajosos, a pesar de la aparente osadía técnica.

Los cabezales incorporados son todavía más numerosos, porque presentan la ventaja de poder utilizar el canto del tablero. No pueden emplearse más que cuando el tablero se hormigona in situ y a menudo se limitan al canto del tablero, como en el viaducto de la Porte Pouchet, situado igualmente sobre el bulevar periférico de París, que descansa sobre dos soportes por línea de apoyo, con una anchura de 35 m.

Esta utilización permite igualmente resolver algunos pasos esviados mediante puentes rectos, según una técnica parecida a la empleada en el puente de Montgeron. Permite también, en condiciones económicas favorables, la superposición de viaductos, a menudo necesaria en zona urbana.

EDIFICIOS

En el campo de la edificación se distinguen corrientemente dos formas de empleo del pretensado: el postesado, con anclajes que transmiten la carga del acero al hormigón, y el pretesado que utiliza la adherencia de los aceros tesos con anterioridad al hormigonado. Este último campo, que es el de la prefabricación, no puede tratarse aquí porque por sí solo requeriría varias conferencias. Nos limitaremos por ello a examinar los casos de postesado.

Desde que el pretensado se ha extendido a todos los niveles técnicos, gracias a los pasos superiores, un número siempre creciente de proyectistas y constructores se van dando cuenta de que su empleo en edificación no plantea problemas particulares y presenta muy a menudo un interés económico nada despreciable.

Este empleo no se limita ya, actualmente, a sectores muy especializados como el de las láminas plegadas o los enormes voladizos, en los que el pretensado no tiene ningún competidor, sino que se extiende cada vez más a sectores de luces y esbelteces tradicionalmente reservados al hormigón armado, que requerían una ferralla complicada y una ejecución minuciosa incompatible con los actuales ritmos de ejecución.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

De esta forma, numerosos casos de importancia media se resuelven hoy en hormigón pretensado. Se pueden citar las cubiertas de edificios deportivos (piscinas, tenis, etcétera), para las que las luces alcanzan normalmente los 20 m; también son muy frecuentes los edificios industriales de grandes sobrecargas, en los que se trata de evitar la presencia de muchos pilares (edificios de Garonor, en Roissy; el Palacio de Exposiciones de la Puerta de Versalles, etc.) o los inmuebles de oficinas en los que se buscan soluciones de forjados planos, evitando las vigas salientes que estorban la dstribución posterior del edificio.

Se llega así a una evolución progresiva de la arquitectura de edificios, por la sola influencia del pretensado. Después de haber conseguido audaces cubiertas y grandes esbelteces de vigas, ha permitido resolver mediante vigas distribuidoras de cargas los problemas planteados por la tendencia moderna a reducir obstáculos en la planta baja de los edificios y, después, se ha extendido de manera natural al propio cuerpo de estos edificios.

No sería correcto llamar edificios a ciertas realizaciones ligadas a la energía nuclear. Aunque se trata de un campo grandemente especializado, hay que destacar que sólo el hormigón pretensado ha permitido la construcción de reactores de cierta importancia, o de blindajes de estos reactores (según sea el sistema escogido para la utilización de la energía).

DEPOSITOS Y PISCINAS

Para los depósitos y las piscinas no es una cuestión de revolución, pero el hormigón pretensado continúa aquí haciendo gala de su gran superioridad frente al hormigón armado cuando se trata de lograr construcciones estancas. Mejor que cualquier explicación basta observar las realizaciones recientes como demostración de las posibilidades que hoy día se alcanzan gracias a este material.

CONCLUSIONES

Para determinar esta rápida exposición de algunas realizaciones modernas en Francia y antes de proyectar la película sobre la construcción del viaducto del Oléron, quiero rendir homenaje a Freyssinet, cuyo descubrimiento ha revolucionado el arte de construir, imponiéndose en todos los campos de forma extraordinaria y extendiéndose, como demuestra la presencia de ustedes, por el mundo entero. ¿Cuántos ingenieros se plantearían hoy problemas insolubles si él no hubiese aportado la respuesta de antemano, de una forma tan elegante, al crear el hormigón pretensado?

(Traducido por Alvaro García Meseguer.)

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

última publicación de la asociación técnica española del pretensado

HORMIGON PRETENSADO. REALIZACIONES ESPAÑOLAS-Mayo 1970

Con motivo del VI Congreso Internacional de la F.I.P. celebrado en Praga en junio del presente año, la Asociación Técnica Española del Pretensado ha editado un libro en el que se describen todas las obras españolas realizadas en hormigón pretensado hasta diciembre de 1968.

Este libro, de 600 páginas, formato de 21 × 30 cm., con numerosas fotografías, láminas y planos, impreso en papel cuché, encuadernado en tela y con sobrecubierta plastificada en color, se ha puesto a la venta al precio de 2.000 pesetas cada ejemplar (30 dólares para el extranjero).

Las estructuras que en el mismo se describen aparecen clasificadas en los siguientes apartados:

— Puentes.
— Cubiertas.
— Obras hidráulicas.
— Depósitos y silos.
— Obras especiales.
— Estructuras a base de elementos prefabricados con armaduras pretesas.

Los interesados en su adquisición pueden dirigirse a la Secretaría de la Asociación Técnica Española del Pretensado o a la Sección de Distribución del Instituto Eduardo Torroja. La dirección de ambas es la siguiente:

INSTITUTO EDUARDO TORROJA
Apartado 19.002
Costillares-Chamartín
MADRID-16

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

V CONGRESO INTERNACIONAL DE LA F.I.P. - París, junio 1966.

informe de la comisión de la F.I.P. sobre prefabricación

RESUMEN

Este informe constituye un resumen de 13 informes y notas que tratan de las siguientes cuestiones:

Unión de elementos prefabricados: eliminación de juntas con mortero u hormigón *in situ;* hormigón expansivo; extensión y estampación por vibración: principios y límites; calentamiento eléctrico de las barras de alta resistencia aplicado al desarrollo de las técnicas de producción en serie; grandes elementos sumergidos: principios y métodos de unión; significación de las fisuras iniciales de tracción en la zona de compresión (incluidos los efectos de la manipulación); almacenamiento de elementos prefabricados: precauciones necesarias respecto a la relajación, fluencia y deformaciones en general; postes: ventaja del pretensado; resumen de las notas que se poseen en la actualidad sobre el esfuerzo cortante en la superficie de unión de estructuras mixtas; pilotes prefabricados de 30 m de longitud; recomendaciones sobre el desbloqueo brusco de las armaduras de pretensado; prefabricación de vigas de puentes pretensadas por vertido del hormigón en moldes sometidos a vibraciones por el fondo; postes para línea de alta tensión; endurecimiento acelerado.

INTRODUCCION

La Comisión se ha reunido en tres ocasiones: en el Cement and Concrete Association Training Centre, de Wexham Springs; en el hotel de Burg, Middelburg, y en la sede de la Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, en Wiesbaden.

La Comisión ha estimado que la mejor ayuda que puede prestar a los interesados en la prefabricación consiste en discutir y estudiar los temás más importantes, sobre los que es todavía difícil obtener información. Los diferentes miembros prepararon informes sobre los problemas elegidos, que fueron revisados por toda la Comisión, y sus versiones definitivas se remitieron al Presidente y al Secretario, que mantienen contacto directo con los miembros de la Comisión afectados por estas cuestiones.

La Comisión ha hecho públicos los resultados de sus deliberaciones y prosigue actualmente sus estudios sobre los puntos de mayor interés, tales como:

— Unión mediante el pretensado de los elementos de las unidades prefabricadas, eliminación de juntas con mortero u hormigón vertido *in situ*.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

— Postes, ventajas del pretensado.

— Calentamiento eléctrico de barras de alta resistencia, aplicado al desarrollo de las técnicas de producción en serie.

— "Autopretensado" con cementos expansivos.

— Endurecimiento acelerado del hormigón, temperatura y tensión.

Cualquier sugerencia sobre otros asuntos, los coloquios y los medios de mejorar los servicios prestados por la Comisión, serán siempre bien recibidos.

Sería imposible citar los nombres de todos los que han contribuido con sus comunicaciones y críticas constructivas, pero la Comisión desea expresar su gratitud a todos ellos por las comunicaciones enviadas sin las cuales habría sido imposible redactar este informe.

La Comisión ha observado con verdadero agrado que el señor Y. Guyon, Presidente de la F.I.P., ha asistido a todas las reuniones.

UNION DE ELEMENTOS PREFABRICADOS. ELIMINACION DE JUNTAS DE HORMIGON IN SITU

Con el fin de evitar el uso de hormigones o de morteros en las juntas entre elementos unidos por pretensado se utilizan juntas "secas" y juntas "encoladas".

Juntas sin producto de relleno.

El empleo de juntas secas, sin producto de relleno, necesita una correspondencia perfecta de las superficies a unir. Este sistema se utilizó en 220 viguetas en los trabajos de mejora del puente de la bahía de Oakland, San Francisco (1). Las caras de las juntas medían 50 × 100 cm y no han aparecido deformaciones debidas a una retracción diferencial. Las aristas de las paredes de las juntas se achaflanaron para evitar desconchones locales. Los elementos se hormigonaron en contacto con las unidades a las cuales debían unirse, a fin de que las caras contiguas estuvieran perfectamente ajustadas. Un día después, cada elemento se colocó en una bancada, haciéndolo pivotar en un ángulo apropiado por medio de unos tirantes roscados. El elemento a unir se hormigonaba entonces contra él.

Otro método, con juntas no resistentes a tracción, es el utilizado por una sociedad británica que fabrica pilotes de gran diámetro con elementos relativamente cortos (por ejemplo, elementos cilíndricos de 53 cm de diámetro y de 3 a 5 m de longitud) unidos por pretensado. Las unidades en cuestión se hormigonan verticalmente en moldes de acero, con un perfecto acabado de sus extremos, que descansan directamente sobre láminas de neopreno dispuestas en el interior de las juntas. Los cables se colocan en vainas de plástico que pueden inyectarse con una lechada. Cada junta horizontal es atravesada por cables de pretensado, generalmente seis, así como por tres espigas de acero destinadas a impedir toda rotación relativa de los elementos. Las armaduras activas se empalman a medida que se montan y añaden nuevas unidades prefabricadas. Este método de unión es de rápida ejecución y los pilotes pueden alargarse con arreglo a las necesidades de la hincadura, pero se posee aún muy poca experiencia sobre este sistema (2,3).

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

Juntas encoladas.

Este procedimiento consiste en asegurar la unión entre los elementos mediante una capa de cola. La resistencia a tracción, a compresión y al esfuerzo cortante de las juntas puede llegar a ser superior a la del hormigón, garantizando la cola la estanquidad respecto al agua (4).

Se utilizan con preferencia resinas epoxi, procedentes de la petroquímica. Es preciso mezclarlas (en estado líquido) con un endurecedor antes de su utilización. Pueden contener un polvo mineral como carga (en Rusia se ha utilizado cemento) y mezclarse con arena para juntas anchas. Se utiliza a veces una mezcla de resina y tiokol. Las propiedades esenciales de las colas empleadas son las siguientes: el tiempo de fraguado; es decir, el período durante el cual hay que utilizar el adhesivo (de cuarenta y cinco minutos a tres horas), el tiempo de polimerización (varios días), la sensibilidad a los cambios de temperatura y la temperatura mínima, por debajo de la cual no tendrá lugar la polimerización (alrededor de los 10° C).

La resina endurece por polimerización sin sufrir retracción. Las resistencias mecánicas máximas se alcanzan al término del período de polimerización en un plazo de varios días, y los resultados de los ensayos, enumerados en el cuadro 1, demuestran que la cola tiene características mecánicas superiores a las del hormigón, aunque con valores más bajos del módulo de elasticidad (1, 5, 6).

Cuadro 1.—Ensayos de muestras hechos con un producto puro.

CARACTERISTICAS	Franz	Alexandre (medido al cabo de diez días)
Resistencia a compresión (kp/cm²)	1.200	1.000
Resistencia a tracción (kp/cm²)	350	—
Resistencia a tracción por flexión (kp/cm²)	500	—
Módulo de elasticidad en compresión (kp/cm²)	35.000	69.000
Dilatación térmica (por grado C)	8×10^5	—
Módulo de elasticidad transversal (kp/cm²)	—	25.300

Alexandre comprobó, mediante ensayos realizados con cola pura, que se producían roturas en el interior del hormigón. Franz señala una resistencia a esfuerzo cortante de más de 80 kp/cm² para las resinas mezcladas con arena fina, y Johnson indica una resistencia de 70 kp/cm² para una junta rellena con una mezcla de epoxi y tiokol.

Johnson y Alexandre declaran que la deformación de fluencia es poco importante para tensiones del orden de las registradas en obra durante la vida de servicio.

Se considera, en general, que para obtener una buena adherencia, las superficies deben estar muy limpias y no húmedas. Los ensayos efectuados sobre resinas epoxi, en el Centro Experimental de la Construcción y Obras Públicas (3), señalan que la resistencia a tracción de una junta encolada es mayor que la del hormigón endurecido en el 80 por 100 de los casos, cuando las caras de las juntas están secas y en el 30 por 100 de los ca-

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

sos si están húmedas. La adherencia de las resinas poliester es también más débil sobre hormigón húmedo.

Los ensayos efectuados por Johnson presentan una gran dispersión, debida, probablemente, a una preparación irregular de las superficies de hormigón (5). Johnson insiste en la necesidad de una preparación muy cuidadosa de las superficies: decapado por chorro de arena, desengrasado por medio de detergentes, secado, limpieza con ácido clorhídrico seguida de neutralización y lavado. Alexandre hace notar que el enarenado y cepillado efectuados conjuntamente con empleo de aire comprimido da buenos resultados en obra, y llama la atención, particularmente, sobre la necesidad de evitar el menor rastro de grasa en las superficies que se van a unir.

Cuando se utiliza una cola pura, el espesor de la junta se reduce a algunas décimas de milímetro por razones de economía y para reducir su deformación. Las juntas se pueden pretensar antes de que el adhesivo haya fraguado, lo que le hace refluir por los bordes.

Cuando el adhesivo contiene una adición se utilizan juntas más anchas del orden de algunos milímetros. Franz aconseja juntas de 2 cm porque, según él, es más costoso obtener superficies exactas para unir con precisión y que se ajusten perfectamente que hacer una junta ancha.

En Rusia se ha utilizado una mezcla de epoxi y cemento para juntas de 0,2 a 0,8 mm de espesor.

Las superficies en contacto deben corresponderse con tanta mayor precisión, cuanto más delgada sea la junta. Para obtener un buen ajuste, los elementos prefabricados que han de unirse entre sí se hormigonan, frecuentemente, estando en contacto uno con otro. A veces se hace un pulido de las superficies que han de estar en contacto, pero esto puede reducir la adherencia.

Cuando los elementos prefabricados se unen por pretensado, antes de que fragüe el adhesivo es necesario impedir que se produzca cualquier deslizamiento relativo de los elementos, y a este fin se practican orificios en uno de los elementos, que se corresponden con salientes en el otro para que se enganchen. En Rusia estas llaves de unión se calculan para resistir el esfuerzo cortante en servicio (8).

Ejemplos de realizaciones recientes.

En las regiones meridionales y orientales de los Estados Unidos se han utilizado pilotes postensados de una longitud de hasta 48 m y de 14 cm de diámetro; se fabrican mediante elementos de hormigón centrifugado de 5 m de longitud, pretensados en conjunto y unidos por medio de juntas de epoxi. Debemos mencionar unos pilotes de 45 cm de diámetro de hormigón armado no pretensado ejecutados a partir de elementos unidos por una mezcla adhesiva a base de resina epikota. Se vierten 20 kilos de ésta en un collar colocado en la cabeza del pilote. Después, el trozo de pilote destinado a ser unido con el anterior se coloca sobre el adhesivo que se calienta al vapor durante veinte minutos; después de ello, la junta se enfría con agua durante diez minutos. Terminadas estas operaciones puede proseguirse la hinca. Este método se utilizó para la construcción del Centro Cultural de Melburne.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

Pilas de puente en Malasia.

Estas pilas, con un diámetro interior de 60 cm y exterior de 90 cm, están constituidas por elementos de hormigón centrifugado, de 3 m de longitud, unidos por pretensado. El procedimiento de fabricación utilizado permitió obtener extremos tan planos que las irregularidades no pasaban de 1 mm. De esta forma, los elementos sucesivos podían unirse fácilmente por medio de un mortero a base de resina epoxi; el mortero utilizado tenía la siguiente composición:

Aceite de pino	20 g
Epikota 828	100 g
DTA (Dietileno triamina)	13 g
Arena fina (0,15 — 0,30 mm)	250 g

Los componentes se mezclan en el orden indicado, y la mezcla final se aplica con espátula. Sólo se preparan pequeñas cantidades de cola cada vez y esto por dos razones: primera, el tiempo de fraguado es corto (cuarenta y cinco minutos después de la adición del DTA); segunda, como la reacción es exotérmica, la preparación de cantidades importantes haría subir considerablemente la temperatura de la mezcla.

Pilas para muelle en Indonesia.

Se pueden comparar, en principio, a las pilas para muelle colocadas en Malasia, diferenciándose, únicamente, en el procedimiento de fabricación; cada unidad tiene 5 m de longitud y se han construido por el método de hormigonado al vacío. Esto influye en las operaciones de unión, pues la forma del molde no permite obtener superficies de contacto completamente planas. En el caso en cuestión se retocaron con la muela las superficies para reducir las irregularidades a 3 milímetros.

Al igual que en Malasia, los elementos se unieron con un mortero a base de epoxi, cuya composición era la siguiente:

Aceite de pino	50 g
Epikota 828	450 g
DTA	75 g
Arena fina	1.025 g

La operación se perfecciona con el empleo de una máquina de alisar, adaptada para este trabajo y construida por la Sociedad Seidrier, máquina que lleva consigo un bastidor de acero cuyo eje de simetría se adapta al de la pieza a alisar. La muela se coloca sobre un árbol que gira alrededor del eje a una velocidad de 2 a 8 vueltas por minuto; la holgura entre las piezas se reduce así a uno o dos milímetros.

Puente de Choisy le Roi sobre el Sena.

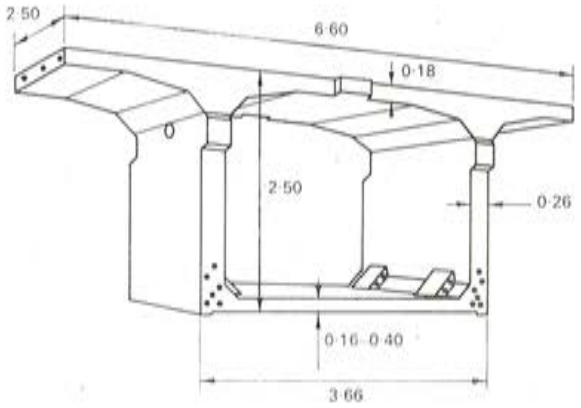
Este puente de hormigón pretensado se compone de tres tramos de 37,50, 55 y 37,50 m. La estructura está formada por 4 vigas cajón de una altura constante por debajo del nivel del puente. Se construyó por voladizos, a partir de las pilas, utilizando dovelas prefabricadas de 2,50 m de largo (fig. 1), fabricadas en otra obra situada a 1.800 m

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

del puente. Las dovelas se fabricaron con un fondo idéntico al del intradós del puente y se hormigonaron en contacto unas con otras. A fin de asegurar una puesta en obra perfecta, en el momento de la unión ulterior se hicieron tres espigas para regular la colocación, una en medio de la cabeza superior y las otras dos en las almas del cajón. Las dovelas prefabricadas se transportaban entonces a la obra.

Se instalaba un dispositivo telescópico de guía en la parte de viga cajón ya colocada, y la nueva dovela que se iba a unir se fijaba a este aparato que podía desplazarse en todas direcciones.

Después del enhebrado de los cables de pretensado, la nueva dovela se montaba "en blanco". para un acoplamiento de ensayo. Cuando el ajuste era satisfactorio se retiraba y la junta se recubría con un adhesivo. En primer lugar se apretaba el elemento por me-



todas las dimensiones en metros

Fig. 1.—Elementos prefabricados del puente de Choisy-le Roi.

dio de barras roscadas y, por fin, se tesaban los cables de pretensado que sostenían la dovela. El esfuerzo cortante ejercido sobre las juntas del orden de 2 a 3 kp/cm² era absorbido por las llaves de guía que impedían todo deslizamiento relativo. Gracias al pretensado fue posible instalar un elemento por día. La mezcla adhesiva utilizada para este puente era ROX TP 38, producida por "Terosón y Protección Química". Tiene dos componentes (*A* y *B*) de consistencia pastosa que hay que mezclar antes de su uso. Uno de ellos es una resina sintética de la familia de las epoxi y el otro un endurecedor apropiado. Las dos sustancias se mezclan a partes iguales hasta la obtención de una pasta homogénea, teniendo en cuenta que una mezcla muy rápida produciría un calentamiento excesivo, que debe evitarse. A temperatura ordinaria es utilizable durante una a una y media horas; el tiempo de fraguado varía entre seis y ocho horas. No parece muy sensible al efecto de la temperatura ambiente y puede utilizarse hasta a temperaturas de 10° C o incluso inferiores. La mezcla recién terminada es viscosa y su tixotropía es tal que puede aplicarse con una brocha o una espátula sobre superficies verticales sin que escurra. Parece que se puede obtener un endurecimiento completo al cabo de cuatro días a temperatura de 18° C.

HORMIGON EXPANSIVO

Los franceses Lossier y Hendrique obtuvieron, sobre los años 30, los primeros resultados importantes en el campo de los productos expansivos. En aquella misma época, V. V. Mikhailov, comenzó investigaciones análogas en Rusia, y de este modo nació el cemento expansivo, impermeable al agua, que se fabrica actualmente.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

Nuevas investigaciones de Mikhailov, Lilver y Popov (en el Instituto de Investigaciones sobre el Hormigón y el Hormigón Armado de Moscú) contribuyeron a la fabricación del cemento expansivo. La expansión del cemento se produce cuando alcanza una resistencia de 50 kp/cm², lo cual hace posible el autopretensado (la tensión de las armaduras puede llegar a 5.000 kp/cm²).

El cemento expansivo se fabrica triturando conjuntamente cemento portland, cemento aluminoso y yeso. El endurecimiento y la expansión del hormigón armado, fabricado con cemento expansivo, se obtiene por una humidificación con agua a temperatura normal. El cemento expansivo empleado en industrias de prefabricación necesita un breve calentamiento preliminar del agua, mientras que el de la obra no precisa de esta condición.

Como las propiedades de impermeabilidad al agua del hormigón expansivo son excepcionales, puede resistir a la penetración de hidrocarburos gaseosos y líquidos y, asimismo, utilizarse en la fabricación de tuberías a presión, cuando se pretensan las armaduras longitudinales y las de zunchado.

Acaba de ser construida, en Rusia, la primera fábrica de tubos de presión de hormigón expansivo, aplicando métodos de centrifugación y vibro-extrusión.

Un extenso programa de investigaciones sobre este tema está en marcha en Rusia. Comprende un procedimiento para retardar el endurecimiento por hidratación previa y parcial del cemento; un estudio sobre la repartición del pretensado y el control del pretensado definitivo.

También en la Universidad de California se han venido realizando, desde 1957, algunas investigaciones sobre los cementos expansivos y el hormigón expansivo.

El cemento expansivo americano, fabricado por Klein y Troxell, es una mezcla (sin trituración combinada) de cemento portland, cemento especial sulfo-aluminoso y escoria, aunque ya no se utiliza este último elemento. El cemento sulfo-aluminoso (el elemento expansivo de la mezcla) se prepara mediante una deshidratación en horno de calcita, sulfato de aluminio y bauxita, mientras Lossier proponía utilizar yeso, bauxita y creta.

Las investigaciones llevadas a cabo por Lin, utilizando cemento expansivo americano y su aplicación a la fabricación de losas, láminas delgadas y pilotes, han tenido un resultado satisfactorio.

Los Laboratorios Centrales de Investigaciones de la Asociación del Cemento Portland, de Illinois, efectuaron investigaciones, en 1963, sobre los siguientes componentes: cemento Portland, cemento aluminoso y yeso, según la propuesta del Instituto de Investigaciones del Hormigón y del Hormigón Armado de Rusia.

En oposición al método utilizado por Rusia, en Estados Unidos se preparaba el cemento expansivo mediante mezcla ordinaria de los constituyentes, en lugar de molerlos juntos. Los ensayos confirmaron los resultados de las investigaciones efectuadas por los soviéticos sobre las propiedades del cemento expansivo (9). Los trabajos continúan en esta dirección.

Se utilizó hormigón expansivo en la construcción de algunas partes del revestimiento de una carretera de gran circulación en Hamdam, Connecticut, en 1963. Las medidas efectuadas en este caso demostraron que se obtenía una tensión de 5.000 kp/cm² en el acero. Palmdel y Lody han efectuado, también en los Estados Unidos, ensayos sobre el relleno de juntas con cementos expansivos.

Dzhun Way, del Instituto de Investigaciones sobre Materiales de Construcción de Pekín, ha estudiado los tubos de presión, utilizando cemento expansivo enviado desde Rusia (9-16).

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

EXTRUSION Y VIBRO-COMPACTACION. PRINCIPIOS Y LIMITES

Son técnicas que permiten aplicar, simultáneamente, presiones y vibraciones sobre el hormigón. Aunque los procedimientos normales de vibración son aplicables a la mayor parte de los hormigones prefabricados, su eficacia resulta limitada cuando se trata de poner en obra hormigón de alta resistencia para piezas de forma complicada. Se ha comprobado que recurriendo a la vibro-estampación se puede utilizar eficazmente una mezcla que dé un asiento nulo en el ensayo de consistencia, para fabricar piezas de formas muy complejas. La mezcla más consistente se vuelve fluida cuando se somete a vibración y la presión aplicada provoca un escurrimiento, asegurando así el relleno perfecto del molde. Se puede hacer variar la frecuencia de las vibraciones y la intensidad de la presión para adaptarlas a la docilidad de la mezcla.

Los elementos de hormigón fabricados por este método no deben tener un canto superior a 25 ó 30 cm y el encofrado se puede retirar casi inmediatamente.

El material de vibro-compactación se compone de:

— un vibro-compresor perfilador (una prensa vibrante de forma apropiada);
— un encofrado lateral con placas vibrantes incorporadas;
— un encofrado superior, y
— vibradores.

La figura 2 representa una serie de operaciones sencillas que muestran cómo se fabrican paneles compuestos, para forjados de hormigón pretensado, de 12 m² como máximo, con nervios en forma de cruz.

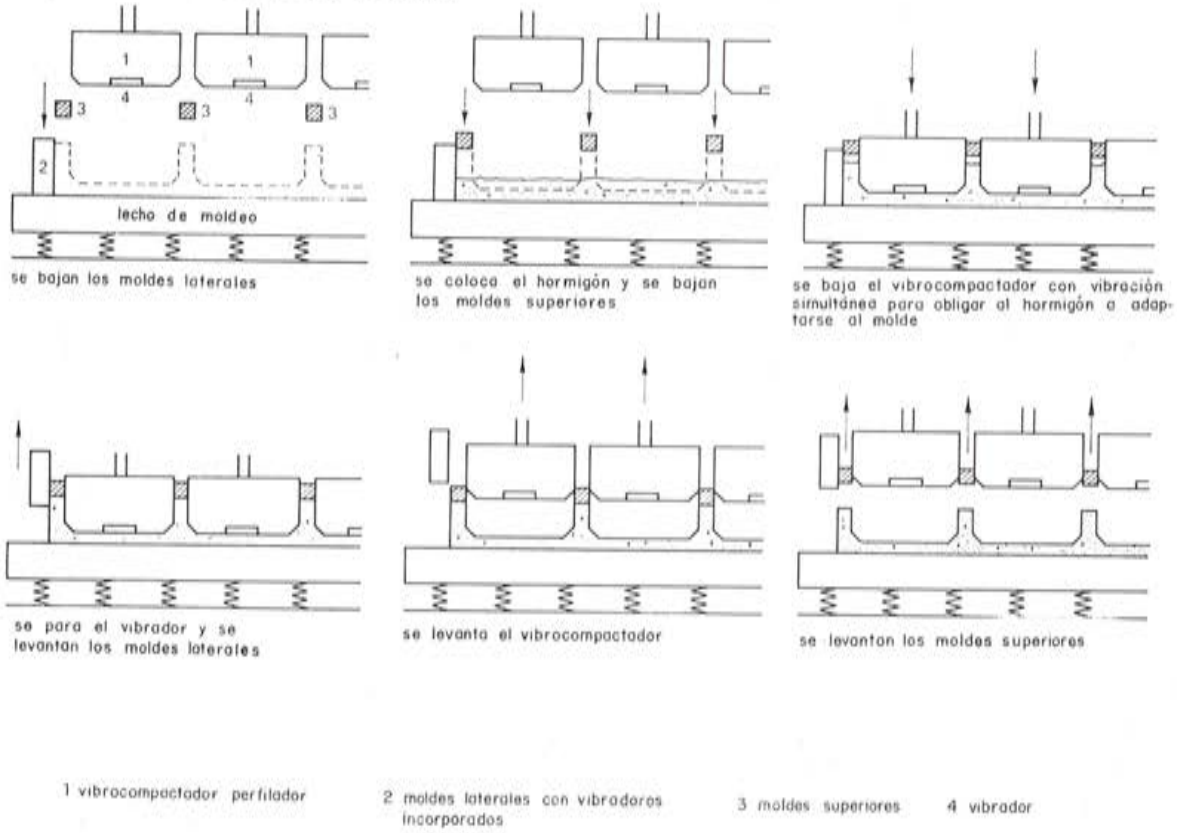


Fig. 2.—Secuencia esquemática de la vibrocompactación.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

La retirada del vibro-compactador se facilita introduciendo aire comprimido bajo su cara inferior, con el fin de que el aparato se desprenda más rápidamente del hormigón y para evitar el deterioro de la superficie del elemento fabricado.

La vibrocompactación se ha utilizado en gran escala en Rusia para construir escaleras, revestimientos de túneles, placas nervadas y losas para cubiertas, cunetas y vigas en I. El sistema ha sido utilizado eficazmente, unido a técnicas de pre y postensado. El acabado es mediocre generalmente, a causa de ciertas dificultades, por lo que el método no es adecuado para fabricar elementos cuyas superficies deban ser de alta calidad.

Mikhailov describió este método en una comunicación que presentó a la VI Convención Anual del P.C.I., en Chicago, en 1960 (17).

La extrusión.

La técnica de extrusión del hormigón se asemeja, en muchos aspectos, a la de vibrocompactación y consiste en presionar una mezcla plástica y obligarla a pasar por una matriz. Se precisa una masa con asiento nulo en el ensayo de consistencia, sometida a una presión, y a una vibración combinadas que permitan su extrusión (estirado) a través de una sección de forma compleja, teniendo el hormigón una consistencia final suficiente para conservar exactamente la forma adquirida a su paso por el molde móvil. Como la extrusión provoca un acabado mejor que la vibro-compactación, se puede utilizar eficazmente en la fabricación de piezas producidas en grandes cantidades, que necesiten un acabado de alta calidad en la superficie.

Los dos tipos de máquinas de extrusión estudiadas difieren considerablemente en su aplicación, aunque ambas utilizan el pretensado por adherencia.

Máquina de un solo perfil.

Esta clase de material precisa de la utilización de elementos de extrusión separados para cada espesor o anchura de los elementos fabricados. Esta máquina aporta una nueva característica, puesto que desarrolla una fuerza suficiente en la cámara de moldeo para perfilar las secciones del hormigón y provocar el desplazamiento de la máquina a lo largo del banco de pretensado. El perfilado se obtiene por unos tornillos sin fin que efectúan a la vez la extrusión y el modelado. Este método de presión interna elimina la tensión superficial y permite obtener superficies superiores e inferiores extraordinariamente lisas. La figura 3 muestra una máquina de perfilado de este tipo, que funciona de la manera siguiente:

El hormigón de consistencia seca (asiento nulo) se lleva mediante un transportador a la tolva del perfilador y pasa a la cámara de alimentación. Los tornillos sin fin de distribución, que se encuentran en compartimentos separados con el fin de repartir la masa por igual en la zona de extrusión, tienen un diámetro cada vez más reducido, dejando así penetrar una gran cantidad de masa en la cámara de alimentación. A medida que los tornillos de distribución giran, la mezcla toma forma en la cámara de moldeo y el diámetro, cada vez mayor, del tornillo hace sufrir a éste presiones laterales y axiles. Los vibradores colocados sobre las placas superiores y laterales aumentan la fluidez de la masa, a fin de eliminar los vacíos y asegurar una buena adherencia a las armaduras activas de pretensado, hasta que se obtiene la compacidad deseada. La operación es continua; la acción de la máquina sobre el elemento de hormigón la lleva a desplazarse a lo largo de la corre-

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

dera, quedando entonces la losa en disposición de fraguar. El amortiguador de caucho separa los dos tornillos para que la losa terminada no sufra los efectos de las vibraciones y el otro extremo del tornillo de distribución pule la pared del núcleo interno y le da el diámetro deseado. El perfilador funciona sobre un banco revestido de acero cuyas aristas en relieve tienen 2,54 cm de espesor, lo que asegura una precisión de colocación perfecta, así como unos ángulos redondeados y una buena terminación de la cara inferior.

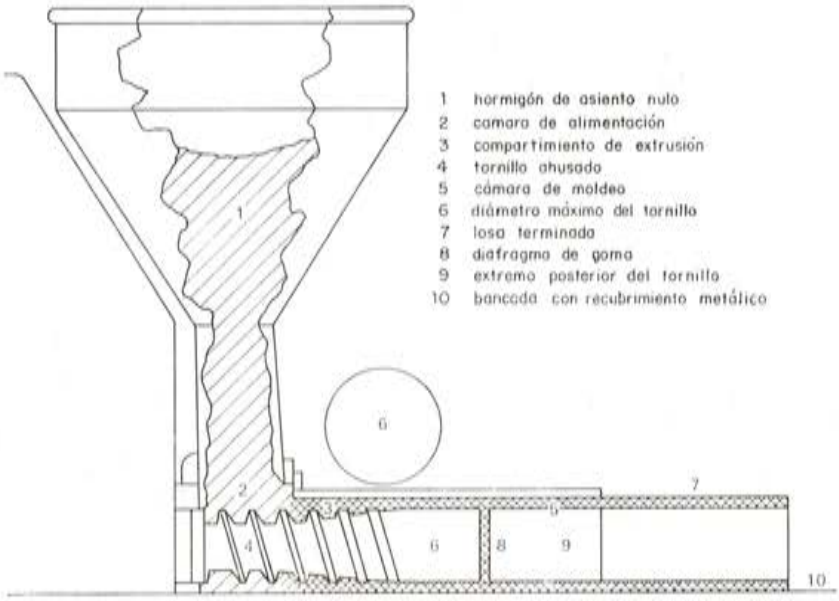


Fig. 3.—Croquis esquemático de la máquina de extrusión de perfil único.

Máquina de varios perfiles.

Consiste en una máquina de extrusión montada sobre un pórtico rodante. Este último abarca seis bancos de hormigonado y la máquina puede desplazarse longitudinal, lateral y verticalmente. La operación de extrusión se efectúa en capas sucesivas de diferentes espesores, colocadas unas sobre otras, hasta una altura máxima de 2,67 m y una sola máquina puede producir elementos de espesores de 10, 15, 20 y 25 cm con una gran precisión. Se obtienen grandes resistencias a compresión sobre superficies uniformes gracias a una compactación efectuada por batido mecánico, combinada con una baja relación agua/cemento; la superficie obtenida tiene una calidad suficiente para techos vistos. Tres tolvas de hormigón separadas alimentan las capas superior, media e inferior del producto acabado, para que se puedan combinar diferentes mezclas de manera que satisfagan las distintas necesidades. Esta clase de material permite, asimismo, producir piezas con una superficie superior de árido visto, si es necesario.

La máquina de extrusión se desplaza a una velocidad de 1 a 2 m/min, según la altura de la pieza fabricada, y realiza automáticamente las operaciones siguientes:

— colocación de armaduras activas de pretensado;
— extrusión de una pieza hueca en tres capas o de una pieza maciza;
— apisonado mecánico del hormigón en cada capa;
— formación de oquedades cuando es necesario;
— pulido de la capa superior, o aplicación de una capa de árido visto, a voluntad;
— modelado de las caras laterales en la forma solicitada.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

Estos dos tipos de máquinas perfilan la pieza a lo largo de todo el banco de pretensado y una sierra mecánica las corta, finalmente, a una longitud determinada con anterioridad, transportándolas al lugar de almacenamiento. Las piezas de hormigón producidas por extrusión tienen una contraflecha uniforme, gracias a su gran resistencia, densidad y uniformidad. La extrusión obliga a una gran mecanización, lo que permite economías considerables de mano de obra que compensan las inversiones iniciales necesarias.

CALENTAMIENTO ELECTRICO DE BARRAS DE ALTA RESISTENCIA, APLICADO A TECNICAS DE PRODUCCION EN SERIE

Rusia ha desarrollado el uso del tesado electrotérmico de barras con perfiles variables, para la construcción de elementos con longitud de hasta 24 m. Las barras se calientan por medio de una corriente eléctrica y se colocan en el interior de los elementos después de cortar la corriente. La fijación de los extremos impide el acortamiento y las barras se tesan automáticamente por enfriamiento.

La experiencia adquirida con la fabricación de una extensa gama de piezas muy variadas, en las que se han utilizado varios millones de metros cúbicos de hormigón pretensado (18-20), demuestran que el método es seguro y proporciona economías de dinero y mano de obra.

Como las barras de la armadura se fijan por medio de anclajes a los propios moldes de acero, éstos, que reciben el nombre de "moldes resistentes" (power forms), deben ser lo suficientemente robustos para resistir las fuerzas resultantes del enfriamiento de las barras (figs. 4 y 5).

Los moldes "power forms" han de tener nervios rigidizadores. La figura 6 muestra el dispositivo de apertura del molde que permite sacar las piezas después del pretensado cuando ha terminado la operación. Algunas mejoras introducidas han permitido reducir el peso de los moldes, de tal manera que éste excede sólo en un 15 ó 20 por 100 del que tendría el molde si no estuviese sometido a esfuerzos longitudinales.

Los puntos siguientes constituyen mejoras introducidas en el método:

1. Se utilizan ahora, como armaduras activas, barras levantadas. Para ello, la armadura constituida por una barra recta se coloca sobre unos soportes dispuestos en la parte superior del molde y se calienta eléctricamente hasta que, al alargarse, coge flecha y puede fijarse a los anclajes especiales colocados en la parte baja del encofrado. Durante el enfriamiento, la armadura se tesa uniformemente en sus partes rectas e inclinadas.

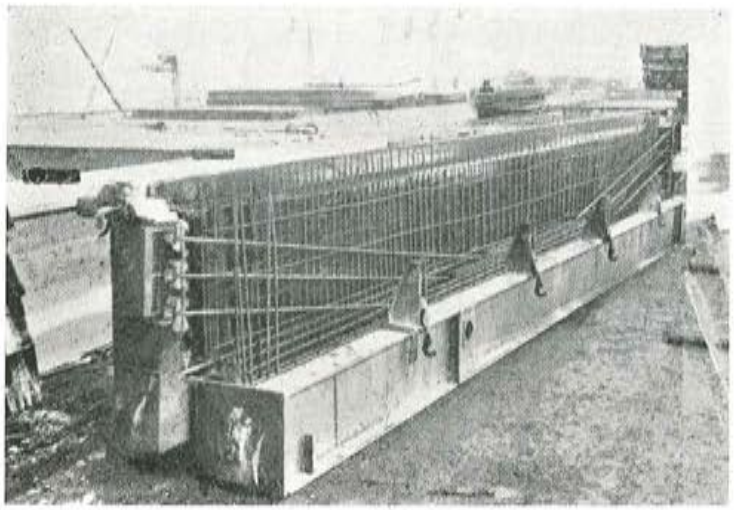
2. A fin de que las tensiones correspondan de manera más precisa al diagrama de momentos flectores y para reducir los esfuerzos soportados por los anclajes extremos, las barras pueden fijarse en su parte central únicamente, lo cual hace que, cuando se tesan por enfriamiento, sus extremos no soporten ninguna tensión.

3. Se procede al anclaje y unión de las barras, ajustando fuertemente sus nervaduras de perfil variable en elementos en forma de manguitos. Esto constituye una mejora considerable respecto al procedimiento antiguo (en el cual se hacían cabezas de anclaje por forjado al calor o soldadura). Además, así no se reduce la resistencia de la barra.

Se han confeccionado unos dispositivos especiales para el desbloqueo, tanto de los anclajes extremos como de los de la parte media.

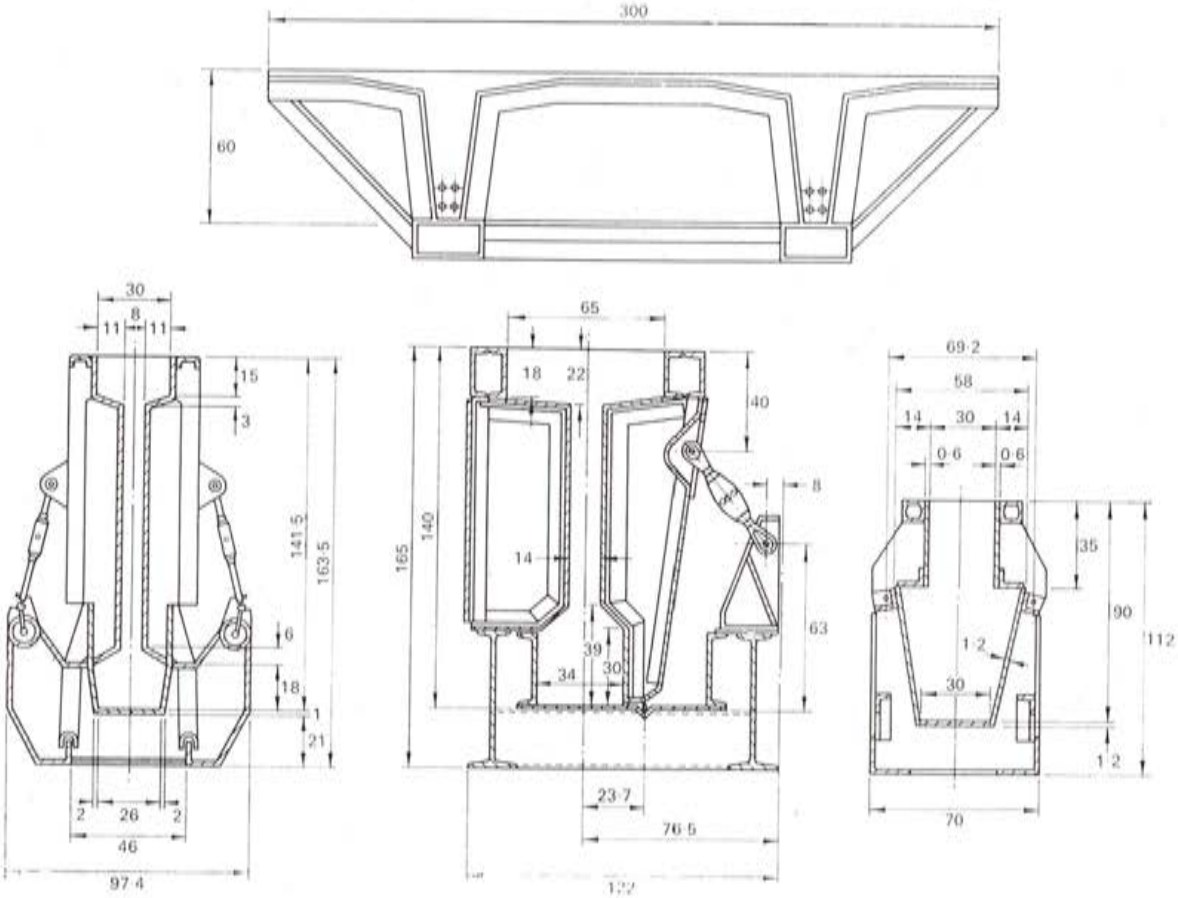
Existen normas para la aplicación práctica de este método (21).

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025



Figs. 4 y 5.—Moldes, de base reforzada, para anclaje de las armaduras.

Fig. 6.— Dispositivos para retirar los moldes.



Todas las dimensiones en centímetros

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

Las barras, de perfiles variables, tienen normalmente un diámetro de 8 a 24 mm y son de acero laminado en caliente, ligeramente aleado, de alto contenido en carbono, de calidad A-III y IV (normas rusas), con una resistencia a rotura de 6.000 a 9.000 kp/cm².

La tensión de servicio del hormigón utilizado es, en general, de 150 kp/cm² para hormigón ligero, y de 200 kp/cm² para hormigón normal.

A los soportes extremos o intermedios utilizados para fijar al molde las barras inclinadas rectas se les incorporan unos dispositivos, destinados a transferir el pretensado desde los anclajes internos al hormigón. El pretensado eficaz ha sido estudiado en un cierto número de casos diferentes y se ha comprobado que era igual al calculado con un error inferior al 10 por 100.

El pretensado con alambres adherentes, gracias a una máquina giratoria, se describió en el Congreso anterior (22). El calentamiento eléctrico de los alambres o cables de estas armaduras permite reducir, notablemente, el esfuerzo mecánico necesario para su enrollado.

GRANDES PIEZAS SUMERGIDAS. PRINCIPIOS Y METODOS DE UNION

Se ha construido, bajo el Nilo, una tubería de 500 m de largo y 3,25 m de diámetro interior para el suministro de agua a El Cairo. Los tubos se prefabricaron en la orilla en trozos de 4,93 m de largo; éstos se unieron unos con otros mediante juntas de hormigón, de 20 cm de espesor, y se pretensaron con 25 armaduras activas, de 16,65 m de largo, a fin de formar unidades de una longitud de 56,26 m. Los elementos se llevaron a pie de obra por flotación y después se colocaron en el fondo del río sellando las juntas herméticamente en la forma que se describe a continuación.

Los extremos de los tubos se cerraron durante el transporte con tapas de acero acopladas en un marco también de acero (fig. 7). Los marcos servían también de anclaje a las armaduras activas de pretensado. A 1,50 m del extremo de cada elemento se fijaron cajas

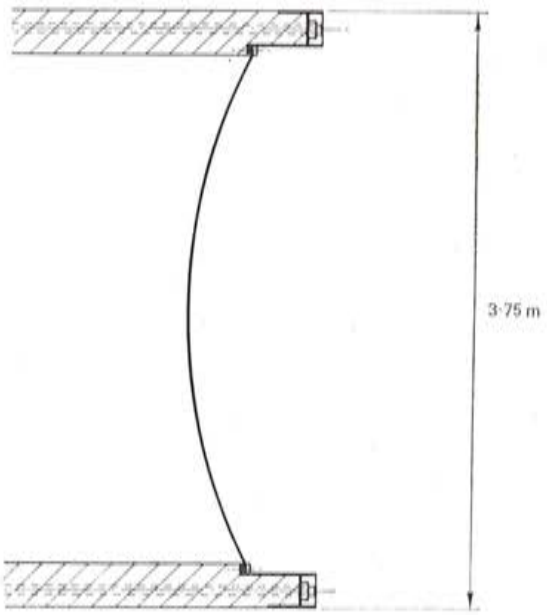


Fig. 7.—Tubo con tapa de acero.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

de madera, destinadas al hormigonado de los apoyos, por medio de unas barras de acero colocadas alrededor de los tubos ("a" en la fig. 8). Cerca de ellos se habían hormigonado, antes del transporte, unos recuadros mayores que los tubos ("b" en la fig. 8). Por fin se colocaron moldes semicirculares de madera ("c" en la fig. 8), de tal manera que la junta podía quedar completamente recubierta por un mortero coloidal. Para evitar su penetración en el espacio comprendido entre las tapas de dos elementos adyacentes, unos buzos

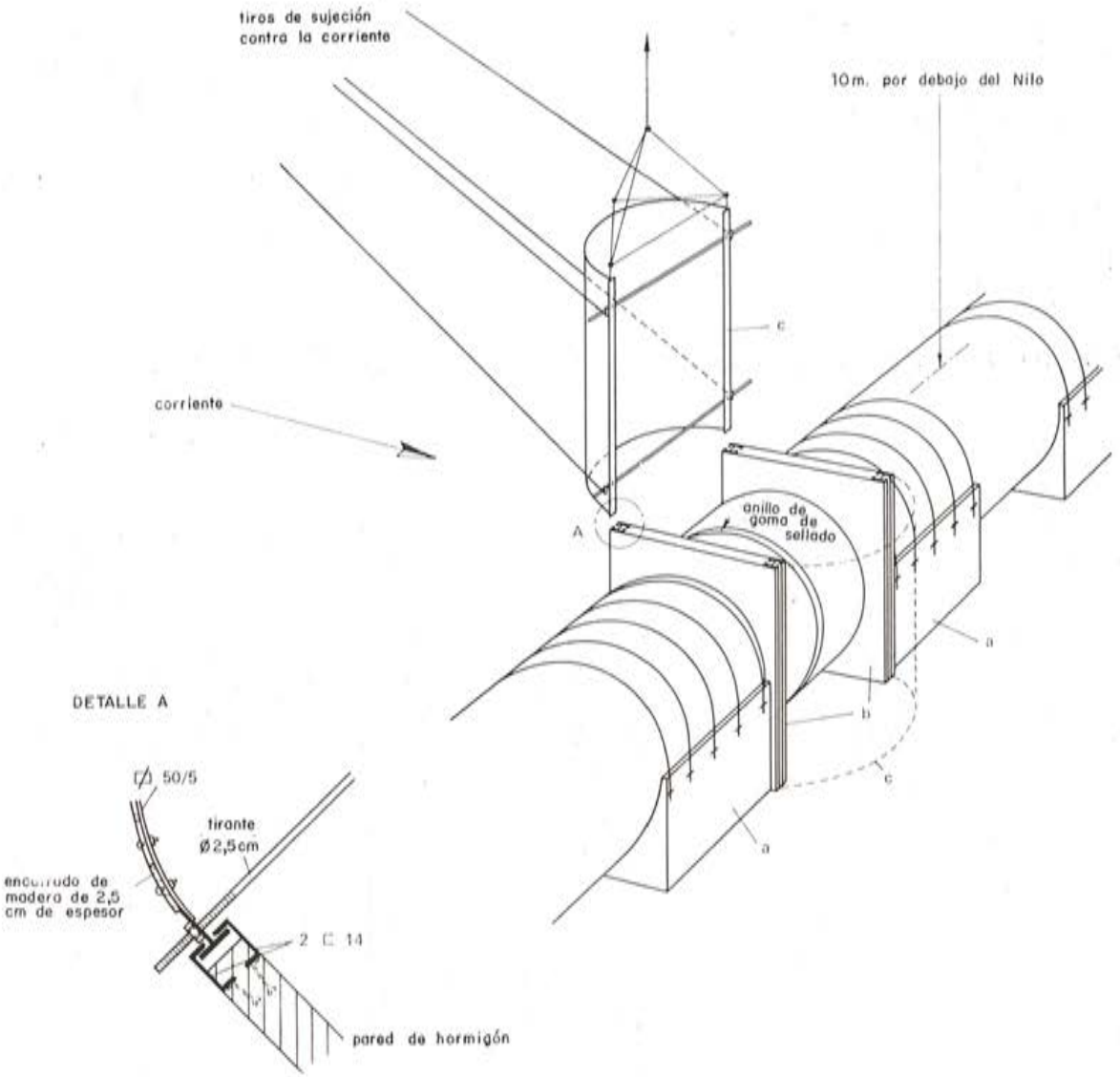


Fig. 8.—Unión de tubos.

colocaron un anillo de goma, de 0,9 cm de espesor y 20 cm de longitud, alrededor de la junta. Los dos extremos del anillo colocados entre los tubos estaban provistos de piezas metálicas que se fijaban con tornillos (fig. 9). Se provocaba la dilatación del anillo de goma apretando los tornillos, lo cual permitía ajustarlo perfectamente al hormigón.

Una vez endurecidos los bloques de hormigón de las juntas se bombeaba el agua que quedaba entre dos tapas adyacentes (fig. 10). Se dispusieron unas láminas metálicas, de perfil semicircular, según el radio del tubo, en trozos de 1,20 m de largo y soldadas a los

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

marcos de acero colocados en los extremos de los tubos. La forma de arco de círculo de estas láminas permitía compensar los movimientos debidos a las variaciones de temperatura.

El tubo entero fue herméticamente sellado, tanto en las juntas entre elementos como en las juntas entre piezas prefabricadas, gracias al pretensado.

Christiani y Nielsen A/S, Copenhague (patente internacional), han puesto a punto un método para la unión preliminar de elementos importantes, no pretensados, bajo el agua.

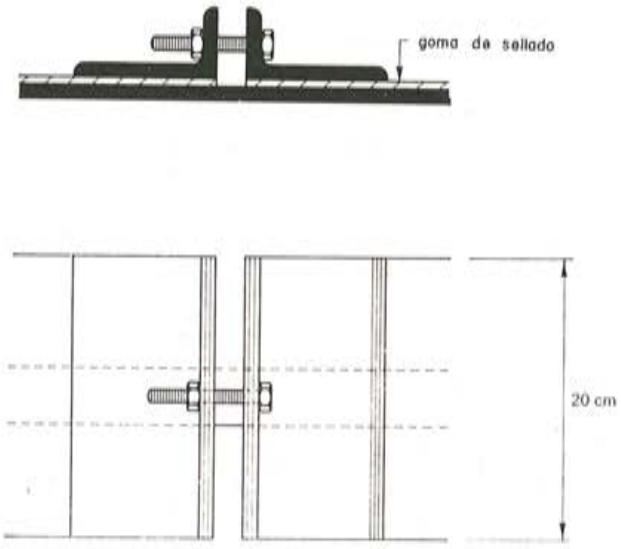


Fig. 9.—Posición de los tornillos conectadores y anillo de goma.

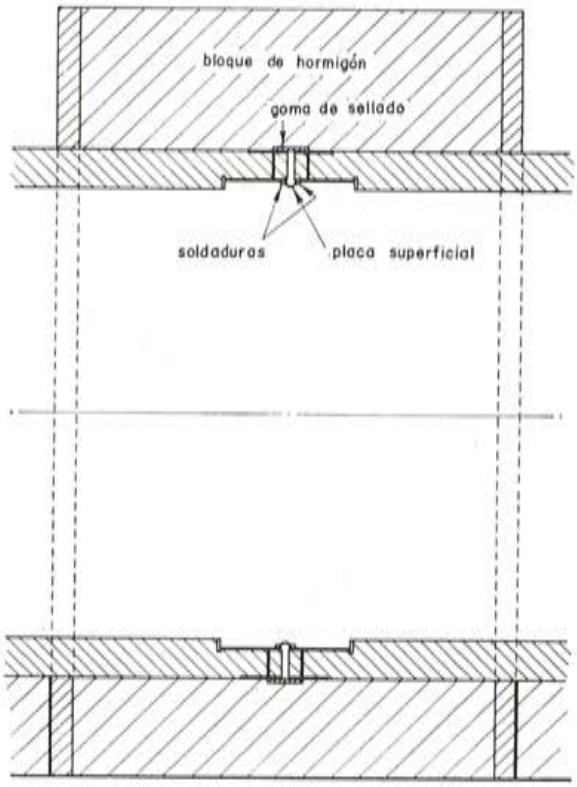


Fig. 10.—Construcción terminada.

Dicho método se ilustra en las figuras 11 *a-c*. Una vez colocado en el fondo del agua y ajustado el primer elemento, el siguiente se sujeta por medio de unos ganchos manejados hidráulicamente, que unen los elementos entre sí. De esta forma, los anillos de caucho se comprimen, lo que permite obtener una primera estanquidad. A veces, estos anillos están huecos y se bombea agua en su interior para mejorar la estanquidad.

Después de esta obturación preliminar se extrae el agua de la cámara *c* entre los extremos de los elementos adyacentes y la presión externa del agua comprime los elementos unos contra otros. Pueden entonces sellarse definitivamente las juntas desde el interior y quitarse después los tapones.

Este procedimiento se utilizó para la construcción de los siguientes túneles para vehículos de grandes dimensiones:

Túnel de la isla Deas, Vancouver.
Túnel del Metro, Rotterdam.
Túnel Coen, Amsterdam.
Túnel del Benelux, Rotterdam.
Túnel Schelde, Amberes.
Túnel Heinenoord, Países Bajos.
Túnel Tingstads, Göteborg.
Túnel Limsjord, Aalborg (Dinamarca).

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

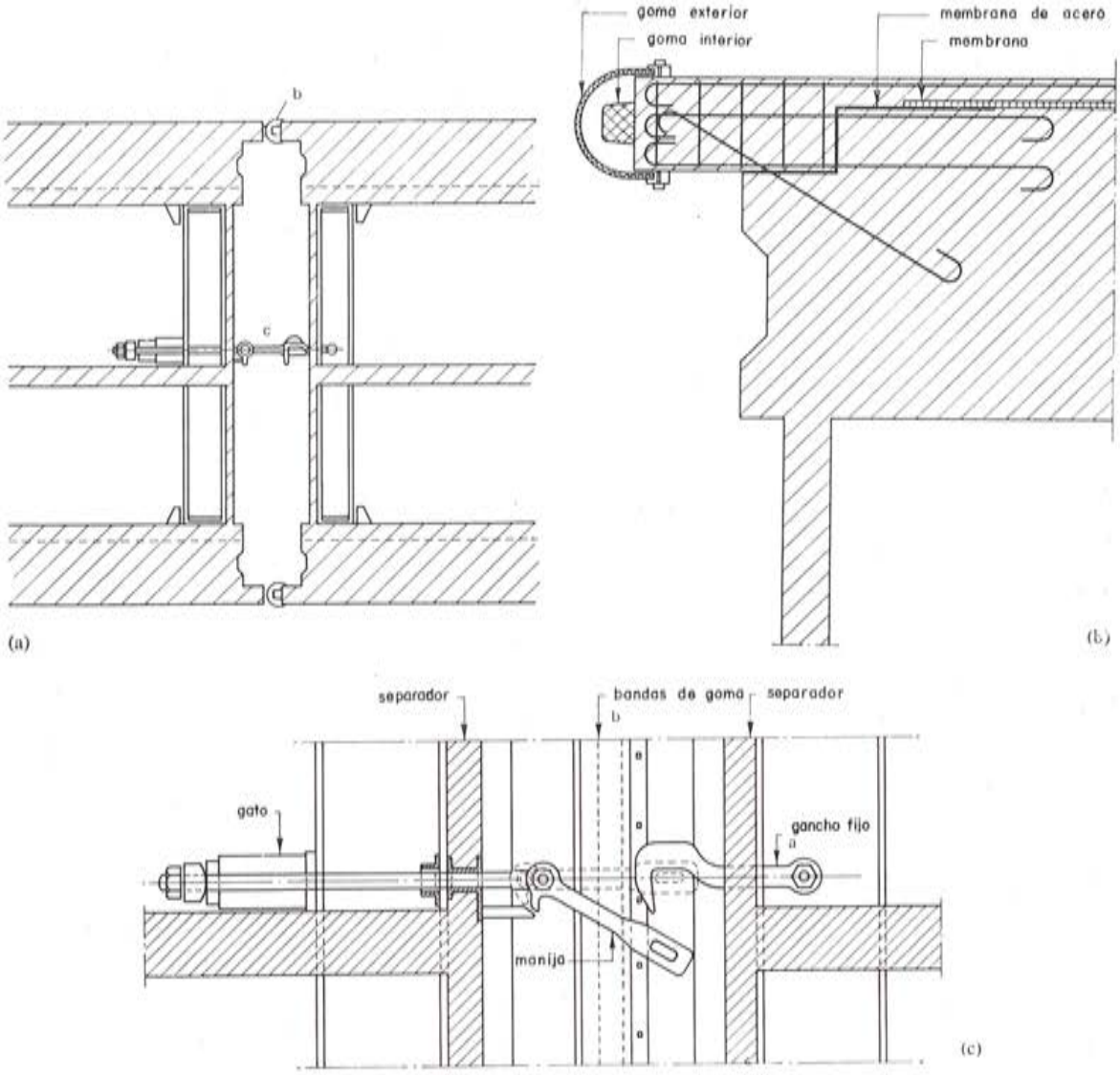


Fig. 11. — *a*) Unión preliminar de grandes unidades; *b*) Detalle de los anillos de goma; *c*) Detalle del gancho y del dispositivo hidráulico.

IMPORTANCIA DE LA FISURACION INICIAL EN LAS ZONAS COMPRIMIDAS EN SERVICIO (TENIENDO EN CUENTA LOS EFECTOS DE LA MANIPULACION)

Resulta ventajoso, durante la manipulación y transporte de elementos prefabricados, dejar sus extremos volados desde el punto de elevación o un soporte temporal; ello permite aumentar las tracciones en las fibras superiores y las compresiones en las fibras inferiores del elemento pretensado.

Será preciso, por lo tanto, tener en cuenta estas dos tensiones para limitar la longitud del voladizo; pero pueden tolerarse, a veces, fisuras de tracción. Cuando se escoge una tensión de tracción límite, inferior a su valor definitivo, sólo se puede admitir un momento negativo importante si se reducen también, las tensiones de tracción debidas al pretensado, a un valor muy pequeño.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

Esto se puede conseguir de varias maneras, bien desviando los cables, bien neutralizando la adherencia en los extremos, bien utilizando armaduras superiores de pretensado.

El tolerar fisuras permite aceptar momentos negativos elevados, sin poner en práctica estas disposiciones, a condición de que no se sobrepase la tensión de compresión admisible en las fibras inferiores del elemento.

Las fisuras que aparecen en la zona de compresión pueden presentar inconvenientes, tales como la menor resistencia a la corrosión de los aceros, una flecha hacia arriba o diferencial excesiva y una disminución del momento de fisuración positivo. Las fisuras iniciales que aparezcan en la zona de compresión tendrán una anchura limitada si el proyecto de las piezas es satisfactorio; y la amplitud de las fisuras vendrá determinada por el número, la distribución y la tensión de las armaduras en la zona de fisuración. Normalmente, esta armadura no es pretensada, y no es más sensible a la corrosión que en los elementos de hormigón armado corrientes. Las fisuras desaparecerán parcial o totalmente después de la aplicación de la carga de cálculo adoptada en el proyecto y, salvo en un medio extremadamente corrosivo, el problema de la corrosión no reviste una importancia primordial.

La pérdida de rigidez, en lo que concierne a los momentos negativos, puede provocar una flecha hacia arriba o una flecha diferencial durante el almacenamiento antes de la aplicación de la carga de cálculo, y estos efectos sólo son parcialmente reversibles. No se pueden admitir, por tanto, fisuras en elementos tales como las vigas en T, donde la flecha permanente es importante, y en aquellos que tienen momentos negativos y están previstos para construcciones compuestas. La contraflecha en piezas tales como vigas de gran longitud, no constituye una razón suficiente para no admitir fisuras en la zona de compresión.

Los investigadores rusos (23) han observado una disminución del momento positivo de fisuración en las vigas pretensadas que tenían fisuras de flexión provocadas por momentos negativos. Las fisuras más profundas provocan pérdidas más acentuadas. En consecuencia, las normas rusas, recomiendan una reducción del 10 por 100 en el momento positivo y del 15 por 100 en la rigidez cuando se admite fisuración en la zona de compresión.

La aparición de fisuras entraña una redistribución de las tensiones de compresión en los elementos en cuestión, lo cual puede influir en las pérdidas por fluencia. Cuando las fisuras se cierran en el momento de la puesta en carga, la repartición de tensiones es algo diferente a la que tenía antes, lo que puede modificar el momento positivo de fisuración. Como los investigadores rusos sólo aluden a vigas pequeñas, de un tipo muy determinado, es necesario proceder a un estudio mucho más profundo de este problema prestando especial atención al orden de magnitud de las tensiones de compresión, a la fluencia y a la retracción.

Aunque no es bien conocido el efecto de las primeras tensiones de la zona de compresión sobre el momento positivo de fisuración, en ciertos países se admite una fisuración inicial.

Se admiten fisuras iniciales en Rusia, salvo para las estructuras sumergidas, las ubicadas en medios corrosivos o las expuestas a fatiga.

Aunque ninguna norma lo especifica, desde hace veinte años se vienen admitiendo, en Suecia, fisuras inicales en las grandes vigas pretensadas por armaduras ancladas por adherencia, a excepción de las utilizadas en los puentes. Las zonas de fisuración están provistas de armaduras pasivas clásicas; el coeficiente de seguridad, en lo concerniente al momento positivo de fisuración, se mantiene en 1,2 y la resistencia a tracción por flexión se estima en un 10 por 100 de la resistencia a compresión medida sobre probeta cúbica.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

Las normas PCI de los Estados Unidos, no fijan límites a las tensiones de tracción por flexión, en el caso de que haya armaduras auxiliares colocadas en la zona sometida a ciertas tracciones, y los valores especificados pueden sobrepasarse cuando ello no suponga un peligro para la resistencia de la obra.

El Código de Buena Práctica inglés admite que se sobrepasen las tensiones de tracción reglamentarias, durante la manipulación y construcción, en períodos inferiores a cuarenta y ocho horas, a condición de que el ingeniero responsable esté seguro de que esto no puede provocar perjuicios o fisuras permanentes en el hormigón o pérdidas de pretensado superiores a las previstas.

Según la Norma alemana DIN 4227, no deben superarse durante la manipulación unas ciertas tensiones de tracción por flexión. Existen pocos riesgos de que aparezcan fisuras en las zonas de compresión de las piezas fabricadas según estas Normas.

Las Normas francesas ASP prescriben que los esfuerzos de tracción han de ser inferiores, durante las operaciones de transporte, a la resistencia real a tracción.

Es evidente que los elementos en los que aparecen fisuras, de la importancia que sea, sólo deben rechazarse si existen buenas razones para creer que no podrán prestar un servicio satisfactorio.

ALMACENAMIENTO DE ELEMENTOS PREFABRICADOS Y PRECAUCIONES NECESARIAS A CAUSA DE LA RELAJACION, LA FLUENCIA Y LAS DEFORMACIONES EN GENERAL

Si se quiere reducir al mínimo las deformaciones debidas a la retracción y a la fluencia es importante hacer envejecer el hormigón antes de poner en obra los elementos prefabricados. De la misma forma, el pretensado debe realizarse tan pronto como sea posible, antes de la colocación. Se deben seguir las normas siguientes para sacar el mayor partido posible del almacenamiento:

1. Durante el importante período que sigue inmediatamente al vertido de hormigón, éste debe mantenerse húmedo para asegurar una buena hidratación. El equivalente a un período de cuatro días a 15° C, aproximadamente, se considera como mínimo. (Si el endurecimiento bajo agua a una temperatura de 15° C se prosigue durante siete días, la resistencia en probeta cúbica de un hormigón de alta calidad alcanza alrededor del 80 por 100 de la resistencia prevista a los veintiocho días; de hecho, al cabo de siete días, la resistencia media del hormigón debe ser poco más o menos equivalente a la resistencia nominal requerida al cabo de veintiocho días.)

2. En climas fríos, en invierno, es necesario asegurar el fraguado y el endurecimiento en seco y al abrigo, durante un período más largo que en climas templados. En caso contrario, sólo se producirá una ligera retracción y una fluencia muy reducida antes de la colocación.

3. El almacén utilizado para el endurecimiento en seco, no debe estar a la intemperie, sino cubierto y protegido lateralmente. La capacidad de absorción directa del agua por el hormigón es grande, pero los intercambios de humedad entre el hormigón y el aire, por absorción o difusión, son lentos. Esta clase de almacenamientos protegerá igualmente a las piezas contra las deformaciones y alabeos debidos a una exposición unilateral al sol.

Las columnas, pilotes y postes se almacenan frecuentemente en capas sucesivas. Los puntos de apoyo se deben escoger de forma que se produzca un mínimo de deformación

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

por flexión. Cuando es necesario utilizar más de dos puntos de apoyo para impedirla, hay que recurrir a apoyos muy rígidos dispuestos con precisión.

Las vigas cortas se almacenan a menudo en capas superpuestas y se deben seguir, entonces, las mismas normas que con los postes y pilotes. Su peso propio apenas tiene influencia sobre las tensiones durante el almacenamiento, y las vigas adquieren, fácilmente, una cierta contraflecha provocada por la fluencia. Si esta contraflecha ha de ser constante es esencial que las vigas tengan las mismas condiciones generales de endurecimiento y que sean almacenadas al abrigo del sol. Cuando la capa inferior soporta una fuerte carga en sus extremos, los rozamientos horizontales que aparecen a la altura de los apoyos pueden influir sobre la evolución de la contraflecha.

Las vigas largas que poseen una rigidez transversal pequeña se deberán apuntalar o sujetar por el centro, y en las secciones de los apoyos para evitar cualquier alabeo o curvatura lateral.

Las losas son muy sensibles a las variaciones de la magnitud y posición del esfuerzo de pretensado, a la calidad del hormigón y a las condiciones generales de endurecimiento, así como al asiento de los apoyos. Si se almacenan losas en voladizo, sin haberlo previsto al realizar el pretensado, las deformaciones de fluencia son mucho mayores que las previstas por los cálculos normales, por lo que es fundamental evitar esta forma de almacenamiento.

Los defectos de fabricación o de almacenamiento entrañan, a veces, deformaciones tales como una contraflecha excesiva, curvaturas laterales o alabeos. Se pueden corregir utilizando el efecto de fluencia irreversible, con una carga apropiada de los elementos. Estas correcciones, en general, son muy costosas e incluso, dando resultados perfectos de momento, no son duraderas. Estas medidas no deben tomarse más que en casos aislados, cuando existe la posibilidad de controlar las nuevas deformaciones eventuales después de la colocación.

SOPORTES. VENTAJAS DEL PRETENSADO

Frecuentemente se ha dicho que el pretensado de soportes muy largos proporciona ventajas, especialmente, durante el transporte y colocación. Las investigaciones y realizaciones de algunos ingenieros han suministrado datos que confirman esta opinión.

Breckenbridge (24) ha hecho ensayos sobre soportes de 182 cm de longitud, postensados axilmente por medio de una armadura no adherente, y cuya esbeltez oscilaba entre 2,4 y 44,9. Los ensayos sólo se realizaban con cargas axiles y se ha encontrado una dispersión bastante grande en los resultados debida a las dificultades surgidas para evitar excentricidades. Llegó a la conclusión de que el pretensado axil de un soporte esbelto no tiene efecto sobre la carga de pandeo del poste.

Ozell y Jernigan (25) sometieron a ensayo 47 soportes (de los cuales 41 iban pretensados con alambres anclados por adherencia), de secciones cuadradas de 20 ó 15 cm y una esbeltez que oscilaba entre 10 y 32. La carga se aplicaba axilmente, salvo en un solo caso, siendo variable la cuantía de armadura principal (0,53-2,5 por 100) y la distribución de estribos. Los resultados de los ensayos condujeron a los investigadores a las siguientes conclusiones:

1. Es necesario utilizar estribos de un extremo al otro.
2. La tensión óptima de pretensado, en cuanto a resistencia a rotura del soporte, os-

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

cila alrededor del 0,25 de la resistencia final a rotura del hormigón en probeta cilíndrica, para una esbeltez comprendida entre 20 y 30.

3. Para una esbeltez inferior a 20, los soportes pretensados con carga axil poseen resistencias a rotura menores que los soportes de hormigón armado, en tanto que las resistencias a rotura son casi equivalentes para esbelteces superiores a 30.

Zung-Teh Zia (26) estudió el problema de los soportes pretensados, desde un punto de vista teórico, y comprobó que las conclusiones deducidas de su análisis concuerdan satisfactoriamente con los resultados obtenidos por Ozell y Jernigan. Llegó a la conclusión de que el pretensado debilita la resistencia de los soportes con esbeltez inferior a 25 y que el pretensado óptimo para esbelteces comprendidas entre 25 y 35 corresponde a una cuantía de armadura de pretensado del 1 por 100, utilizando cables, y para hormigones con una resistencia a compresión de 420 kp/cm^2.

Hall (27) habla de una serie de ensayos efectuados sobre soportes de 165 cm de largo y de 5 $\times$ 7,5 cm de sección, cuya armadura estaba constituida por cuatro alambres de 5 mm de diámetro, y con pretensado variable. Los soportes se cargaron excéntricamente, variando esta excentricidad desde 1/20 a dos veces el espesor del soporte. Hall saca la conclusión de que el pretensado reduce la capacidad de carga cuando se trata de cargas centradas, pero cuando las excentricidades sobrepasan 1/20 del espesor del soporte, el pretensado permite un aumento notable de la capacidad portante. Para excentricidades muy importantes, es la flexión y no el pandeo la que provoca la rotura. Teniendo en cuenta que, en la práctica, rara vez se encuentran excentricidades inferiores a 1/10 del canto de la sección, el resultado de los ensayos permite sacar la conclusión de que el pretensado es generalmente ventajoso para soportes delgados.

Lorentsen (28-30) ha realizado investigaciones sobre soportes pretensados mediante alambres anclados por adherencia y sobre soportes de hormigón armado, de sección cuadrada de 20 cm de lado y una esbeltez comprendida entre 15 y 39. Dichos soportes fueron sometidos a cargas excéntricas, cuya excentricidad representaba 1/30 de la longitud del soporte. Los resultados señalan que el pretensado es favorable cuando la esbeltez es superior a 27.

Lin e Itaya (31) deducen teóricamente que las tensiones y las deformaciones se pueden calcular con una precisión razonable a partir de la teoría de la elasticidad, mientras el soporte no se fisure. Por encima de la carga de fisuración hay que tener en cuenta el comportamiento plástico del hormigón, así como el del acero en la zona de fisuración.

Es preciso, sin duda, proceder a nuevas investigaciones para aclarar la influencia de la esbeltez, de la excentricidad de la carga y del pretensado, sobre la carga de rotura de los soportes. El efecto de la fluencia sobre la estabilidad constituye un factor importante, pero ninguno de los trabajos sobre soportes pretensados ha abordado este problema. Se espera que nuevas investigaciones permitirán saber en qué medida es beneficioso el pretensado cuando hay que tener en cuenta la fluencia. Sin duda, en numerosos casos, el pretensado puede aumentar en gran medida la estabilidad de las estructuras con soportes esbeltos y vale la pena continuar las investigaciones en este campo.

RESUMEN DE LOS CONOCIMIENTOS ACTUALES SOBRE EL ESFUERZO CORTANTE EN LAS SUPERFICIES DE UNION DE LAS PIEZAS MIXTAS

Los métodos utilizados normalmente para mejorar la adherencia, son los siguientes:

1. Aumentar la rugosidad de la superficie del hormigón pretensado mediante estrías cruzadas, lavado con chorro de agua a presión, abujardado, o cualquier otro medio, pero después de asegurarse de que la pieza ha endurecido hasta su superficie.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

2. Practicar denteados con ayuda de moldes especiales en vez de aumentar la rugosidad de la superficie.

3. Se ha aconsejado el uso de colas a base de resinas para favorecer la adherencia, pero no se emplean mucho.

4. Asegurar los enlaces por medio de barras que sobresalgan del elemento prefabricado, destinadas a quedar incorporadas al hormigón vertido *in situ*.

Es posible utilizar varios de estos métodos al mismo tiempo. En la figura 12 pueden verse algunas secciones tipo de piezas mixtas.

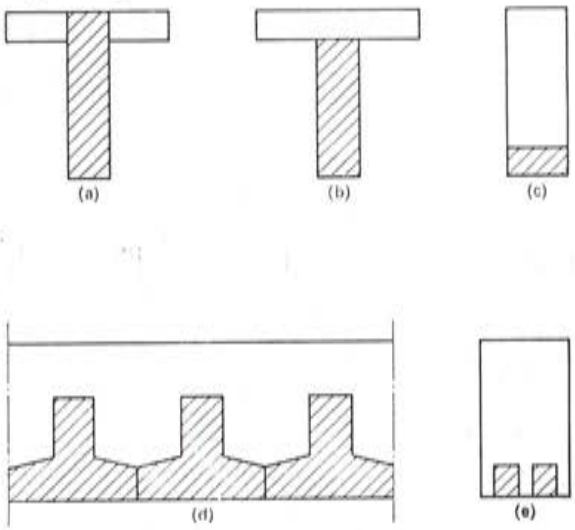


Fig. 12.—Secciones transversales típicas en estructuras compuestas.

Trabajo experimental.

Los ensayos han demostrado que cuando se utilizan simultáneamente dos métodos destinados a mejorar la adherencia, la resistencia a esfuerzo cortante que aparece entre ambas superficies es inferior a la suma de las que se obtendrían utilizando ambos métodos por separado.

Hanson, que ha efectuado numerosos ensayos, pretende que la estructura no puede ser considerada como monolítica, cuando el desplazamiento relativo de las superficies en contacto sobrepasa las 127 micras (32).

Para denteados de 6,3 cm de altura y 12,6 cm de longitud, con superficies lisas no adherentes y una resistencia de 350 kp/cm² para el hormigón prefabricado y de 210 kp/cm² para el hormigón vertido *in situ*, comprobó una tensión cortante límite de 25 kp/cm², lo que representa la mitad del valor calculado, si se toma como criterio la rotura a compresión de las superficies verticales.

El artículo 7,66 de las Normas rusas 48 SNIP —II-BI-62— contiene ciertas recomendaciones relativas al proyecto y cálculo de perfiles de denteado.

Hanson constató que, para hormigones de calidad idéntica, la resistencia a esfuerzo cortante de una superficie rugosa era de 35 kp/cm², lo cual coincide con las conclusiones de la Cement and Concrete Association (33).

Nuevos ensayos efectuados sobre superficies rugosas, eliminando la adherencia hormigón sobre hormigón e impidiendo con estribos la separación de las superficies, permi-

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

tieron obtener una resistencia a esfuerzo cortante de 17 kp/cm², una vez deducido el efecto directo de los estribos. Una superficie lisa acusó una resistencia a esfuerzo cortante de 13 kp/cm² en el primer deslizamiento y de 7 kp/cm² a continuación.

Hanson comprobó un incremento de la resistencia a esfuerzo cortante de 12,25 kp/cm² por cada 1 por 100 de armadura suplementaria que atraviesa la superficie de contacto, lo que se confirma de manera general en el texto de la referencia número 33.

Zelger y Dashner han efectuado otros ensayos con vigas que presentaban una junta horizontal lisa y con pequeños elementos de caras lisas o rugosas (34); los resultados, inferiores a los obtenidos por Hanson, son los siguientes:

Para pequeños elementos de superficie lisa, sin estribos	7-13 kp/cm²
Para pequeños elementos de superficie lisa, con estribos (0,9 por 100 de la superficie de contacto)	13-19 kp/cm²
Para pequeños elementos de superficie rugosa, sin estribos	8-19 kp/cm²
Para pequeños elementos de superficie rugosa, con estribos (0,9 por 100 de la superficie de contacto)	10-14 kp/cm²

Otros ensayos realizados sobre vigas demuestran que una presión vertical eleva la resistencia a cortante hasta 20 ó 35 kp/cm².

Evidentemente, es posible aumentar la adherencia utilizando colas. Puede citarse aquí el caso de un puente mixto de losa de hormigón sobre vigas metálicas cuya adherencia se mejoró mediante colas (35).

La mayor parte de los puentes de hormigón pretensado construidos hasta la fecha con materiales mixtos, tienen tensiones muy bajas en las superficies de contacto y el empleo de barras en espera y de un pretensado transversal permite asegurar fácilmente la resistencia al deslizamiento de estas superficies. En la figura 12, las piezas de perfil (*c*) se comportan de forma satisfactoria sin armadura de cosido, pero es recomendable utilizar tales armaduras para mantener unidas las dos superficies en contacto.

PILOTES PREFABRICADOS, DE MAS DE 30 m DE LONGITUD

El fenómeno de inversión de las tensiones de tracción en pilotes de hasta 30 m de longitud se puede remediar fácilmente, reduciendo la altura de caída al comenzar la hinca y aumentando el peso del martillo. Se dispone de información sobre este tipo de pilotes (36) y, sin embargo, se ignoran bastantes datos acerca de los pilotes de dimensiones superiores a ésta, siendo evidentemente imposible aumentar indefinidamente el peso de las mazas. Es preciso, pues, prestar más atención a este problema, estudiando la influencia de la magnitud del pretensado, de la altura de caída de la maza, del tipo de sombrerete de la cabeza del pilote y de las condiciones del terreno. Existen programas de ordenadores que dan las tensiones creadas por la hinca, para unas condiciones del terreno determinadas, pero no han sido muy utilizados. Unas investigaciones sobre el terreno, adecuadas para su comparación con los resultados obtenidos por los ordenadores, permitirían establecer previsiones seguras sobre el comportamiento de los pilotes de gran longitud.

Parece que, entretanto, es interesante reunir todos los datos disponibles sobre la hinca de pilotes largos. En el cuadro 2 se incluyen algunos datos a este respecto.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

CUADRO 2

Nombre	Dimensiones	Longitud (m)	Martillo	Relación Maza-pilote	Pretensado (kp/cm²)	NOTAS
Edificio Wells-Fargo, San Francisco.	46 cm. Sección cuadrada.	30-42	McKiernan Terry, S-14.	0,4-0,3	53	Pilotes colocados en agujeros hechos previamente e hincados durante los 1-3 m últimos en la roca. Guarnecidos de azuche de acero.
Edificio Ala Moana, Honolulú.	46 cm. Sección octogonal.	52	Vulcano, 0,10.	0,54-0,18	63	En 3 secciones con pretensado a través de las juntas. Hinca larga y difícil a través de capas de arena, de coral y de arcilla.
Muelle petrolero Slagen, Noruega.	56 cm. Sección octogonal (30 cm. de diámetro interior).	35	6,5 Mp.	0,5		Fue necesario hacer algunos empalmes con el fin de alargar los pilotes. Estos estaban guarnecidos de azuches de acero para ser hincados en la roca. La inclinación de ciertos pilotes era de 1-3,5.
Puente Martínez-Benicia, California.	51 cm. Sección cuadrada (30 cm de diámetro interior).	38	McKiernan Terry, A-14.	0,3	52	Hinca fácil con 30-60 golpes-metro a través de limo hasta alcanzar una greda descompuesta, en la que el número de golpes por metro se aumentó hasta 150-300.
Puente del lago Maracaibo, Venezuela.	91 cm de diámetro. Espesor de la pared, 13 cm.	Hasta 65,5	Martillo de vapor con mazas que pesan hasta 18 toneladas.		56 (armaduras pretesas).	
Puerto de Baton Rouge, Louisiana.	91 cm de diámetro y 1,37 m de diámetro. Espesor de la pared, 13 cm.	49	McKiernan Terry, S-16.		56	
Muelle de Lisboa (37).	74 cm. Sección octogonal (46 cm de diámetro interior).	38	10 Mp.	0,43	49	Fue necesario hacer algunos empalmes.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

CUADRO 2 (continuación)

Nombre	Dimensiones	Longitud (m)	Martillo	Relación maza-pilote	Pretensado (kp/cm²)	NOTAS
Trabajo para la Marina en las Fidji.	76 cm de diámetro (53 cm de diámetro interior).	Hasta 43	12 Mp.	0,5	53	Rechazo final de 5 cm por golpe en una arcilla limosa que se consolidó considerablemente después de la hincadura.
Edificio Ilikai, Honolulú.	42 cm. Sección octogonal.	36,5	McKiernan Terry, S-10.		70	En dos secciones, sin pretensado a través de las juntas.
Muelle petrolero Milford Haven (38).	70 cm de diámetro. Espesor de la pared, 7,6 cm en el centro y 10,2 cm en los extremos.	Hasta 44	B. S. P., 10 Mp (martillo de vapor).	0,55	84	
Puente sobre el río Napa, Vallejo (California).	1,37 m de diámetro (1,12 m de diámetro interior).	Hasta 37,5	Vulcano, 200 C.	0,35	59	Botadura. Clavado final en una profundidad de 6 m solamente. Elementos monolíticos fabricados en un banco de gran longitud.
Puente sobre el río Napa, Vallejo (California).	61 cm. Sección cuadrada.	Hasta 39.	Vulcano, 200 C.	0,55	53	
Muelles en San Francisco.	46 cm. Sección octogonal.	Hasta 37. Verticales.	Vulcano, 140 C.	0,38	53	
Muelles en San Francisco.	51 cm. Sección cuadrada.	Hasta 42. Inclinación, 2 en 5.	Vulcano, 140 C.	0,25	70	

NOTA SOBRE EL DESBLOQUEO BRUSCO DE LAS ARMADURAS DE PRETENSADO

Se admite, generalmente, que no es posible el destesado mediante tuercas de las armaduras de pretensado constituidas por alambres adherentes y que, por consiguiente, es preciso cortar directamente los alambres cuando no se pueden utilizar gatos.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

Es evidente que, en la actualidad, muchas empresas, en vez de utilizar gatos, desbloquean las armaduras activas cortándolas. A veces se procede según un método cuidadosamente establecido, calentando la armadura en una longitud de 15 a 20 cm, de forma que la rotura no sea muy brusca. En numerosos casos, sin embargo, se cortan los alambres bruscamente, y millares de elementos de construcción actualmente en servicio han sido así fabricados, pero este método puede provocar perturbaciones en la adherencia que será preciso tener en cuenta en el cálculo.

El destesado por calor se ha utilizado con éxito, para vigas de forjado, sobre un banco de 45 m de largo, aplicando la llama a una gran longitud del alambre en uno de sus extremos. El calor se va aplicando regularmente, lo cual permite un destesado progresivo.

Un artículo (39) relativo a la influencia de la resistencia del hormigón sobre la longitud de anclaje de los cables describe ciertas investigaciones que demuestran que el desbloqueo brusco de los cables aumenta los deslizamientos del 20 al 30 por 100 y, para cables de un diámetro superior a 1,25 cm, puede destruir la adherencia en una longitud de más de 30 cm a partir de los extremos, lo que podría tener consecuencias apreciables en la resistencia a esfuerzo cortante.

Las propuestas relativas a un manual de inspección del hormigón pretensado, establecido en común por la American Association of State Highway Officials y el Prestressed Concrete Institute (40), aceptan el método de corte por calor para cables simples, y recomiendan aplicar la llama sobre el cable, en una longitud mínima de 13 cm, de forma que el primer alambre no se rompa hasta los cinco segundos de iniciado el calentamiento. Por otra parte, recomiendan que los cables se corten simultáneamente en cada extremo del banco y, en algunos casos, a media distancia también.

Es preciso tener en cuenta, que el desbloqueo brusco de cualquier armadura activa reduce la adherencia y que si resulta indispensable utilizar este método en fábrica debe ponerse el hecho en conocimiento de quien vaya a realizar el proyecto de las piezas correspondientes, con el fin de que lo tenga en cuenta en los cálculos. En determinados casos, este método deberá ser prohibido.

De todos modos, el proceso exacto a seguir en lo relativo al procedimiento y forma del corte con el soplete debe establecerse con cuidado y ser aprobado de común acuerdo por las partes interesadas. Es muy importante hacer supervisar esta operación, de principio a fin, por una persona capaz y experimentada.

PREFABRICACION DE VIGAS DE PUENTES POR VERTIDO DEL HORMIGON EN MOLDES VIBRADOS POR EL FONDO

Es un procedimiento muy útil, pero que no ha sido muy utilizado, excepto en Francia.

Se utilizan moldes de acero apoyados sobre transmisores elásticos, colocados, a su vez, sobre soportes de hormigón. Las vibraciones se aplican por medio de vibradores de gran potencia (7 KW a 50 c/s), fijos en el fondo de los moldes. Estos vibradores originan fuerzas centrífugas considerables (hasta 8.000 kp), sometiendo al molde a ondas vibratorias de gran amplitud.

La consistencia del hormigón es tal que no escurre fácilmente cuando está sometido a vibraciones de este tipo, sino que forma un talud de 45°. El vertido empieza por un extremo del molde, alimentándose progresivamente el talud hasta llegar al otro extremo. Los vibradores se desplazan progresivamente para que se encuentren, normalmente, debajo de la zona de hormigonado.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

Se ha perfeccionado un sistema de deslizaderas, desbloqueo y rebloqueo, para poder cambiar los vibradores de posición, rápida y fácilmente.

Entre las obras más recientes en las cuales se ha utilizado este método destacan:

El viaducto de Roberval (Oise).
El trébol de la puerta de Pantin.
Puentes sobre el Avre y el Somme.
Puentes sobre el Yonne.
El viaducto de St. Jacques (Puy-de-Dôme).

Postes de tendido eléctrico.

Para ciertos elementos producidos en serie, como los postes de tendido eléctrico, los cálculos están basados en ensayos. Tales ensayos demuestran que la resistencia a tracción del hormigón es muy importante. Se pueden admitir en los cálculos tracciones que alcancen hasta 0,15 veces la resistencia en probeta cúbica (41). Se ha adoptado, con éxito, una resistencia de 80 kp/cm² para postes de sección en cajón, en Francia y en Africa del Norte.

Endurecimiento acelerado.

Esta cuestión se incluyó en las deliberaciones a última hora, ya que algunos miembros de la Comisión opinaban que el curado al vapor no daba resultados satisfactorios y que era preciso otorgar mayor atención a los otros métodos actualmente existentes.

Desgraciadamente, por falta material de tiempo, no se han podido realizar los trabajos necesarios sobre este tema, que será estudiado detalladamente por la Comisión, más adelante.

REFERENCIAS

1. Gerwick, B. C.: "Long-span prestressed concrete bridges utilising precast elements". (Puentes pretensados de gran luz empleando elementos prefabricados.) *Journal of the Prestressed Concrete Institute*, febrero 1964.
2. Anónimo: "Unusual features in precast concrete piling system". (Pilotes prefabricados de características poco frecuentes.) *The Contract Journal*, abril 1963.
3. Anónimo: "Precast, post-tensioned sections for heavy-duty piles in water". (Elementos prefabricados y postensados para pilotes pesados sumergidos.) *International Construction*, noviembre 1963.
4. U. I. I.: "Les colles pour béton". (Colas para hormigón.) París, *La Société de Diffusion des Techniques du Bâtiment*, junio 1964.
5. Association Française des Ponts et Chaussées: "El puente de Choisy le Roi". Boletín número 83, noviembre 1963.
6. Johnson, R. Paul: "Glued joints for structural concrete". (Juntas encoladas en hormigón estructural.) *The Structural Engineer*, octubre 1963.
7. Franz, G.: "Die Verbindung von Betonfertigteilen mit Giessharzen". (Unión de elementos de hormigón prefabricado con resinas vertidas en las juntas.) *VDI Zeitschrift*, marzo 1963.
8. Seregium, Malenkov, Zakharov y Sakanski: *Beton i Zhelezobeton*, núm. 6, junio 1965. (En ruso.)

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

9. Monfore, G. E.: "Properties of expansive cement made with portland cement, gypsum and calcium aluminate cement". (Propiedades del cemento expansivo hecho con cemento portland, yeso y cemento aluminoso.) Skokie, *Portland Cement Association, Research and Development Laboratories*, 1964, pág. 14. Research Department Bulletin n.º 170.

10. Mikhailov, V. V.: "Theory elements of concrete structures". (Elementos de teoría de estructuras de hormigón.) Ediciones Builders, 1941.

11. Mikhailov, V. V.: "Self-stressed concrete". (Hormigón autopretensado.) Informes sobre las investigaciones del Instituto Central de Investigaciones de Construcciones Industriales, 1955.

12. Lossier, H.: "L'auto-contrainte du béton par les ciments expansifs". (El autopretensado del hormigón por cementos expansivos.) Sociedad de Ingenieros Civiles de Francia, núms. 3-4, 1949.

13. Mikhailov, V. V.: "New developments in self-stressed concrete". (Nuevos progresos en hormigón autopretensado.) Proceedings de la Conferencia Mundial del Hormigón Pretensado, San Francisco, 1957.

14. Klein, A., y Troxell, G. E.: "Studies of calcium sulfoaluminate admixtures for expansive cements". (Estudios de mezclas de sulfoaluminato cálcico para cementos expansivos.) Proceedings de la A. S. T. M., volumen 58, 1958.

15. Mikhailov, V. V.: "Stressing cement and the mechanism of self-stressing concrete regulation". (El cemento expansivo y el mecanismo de la regulación del hormigón autopretensado.) Cuarto Simposio Internacional de Química del Cemento. Wáshington D. C., 1960.

16. Klein, A., Karby, T., y Polivka, M.: "Properties of an expansive cement for chemical prestressing". (Propiedades de un cemento expansivo para pretensado químico.) *J.P.C.I.*, volumen 57, número 1, págs. 59-82, julio 1961.

17. Mikhailov, V. V.: "Recent developments in the automatic manufacture of prestressed members in the U.R.S.S.". (Progresos recientes en la fabricación automática de piezas pretensadas en la Unión Soviética.) *J.P.C.I.*, vol. 6, núm. 3, págs. 34-36, septiembre 1961.

18. Catálogo de piezas tipo, para ingeniería civil, en la U.R.S.S.

19. Catálogo de piezas tipo, para ingeniería industrial, en la U.R.S.S.

20. Ratz, E. G.: Experiencias de tesado de alambres adherentes por calentamiento eléctrico. Moscú. Academia de la Construcción y de Arquitectura, 1963. (En ruso.)

21. Anónimo: "Instructions for electro-thermal and electro-mechanical methods of pretensioning bar, wire and strand for prestressed concrete". (Instrucciones para la aplicación de métodos electrotérmicos y electromecánicos de pretensar barras, alambres y cables para hormigón pretensado.) Moscú, Instituto de Investigaciones de Hormigón y Hormigón Armado, 1962.

22. Berditchevski, G., Svetov, A., y Skylar, B.: "Elementos de hormigón, pretensados por alambre continuo, y método de fabricación". Proceedings del Tercer Congreso de la F.I.P. Berlín, 1958. *Cement and Concrete Association*, págs. 535-549, Londres, 1958.

23. Tseitlin, S. I., y Molividov, K. I.: "Resistencia a la fisuración de piezas de hormigón pretensado de sección rectangular sometidas a compresión excéntrica". *Beton i Zhelezobeton*, núm. 11, páginas 501-503, noviembre 1962. (En ruso.)

24. Breckenbridge, R. A.: "A study of the characteristics of prestressed concrete columns". (Un estudio de las características de los soportes de hormigón pretensado.) Universidad del Sur de California. Centro de Ingeniería. Informe U.S.C.E.C. 18-6, 1953.

25. Ozell, A. M., y Jernigan, A. M.: "Some studies on the behaviour of prestressed concrete columns". (Algunos estudios sobre comportamiento de soportes de hormigón pretensado.) Universidad de Florida, julio 1956.

26. Zia, Paul Zung-Teh: "Ultimate strength of slender prestressed concrete columns". (Resistencia a la rotura de soportes esbeltos de hormigón pretensado.) Universidad de Florida, julio 1957.

27. Hall, A. S.: "Buckling of prestressed columns". (Pandeo de soportes pretensados.) *Constructional Review* (Sidney), vol. 36, núm. 6, junio 1963.

28. Humble, Lingren y Suu: "Jamforelse mellan slakarmerade och forespanda betongpelare med avseende pâ hoga slakhetstahl". Estocolmo, Instituto de Construcción de Puentes. Universidad Real de Tecnología, 1962.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

29. Harju, Hellgren y Ragdahl: "Knachning av forespanda och slakarmerade betongpelare". Estocolmo, Instituto de Construcción de Puentes. Universidad Real de Tecnología, 1963.

30. Bernander, K. C.: "Current considerations of the use of precast prestressed concrete in Sweden". (Consideraciones actuales sobre el empleo de prefabricados de hormigón pretensado en Suecia.) Revista *C. Tijdschrift*, vol. 3, núm. 9, 1965.

31. Lin, T. Y., e Itaya, R.: "Prestressed concrete columns under excentric loading". (Soportes de hormigón pretensado bajo cargas excéntricas.) *J.P.C.I.*, 1958.

32. Hanson, N. W.: "Horizontal Shear connexions". (Conectadores horizontales.) *Journal of the Research and Development Laboratories (P.C.A.)*, vol, 2, núm. 2, págs. 38-58, mayo 1960.

33. Kajfasz, S., Somerville, G., y Rowe, R. E.: "An investigation of the behaviour of composite beams". (Una investigación sobre el comportamiento de vigas compuestas.) Londres, C.A.C.A. *Research Report*, núm. 15, pág. 44, 1963.

34. Deutscher Beton-Berein: Rundschreiben 9/65.

35. Postl, J.: "Use of adhesive in a bridge of composite construction". (Empleo de colas en un puente mixto.) *Der Bauingenieur*, vol. 37, núm. 10, págs. 390-395, 1962.

36. Gardner, S. V., y New, D. H.: "Some experiences with prestressed concrete piles". (Algunas experiencias con pilotes de hormigón pretensado.) *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, vol. 18, págs. 43-66, enero 1961.

37. Gifford, F. W., y Williams, N. S.: "Symposium on piles and foundations". (Simposio sobre pilotes y cimentaciones.) *Structural Concrete*, vol. 2, núm. 5, págs. 197-233, septiembre-octubre 1964.

38. Anónimo: "Marine terminal at Milford Haven". (Terminal marítimo en Milford Haven.) *Machinery Lloyd*, vol. 32, núm. 4, 13 febrero 1960.

39. Kaar, La Fraugh y Mass: "Influence of concrete strength on transfer length". (Influencia de la resistencia del hormigón en la longitud de anclaje.) *J.P.C.I.*, octubre 1963.

40. Anónimo: "Manual for inspection of prestressed concrete". (Manual de inspección del hormigón pretensado.) *J.P.C.I.*, diciembre 1962.

41. Courbon, J., y Avril, C.: "Interpretation des résultats d'essais de poteaux en béton précontraint". (Interpretación de resultados de ensayos de soportes de hormigón pretensado.) *Annales des Ponts et Chaussées*, mayo-junio 1965.

Traducido por:
A. García Meseguer.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

591 - 9 - 27

estudio teórico de la forma que debe darse a las presas de gravedad pretensadas (*)

N. M. DEHOUSSE
con la colaboración de
R. BROERE y E. PIRAPREZ

I. REFUERZO, MEDIANTE CABLES, DE OBRAS YA CONSTRUIDAS

Durante los años treinta los ingenieros franceses tuvieron que enfrentarse con importantes problemas creados por la rotura real o potencial de algunas presas construidas en Africa del Norte y, con tal motivo, emprendieron una serie de ensayos y estudios sobre el posible refuerzo de las estructuras de este tipo.

Estas presas habían sido construidas en el siglo pasado (1880) y en su proyecto no se habían tenido en cuenta los peligros que pueden originar las subpresiones y las presiones intersticiales.

En 1934, André Coyne propuso anclar algunas de estas estructuras a sus cimentaciones, por medio de cables verticales que debían tesarse después de su colocación en obra y quedar anclados en la coronación de la presa.

Se consiguió así un aumento de la estabilidad por la adición de una fuerza, más o menos vertical, regulable en intensidad y dirección.

Este método permite también elevar el nivel del agua embalsada sin necesidad de recurrir a la clásica sobrecarga de mampostería sobre el paramento de agua abajo. Con el método Coyne, basta añadir un pequeño macizo en la coronación de la presa, cuyas dimensiones dependen fundamentalmente de la intensidad del esfuerzo de pretensado ejercido.

Como ejemplo típico, puede citarse el caso de la presa de Cheurfas, en Argelia, presa de gravedad con un dudoso coeficiente de seguridad y un perfil mal adaptado, que además quería recrecerse 3 m.

En la figura 1 se indica cómo puede corregirse la línea de presiones en forma conveniente, por la introducción de un esfuerzo artificial de 250 Mp por metro lineal de presa, mediante los tirantes tesos que se indican esquemáticamente.

(*) *Nota de la Redacción.* — Deseamos hacer constar públicamente nuestro sincero agradecimiento a M. N. M. Dehousse, por su amabilidad al concedernos la necesaria autorización para poder publicar la traducción de este interesante artículo y facilitarnos los originales de las figuras que lo ilustran.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

Los tirantes están constituidos por cables, agrupados en paralelo, en unidades de 1.000 Mp.

En esta primera aplicación, para garantizar el libre alargamiento de los cables durante el tesado en los retesados posteriores, se tomó la precaución de recubrir cada tirante con una camisa de tela impermeable, impregnada de asfalto, además de alojarlos en

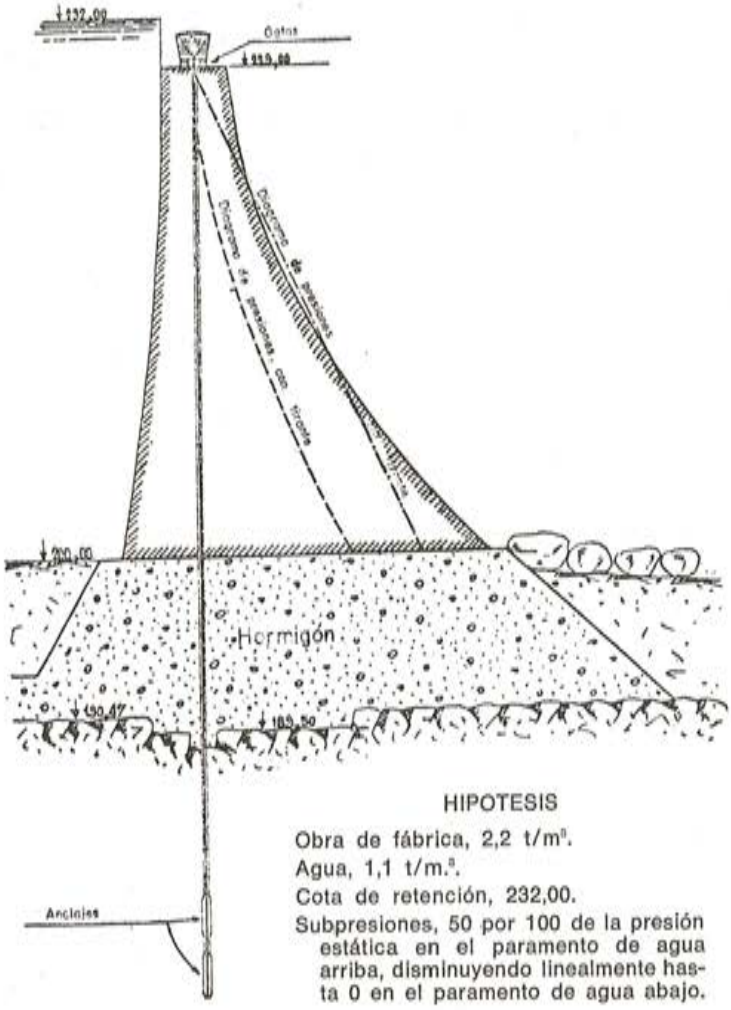


Figura 1.

los conductos especialmente dispuestos a tal efecto en el cuerpo de la presa y que después se inyectaban.

El anclaje inferior se realizó mediante inyección de cemento, después de haber desflecado la extremidad de los cables. La cabeza está constituida por una pieza de chapa y hormigón armado con un espesor suficiente para quedar soportada en 6 puntos de apoyo, después de dar la tensión mediante 6 gatos (*).

Dentro de este tipo de realizaciones se pueden citar también las presas de Joux, Steenbras, Cafarsa, Witbank, Henley, Mazoc, y los muros-aleta de Beni-Bahdel; pero la

(*) "La précontrainte dans les barrages". J. Bellier. *Travaux*, mayo 1966.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

más célebre de todas ellas es la presa de Tansa (India). Se trata de una obra en mampostería de piedra, construida de 1886 a 1891 para el abastecimiento de agua de la ciudad de Bombay.

Esta presa se recreció desde 35,40 m a 40 m durante los años 1944 a 1946, y en 1953-1955, se decidió reforzarla, pues había sido una obra calculada sin tener en cuenta las subpresiones y se observaban en ella indicios de tensiones anormales. Para ello se emplearon cables alojados en 2.400 taladros de 6,3 cm practicados en el cuerpo de la presa a 1,50 m del paramento de agua arriba.

La longitud de la penetración en el terreno de basalto de la cimentación era de unos 7,5 m. Los cables empleados, preparados en fábrica, estaban formados por 37 alambres de 5 mm, y sus extremos inferiores, dejados libres, se anclaron a la cimentación por inyección de una zona de empotramiento de 3,60 m. Los extremos superiores de los cables se desflecaban y anclaban en unos bloques de cabeza, de acero moldeado. Al cabo de un período superior a las tres semanas, desde el anclaje de la cabeza inferior, cada cable se tesó con un esfuerzo de 90 Mp, superior a la carga normal de servicio.

Cuatro semanas después, y habiéndose comprobado el buen estado del cable, se disminuyó la tensión a su valor normal de servicio, de 78,5 Mp.

En la zona de máxima densidad de cables, su distancia entre ejes era de 45 cm. Los trabajos se realizaron en un plazo de veintiocho meses, con el embalse lleno y sin interrumpir el suministro de agua a la ciudad de Bombay.

Indudablemente, el recrecimiento o refuerzo pudo haberse ejecutado, sin demasiadas dificultades, recargando el paramento de agua abajo; pero esta operación no se podía realizar más que vaciando el embalse, ya que es preciso descargar dicho paramento de las tensiones debidas a la presión hidrostática, para evitar que puedan aparecer tracciones perjudiciales, en la zona sobrecargada, en los vaciados posteriores.

Así, pues, el pretensado representa realmente una solución ingeniosa, no sólo respecto al esquema mecánico de la estructura, sino también en lo concerniente al proceso de ejecución.

La intensidad del esfuerzo de pretensado puede controlarse si el cable queda libre y, en caso necesario, se puede aplicar un pretensado suplementario.

Así, en Cheurfas, los ensayos realizados sobre algunos cables, al cabo de nueve años de servicio, demostraron que se había producido una pérdida de tensión de 4,5 por 100, que pudo corregirse mediante un retesado.

II. REALIZACION DE OBRAS NUEVAS EN HORMIGON PRETENSADO

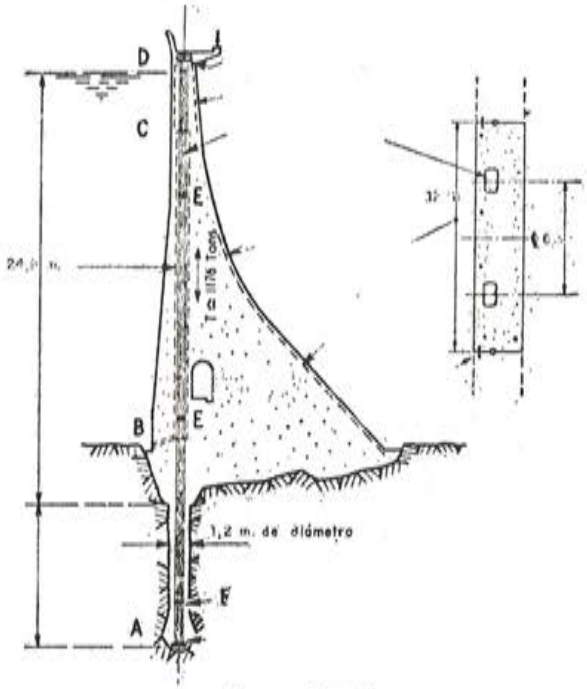
La importante economía conseguida en el recrecimiento de obras ya existentes, mediante la utilización del pretensado, ha inducido a los constructores a emprender la ejecución de obras nuevas utilizando estos mismos principios.

El empleo de alambres y barras de alto límite elástico que tanto se ha generalizado debido a la industrialización del pretensado,ha contribuido en gran manera al desarrollo de este procedimiento. Se plantea entonces un nuevo problema: ¿Cuál será la forma conveniente para una presa de gravedad de este nuevo tipo particular? ¿Conviene conservar el clásico perfil triangular correspondiente a una presa de gravedad, o por el contra-

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

rio, es preciso reconsiderar su forma para conseguir la mayor economía posible, dadas las nuevas condiciones de estabilidad?

Un ejemplo reciente de presa pretensada, concebida específicamente para emplear los principios de esta técnica, es la de Allt na Lairidge, en Escocia (figs. 2 y 3).



Figuras 2 y 3.

La presa se construyó mediante bloques de 12,60 m de anchura y los tirantes se dispusieron cada 6,30 m (dos tirantes por bloque). Cada tirante está formado por 28 barras de 1 1/8″ (28 mm) de diámetro, provistas de dos placas de anclaje, en la base y en la coronación. El anclaje inferior consiste en una excavación cónica, de 1,2 m de diámetro, situado a 7,8 m por debajo de la superficie de asiento. Entre los puntos *A* y *B*, se inyectaron las barras; pero cada una de éstas está envuelta en una vaina de lámina de plástico que permite su alargamiento en el momento de la aplicación del esfuerzo de pretensado.

El mismo sistema se aplicó entre los niveles *C* y *D* donde, además, es necesario una armadura especial para repartir el esfuerzo de pretensado.

Entre *B* y *C* se dispuso un pozo que, una vez teso el cable, se rellenó de hormigón, desde arriba, por medio de un conducto.

El esfuerzo total, por cada cable, es de 1.176 Mp, lo que supone 185 Mp por metro de presa.

Para el cálculo, se han tenido en cuenta las siguientes condiciones de seguridad:

a) Condición de Levy ($\sigma_b > \omega \cdot y$), para embalse lleno, y

b) Para embalse vacío: tracción nula, en el paramento de agua abajo, en los seis primeros metros a partir de la coronación de la presa; y desde ese punto hacia abajo, una tensión de tracción en el hormigón no mayor de 3,5 kp/cm².

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

III. ESTUDIO DE LA SECCION TRANSVERSAL DE LAS PRESAS DE GRAVEDAD PRETENSADAS

A. Condiciones generales.

Las condiciones generales de estabilidad que deben satisfacer las presas de gravedad, evidentemente son también aplicables a las presas pretensadas. Estas condiciones son:

a) Tensiones positivas (compresión) en el paramento de agua arriba, con la presa a plena carga (condición de Levy modificada).

b) Tensiones de compresión inferiores a las admisibles, en el paramento de agua abajo, a plena carga, y en el de agua arriba, en vacío.

c) Tensiones positivas en el paramento de agua abajo, en vacío.

d) No sobrepasar las tensiones límites del terreno de cimentación.

e) Suficiente seguridad al deslizamiento.

El estudio que se hace a continuación consiste, fundamentalmente, en la determinación de un perfil que cumpla íntegramente lacondición *a*); en la resolución se introducirán los parámetros necesarios para poder escoger ulteriormente unos valores tales que se satisfagan también las demás condiciones.

Las ecuaciones desarrolladas a continuación se han planteado basándose en los principios de la resistencia de materiales, es decir, suponiendo válida la ley de Navier.

Establecido esto, es preciso aún señalar:

1. Que un perfil triangular terminado en una pequeña coronación, como el de las presas normales de gravedad, no es lógico en este caso, ya que las solicitaciones originadas por el pretensado no gozan de la propiedad de homotecia, como sucede para el peso propio o la presión hidrostática.

2. Que no puede adoptarse un perfil tal, que en todos sus puntos se cumplan exactamente la condición de Levy modificada, en el paramento de agua arriba, pues en la coronación de una presa pretensada las tensiones de compresión en dicho paramento son muy fuertes, dada la esbeltez de la sección y los pequeños valores que allí alcanza la presión hidrostática.

3. Que será, por tanto, mucho más conveniente dejar, en la coronación de la presa, una zona de tensiones relativamente fuertes, con una sección tan simple como sea posible (rectangular o trapezoidal), que llegue hasta un punto A en el cual la condición de Levy pueda ser aplicada (fig. 4); la anchura de esta zona dependerá de la acumulación de cables de las tensiones admisibles, y de las necesidades que, en cuanto a circulación, haya que satisfacer en la coronación. Por debajo del punto A parece lógico dar al paramento de agua arriba una forma recta definida por la tangente *n*, para simplificar la construcción cuando sea posible. Finalmente, el paramento de agua abajo quedará definido, por debajo del punto A, por la condición de Levy modificada, tal como se verá a continuación (fig. 4).

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

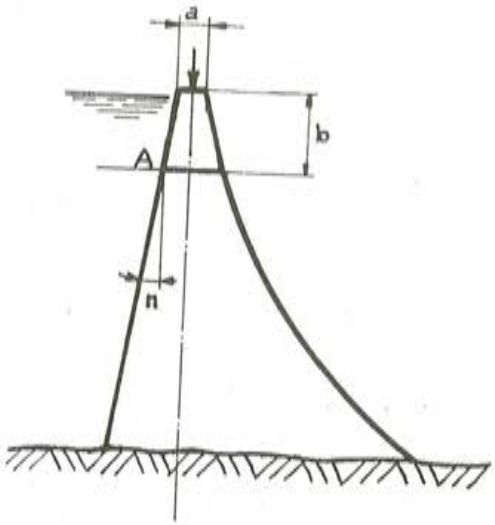


Figura 4.

B. Estudio de la parte superior.

Como se ha supuesto en el muro, un estado plano de tensiones no se estudia más que 1 m de longitud de presa.

Se admite que el nivel de agua alcanza la cota superior de la coronación. Sea C la intensidad del pretensado por m.l. de presa, y sea α la inclinación de su dirección respecto a la vertical. Aparentemente conviene situar el punto de aplicación del pretensado lo más cercano posible del paramento de agua arriba; por consiguiente, su punto de aplicación obligado, si se desean evitar las tensiones de tracción en la coronación, es tal que:

$$ED = \frac{a}{3} \quad \text{(Fig. 5)}$$

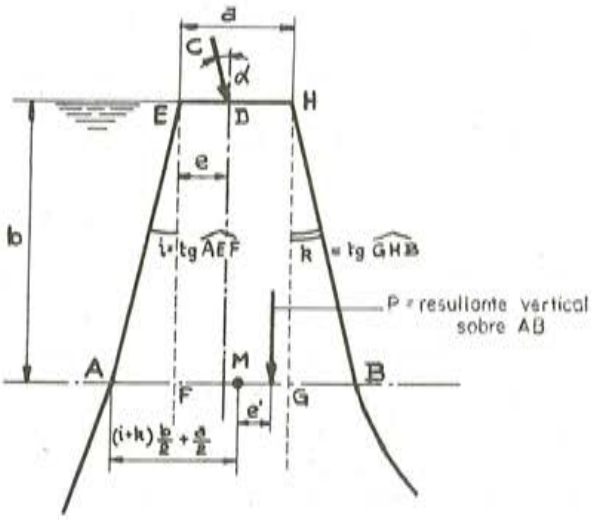


Figura 5.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

Con ello se tendrá:

$$\sigma_E = \frac{2\,C}{a}$$

Si se considera que C es del orden de 750 Mp/m.l. (cifra muy elevada si se juzga por las realizaciones actuales) se llega a espesores del orden de 2 a 3 m para no sobrepasar una tensión de 50 a 75 kp/cm² en E. En estas condiciones, la distancia e sería del orden de 0,66 m a 1 m, y podría haber dificultades para la colocación de los gatos de tesado en el lado de agua arriba. Así, pues, es prudente, *a priori*, colocar el eje del pretensado en el centro de la anchura en coronación.

Para un pretensado de 750 Mp/m.l. y una anchura de 3 m, resulta así una tensión uniforme, en coronación, de 25 kp/cm², sin contar las tensiones locales que no se toman en consideración en este estudio.

Ahora es preciso determinar la altura b de esta zona trapezoidal. Anteriormente ya se ha definido este valor: según se desciende de la coronación de la presa hacia la base, el diagrama de tensiones normales verticales va variando tal como indica la figura 6 por el aumento del momento flector originado por el empuje del agua.

Es evidente que, en la parte superior se cumple ampliamente la condición de Levy.

La base inferior del trapecio es la primera cota en la cual esta condición se cumple sólo estrictamente.

Falta encontrar la ecuación que da b en función de Δ, ω, a, C, α, e, i y k, siendo Δ el peso específico del hormigón y ω el del agua.

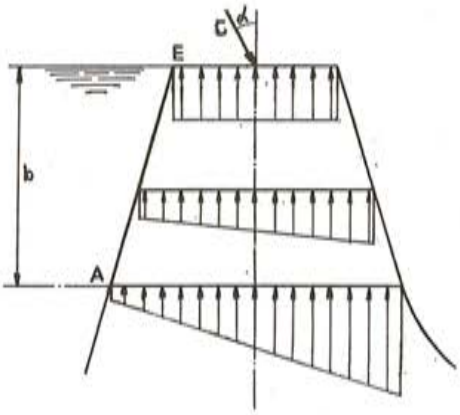


Figura 6.

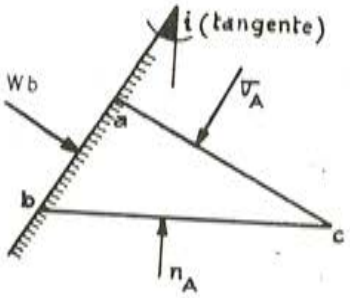


Figura 7.

Esta ecuación se obtendrá expresando que en el punto A, la tensión principal es igual a la presión hidrostática multiplicada por el factor μ ($\mu < 1$), o sea:

$$\sigma_A = \mu \cdot \omega \cdot b$$

siendo μ el coeficiente de presión intersticial (porosidad superficial). De esta forma se evitará todo tipo de tracciones en la presa en las proximidades del paramento de agua arriba.

La tensión σ_A se calculará por medio de la tensión normal n_A, teniendo en cuenta el equilibrio del triángulo elemental a, b, c (fig. 7).

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

Se tendrá:

$$\sigma_A = n_A (1 + i^2) - \omega \cdot b \cdot i^2$$

y como quiera que:

$$\sigma_A = n_A (1 + i^2) - \omega \cdot b \cdot i^2 = \mu \cdot \omega \cdot b$$

podrá escribirse:

$$n_A = \frac{\omega \cdot b (\mu + i^2)}{1 + i^2} \qquad [1]$$

donde n_A vendrá dada por la ley de Navier:

$$\frac{P}{\Omega} - \frac{P \cdot e'}{\frac{I}{V}} \qquad \text{(Fig. 5)}$$

En esta última fórmula, P es la resultante vertical de las fuerzas aplicadas al trapecio EABH, y el producto $P \cdot e'$ equivale, evidentemente, a la suma de los momentos parciales de todas las fuerzas que actúan sobre el mismo trapecio, tomados respecto al punto M, centro de $A\,B$ y considerando como sentido positivo el de las agujas del reloj.

El cuadro siguiente (cuadro I) recoge los diferentes esfuerzos que hay que considerar.

CUADRO I

ESFUERZO	Valor	Brazo de palanca respecto a M	Momento
Pretensado vertical.....	$C \cos \alpha$	$(i\,b + e) - \left[(i + k)\frac{b}{2} + \frac{a}{2}\right]$	$C \cos \alpha \left[e - \frac{a}{2} + \frac{b}{2}(i - k)\right]$
Pretensado horizontal ..	$C \operatorname{sen} \alpha$	b	$C \operatorname{sen} \alpha\, b$
Presión hidrostática horizontal	$\frac{\omega\, b^2}{2}$	$\frac{b}{3}$	$\frac{\omega\, b^3}{6}$
Presión hidrostática vertical	$\frac{\omega\, b^2\, i}{2}$	$\frac{i\,b}{3} - \left[(i + k)\frac{b}{2} + \frac{a}{2}\right]$	$-\frac{\omega\, b^2\, i}{4}\left[b\left(\frac{i}{3} + k\right) + a\right]$
Peso A E F	$\frac{\Delta\, i\, b^2}{2}$	$\frac{2}{3}\, i\, b - \left[(i + k)\frac{b}{2} + \frac{a}{2}\right]$	$-\frac{\Delta\, i\, b^2}{4}\left[b\left(k - \frac{i}{3}\right) + a\right]$
Peso E H G F.....	$\Delta\, a\, b$	$i\,b + \frac{a}{2} - \left[(i + k)\frac{b}{2} + \frac{a}{2}\right]$	$\frac{\Delta\, a\, b^2}{2}(i - k)$
Peso H G B.....	$\frac{\Delta\, k\, b^2}{2}$	$i\,b + a + \frac{k\,b}{3} - \left[(i + k)\frac{b}{2} + \frac{a}{2}\right]$	$\frac{\Delta\, k\, b^2}{4}\left[b\left(i - \frac{k}{3}\right) + a\right]$

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

Por tanto, la ecuación [1] puede escribirse:

$$\frac{\omega \cdot b(\mu + i^2)}{1 + i^2} = \frac{1}{[(i+k)b + a]} \left\{ C \cos\alpha + \frac{\omega b^2 i}{2} + \frac{\Delta i b^2}{2} + \Delta a b + \frac{\Delta k b^2}{2} \right\} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots -$$

$$- \frac{6}{[(i+k)b + a]^2} \left\{ \begin{array}{l} - C \cos\alpha \left[(k - i)\frac{b}{2} + \frac{a}{2} - e \right] + C \operatorname{sen}\alpha\, b + \frac{\omega b^3}{6} - \frac{\omega b^2 i}{4} \left[b\left(\frac{i}{3} + k\right) + a \right] - \\ - \frac{\Delta i b^2}{4} \left[b\left(k - \frac{i}{3}\right) + a \right] + \frac{\Delta a b^2}{2}(i - k) + \frac{\Delta k b^2}{4} \left[b\left(i - \frac{k}{3}\right) + a \right] \end{array} \right\}$$

Esta ecuación puede simplificarse admitiendo los siguientes valores numéricos:

$$\omega = 1 \text{ t/m}^3$$

$$\Delta = 2{,}4 \text{ t/m}^3$$

y llamando:

$$\beta = \frac{\mu + i^2}{1 + i^2}$$

Entonces puede escribirse de la siguiente manera:

$$b^3 [(i+k)^2 (2{,}4 - \beta) - 0{,}4 (i+k) i - (1 + i^2)] + b^2 \times 2 a [i + 3{,}6 k - \beta (i+k)] +$$
$$+ b \{2 C [(2k - i) - \cos\alpha - 3 \operatorname{sen}\alpha] + a^2 (2{,}4 - \beta)\} + [2 C (2a - 3e) \cos\alpha] = 0$$

Se trata de una ecuación de tercer grado en b, cuyos coeficientes dependen de C, α, i, k, μ, a y e.

En este estudio se ha admitido:

$$\mu = 0{,}75$$

$$a = 3 \text{ m}$$

$$e = \frac{a}{2} = 1{,}5 \text{ m}$$

Para cada combinación de los otros valores se obtendrá así un valor de b (las otras dos raíces de la ecuación son imaginarias).

Adoptando los siguientes valores de las variables:

$i = 0;\ 0{,}1;\ 0{,}2;\ 0{,}3$ y $0{,}4$

$k = 0;\ 0{,}1;\ 0{,}2$

$c = 0;\ 250$ Mp/m; 500 Mp/m; 750 Mp/m

$\text{tg} = 0;\ -0{,}1;\ -0{,}2;\ -0{,}3$ y $-0{,}4$

se obtienen 123 combinaciones que se han considerado como las más importantes. Son las que se recogen en el cuadro II.

Los valores de b se han calculado con un ordenador después del estudio general de la presa y aparecen en la sexta columna de los cuadros V, VI y VII.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

C. Estudio de la presa propiamente dicha.

a) Planteamiento de la educación fundamental (fig. 8).

1. A la profundidad *b*, bajo el nivel máximo de agua, comienza la estructura proporcionalmente dicha, constituida por un paramento rectilíneo agua arriba y un paramento agua abajo, cuya forma expresada por la función:

$$x = f(y)$$

interesa definir.

Para lograrlo se expresará que la condición de Levy se cumple estrictamente a lo largo del paramento $A\,A'$. De esta forma se obtendrá una ecuación con expresiones afecta-

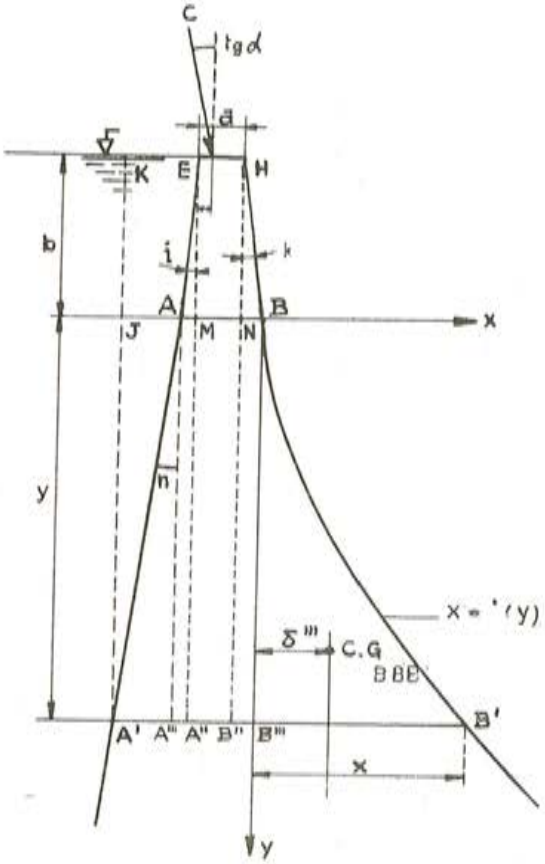


Figura 8.

das por el signo "integral". Derivando dos veces se eliminará dicho signo y se obtendrá la ecuación diferencial del paramento de agua abajo. Su integración dará la respuesta al problema planteado.

2. El prisma EAHB es conocido según el párrafo B precedente.

3. La superficie de la porción de presa $BB'\,B'''$ viene dada por la fórmula:

$$B\,B'''\,B' = \int_0^y x\,d\,y$$

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

CUADRO II

n.º	$i = n$	k	C (T/m)	$tg\ \alpha$	n.º	$i = n$	k	C (T/m)	$tg\ \alpha$	n.º	$i = n$	k	C (T/m)	$tg\ \alpha$
1	0	0	0	—	42	0,2	0,1	750	— 0,1	83	0,4	0,2	0	— 0,3
2			250	0	43				— 0,2	84				—
3			500	0	44			0	—	85			250	0
4			750	0	45			250	0	86				— 0,1
5		0,1	0	—	46				— 0,1	87				— 0,3
6			250	0	47				— 0,2	88			500	0
7			500	0	48			500	0	89				— 0,1
8			750	0	49				— 0,1	90				— 0,3
9		0,2	0	—	50				— 0,2	91			750	0
10			250	0	51			750	0	92				— 0,1
11			500	0	52				— 0,1	93				— 0,3
12			750	0	53				— 0,2	94		0	0	—
13	0,1	0	0	—	54		0,2	0	—	95			250	0
14			250	0	55			250	0	96				— 0,2
15				— 0,1	56				— 0,1	97				— 0,4
16			500	0	57				— 0,2	98			500	0
17				— 0,1	58			500	0	99				— 0,2
18			750	0	59				— 0,1	100				— 0,4
19				— 0,1	60				— 0,2	101			750	0
20		0,1	0	—	61			750	0	102				— 0,2
21			250	0	62				— 0,1	103				— 0,4
22				— 0,1	63				— 0,2	104		0,1	0	—
23			500	0	64	0,3	0	0	—	105			250	0
24				— 0,1	65			250	0	106				— 0,2
25			750	0	66				— 0,1	107				— 0,4
26				— 0,1	67				— 0,3	108			500	0
27		0,2	0	—	68			500	0	109				— 0,2
28			250	0	69				— 0,1	110				— 0,4
29				— 0,1	70				— 0,3	111			750	0
30			500	0	71			750	0	112				— 0,2
31				— 0,1	72				— 0,1	113				— 0,4
32			750	0	73				— 0,3	114		0,2	0	—
33				— 0,1	74		0,1	0	—	115			250	0
34	0,1	0	0	—	75			250	0	116				— 0,2
35			250	0	76				— 0,1	117				— 0,4
36				— 0,1	77				— 0,3	118			500	0
37				— 0,2	78			500	0	119				— 0,2
38			500	0	79				— 0,1	120				— 0,4
39				— 0,1	80				— 0,3	121			750	0
40				— 0,2	81			750	0	122				— 0,2
41				0	82				— 0,1	123				— 0,4

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

4. La condición de compresión mínima en el paramento de agua arriba, en función de la tensión a lo largo de una rebanada horizontal, puede expresarse, partiendo del equilibrio de un prisma elemental, por la relación:

$$n_{A'} = \omega\,(y+b)\,\frac{\mu+n^2}{1+n^2}$$

que no es más que una transformación de la relación:

$$\sigma_{A'} = \omega\,(y+b)\,\mu \ldots \qquad \text{(Fig. 9)}$$

5. La tensión n_A, que existe en el paramento de agua arriba, perpendicularmente a una rebanada horizontal de la presa bajo el nivel A', puede calcularse por el método de los momentos antipolares. Para ello, la fuerza que hay que considerar es la componente vertical de la resultante de las solicitaciones que actúan por encima de la rebanada estudiada.

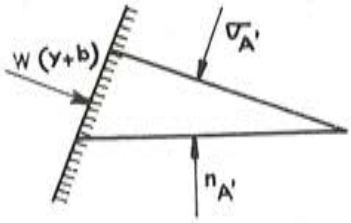


Figura 9.

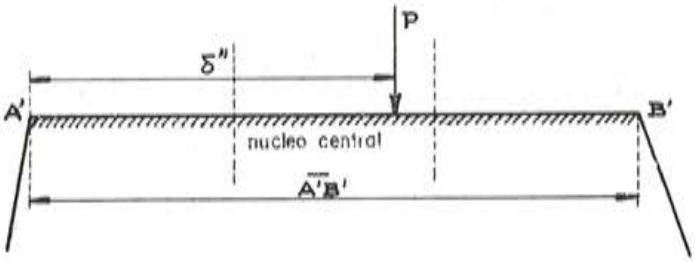


Figura 10.

La tensión normal a la rebanada en el paramento de agua arriba viene entonces dada por la fórmula:

$$n_{A'} = P\left(\frac{2}{3}\,\overline{A'B'} - \delta''\right)\frac{6}{\overline{A'B'}^2} \qquad \text{[Fig. 10]}$$

Como la tensión que debe obtenerse en el paramento de agua arriba es siempre positiva, la resultante de las fuerzas deberá encontrarse dentro del núcleo central de la sección como ocurre en el caso del esquema de la figura 10.

La ecuación que da la forma del paramento de agua abajo es, por tanto, la siguiente:

$$\begin{aligned}\omega\,(y+b)\,\frac{\mu+n^2}{1+n^2} &= P\,\frac{2}{3}\left(\overline{A'B'} - \delta''\right)\frac{6}{\overline{A'B'}^2}\\ &= \frac{6}{\overline{A'B'}^2}\left(\frac{2}{3}\,P\cdot\overline{A'B'} - \delta''\right)\end{aligned} \qquad [2]$$

6. El cuadro III permite calcular la componente vertical y su brazo de palanca respecto al punto A'.

La componente vertical de las fuerzas es entonces la siguiente:

$$\begin{aligned}P = \Delta\left[a\,(b+y) + \frac{n\,y^2}{2} + b\left(\frac{b}{2}+y\right)(l+k) + \int_0^y x\,d\,y\right]\\ + \omega\left[\frac{i\,b^2}{2} + n\,y\left(\frac{y}{2}+b\right)\right] + C\cos\alpha\end{aligned} \qquad [3]$$

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

CUADRO III

ESFUERZO	Intensidad	Brazo de palanca respecto a A'
Peso del hormigón E H B'' A''.....	$a\,(b+y)\,\Delta$	$n\,y+i\,b+\frac{a}{2}$
Peso del hormigón E A M.	$\frac{\Delta\,i\,b^2}{2}$	$n\,y+\frac{2}{3}\,i\,b$
Peso del hormigón A' A' A'''	$\Delta\,\frac{n\,y^2}{2}$	$\frac{2}{3}\,n\,y$
Peso del hormigón A M A'' A'''.....	$\Delta\,i\,b\,y$	$n\,y+\frac{i\,b}{2}$
Peso del hormigón H N B	$\Delta\,b^2\,\frac{k}{2}$	$n\,y+i\,b+a+\frac{k\,b}{3}$
Peso del hormigón N B B''' B''	$\Delta\,b\,k\,y$	$n\,y+i\,b+a+\frac{k\,b}{2}$
Peso del hormigón B B' B'''.....	$\Delta\int_0^y x\,d\,y$	$n\,y+i\,b+a+k\,b+\frac{\int_0^y \frac{x^2}{2}\,d\,y}{\int_0^y x\,d\,y}$
Pretensado.....	$C\cos\alpha$	$n\,y+i\,b+e$
Presión hidrostática sobre E A.....	$\omega\,\frac{i\,b^2}{2}$	$n\,y+\frac{i\,b}{3}$
Presión hidrostática sobre A A'	$\frac{\omega\,n\,y^2}{2}$ $\omega\,n\,y\,b$	$\frac{n\,y}{3}$ $\frac{n\,y}{2}$

CUADRO IV

ESFUERZO	Intensidad	Brazo de palanca
Presión hidrostática	$\frac{(y+b)^2}{2}\,\omega$	$\frac{y+b}{3}$
Pretensado.....	$C\,\text{sen}\,\alpha$	$y+b$

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

El cálculo de la componente horizontal de las solicitaciones, así como de su brazo de palanca respecto al punto A', se realizará con ayuda del cuadro IV.

7. Ahora se puede ya expresar el momento de todas las fuerzas elementales respecto a A' y desarrollar la ecuación:

$$F_i \cdot 6_i = P \cdot \delta'' \qquad \text{[Fig. 10]}$$

se obtendrá:

$$\begin{aligned}
&\Delta \Bigg\{ a\,(b+y)\left(n\,y + i\,b + \frac{a}{2}\right) + \frac{i\,b^2}{2}\left(n\,y + \frac{2}{3}\,i\,b\right) + \frac{n\,y^2}{2}\left(\frac{2}{3}\,n\,y\right) + i\,b\,y\left(n\,y + \frac{i\,b}{2}\right) + \\
&\quad + \frac{b^2\,k}{2}\left(n\,y + i\,b + a + \frac{b\,k}{3}\right) + b\,k\,y\left(n\,y + i\,b + a + \frac{b\,k}{2}\right) + \\
&+ \int_0^y x\,d\,y \left[n\,y + i\,b + a + b\,k + \frac{\int_0^y \frac{x^2}{2}\,d\,y}{\int_0^y x\,d\,y} \right] \Bigg\} + C\cos\alpha\,(n\,y + i\,b + e) + C\,\mathrm{sen}\,\alpha\,(y+b) + \qquad [4] \\
&\quad + \omega \left\{ \frac{i\,b^2}{2}\left(n\,y + \frac{i\,b}{3}\right) + \frac{n\,y^2}{2}\left(\frac{n\,y}{3}\right) + n\,y\,b\left(\frac{n\,y}{2}\right) + \frac{(y+b)^3}{6} \right\} = \\
&= \left\{ \Delta \left[(b+y)\,a + \frac{n\,y^2}{2} + b\left(\frac{b}{2} + y\right)(i+k) + \int_0^y x\,d\,y \right] + \omega \left[\frac{i\,b^2}{2} + n\,y\left(\frac{y}{2} + b\right) \right] + C\cos\alpha \right\} \delta'' \ldots
\end{aligned}$$

8. De la relación [4] se puede deducir el valor de δ'' e introducirlo en la ecuación [2] con el valor [3] de P.

En la ecuación [2] aparece el valor $\overline{A'\,B'}$, cuya expresión, en función de $x\,y$ de y, es:

$$n\,y + b\,(i+k) + a + x$$

Si, por último, se emplea la sustitución:

$$\beta = \frac{\mu + n^2}{1 + n^2}$$

la ecuación [2] podrá escribirse de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
&\beta\,\omega\,(y+b)\,[n\,y + b\,(i+k) + a + x]^2 = 4\,[n\,y + b\,(i+k) + a + x] \Bigg\{ \Delta \Bigg[a\,(b+y) + \frac{n\,y^2}{2} + b\left(\frac{b}{2} + \\
&+ y\right)(i+k) + \int_0^y x\,d\,y \Bigg] + \omega \left[\frac{i\,b^2}{2} + n\,y\left(\frac{y}{2} + b\right) \right] + C\cos\alpha \Bigg\} - 6\,\Delta \Bigg\{ a\,(b+y)\left(n\,y + i\,b + \frac{a}{2}\right) + \\
&\quad + \frac{i\,b^2}{2}\left(n\,y + \frac{2}{3}\,i\,b\right) + \frac{n^2\,y^3}{3} + i\,b\,y\left(n\,y + \frac{i\,b}{2}\right) + \frac{b^2\,k}{2}\left[n\,y + a + b\left(i + \frac{k}{3}\right) \right] + \qquad [5] \\
&\quad + b\,k\,y\left[n\,y + a + b\left(i + \frac{k}{2}\right) \right] + \int_0^y x\,d\,y\,[n\,y + a + b\,(i+k)] + \int_0^y \frac{x^2}{2}\,d\,y \Bigg\} - \\
&- 6\,C\,\{\cos\alpha\,(n\,y + b\,i + e) + \mathrm{sen}\,\alpha\,(y+b)\} - 6\,\omega \left\{ \frac{i\,b^2}{2}\left(n\,y + \frac{i\,b}{3}\right) + \frac{n^2\,y^2}{2}\left(b + \frac{y}{3}\right) + \frac{(y+b)^3}{6} \right\} \ldots
\end{aligned}$$

Teóricamente, esta ecuación [5] da la forma del paramento de agua abajo de la presa. Es posible transformar esta ecuación integral en una ecuación diferencial, derivándola dos veces. La derivada primera hace aparecer el valor de la integral que, introducida en

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

la derivada segunda, permite eliminarla. Se obtiene así la ecuación diferencial de segundo orden del paramento de agua abajo de la presa (*).

Las operaciones se desarrollan de la siguiente manera:

Derivada primera de la ecuación [5]: párrafo *b*) siguiente.

Extracción de $\int_0^y x\,d\,y$ párrafo *c*) siguiente.

Derivada segunda de la ecuación [5]: párrafo *d*) siguiente.

Extracción de $\int_0^y x\,d\,y$ en la derivada segunda: párrafo *e*).

b) Derivada primera de la ecuación [5].

Después de simplificar y agrupar adecuadamente sus términos, esta derivada puede escribirse de la siguiente forma:

$$
\begin{aligned}
2\,\Delta\left(2\frac{d\,x}{d\,y}-n\right)\int_0^y x\,d\,y = -\,\Delta\Bigg\{4\frac{d\,x}{d\,y}\left[a\,(b+y)+\frac{n\,y^2}{2}+b\left(\frac{b}{2}+y\right)(i+k)\right]+ \\
+[n\,y+a+b\,(i+b)+x]^2-n\,b\,(i+k)\,(2\,y+b)-n\,y\,(2\,a+n\,y)-2\,a\,n\,b+ \\
+\omega\,\beta\,[n\,y+a+x+b\,(i+k)]\left[n\,y+a+x+b\,(i+k)+2\,(y+b)\left(n+\frac{d\,x}{d\,y}\right)\right]\Bigg\}- \\
-\,\omega\Bigg\{2\frac{d\,x}{d\,y}\,[i\,b^2+n\,y\,(2\,b+y)]+4\,n\,(a+x)\,(b+y)-3\,(y+b)^2+4\,n\,b\,(i+k)\,(y+b)+ \\
+n^2\,y\,(3\,y+2\,b)-i\,b^2\,n\Bigg\}+2\,C\left[\cos\alpha\left(n-2\frac{d\,x}{d\,y}\right)+3\,\mathrm{sen}\,\alpha\right]\ldots
\end{aligned}
\qquad [6]
$$

c) Extracción de $\int_0^y x\,d\,y$

De la ecuación [6] se deduce sin dificultad:

$$
\int_0^y x\,d\,y=\frac{1}{2\,\Delta\left(2\frac{d\,x}{d\,y}-n\right)}\left\{-\,\Delta\left\{4\frac{d\,x}{d\,y}\ldots+3\,\mathrm{sen}\,\alpha\right\}\right\}\ldots \qquad [7]
$$

d) Derivada segunda de la ecuación [5].

Derivando la ecuación [6] se obtiene:

$$
\begin{aligned}
4\,\Delta\frac{d^2\,x}{d\,y^2}\int_0^y x\,d\,y+2\,\Delta\,x\left(2\frac{d\,x}{d\,y}-n\right)=-\,\Delta\Bigg\{4\frac{d^2\,x}{d^2\,y}\left[a\,(b+y)+\frac{n\,y^2}{2}+b\left(\frac{b}{2}+y\right)(i+k)+\right. \\
\left.+4\frac{d\,x}{d\,y}\,[a+n\,y+b\,(i+k)]+2\,[n\,y+a+b\,(i+k)+x]\left(n+\frac{d\,x}{d\,y}\right)-2\,n\,b\,(i+k)-2\,a\,n-2\,n^2\,y\right\}+ \\
+\omega\,\beta\left\{\left(n+\frac{d\,x}{d\,y}\right)\left[n\,y+a+x+b\,(i+k)+2\,(y+b)\left(n+\frac{d\,x}{d\,y}\right)\right]+\right. \\
\left.+[n\,y+a+x+b\,(i+k)]\left[n+\frac{d\,x}{d\,y}+2\left(n+\frac{d\,x}{d\,y}\right)+2\frac{d^2\,x}{d\,y^2}\,(y+b)\right]\right\}- \\
-\,\omega\Bigg\{2\frac{d^2\,x}{d\,y^2}\,[i\,b^2+n\,y\,(2\,b+y)]+2\frac{d\,x}{d\,y}\,[2\,n\,(y+b)]+4\,n\,(a+x)-6\,(y+b)+4\,n\,b\,(i+k)+ \\
+n^2\,(3\,y+2\,b)+3\,n^2\,y+4\,n\,(b+y)\frac{d\,x}{d\,y}\Bigg\}-4\,C\cos\alpha\frac{d^2\,x}{d\,y^2}\ldots
\end{aligned}
\qquad [8]
$$

(*) Este procedimiento de eliminación es el propuesto por F. Campus para el dimensionamiento de las presas de gravedad, en el curso sobre presas que desarrolló, en la Universidad de Lieja, hasta 1964. El empleo de los ordenadores ha hecho posible la integración de estas ecuaciones.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

e) Ecuación diferencial definitiva.

Para obtener la ecuación diferencial que permite determinar el perfil del paramento de agua abajo de la presa, es preciso eliminar la integral que aparece en la ecuación [8]. Para ello, se reemplaza por su valor [7] y, finalmente, se obtiene:

$$\frac{d\,x^2}{d\,y^2} = \frac{\text{numerador}\left\{\begin{array}{l} \left(\frac{d\,x}{d\,y}\right)^3 4\,\omega\,\beta\,(y+b) + \\ + \left(\frac{d\,x}{d\,y}\right)^2 \{4\,(2\,\omega\,\beta - 3\,\Delta)\,[a + x + n\,y + b\,(i+k) + 2\,n\,\omega\,(y+b)\,(3\,\beta - 6)\} + \\ + \frac{d\,x}{d\,y}\{2\,n\,[a + x + n\,y + b\,(i+k)]\,[2\,\omega\,(\beta - 2) + 3\,\Delta] + 4\,\omega\,(y+b)\,(n^2+3)\} + \\ + 2\,\omega\,n\,\{2\,n\,[a + x + b\,(i+k) + n\,y]\,(1-\beta) + (y+b)\,[n^2\,(1-\beta) - 3]\} \end{array}\right.}{\text{denominador}\left\{\begin{array}{l} 12\,C\,\text{sen}\,\alpha + 2\,(\omega\,\beta - \Delta)\,[n\,y + a + x + b\,(i+k)]^2 + 2\,n\,\omega\,(y+b)\,(3\,\beta - 4)\,[a + x + n\,y + b \\ (i+k)] + 6\,(y+b)^2 \end{array}\right.} \qquad (9)$$

f) Resolución de la ecuación diferencial [9].

1. La resolución de la ecuación [9] presenta serios problemas, pues se trata de una ecuación de segundo orden, cuyas derivadas primeras no son de primer grado y cuyos coeficientes son variables. No son, por tanto, de aplicación, los cuadros de integrales definidas de normal utilización y es preciso recurrir al cálculo por diferencias finitas empleando un computador electrónico.

La forma canónica de la ecuación [9] es:

$$\frac{d^2\,x}{d\,y^2} = F\left(x, y, \frac{d\,x}{d\,y}\right)$$

si para $y = 0$ se considera X_o y $\left(\frac{d\,x}{d\,y}\right)_0$ se podría emplear el método de Runge-Kutta.

De todas formas es importante determinar el valor inicial de la derivada primera.

Para ello es preciso conocer la expresión general de la derivada primera que puede extraerse de la expresión [6] y que es la siguiente:

$$\frac{d\,x}{d\,y} = \frac{\text{numerador}\left\{\begin{array}{l} 2\,\Delta\,n\int_0^y x\,d\,y - \Delta\,\{[n\,y + a + x + b\,(i+k)]^2 - n\,b\,(i+k)\,(2\,y+b) - n\,y\,(2\,a + n\,y) - \\ - 2\,a\,n\,b\} + \omega\,\beta\,[n\,y + a + x + b\,(i+k)]\,[n\,y + a + x + b\,(i+k) + 2\,n\,(y+b)] - \\ - \omega\,[4\,n\,(a+x)\,(b+y) - 3\,(y+b)^2 + 4\,n\,b\,(i+k)\,(y+b) + n^2\,y\,(3\,y + 2\,b) - i\,b^2\,n] + \\ + 2\,C\,[n\,\cos\alpha + 3\,\text{sen}\,\alpha] \end{array}\right.}{\text{denominador}\left\{\begin{array}{l} 4\,\Delta\int_0^y x\,d\,y + 4\,\Delta\left[a\,(b+y) + \frac{n\,y^2}{2} + b\left(\frac{b}{2} + y\right)(i+k)\right] - \\ - \omega\,\beta\,[n\,y + a + x + b\,(i+k)]\,[2\,(y+b)] + \\ + 2\,\omega\,[i\,b^2 + n\,y\,(2\,b + y)] + \\ + 4\,C\,\cos\alpha \end{array}\right.} \qquad [10]$$

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

Si en esta ecuación [10] se especifica, lo que sucede para $y = 0$ se obtendrá el valor buscado de:

$$\left(\frac{d\,x}{d\,y}\right)_0$$

para $y = 0$ se tiene $x = 0$, e $\int_0^y x\,d\,y = 0$.

Por otro lado se toma:

$$\omega = 1\ \text{t/m}^3 \quad \text{y} \quad \Delta = 2{,}4\ \text{t/m}^3$$

se deduce:

$$\left(\frac{d\,x}{d\,y}\right)_0 = \frac{\text{numerador}\left\{\begin{array}{l}[a + b\,(i + k)]^2\,(\beta - 2{,}4) + \\ + b\,n\,[a\,(2\,\beta + 0{,}8) + b\,(i + k)\,(2\,\beta - 1{,}6)] + \\ + b^2\,(3 + i\,n) + 2\,C\,(n \cos\alpha + 3 \operatorname{sen}\alpha)\end{array}\right.}{\text{denominador}\left\{\begin{array}{l}a\,b\,(9{,}6 - 2\,\beta) + 2\,b^2\,(i + k)\,(2{,}4 - \beta) + \\ 2\,i\,b^2 + 4\,C \cos\alpha\end{array}\right.}$$

En esta expresión, todos los términos dependen directamente de los datos correspondientes al caso en estudio y con ella se puede calcular:

$$\left(\frac{d\,x}{d\,y}\right)_0$$

Así, por ejemplo, si se adoptan los siguientes valores:

— Anchura en coronación (a): la de 3 m considerada en los casos estudiados.

— Altura de la parte superior (b): la calculada antes en el párrafo B.

— Inclinación i, k y n: las deducidas de la figura 8 y cuadro II.

— Inclinaciones del pretensado, tg α: las deducidas de la figura 8 y cuadro II.

— β (depende del coeficiente de las presiones intersticiales): a título de ejemplo se ha considerado igual a 0,75.

Se puede deducir $\left(\frac{d\,x}{d\,y}\right)_0$ y encarar el cálculo numérico.

2. Utilizando los métodos de resolución antes enunciados se han analizado 123 perfiles correspondientes a las variables i, k, C, α y n para:

$$a = 3\ \text{m}$$
$$e = 1{,}5\ \text{m}$$
$$\mu = 0{,}75\ \text{m}$$
$$\Delta = 2{,}4\ \text{t/m}^3$$
$$\omega = 1\ \text{t/m}^3$$

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

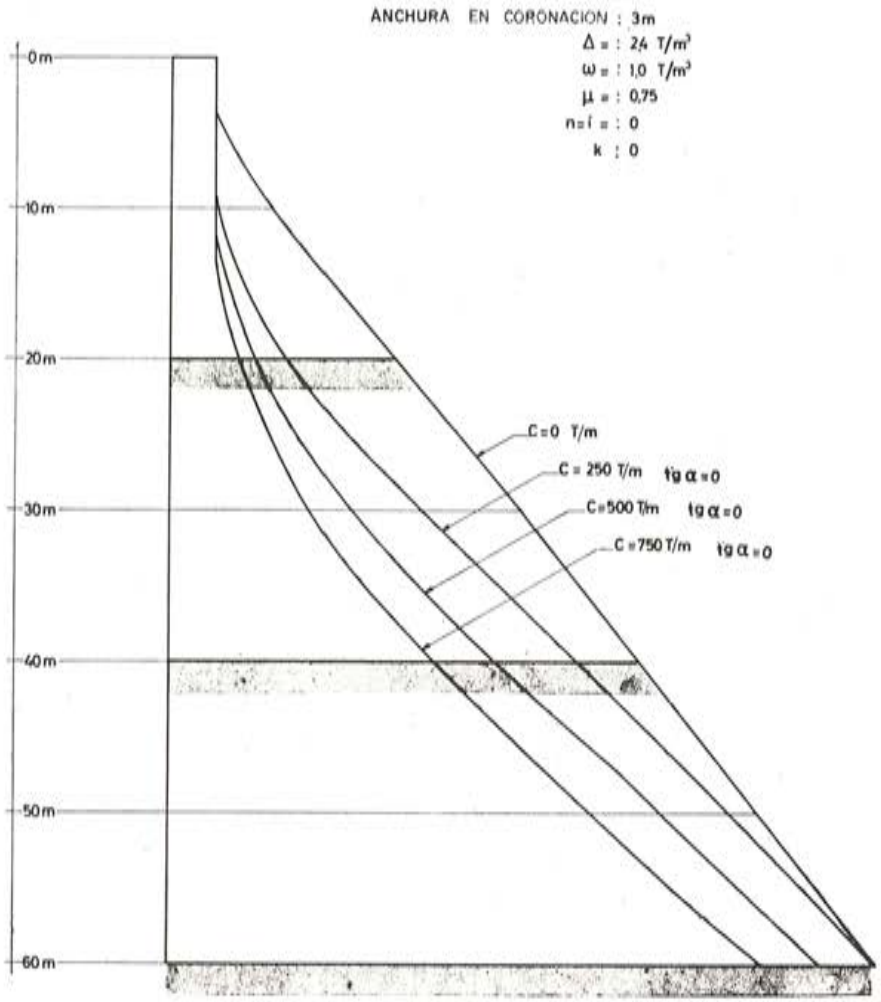


Figura 11.

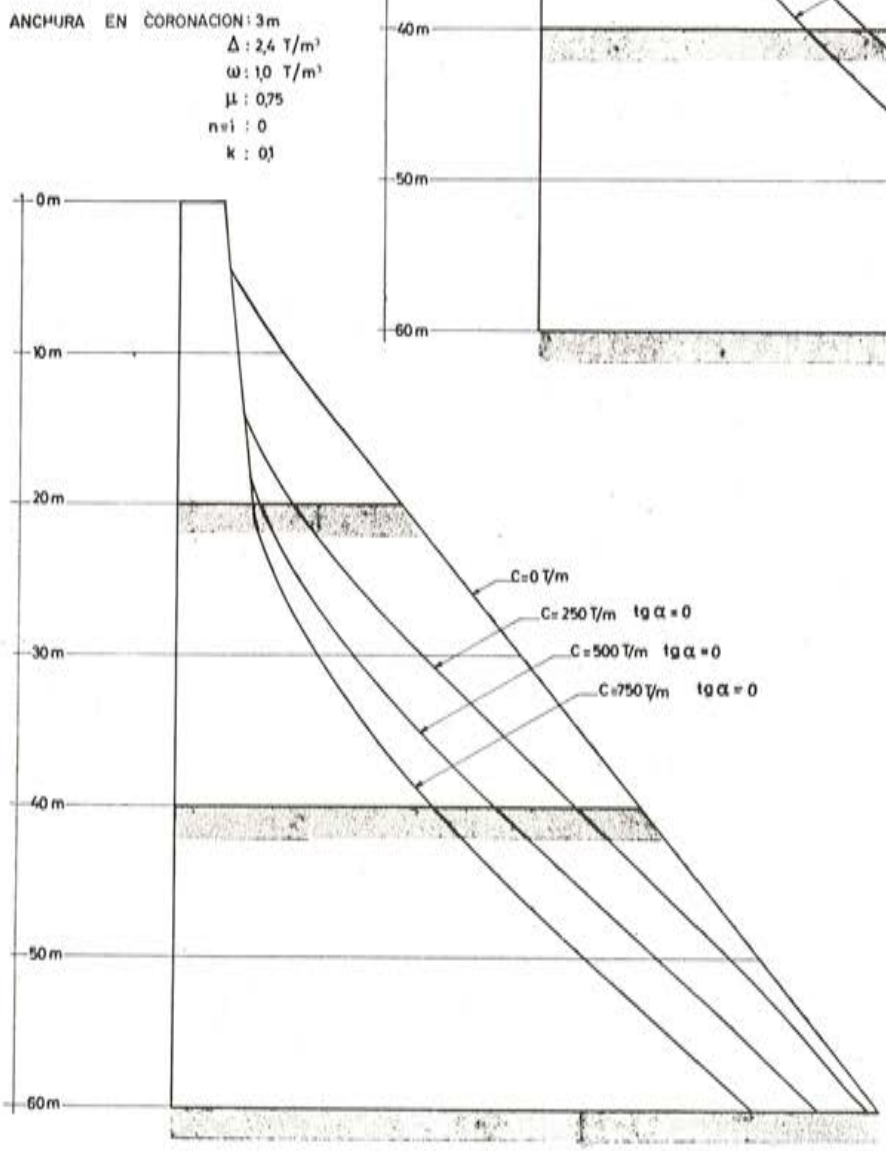


Figura 12.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

Se admite que el paramento de agua arriba es totalmente plano; o sea, $i = n$.

En efecto, mediante un análisis rápido se ha podido deducir que resulta interesante, económicamente, inclinar el paramento de agua arriba y el cable de pretensado, siendo precisamente la inclinación idónea de este cable la misma que la del paramento. En estas condiciones parece lógico admitir $i = n$, ya que, en otro caso, la brusca desviación angular en el punto A daría lugar a grandes dificultades.

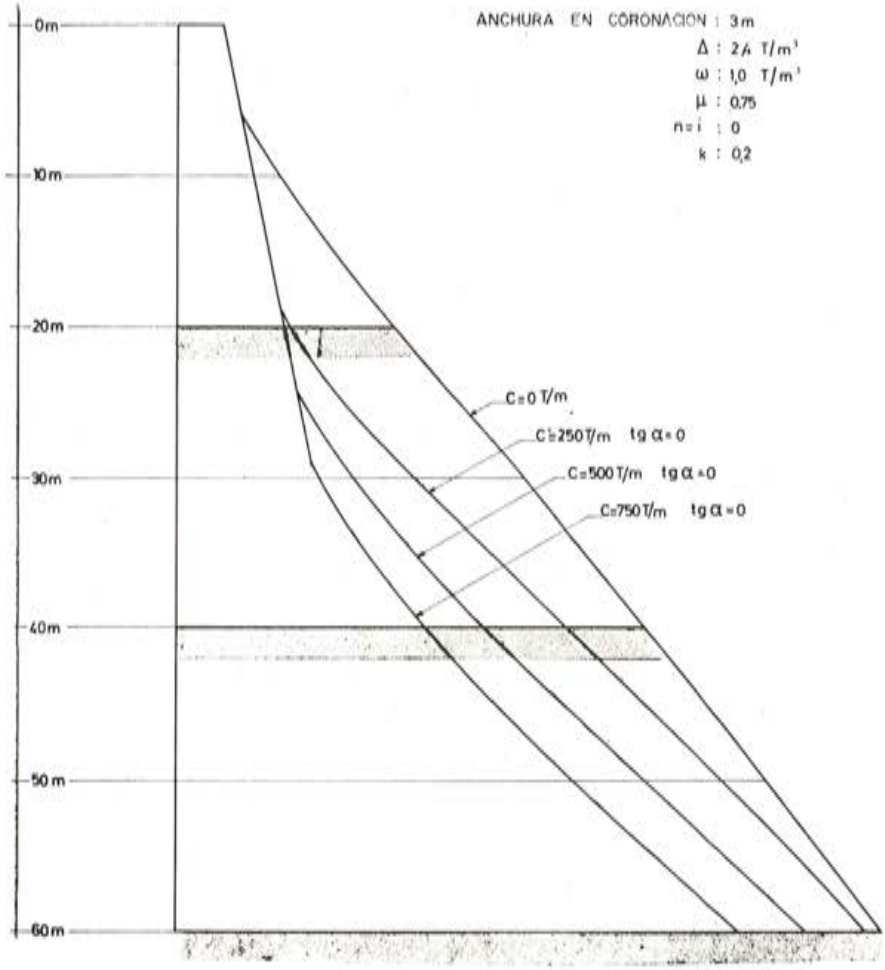


Figura 13.

Los 123 casos estudiados se han citado ya en el cuadro II. Las figuras 11 a 15 muestran la forma obtenida para algunos de estos casos. Los cálculos se han efectuado para una altura de presa de hasta 60 m.

Evidentemente, de ellos puede deducirse todos los valores correspondientes a alturas inferiores y, en particular, a las de 20 y 40 m, que son las que a continuación se van a estudiar con más detalle.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

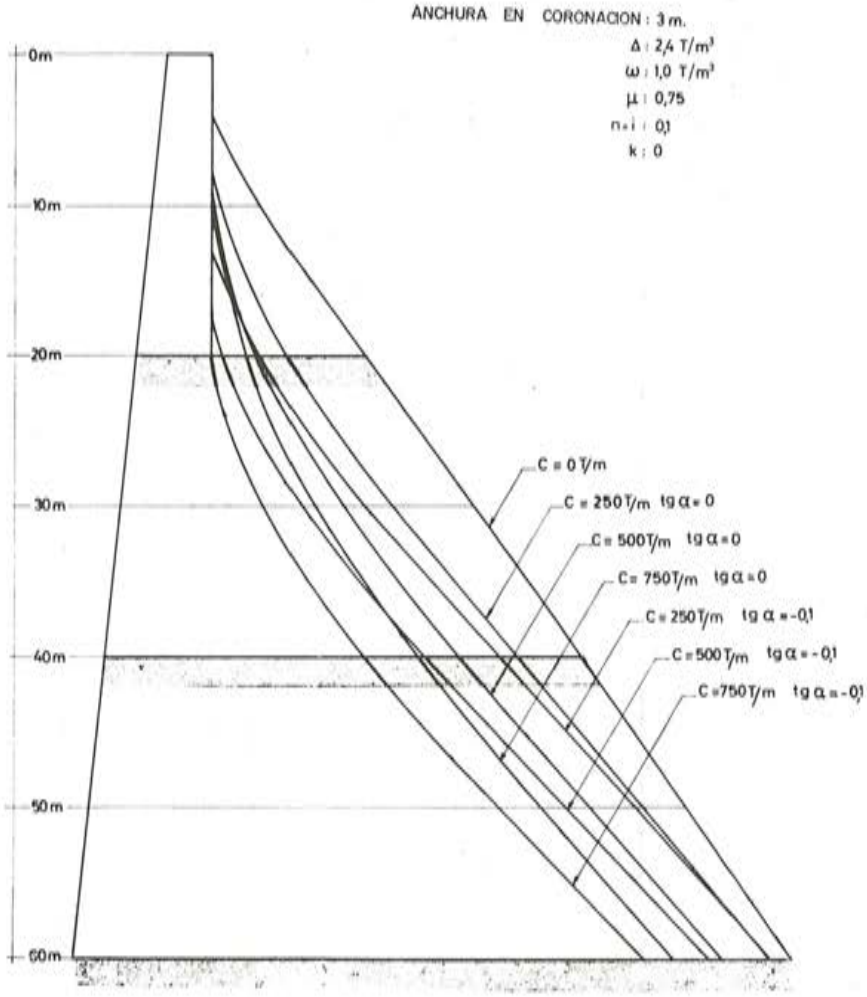


Figura 14.

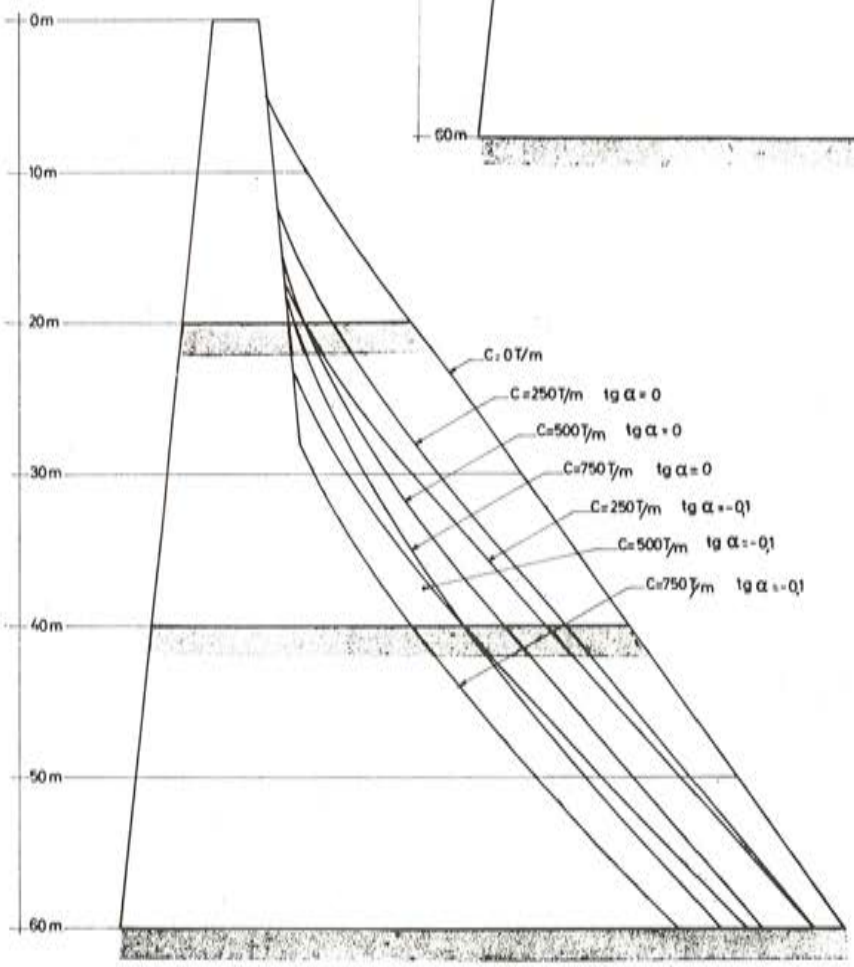


Figura 15.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

D. Análisis de los resultados obtenidos.

El estudio anterior se basa en el cumplimiento de la condición de Levy, de compresión mínima en el paramento de agua arriba para la presa a plena carga.

A este respecto, los 123 casos estudiados pueden aceptarse sin restricción alguna, ya que precisamente la forma de la presa se ha seleccionado para que cumpla esta condición. A pesar de ello conviene analizar ahora, para los distintos casos, los valores de:

a) Las tensiones mínimas en el paramento de agua abajo en vacío.

b) Las máximas tensiones de compresión en el paramento de agua abajo en carga.

c) Las máximas tensiones de compresión en el paramento de agua arriba en vacío.

d) El coeficiente de seguridad al deslizamiento en la base de la cimentación.

e) Las tensiones de compresión sobre el terreno.

Estos resultados permitirán realizar una cuidadosa selección entre los 123 casos tratados.

Con todo queda una condición que todavía no se ha considerado y que, sin embargo, es la que justifica todo este trabajo: la economía del proyecto. Es indispensable saber si una presa así calculada es más económica que una presa clásica de gravedad y, en caso afirmativo, en qué proporción.

A continuación se discutirán estas consideraciones:

E. Análisis de las tensiones máximas y mínimas.

a) En el cuerpo de la presa.

1. Tensión mínima en el paramento de agua arriba (en carga).

La forma del paramento de agua abajo se ha calculado de manera que:

$$\sigma_{A' \min} = \mu (y + b) = 0{,}75 (y + b)$$

Si se conocen todos los perfiles, y, por consiguiente, todos los valores de *b*, se puede calcular fácilmente:

$$\sigma_{A' \min}$$

2. Tensión máxima en el paramento de agua arriba (en vacío).

De la figura 10 se deduce:

$$n_{A'} = P\left(\frac{2}{3}\,\overline{A'B} - \delta''\right)\frac{6}{\overline{A'B'^2}}$$

y la figura 9 demuestra que:

$$\sigma_{A'} = n_{A'}(1 + n^2) - \omega (y + b)\, n^2$$

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

Por consiguiente:

$$\sigma_{A'} = (1 + n^2) P \left(\frac{2}{3} \overline{A' B'} - \delta'' \right) \frac{6}{\overline{A' B'}} - \omega (y + b) n^2 \qquad [11]$$

Como quiera que, en la ecuación del pa ramento de agua abajo, se conoce la ordenada X en función de la profundidad, no hay n inguna dificultad, aparte de las numéricas, en calcular la expresión [11].

Los valores de ρ, δ'' y $\overline{A' B'}$ son conocidos:

P, por la ecuación [3];

δ'', por la ecuación [4];

y $\overline{A' B'} = n\, y + b\ (i + k) + a + x$.

Como las relaciones [3] y [4] son totalmente generales se puede hacer de ellas $\omega = 0$ y deducir así el valor de $\sigma_{A' \min}$.

Esta tensión se puede calcular para todas las profundidades "y".

3. Tensiones mínima y máxima en el paramento de agua abajo.

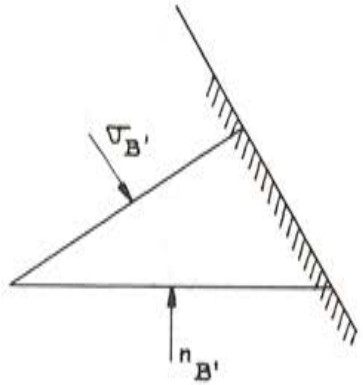


Figura 16.

De la figura 10 se deduce que:

$$n_{B'} = P \left(\delta'' - \frac{\overline{A' B'}}{3} \right) \frac{6}{\overline{A' B'}^2}$$

y en la figura 16 se ve que:

$$\sigma_{B'} = n_{B'} \left[1 + \left(\frac{d\,x}{d\,y} \right)^2 \right]$$

es decir, que:

$$\sigma_{B'} = P \left(\delta'' - \frac{\overline{A' B'}}{3} \right) \frac{6}{\overline{A' B'}^2} \left[1 + \left(\frac{d\,x}{d\,y} \right)^2 \right] \qquad [12]$$

Como ocurría para $\sigma_{A'}$, la relación [12] se puede calcular sin dificultad.

En particular, para:

$\omega = 1$ t/m³, dará el valor de $\sigma_{A' \text{máx}}$, y para
$\omega = 0$ t/m³, dará el valor de $\sigma_{A' \text{mín}}$,

para cada profundidad "y".

b) En la parte superior de la presa (zona trapezoidal).

Un razonamiento enteramente análogo puede hacerse respecto a los dos parámetros (i y k) del muro trapezoidal superior.

c) Resumen.

Conocido un perfil puede calcularse sin dificultad, mediante el computador, los valores máximos y mínimos de las tensiones en los dos paramentos para profundidades que varíen, por ejemplo, de 0,50 en 0,50 m.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

Pueden entonces seleccionarse las tensiones mínimas y máximas para el perfil en estudio.

Estas operaciones se han realizado y llevado los resultados a los cuadros generales V a VII, en los que se estudian, por separado, las presas de 60, 40 y 20 m de altura.

En estos cuadros, las primeras columnas definen los casos estudiados; la sexta columna da la altura *b* de la parte superior; la séptima, el valor de la tensión principal máxima en la base de la parte superior (fig. 17); la octava, el de la tensión mínima en el paramento de

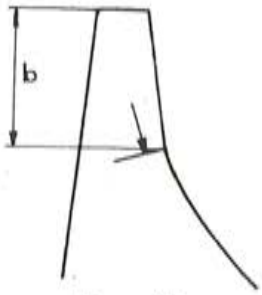


Figura 17.

agua abajo, en vacío, mientras la novena columna da el valor de la tensión máxima, sobre el mismo paramento, en carga. La anchura en la base de la presa aparece en la décima columna. Las 6 columnas siguientes dan los valores de las tensiones normales, verticales y principales en la base de la presa.

A título complementario, en la figura 18 se representa el aspecto general de la evolución de las tensiones en los dos paramentos.

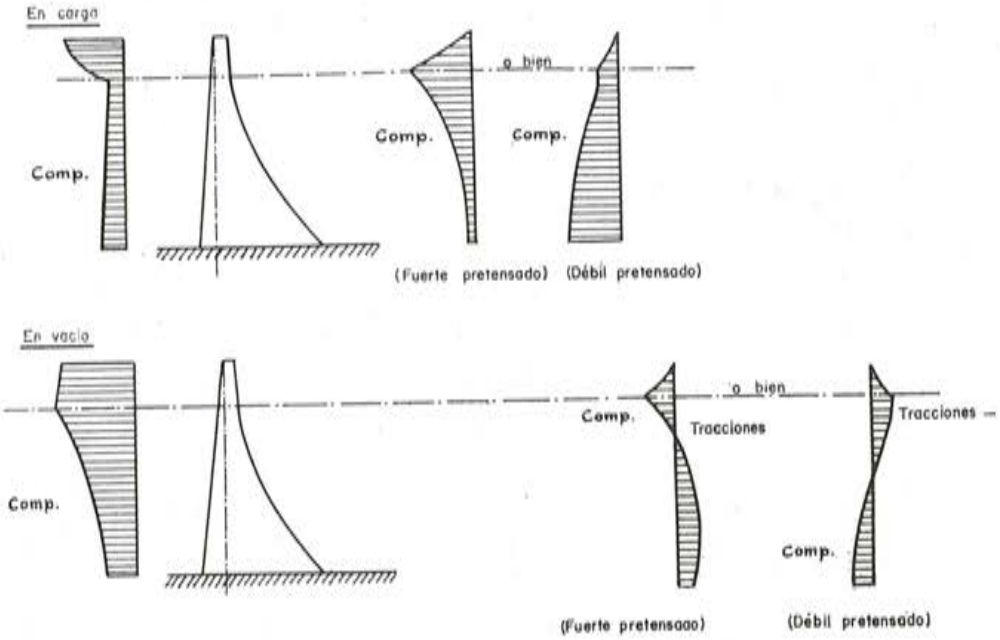


Figura 18.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

$H = 20$ metros.

CUADRO V

n.º	DATOS				b	Tensiones principales kp/cm²			Base	Tensiones en a base kp/cm²						Volumen de hormigón	V/H	PRECIO
										Carga			Vacío					
	n = i	k	C Mp/ml	tg α	m	Nivel B	Agua abajo mín. vacío	Agua abajo máx. carga	m	Agua arriba	Agua abajo	Princ. agua abajo	Agua arriba	Agua abajo	Princ. agua abajo	m³/ml		1000 fr/ml
1	0	0	0	—	3,85	1,72	-0,45	5,50	15,15	1,50	3,23	5,50	4,98	-0,25	-0,43	149	1,29	224
2			250	0	9,63	21,50	-5,09	21,50	7,77	1,50	9,89	14,96	14,75	-3,37	-5,09	80	1,96	124
3			500	0	11,88	39,36	-0,60	39,36	5,54	1,50	22,51	27,30	27,56	-3,56	-4,32	69	3,14	111
4			750	0	13,48	56,87	-0,11	56,87	4,58	1,50	37,98	42,24	39,58	-0,10	-0,11	65	4,37	109
5		0,1	0	—	4,85	2,09	-0,49	5,58	15,03	1,50	3,26	5,58	5,04	-0,28	-0,48	149	1,29	224
6			250	0	13,99	18,46	-4,64	18,46	7,66	1,50	10,49	15,44	15,15	-3,15	-4,64	87	2,04	135
7			500	0	18,27	30,22	-3,07	30,22	5,53	1,50	23,55	28,13	27,61	-2,57	-3,07	80	3,28	129
8			750	0	20,00	33,88	-1,40	33,88	5,00	6,95	30,73	33,88	38,95	-1,27	-1,40	80	4,55	132
9		0,2	0	—	6,22	2,58	-0,53	5,71	14,84	1,50	3,32	5,71	5,13	-0,31	-0,53	149	1,30	224
10			250	0	18,47	16,53	-3,37	16,53	7,61	1,50	11,40	16,01	15,30	-2,40	-3,37	100	2,20	155
11			500	0	20,00	14,11	-4,92	14,11	7,00	9,04	12,11	14,11	25,36	-4,22	-4,92	100	3,47	158
12			750	0	20,00	10,41	-7,37	10,41	7,00	18,73	9,56	10,41	35,06	-6,77	-7,37	100	4,72	162
13	0,1	0	0	—	3,93	1,66	0,58	5,56	15,35	1,50	3,62	5,56	4,41	4,54	6,97	156	1,46	233
14			250	0	7,85	16,67	1,52	16,67	9,83	1,50	9,06	12,48	9,05	1,10	1,52	104	2,27	160
15				-0,1	13,18	17,62	-2,10	17,62	8,01	1,50	10,54	14,24	13,10	-1,55	-2,10	89	2,45	138
16			500	0	9,06	29,58	6,07	29,58	8,11	1,50	16,89	20,14	12,81	5,09	6,07	94	3,46	149
17				-0,1	17,43	29,08	-0,31	29,08	5,80	1,50	23,03	25,99	24,11	-0,27	-0,31	81	4,49	130
18			750	0	9,80	41,99	12,17	41,99	7,32	1,50	25,43	28,40	15,50	10,90	12,17	90	4,69	147
19				-0,1	20,00	36,31	3,01	36,31	5,00	3,96	34,37	36,31	34,68	2,85	3,01	80	7,40	132
20		0,1	0	—	5,04	2,05	0,63	5,64	15,25	1,50	3,67	5,64	4,46	0,46	0,70	156	1,47	234
21			250	0	12,47	14,51	1,82	14,51	9,78	1,50	9,37	12,74	9,13	1,34	1,82	109	2,34	168
22				-0,1	17,44	15,58	-1,02	15,58	8,04	1,50	11,23	14,72	13,02	-0,78	-1,02	101	2,62	156
23			500	0	15,84	23,09	6,59	23,09	8,11	1,50	17,35	20,52	12,79	5,57	6,59	102	3,56	161
24				-0,1	20,00	15,80	-1,88	15,80	7,00	7,41	14,23	15,80	22,76	-1,69	-1,88	100	4,74	158
25			750	0	18,37	30,44	12,87	30,44	7,35	1,50	25,99	28,89	15,38	11,58	12,87	100	4,81	163
26				-0,1	20,00	12,23	-4,45	12,23	7,00	17,08	11,67	12,23	32,43	-4,25	-4,45	100	7,67	162
27		0,2	0	—	6,64	2,57	0,70	5,75	15,11	1,50	3,75	5,75	4,52	0,48	0,73	157	1,49	236
28			250	0	17,58	13,44	2,54	13,44	9,80	1,50	9,93	13,13	9,11	1,92	2,54	121	2,48	186
29				-0,1	20,00	11,36	-0,58	11,36	9,00	3,31	9,07	11,36	12,39	-0,47	-0,58	120	2,84	184
30			500	0	20,00	15,88	4,83	15,88	9,00	4,26	13,69	15,88	13,35	4,16	4,83	120	3,74	188
31				-0,1	20,00	6,85	-3,53	6,85	9,00	11,61	6,29	6,85	20,70	3,24	-3,53	120	4,97	188
32			750	0	20,00	16,04	5,58	16,04	9,00	8,89	14,62	16,04	17,98	5,09	5,58	120	4,99	192
33				-0,1	20,00	3,65	-6,25	3,65	9,00	19,91	3,51	3,65	29,00	-6,02	-6,25	120	7,95	192
34	0,2	0	0	—	4,01	1,61	1,26	5,57	15,89	1,52	3,96	5,57	3,81	1,17	1,65	165	1,65	247
35			250	0	6,18	14,43	4,26	14,43	11,91	1,52	8,50	10,95	6,04	3,31	4,26	128	2,59	196
36				-0,1	11,58	14,04	2,80	14,04	10,22	1,52	9,38	11,94	7,92	2,20	2,80	112	2,80	172
37				-0,2	16,34	14,79	0,54	14,79	8,53	1,52	10,94	13,55	11,09	0,44	0,54	103	3,16	158
38			500	0	6,62	26,03	8,74	26,03	10,61	1,52	14,08	16,51	7,40	7,45	8,74	120	3,79	188
39				-0,1	14,90	22,55	7,14	22,55	8,42	1,52	17,13	19,25	11,34	6,36	7,14	103	4,86	163
40				-0,2	20,00	17,65	0,70	17,65	7,00	5,51	16,49	17,65	20,21	0,65	0,70	100	7,19	158
41			750	0	6,83	37,44	13,82	37,44	9,99	1,52	19,89	22,23	8,25	12,36	13,82	117	5,02	187
42				-0,1	17,38	29,84	12,97	29,84	7,59	1,52	25,57	27,24	13,87	12,18	12,97	101	7,82	163
43				-0,2	20,00	14,12	-2,06	14,12	7,00	15,18	13,82	14,12	29,88	-2,01	-2,06	100	19,00	162
44		0,1	0	—	5,25	2,02	1,36	5,64	15,82	1,52	4,02	5,64	3,83	1,20	1,68	166	1,67	249
45			250	0	10,75	12,32	4,43	12,32	11,89	1,52	8,67	11,10	6,06	3,46	4,43	132	2,64	202
46				-0,1	16,28	12,78	3,39	12,78	10,28	1,52	9,81	12,26	7,84	2,71	3,39	122	2,94	188
47				-0,2	20,00	12,81	1,53	12,81	9,00	2,08	10,65	12,81	10,58	1,27	1,53	120	3,42	184
48			500	0	13,04	19,68	8,97	19,68	10,63	1,52	14,29	16,70	7,38	7,68	8,97	125	3,85	196
49				-0,1	20,00	16,99	6,56	16,99	9,00	3,05	15,29	16,99	11,55	5,91	6,56	120	5,11	188
50				-0,2	20,00	8,27	-1,64	8,27	9,00	10,35	7,83	8,27	18,84	-1,55	-1,64	120	7,54	188
51			750	0	14,67	26,13	14,09	26,13	10,01	1,52	20,13	22,45	8,22	12,63	14,09	122	5,09	196
52				-0,1	20,00	17,12	7,20	17,12	9,00	7,67	16,20	17,12	16,17	6,82	7,20	120	8,11	192
53				-0,2	20,00	5,09	-4,45	5,09	9,00	18,61	5,01	5,09	27,11	-4,37	-4,45	120	19,88	192
54		0,2	0	—	7,13	2,60	1,51	5,74	15,74	1,52	4,11	5,74	3,86	1,26	1,76	168	1,70	252
55			250	0	16,53	11,50	4,87	11,50	11,94	1,52	9,03	11,38	6,02	3,86	4,87	142	2,76	216
56				-0,1	20,00	10,88	3,44	10,88	11,00	2,37	8,99	10,88	7,79	2,84	3,44	140	3,15	214
57				-0,2	20,00	7,50	0,41	7,50	11,00	4,79	6,51	7,50	10,21	0,36	0,41	140	3,65	214
58			500	0	20,00	15,86	8,77	15,86	11,00	2,18	13,75	15,86	7,60	7,60	8,77	140	4,02	218
59				-0,1	20,00	9,56	2,86	9,56	11,00	7,11	8,78	9,56	12,53	2,63	2,86	140	5,34	218
60				-0,2	20,00	3,97	-2,44	3,97	11,00	11,94	3,81	3,97	17,36	-2,34	-2,44	140	7,88	218
61			750	0	20,00	17,68	10,90	17,68	11,00	4,45	16,02	17,68	9,87	9,87	10,90	140	5,27	222
62				-0,1	20,00	8,96	2,52	8,96	11,00	11,84	8,56	8,96	17,26	2,41	2,52	140	8,39	222
63				-0,2	20,00	1,12	5,10	1,12	11,00	19,09	1,11	1,12	24,51	-5,04	-5,10	140	20,36	222

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

n.º	DATOS n=i	DATOS k	DATOS C Mp/ml	DATOS tg α	b m	Tensiones principales kp/cm² Nivel B	Tensiones principales kp/cm² Agua abajo mín. vacío	Tensiones principales kp/cm² Agua abajo máx. carga	Base m	Tensiones en a base kp/cm² Carga Agua arriba	Carga Agua abajo	Carga Princ. agua abajo	Vacío Agua arriba	Vacío Agua abajo	Vacío Princ. agua abajo	Volumen de hormigón m³/ml	V/H	PRECIO 1000 fr/ml
64			0	/	4,09	1,57	1,43	5,55	16,71	1,54	4,24	5,55	3,23	1,83	2,40	176	186	264
65			250	0	4,81	13,36	5,52	13,36	14,00	1,54	8,09	9,93	4,28	4,50	5,52	152	2,91	232
66				- 0,1	9,85	12,05	4,81	12,05	12,41	1,54	8,66	10,52	5,27	3,96	4,81	135	3,15	207
67				- 0,3	19,17	13,02	2,68	13,02	9,32	1,54	11,05	12,85	9,00	2,31	2,68	120	4,17	184
68		0	500	0	4,89	24,77	9,48	24,77	13,08	1,54	12,39	14,30	4,80	8,21	9,48	146	4,12	228
69				- 0,1	12,12	19,44	8,95	19,44	10,98	1,54	14,16	15,80	6,59	8,02	8,95	127	5,26	198
70				- 0,3	20,00	9,63	- 0,10	9,63	9,00	9,02	9,33	9,63	17,12	- 0,10	- 0,10	120	14,67	188
71			750	0	4,92	36,16	13,67	36,16	12,63	1,54	16,75	18,71	5,11	12,23	13,67	144	5,36	228
72				- 0,1	13,74	25,92	13,76	25,92	10,28	1,54	19,95	21,34	7,43	12,86	13,76	124	8,27	198
73				- 0,3	20,00	6,37	- 3,10	6,37	9,00	17,31	6,35	6,37	26,41	- 3,09	- 3,10	120	46,45	192
74			0	/	5,46	2,00	1,51	5,61	16,68	1,54	4,29	5,61	3,24	1,88	2,45	178	1,88	267
75			250	0	8,82	11,07	5,61	11,07	14,00	1,54	8,18	10,01	4,27	4,59	5,61	154	2,94	236
76				- 0,1	14,95	11,00	5,16	11,00	12,48	1,54	8,92	10,74	5,22	4,29	5,16	143	3,26	219
77				- 0,3	20,00	8,70	1,82	8,70	11,00	3,81	7,73	8,70	8,84	1,62	1,82	140	4,46	214
78			500	0	9,94	18,29	9,58	18,29	13,09	1,54	12,48	14,39	4,79	8,31	9,58	149	4,16	232
79	0,3	0,1		- 0,1	19,47	16,26	9,50	16,26	11,12	1,54	14,53	16,13	6,43	8,56	9,50	140	5,47	218
80				- 0,3	20,00	5,06	- 1,20	5,06	11,00	10,94	4,94	5,06	15,96	- 1,17	- 1,20	140	15,33	218
81			750	0	10,62	25,02	13,77	25,02	12,64	1,54	16,85	18,81	5,10	12,34	13,77	147	5,39	232
82				- 0,1	20,00	18,40	11,89	18,40	11,00	3,49	17,28	18,40	8,51	11,16	11,89	140	8,55	222
83				- 0,3	20,00	2,16	- 3,97	2,16	11,00	18,07	2,16	2,16	23,09	- 3,96	- 3,97	140	48,05	222
84			0	/	7,69	2,66	1,77	5,70	16,65	1,54	4,39	5,70	3,25	1,96	2,55	181	1,92	271
85			250	0	15,21	10,15	5,88	10,20	14,06	1,54	8,41	10,20	4,25	4,85	5,88	162	3,04	248
86				- 0,1	20,00	10,31	5,32	10,31	13,00	1,90	8,75	10,31	5,22	4,52	5,32	160	3,47	244
87				- 0,3	20,00	5,63	1,02	5,63	13,00	5,34	5,17	5,63	8,65	0,93	1,02	160	4,73	244
88			500	0	18,93	14,81	9,95	14,81	13,19	1,54	12,78	14,65	4,73	8,68	9,95	160	4,29	248
89		0,2		- 0,1	20,00	10,64	6,03	10,64	13,00	4,71	9,78	10,64	8,02	5,54	6,03	160	5,70	248
90				- 0,3	20,00	2,65	- 1,65	2,65	13,00	11,57	2,61	2,65	14,88	- 1,63	- 1,65	160	16,00	248
91			750	0	20,00	17,94	13,23	17,94	13,00	2,21	16,16	17,94	5,52	11,93	13,23	160	5,54	252
92				- 0,1	20,00	11,37	6,91	11,37	13,00	7,51	10,80	11,37	10,82	6,57	6,91	160	8,83	252
93				- 0,3	20,00	0,05	- 4,19	0,05	13,00	17,81	0,05	0,05	21,12	- 4,19	- 4,19	160	40,66	252
94			0	/	4,16	1,54	1,53	5,51	17,75	1,57	4,45	5,51	2,71	2,40	2,98	189	2,08	284
95			250	0	3,80	12,90	6,68	12,90	15,31	1,57	8,86	9,95	2,69	5,95	6,68	171	3,20	261
96				- 0,2	13,57	10,61	5,29	10,61	13,08	1,57	8,77	10,15	4,55	4,56	5,29	146	3,92	223
97				- 0,4	20,00	9,91	3,05	9,91	11,00	2,78	8,97	9,91	7,54	2,76	3,05	140	5,50	214
98			500	0	3,78	24,44	10,15	24,44	15,04	1,57	12,26	13,49	2,85	9,22	10,15	170	4,45	263
99		0		- 0,2	17,91	15,84	9,21	15,84	11,52	1,57	14,18	15,23	5,78	8,58	9,21	141	8,26	219
100				- 0,4	20,00	6,04	- 0,24	6,04	11,00	9,96	5,98	6,04	14,72	- 0,24	- 0,24	140	51,95	218
101			750	0	3,77	35,99	13,52	35,99	14,98	1,57	15,41	16,88	3,12	12,34	13,52	170	5,69	267
102				- 0,2	20,00	19,13	12,69	19,13	11,00	2,48	18,45	19,13	7,24	12,24	12,69	140	21,15	222
103				- 0,4	20,00	2,98	- 3,23	2,98	11,00	17,14	2,98	2,98	21,90	- 3,23	- 3,23	140	11,23	222
104			0	/	5,69	2,00	1,60	5,56	17,75	1,57	4,50	5,56	2,71	2,46	3,04	191	2,11	287
105			250	0	6,85	10,50	6,19	10,50	16,12	1,57	7,82	9,23	3,15	5,24	6,19	178	3,25	271
106				- 0,2	18,79	10,40	5,79	10,40	13,33	1,57	9,08	10,40	4,39	5,05	5,79	160	4,13	244
107				- 0,4	20,00	6,60	2,02	6,60	13,00	4,54	6,14	6,60	7,57	1,88	2,02	160	5,93	244
108			500	0	7,08	18,39	9,64	18,39	15,53	1,57	11,28	12,85	3,35	8,47	9,64	174	4,48	269
109	0,4	0,1		- 0,2	20,00	11,42	6,90	11,42	13,00	3,91	10,77	11,42	6,94	6,51	6,90	160	8,63	248
110				- 0,4	20,00	3,47	- 0,81	3,47	13,00	10,77	3,46	3,47	13,80	- 0,81	- 0,81	160	58,53	248
111			750	0	7,19	26,17	13,18	26,17	15,23	1,57	14,77	16,47	3,47	11,82	13,18	173	5,72	271
112				- 0,2	20,00	12,07	7,69	12,07	13,00	6,71	11,74	12,07	9,74	7,48	7,69	160	21,83	252
113				- 0,4	20,00	0,77	- 3,50	0,77	13,00	17,00	0,77	0,77	20,03	- 3,50	- 3,50	160	11,61	252
114			0	/	8,36	2,76	2,13	5,65	17,78	1,57	4,59	5,65	2,71	2,56	3,14	195	2,15	292
115			250	0	13,49	9,15	6,35	9,36	16,18	1,57	7,96	9,36	3,14	5,40	6,35	184	3,32	279
116				- 0,2	20,00	7,92	4,52	7,92	15,00	2,97	7,13	7,92	4,96	4,07	4,52	180	4,38	274
117				- 0,4	20,00	4,62	1,41	4,62	15,00	5,49	4,40	4,62	7,48	1,35	1,41	180	6,27	274
118			500	0	15,91	13,53	9,83	13,53	15,59	1,57	11,44	13,00	3,33	8,65	9,83	181	4,56	280
119		0,2		- 0,2	20,00	7,75	4,55	7,75	15,00	5,94	7,42	7,75	7,94	4,36	4,55	180	8,97	278
120				- 0,4	20,00	1,98	- 1,08	1,98	15,00	10,99	1,98	1,98	12,98	- 1,08	- 1,08	180	65,10	278
121			750	0	17,68	17,27	13,38	17,27	15,29	1,57	14,95	16,64	3,45	12,03	13,38	180	5,81	283
122				- 0,2	20,00	7,87	4,75	7,87	15,00	8,92	7,71	7,87	10,91	4,65	4,75	180	22,51	282
123				- 0,4	20,00	- 0,45	- 3,52	- 0,45	15,00	16,49	- 0,45	- 0,45	18,48	- 3,51	- 3,52	180	11,99	282

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

$H = 40$ metros.

CUADRO VI

n.º	DATOS n=i	k	C Mp/ml	tg α	b m	Tensiones principales kp/cm² Nivel B	Agua abajo mín. vacío	Agua abajo máx. carga	Base m	Tensiones en a base kp/cm² Carga Agua arriba	Agua abajo	Princ. agua abajo	Vacío Agua arriba	Agua abajo	Princ. agua abajo	Volumen de hormigón m³/ml	V/H	PRECIO 1000 fr/ml
1	0	0	0	—	3,85	1,72	-0,45	10,44	31,32	3,00	6,44	10,44	9,52	-0,09	-0,14	616	1,33	924
2			250	0	9,63	21,50	-6,57	21,50	27,36	3,00	6,21	13,05	11,55	-2,34	-4,91	421	1,12	636
3			500	0	11,88	39,36	-10,99	39,36	21,78	3,00	8,67	18,48	16,49	-4,82	-10,27	321	1,23	490
4			750	0	13,48	56,87	-14,83	56,87	17,72	3,00	12,68	24,19	23,38	-7,70	-12,05	266	1,44	412
5		0,1	0	—	4,85	2,09	-0,49	10,45	31,30	3,00	6,42	10,45	9,53	-0,11	-0,19	614	1,33	921
6			250	0	13,99	18,46	-6,62	18,46	26,91	3,00	6,37	13,41	11,84	-2,47	-5,20	421	1,13	636
7			500	0	18,27	30,22	-11,03	30,22	21,29	3,00	9,09	19,05	17,12	-5,03	-10,54	328	1,26	500
8			750	0	21,54	40,46	-14,85	40,46	17,31	3,00	13,40	24,94	24,35	-7,96	-14,81	279	1,49	431
9		0,2	0	—	6,22	2,58	-0,53	10,47	31,24	3,00	6,40	10,47	9,56	-0,16	-0,26	612	1,32	918
10			250	0	18,47	16,53	-6,45	16,53	26,14	3,00	6,71	14,06	12,36	-2,66	-5,57	424	1,16	641
11			500	0	24,48	25,02	-10,68	25,02	20,52	3,00	9,94	20,00	18,20	-5,26	-10,58	345	1,32	526
12			750	0	29,11	31,92	-14,22	31,92	16,74	3,00	14,80	26,14	25,84	-8,05	-14,22	308	1,59	474
13	0,1	0	0	—	3,93	1,66	0,58	10,49	31,74	3,01	6,98	10,49	8,42	1,07	1,61	627	1,46	941
14			250	0	7,85	16,67	-0,74	16,67	27,62	3,01	7,56	13,06	10,33	-0,33	-0,57	471	1,37	711
15				-0,1	13,18	17,62	-3,61	17,62	26,68	3,01	7,11	13,10	10,89	-1,37	-2,53	426	1,29	643
16			500	0	9,06	29,58	-1,56	29,58	23,63	3,01	9,98	16,98	13,23	-0,92	-1,56	398	1,53	605
17				-0,1	17,43	29,08	-6,90	29,08	21,29	3,01	9,93	18,02	15,77	-3,58	-6,49	333	1,46	508
18			750	0	9,80	41,99	-1,55	41,99	20,80	3,01	13,20	20,99	16,42	-0,97	-1,55	357	1,76	547
19				-0,1	20,67	39,08	-9,83	39,08	17,49	3,01	14,24	23,30	22,31	5,98	-9,79	284	1,76	439
20		0,1	0	—	5,04	2,05	0,63	10,51	31,69	3,01	6,98	10,51	8,44	1,05	1,58	626	1,46	939
21			250	0	12,47	14,51	-0,71	14,51	27,39	3,01	7,69	13,26	10,46	-0,34	-0,59	473	1,38	714
22				-0,1	17,44	15,58	-3,27	15,58	26,16	3,01	7,43	13,57	11,23	-1,41	-2,57	432	1,32	652
23			500	0	15,84	23,09	-1,49	23,09	23,41	3,01	10,22	17,26	13,43	-0,88	-1,49	404	1,55	614
24				-0,1	23,39	23,72	-6,26	23,72	20,81	3,01	10,65	18,74	16,40	-3,51	-6,17	352	1,53	536
25			750	0	18,37	30,44	-1,38	30,44	20,62	3,01	13,55	21,33	16,66	-0,88	-1,38	366	1,79	561
26				-0,1	27,98	30,34	-8,87	30,34	17,17	3,01	15,38	24,24	23,08	-5,62	-8,87	313	1,86	482
27		0,2	0	—	6,64	2,57	0,70	10,56	31,60	3,01	6,99	10,56	8,47	1,02	1,54	625	1,45	937
28			250	0	17,58	13,44	-0,59	13,66	26,96	3,01	7,98	13,66	10,72	-0,32	-0,56	480	1,41	724
29				-0,1	22,09	14,69	-2,67	14,69	25,49	3,01	7,97	14,25	11,71	-1,36	-2,42	446	1,37	673
30			500	0	23,00	19,88	-1,18	19,88	23,01	3,01	10,80	17,85	13,82	-0,71	-1,18	420	1,61	639
31				-0,1	29,67	21,37	-5,12	21,37	20,34	3,01	11,77	19,64	17,06	-3,07	-5,12	386	1,65	587
32			750	0	27,16	25,05	-0,73	25,05	20,32	3,01	14,39	22,06	17,09	-0,48	-0,73	391	1,87	598
33				-0,1	35,51	26,63	-6,53	26,63	17,03	3,01	16,97	25,28	23,43	-4,39	-6,53	364	2,04	559
34	0,2	0	0	—	4,01	1,61	1,26	10,51	32,61	3,04	7,51	10,51	7,33	2,23	3,13	650	1,61	975
35			250	0	6,18	14,43	2,60	14,43	29,03	3,04	8,58	12,86	8,73	1,78	2,67	532	1,63	802
36				-0,1	11,58	14,04	1,09	14,04	27,90	3,04	8,25	12,88	9,29	0,85	1,32	486	1,56	733
37				-0,2	16,34	14,79	-0,99	14,79	26,65	3,04	8,01	13,08	10,01	-0,16	-0,27	445	1,49	671
38			500	0	6,62	26,03	3,39	26,03	26,20	3,04	10,78	15,86	10,29	2,30	3,39	479	1,83	727
39				-0,1	14,90	22,55	0,74	22,55	23,94	3,04	10,76	16,45	11,98	0,48	0,74	414	1,78	630
40				-0,2	22,18	22,67	-3,10	22,67	21,43	3,04	11,13	17,58	14,54	-1,87	-2,95	362	1,76	551
41			750	0	6,83	37,44	4,71	37,44	24,20	3,04	13,38	18,88	11,76	3,34	4,71	448	2,08	685
42				-0,1	17,38	29,84	0,94	29,84	21,15	3,04	14,03	20,15	14,90	0,66	0,94	374	2,10	574
43				-0,2	26,68	29,07	-5,03	29,07	17,84	3,04	15,62	22,49	20,36	-3,49	-5,03	321	2,20	493
44		0,1	0	—	5,25	2,02	1,36	10,54	32,56	3,04	7,52	10,54	7,35	2,23	3,12	650	1,61	975
45			250	0	10,75	12,32	2,66	12,96	28,92	3,04	8,66	12,96	8,78	1,81	2,71	534	1,64	800
46				-0,1	16,28	12,78	1,31	13,18	27,64	3,04	8,49	13,18	9,44	0,94	1,45	494	1,59	745
47				-0,2	20,62	13,79	-0,33	13,79	26,24	3,04	8,46	13,58	10,26	0,01	0,02	460	1,55	694
48			500	0	13,04	19,68	3,47	19,68	26,12	3,04	10,90	15,99	10,35	2,37	3,47	483	1,84	733
49				-0,1	21,57	19,05	1,12	19,05	23,72	3,04	11,22	16,89	12,17	0,74	1,12	431	1,84	655
50				-0,2	28,01	20,18	-1,93	20,18	21,21	3,04	12,01	18,29	14,81	-1,27	-1,93	394	1,88	600
51			750	0	14,67	26,13	4,82	26,13	24,14	3,04	13,53	19,03	11,81	3,43	4,82	454	2,10	693
52				-0,1	25,64	24,09	1,61	24,09	21,02	3,04	14,69	20,71	15,06	1,14	1,61	399	2,19	610
53				-0,2	33,71	25,21	-2,99	25,21	17,88	3,04	16,87	23,35	20,28	-2,16	-2,99	369	2,37	565
54		0,2	0	—	7,13	2,60	1,51	10,60	32,47	3,04	7,55	10,60	7,38	2,23	3,12	650	1,61	975
55			250	0	16,53	11,50	2,83	13,22	28,70	3,04	8,88	13,22	8,89	1,92	2,85	542	1,67	817
56				-0,1	21,62	12,51	1,76	13,64	27,30	3,04	8,93	13,64	9,63	1,17	1,78	510	1,64	770
57				-0,2	25,69	13,60	0,57	14,19	25,87	3,04	9,11	14,19	10,51	0,40	0,63	486	1,64	733
58			500	0	21,20	16,82	3,77	16,82	25,93	3,04	11,27	16,35	10,47	2,60	3,77	498	1,89	755
59				-0,1	28,80	17,88	1,97	17,88	23,54	3,04	12,00	17,52	12,33	1,35	1,97	464	1,95	704
60				-0,2	34,75	19,32	-0,13	19,32	21,25	3,04	13,15	19,01	14,77	-0,09	-0,13	446	2,05	677
61			750	0	24,78	21,10	5,28	21,20	24,01	3,04	14,02	19,47	11,92	3,80	5,28	474	2,16	723
62				-0,1	34,34	22,09	3,04	22,09	21,05	3,04	15,73	21,46	15,02	2,23	3,04	446	2,34	681
63				-0,2	40,00	21,36	-0,63	21,36	19,00	4,26	16,27	21,36	19,33	-0,48	-0,63	440	2,61	672

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

$H = 40$ metros. CUADRO VI (*continuación*)

n.º	DATOS n = i	k	C Mp/ml	tg α	b m	Tensiones principales kp/cm² Nivel B	Agua abajo mín. vacío	Agua abajo máx. carga	Base m	Tensiones en a base kp/cm² Carga Agua arriba	Agua abajo	Princ. agua abajo	Vacío Agua arriba	Agua abajo	Princ. agua abajo	Volumen de hormigón m³/ml	V/H	PRECIO 1000 fr/ml
64			0	—	4,09	1,57	1,43	10,51	33,95	3,08	7,98	10,51	6,31	3,34	4,40	683	1,79	1024
65				0	4,81	13,36	4,74	13,36	31,16	3,08	9,30	12,61	7,19	3,66	4,96	600	1,90	904
66			250	- 0,1	9,85	12,05	3,76	12,60	29,95	3,08	9,05	12,60	7,66	2,88	4,00	553	1,83	834
67				- 0,3	19,17	13,02	1,23	13,02	27,30	3,08	8,82	12,99	8,92	1,22	1,79	477	1,74	720
68				0	4,89	24,77	6,28	24,77	29,22	3,08	11,24	15,00	7,97	4,71	6,28	563	2,13	853
69		0	500	- 0,1	12,12	19,44	4,71	19,44	27,02	3,08	11,23	15,34	9,09	3,45	4,71	498	2,10	755
70				- 0,3	26,35	19,18	0,24	19,18	22,27	3,08	12,11	17,10	12,84	0,19	0,27	406	2,14	617
71				0	4,92	36,16	7,93	36,16	27,84	3,08	13,37	17,40	8,64	6,09	7,93	541	2,40	824
72			750	- 0,1	13,74	25,92	5,98	25,92	24,86	3,08	13,92	18,24	10,42	4,56	5,98	465	2,45	710
73				- 0,3	31,88	24,03	- 0,61	24,03	18,86	3,08	16,60	21,64	17,61	0,47	- 0,61	375	2,78	574
74			0	—	5,46	2,00	1,51	10,54	33,90	3,08	8,01	10,54	6,32	3,15	4,42	683	1,79	1025
75				0	8,82	11,07	4,80	12,66	31,12	3,08	9,35	12,66	7,20	3,69	5,00	602	1,90	907
76			250	- 0,1	14,95	11,00	3,97	12,79	29,83	3,08	9,22	12,79	7,70	3,00	4,15	561	1,86	846
77				- 0,3	23,64	12,71	2,11	13,46	27,13	3,08	9,33	13,46	9,02	1,63	2,35	502	1,83	758
78				0	9,94	18,29	6,33	18,29	29,19	3,08	11,29	15,06	7,98	4,75	6,33	566	2,14	857
79	0,3	0,1	500	- 0,1	19,47	16,26	4,99	16,26	26,94	3,08	11,51	15,61	9,13	3,68	4,99	512	2,15	776
80				- 0,3	32,35	18,18	1,74	18,18	22,44	3,08	12,99	17,71	12,66	1,28	1,74	453	2,31	687
81				0	10,62	25,02	7,98	25,02	27,82	3,08	13,43	17,46	8,65	6,14	7,98	544	2,41	829
82			750	- 0,1	22,92	20,49	6,34	20,49	24,92	3,08	14,17	18,48	10,46	4,86	6,34	485	2,51	739
83				- 0,3	39,06	22,44	2,00	22,44	19,38	3,08	17,69	22,29	16,71	1,59	2,00	440	3,04	673
84			0	—	7,69	2,66	1,77	10,60	33,83	3,08	8,05	10,60	6,34	3,38	4,45	685	1,80	1027
85				0	15,21	10,15	4,98	12,83	31,02	3,08	9,50	12,83	7,24	3,80	5,13	609	1,93	918
86			250	- 0,1	21,07	11,05	4,39	13,12	29,70	3,08	9,56	13,12	7,76	3,27	4,48	579	1,92	872
87				- 0,3	29,40	13,03	3,19	13,99	27,14	3,08	10,02	13,99	9,02	2,31	3,23	541	1,95	816
88				0	18,93	14,81	6,54	15,28	29,12	3,08	11,51	15,28	8,01	4,93	6,54	577	2,18	874
89		0,2	500	- 0,1	27,27	15,60	5,63	16,07	26,93	3,08	12,06	16,07	9,13	4,23	5,63	542	2,25	822
90				- 0,3	39,94	18,24	3,80	18,24	23,02	3,08	13,99	18,24	12,08	2,92	3,80	520	2,54	792
91				0	21,74	18,62	8,26	18,62	27,78	3,08	13,70	17,71	8,67	6,38	8,26	559	2,46	850
92			750	- 0,1	32,96	19,16	7,28	19,16	25,06	3,08	14,89	19,04	10,36	5,69	7,28	527	2,65	803
93				- 0,3	40,00	14,63	1,39	14,63	23,00	6,91	12,26	14,63	15,92	1,16	1,39	520	3,29	792
94			0	—	4,16	1,54	1,53	10,48	35,71	3,14	8,38	10,48	5,38	4,35	5,44	723	1,98	1085
95				0	3,80	12,90	6,53	13,56	31,93	3,14	10,96	13,56	5,50	5,68	7,03	639	2,10	963
96			250	- 0,2	13,57	10,61	4,63	12,39	31,22	3,14	9,46	12,39	6,65	3,90	5,10	584	2,07	881
97				- 0,4	21,77	11,94	3,03	12,83	28,59	3,14	9,47	12,83	7,74	2,63	3,56	522	2,03	787
98				0	3,78	24,44	8,66	24,44	30,99	3,14	12,81	15,54	5,77	7,15	8,67	626	2,39	947
99		0	500	- 0,2	17,91	15,84	5,83	15,84	28,15	3,14	11,63	14,94	7,96	4,54	5,83	529	2,44	801
100				- 0,4	30,12	17,20	3,00	17,20	23,75	3,14	12,78	16,58	10,91	2,31	3,00	462	2,61	702
101				0	3,77	35,99	10,16	35,99	30,75	3,14	14,19	17,11	6,17	8,42	10,16	622	2,70	946
102			750	- 0,2	21,23	20,04	6,99	20,04	25,99	3,14	14,17	17,56	9,20	5,64	6,99	498	2,93	759
103				- 0,4	36,55	21,29	3,08	21,29	24,50	3,14	17,09	20,72	14,56	2,54	3,08	443	3,55	676
104			0	—	5,69	2,00	1,60	10,52	35,68	3,14	8,41	10,52	5,38	4,37	5,47	725	1,99	1088
105				0	6,85	10,50	5,97	12,39	33,78	3,14	9,82	12,39	5,86	5,20	6,56	674	2,18	1015
106			250	- 0,2	18,79	10,40	5,02	12,63	31,20	3,14	9,72	12,63	6,66	4,14	5,38	600	2,12	905
107				- 0,4	26,59	12,08	4,01	13,25	28,71	3,14	10,00	13,25	7,69	3,22	4,27	557	2,15	839
108				0	7,08	18,39	8,04	18,39	32,52	3,14	11,51	14,37	6,22	6,46	8,06	651	2,44	984
109	0,4	0,1	500	- 0,2	25,14	14,84	6,36	15,29	28,24	3,14	12,05	15,29	7,91	5,01	6,36	556	2,53	842
110				- 0,4	36,55	17,05	4,62	17,07	24,34	3,14	13,57	17,07	10,41	3,67	4,62	522	2,83	792
111				0	7,19	26,17	9,70	26,17	31,63	3,14	13,28	16,36	6,51	7,89	9,70	636	2,73	967
112			750	- 0,2	30,03	18,31	7,76	18,31	26,20	3,14	14,72	18,01	9,07	6,34	7,76	535	3,06	815
113				- 0,4	40,00	16,68	3,55	16,68	23,00	5,35	14,29	16,68	13,82	3,04	3,55	520	3,85	792
114			0	—	8,36	2,76	2,13	10,58	35,65	3,14	8,47	10,58	5,39	4,42	5,52	728	2,00	1093
115				0	13,49	9,15	6,11	12,48	33,75	3,14	9,91	12,48	5,86	5,29	6,66	680	2,20	1024
116			250	- 0,2	25,57	11,02	5,64	12,99	31,28	3,14	10,13	12,99	6,63	4,59	5,88	629	2,22	948
117				- 0,4	33,33	12,87	5,17	13,70	29,11	3,14	10,65	13,70	7,50	4,09	5,26	607	2,31	915
118				0	15,91	13,53	8,16	14,48	32,51	3,14	11,62	14,48	6,22	6,57	8,18	658	2,46	995
119		0,2	500	- 0,2	14,15	15,28	7,26	15,77	28,59	3,14	12,68	15,77	7,74	5,83	7,26	605	2,69	915
120				- 0,4	40,00	13,99	4,64	13,99	27,00	4,75	11,70	13,99	10,19	3,88	4,64	600	3,08	908
121				0	17,68	17,27	9,84	17,27	31,63	3,14	13,41	16,46	6,51	8,02	9,84	645	2,75	979
122			750	- 0,2	40,00	18,10	8,75	18,10	27,00	3,36	15,12	18,10	8,80	7,31	8,75	600	3,29	912
123				- 0,4	40,00	11,29	2,56	11,29	27,00	8,05	10,10	11,29	13,49	2,29	2,56	600	4,12	912

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

$H = 60$ metros.

CUADRO VII

n.º	DATOS				b	Tensiones principales kp/cm²			Base	Tensiones en a base kp/cm²						Volumen de hormigón	V	PRECIO
										Carga			Vacío					
	n = i	k	C Mp/ml	tg α	m	Nivel B	Agua abajo mín. vacío	Agua abajo máx. carga	m	Agua arriba	Agua abajo	Princ. agua abajo	Agua arriba	Agua abajo	Princ. agua abajo	m³/ml	H	1000 fr/ml
1	0	0	0	—	3,85	1,72	-0,45	15,73	46,96	4,50	9,80	15,73	14,29	0,01	0,01	1400	1,35	2098
2			250	0	9,63	21,50	- 6,58	21,50	46,78	4,50	8,55	15,45	14,37	-1,32	-2,39	1168	1,18	1756
3			500	0	11,88	39,36	-10,99	39,36	43,36	4,50	8,59	17,76	15,99	-2,90	-5,99	974	1,10	1470
4			750	0	13,48	56,87	-14,83	56,87	39,24	4,50	9,49	21,16	18,53	-4,54	-10,12	831	1,09	1259
5		0,1	0	—	4,85	2,09	-0,48	15,71	46,98	4,50	9,78	15,71	14,29	-0,01	-0,01	1397	1,35	2096
6			250	0	13,99	18,46	- 6,62	18,46	46,52	4,50	8,55	15,61	14,48	-1,43	-2,62	1160	1,17	1745
7			500	0	18,27	30,22	11,03	30,22	42,85	4,50	8,70	18,15	16,26	-3,07	-6,40	970	1,10	1463
8			750	0	21,54	40,46	-14,86	40,46	38,59	4,50	9,74	21,74	19,01	-4,77	-10,65	832	1,10	1260
9		0,2	0	—	6,22	2,58	-0,53	15,69	47,00	4,50	9,75	15,69	14,28	-0,03	-0,06	1395	1,34	2092
10			250	0	18,47	16,53	- 6,45	16,53	45,97	4,50	8,59	15,96	14,72	-1,63	-3,02	1150	1,17	1729
11			500	0	24,48	25,02	-10,68	25,02	41,83	4,50	8,99	18,94	16,85	-3,36	-7,07	967	1,11	1459
12			750	0	29,11	31,92	-14,29	31,92	37,34	4,50	10,34	22,87	20,00	-5,16	-11,41	842	1,13	1275
13	0,1	0	0	—	3,93	1,66	0,58	15,68	47,80	4,51	10,53	15,68	12,56	1,73	2,58	1423	1,47	2135
14			250	0	7,85	16,67	0,74	16,67	46,11	4,51	9,95	16,20	13,21	0,47	0,76	1210	1,35	1820
15				- 0,1	13,18	17,62	-3,61	17,62	46,09	4,51	9,39	15,71	13,22	-0,10	-0,16	1157	1,29	1739
16			500	0	9,06	29,58	-1,63	29,58	42,93	4,51	10,54	18,30	14,67	-0,46	-0,80	1063	1,32	1603
17				- 0,1	17,43	29,08	- 6,90	29,08	42,07	4,51	9,73	18,01	15,13	-1,73	-3,21	967	1,24	1458
18			750	0	9,80	41,99	-2,37	41,99	39,78	4,51	11,73	20,88	16,49	-1,15	-2,05	959	1,36	1450
19				- 0,1	20,67	39,08	- 9,83	39,08	37,87	4,51	10,93	21,16	17,83	-3,34	-6,46	832	1,26	1261
20		0,1	0	—	5,04	2,05	0,63	15,68	47,79	4,51	10,52	15,68	12,56	1,72	2,56	1421	147	2132
21			250	0	12,47	14,51	-0,71	16,31	45,93	4,51	9,98	16,31	13,29	0,43	0,69	1208	1,34	1816
22				- 0,1	17,44	15,58	-3,27	16,00	45,64	4,51	9,49	16,00	13,41	-0,20	-0,33	1153	1,29	1733
23			500	0	15,84	23,09	-1,61	23,09	42,67	4,51	10,64	18,51	14,81	-0,50	-0,87	1064	1,33	1604
24				- 0,1	23,39	23,72	- 6,26	23,72	41,32	4,51	10,05	18,62	15,55	-1,86	-3,44	972	1,25	1466
25			750	0	18,37	30,44	-2,36	30,44	39,49	4,51	11,90	21,15	16,68	-1,18	-2,10	963	137	1456
26				- 0,1	27,98	30,34	- 8,90	30,34	37,00	4,51	11,50	22,01	18,50	-3,46	-6,62	849	1,29	1285
27		0,2	0	—	6,64	2,57	0,70	15,68	47,75	4,51	10,50	15,68	12,57	1,69	2,52	1419	1,47	2128
28			250	0	17,58	13,44	-0,59	16,58	45,53	4,51	10,09	16,58	13,46	0,35	0,58	1206	1,35	1813
29				- 0,1	22,09	14,69	-2,67	16,49	44,91	4,51	9,70	16,50	13,73	-0,31	-0,53	1152	1,30	1732
30			500	0	23,00	19,88	-1,47	19,88	42,07	4,51	10,92	19,00	15,13	-0,55	-0,95	1070	1,34	1613
31				- 0,1	29,67	21,37	- 5,16	21,37	40,24	4,51	10,64	19,56	16,20	-1,93	-3,55	988	1,29	1491
32			750	0	27,16	25,05	-2,20	25,05	38,82	4,51	12,36	21,81	17,13	-1,18	-2,09	978	1,39	1479
33				- 0,1	35,31	26,63	- 7,30	26,63	35,88	4,51	12,50	23,22	19,46	-3,44	-6,39	886	1,36	1341
34	0,2	0	0	—	4,01	1,61	1,26	15,64	49,19	4,56	11,23	15,64	10,92	3,41	4,75	1468	1,62	2202
35			250	0	6,18	14,42	2,60	16,54	47,02	4,56	11,24	16,54	11,66	2,61	3,84	1293	1,55	1943
36				- 0,1	11,58	14,04	1,09	16,20	46,58	4,56	10,75	16,20	11,82	1,94	2,93	1232	1,49	1852
37				- 0,2	16,34	14,79	-0,99	15,92	46,09	4,56	10,29	15,92	12,01	1,28	1,98	1174	1,43	1765
38			500	0	6,62	26,03	3,19	26,03	44,44	4,56	12,11	18,34	12,69	2,35	3,56	1185	1,57	1785
39				- 0,1	14,90	22,55	0,72	22,55	43,13	4,56	11,48	18,15	13,29	1,08	1,70	1084	1,49	1634
40				- 0,2	22,18	22,67	-3,10	22,67	41,63	4,56	10,95	18,19	14,06	-0,28	-0,47	991	1,41	1494
41			750	0	6,83	37,44	3,62	37,44	42,13	4,56	13,35	20,35	13,80	2,40	3,66	1109	1,63	1676
42				- 0,1	17,38	29,84	0,38	29,84	39,93	4,56	12,78	20,50	15,04	0,49	0,79	981	1,55	1484
43				- 0,2	26,68	29,07	- 5,03	29,07	37,40	4,56	12,43	21,11	16,76	-1,70	-2,89	867	1,48	1313
44		0,1	0	—	5,25	2,02	1,36	15,65	49,15	4,56	11,23	15,65	10,93	3,40	4,74	1467	1,62	2200
45			250	0	10,75	12,32	2,66	16,61	46,91	4,56	11,27	16,61	11,69	2,60	3,83	1293	1,55	1944
46				- 0,1	15,28	12,78	1,31	16,41	46,30	4,56	10,87	16,41	11,93	1,94	2,93	1234	1,50	1855
47				- 0,2	20,62	13,79	-0,33	16,30	45,58	4,56	10,52	16,30	12,21	1,28	1,99	1179	1,45	1773
48			500	0	13,04	19,68	3,24	19,68	44,33	4,56	12,17	18,44	12,74	2,37	3,58	1187	1,57	1788
49				- 0,1	21,57	19,05	1,02	19,05	42,74	4,56	11,74	18,52	13,49	1,13	1,78	1094	1,51	1649
50				- 0,2	28,01	20,18	-1,93	20,18	40,93	4,56	11,48	18,89	14,45	-0,17	-0,28	1013	1,45	1528
51			750	0	14,67	26,13	3,67	26,13	42,02	4,56	13,44	20,46	13,85	2,43	3,70	1113	1,64	1681
52				- 0,1	25,64	24,09	0,75	24,09	39,51	4,56	13,19	20,99	15,30	0,62	0,99	1000	1,58	1512
53				- 0,2	33,71	25,21	-3,37	25,21	36,71	4,56	13,28	22,02	17,30	-1,42	-2,36	908	1,54	1375
54		0,2	0	—	7,13	2,60	1,51	15,68	4,91	4,56	11,24	15,68	10,94	3,38	4,72	1466	1,61	2199
55			250	0	16,35	11,50	2,83	16,80	46,67	4,56	11,39	16,80	11,79	2,61	3,86	1296	1,55	1948
56				- 0,1	21,62	12,51	1,76	16,78	45,83	4,56	11,11	16,78	12,11	1,98	3,00	1242	1,51	1867
57				- 0,2	25,69	13,60	0,57	16,86	44,92	4,56	10,90	16,86	12,48	1,37	2,12	1194	1,48	1796
58			500	0	21,20	16,82	3,43	18,73	44,02	4,56	12,39	18,73	12,88	2,43	3,68	1196	1,59	1802
59				- 0,1	28,80	17,88	1,63	19,14	42,15	4,56	12,25	19,14	13,79	1,31	2,05	1118	1,55	1686
60				- 0,2	34,75	19,32	-0,43	19,80	40,17	4,56	12,30	19,80	14,90	0,17	0,27	1056	1,52	1593
61			750	0	24,78	21,10	3,87	21,10	41,69	4,56	13,75	20,84	14,03	2,56	3,88	1128	1,66	1704
62				- 0,1	34,34	22,09	1,50	22,09	38,95	4,56	13,95	21,79	15,67	0,99	1,55	1041	1,64	1573
63				- 0,2	41,73	23,77	-1,31	23,77	36,12	4,56	14,51	23,10	17,79	-0,72	-1,14	978	1,65	1480

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

$H = 60$ metros. CUADRO VII (*continuación*)

n.º	DATOS				b	Tensiones principales kp/cm²			Base	Tensiones en a base kp/cm²						Volumen de hormigón	V/H	PRECIO
										Carga			Vacío					
	n = i	k	C Mp/ml	tg α	m	Nivel B	Agua abajo mín. vacío	Agua abajo máx. carga	m	Agua arriba	Agua abajo	Princ. agua abajo	Agua arriba	Agua abajo	Princ. agua abajo	m³/ml		1000 fr/ml
64			0	—	4,09	1,57	1,43	15,60	51,17	4,62	11,88	15,60	9,40	4,99	6,95	1483	1,78	2301
65				0	4,81	13,36	4,74	16,65	49,12	4,62	12,30	16,65	9,98	4,74	6,42	1403	1,77	2108
66			250	- 0,1	9,85	12,05	3,76	16,39	48,42	4,62	11,89	16,39	10,20	4,08	5,63	1337	1,71	2011
67				- 0,3	19,17	13,02	1,23	16,06	46,89	4,62	11,19	16,06	10,73	2,78	4,00	1220	1,61	1835
68				0	4,89	24,77	6,24	24,77	47,21	4,62	13,27	18,17	10,61	4,99	6,84	1327	1,83	1998
69		0	500	- 0,1	12,12	19,44	4,68	19,44	45,85	4,62	12,79	18,02	11,19	3,86	5,44	1224	1,76	1844
70				- 0,3	26,35	19,18	0,24	19,18	42,18	4,62	12,13	18,25	12,74	1,45	2,19	1048	1,63	1580
71				0	4,92	36,16	7,39	36,16	45,58	4,62	14,45	19,79	11,22	5,49	7,51	1274	1,91	1923
72			750	- 0,1	13,74	25,92	5,41	25,92	43,12	4,62	14,13	19,96	12,21	3,97	5,61	1142	1,84	1725
73				- 0,3	31,88	24,03	- 0,72	24,03	38,01	4,62	13,83	20,94	15,24	0,38	0,57	938	1,75	1419
74			0	—	5,46	2,00	1,51	15,62	51,13	4,62	11,89	15,62	9,41	4,99	6,56	1534	1,78	2301
75				0	8,82	11,07	4,80	16,69	49,08	4,62	12,33	16,69	10,00	4,75	6,43	1404	1,77	2110
76			250	- 0,1	14,95	11,00	3,97	16,53	48,27	4,62	11,99	16,53	10,25	4,13	5,69	1343	1,72	2018
77				- 0,3	23,64	12,71	2,11	16,48	46,49	4,62	11,52	16,48	10,87	2,95	4,22	1239	1,64	1863
78				0	9,94	18,29	6,29	18,29	47,16	4,62	13,30	18,21	10,63	5,01	6,86	1328	1,83	2001
79	0,3	0,1	500	- 0,1	19,47	16,26	4,92	18,24	45,47	4,62	12,97	18,24	11,26	3,96	5,57	1235	1,77	1860
80				- 0,3	32,35	18,18	1,70	18,94	41,76	4,62	12,80	12,94	12,95	1,88	2,79	1092	1,70	1646
81				0	10,62	25,02	7,43	25,02	45,54	4,62	14,49	19,83	11,23	5,51	7,54	1276	1,92	1926
82			750	- 0,1	22,92	20,49	5,65	20,49	43,07	4,62	14,30	20,13	12,30	4,11	5,79	1162	1,87	1755
83				- 0,3	39,06	22,44	1,26	22,44	37,75	4,62	14,82	21,80	15,42	1,16	1,71	1006	1,85	1521
84			0	—	7,69	2,66	1,77	15,66	51,07	4,62	11,91	15,66	9,42	5,00	6,57	1534	1,78	2301
85				0	15,21	10,15	4,98	16,81	48,95	4,62	12,42	16,81	10,04	4,80	6,50	1409	1,78	2117
86			250	- 0,1	21,07	11,05	4,39	16,81	48,02	4,62	12,21	16,81	10,34	4,25	5,85	1356	1,74	2038
87				- 0,3	29,40	13,03	3,19	17,04	46,07	4,62	12,02	17,04	11,03	3,27	4,64	1273	1,69	1913
88				0	18,93	14,81	6,47	18,39	47,03	4,62	13,45	18,39	10,68	5,10	6,97	1337	1,84	2014
89		0,2	500	- 0,1	27,78	15,60	5,47	18,67	45,20	4,62	13,37	18,67	11,37	4,24	5,91	1262	1,81	1901
90				- 0,3	39,94	18,24	3,39	19,75	41,50	4,62	13,71	19,75	13,09	2,65	3,81	1162	1,81	1751
91				0	21,74	18,62	7,61	20,04	45,41	4,62	14,68	20,04	11,29	5,64	7,70	1288	1,94	1945
92			750	- 0,1	32,96	19,16	6,28	20,68	42,84	4,62	14,86	20,68	12,41	4,55	6,33	1203	1,93	1816
93				- 0,3	48,06	22,28	3,48	22,69	37,85	4,62	16,07	22,69	15,35	2,48	3,51	1108	2,01	1674
94			0	—	4,16	1,54	1,53	15,54	53,72	4,71	12,43	15,54	8,03	6,43	8,04	1618	1,97	2427
95				0	3,80	12,90	6,53	17,70	50,11	4,71	13,91	17,70	8,16	6,81	8,66	1459	1,93	2192
96			250	- 0,2	13,57	10,61	4,63	16,27	50,36	4,71	12,47	16,27	8,87	5,45	7,11	1400	1,90	2105
97				- 0,4	21,77	11,94	3,03	16,13	48,51	4,71	12,01	16,13	9,42	4,33	5,82	1293	1,82	1944
98				0	3,78	24,44	8,66	24,44	48,87	4,71	15,13	19,15	8,43	7,58	9,60	1422	2,04	2142
99		0	500	- 0,2	17,91	15,84	5,83	17,77	47,37	4,71	13,40	17,77	9,79	5,27	6,99	1283	1,97	1932
100				- 0,4	30,12	17,20	3,00	18,19	43,71	4,71	13,15	18,19	11,23	3,33	4,61	1135	1,89	1710
101				0	3,77	35,99	10,04	35,99	48,53	4,71	15,93	20,12	8,81	8,26	10,43	1413	2,17	2132
102			750	- 0,2	21,23	20,04	6,73	20,04	44,84	4,71	14,67	19,46	10,75	5,41	7,18	1203	2,09	1817
103				- 0,4	36,55	21,29	2,83	21,29	39,66	4,71	14,98	20,66	13,77	2,69	3,70	1039	2,07	1571
104			0	—	5,69	2,00	1,60	15,57	53,70	4,71	12,45	15,57	8,03	6,44	8,05	1619	1,97	2428
105				0	6,85	10,50	5,97	16,66	52,11	4,71	13,13	16,66	8,41	6,67	8,46	1533	2,01	2303
106			250	- 0,2	18,79	10,40	5,02	16,47	50,24	4,71	12,65	16,47	8,90	5,59	7,28	1415	1,92	2126
107				- 0,4	26,59	12,08	4,01	16,55	48,33	4,71	12,40	16,55	9,48	4,66	6,21	1327	1,87	1995
108				0	7,08	18,39	8,04	18,39	50,81	4,71	14,11	17,96	8,74	7,24	9,21	1483	2,10	2233
109	0,4	0,1	500	- 0,2	25,14	14,84	6,35	18,09	47,26	4,71	13,72	18,09	9,83	5,54	7,31	1310	2,01	1973
110				- 0,4	36,55	17,05	4,56	18,83	43,69	4,71	13,88	18,83	11,24	4,05	5,49	1200	1,99	1808
111				0	7,19	26,17	9,62	26,17	49,73	4,71	15,19	19,30	9,05	7,95	10,11	1449	2,20	2186
112			750	- 0,2	30,03	18,31	7,35	19,87	44,78	4,71	15,10	19,87	10,77	5,83	7,66	1242	2,15	1875
113				- 0,4	44,22	20,89	4,91	21,40	39,94	4,71	15,97	21,40	13,20	3,87	5,18	1133	2,21	1711
114			0	—	8,36	2,76	2,13	15,61	53,65	4,71	12,48	15,61	8,04	6,46	8,08	1621	1,97	2432
115				0	13,49	9,15	6,11	16,73	52,06	4,71	13,20	16,73	8,42	6,72	8,52	1538	2,02	2311
116			250	- 0,2	25,57	11,02	5,64	16,80	50,11	4,71	12,97	16,80	8,94	5,86	7,59	1443	1,96	2169
117				- 0,4	33,33	12,87	5,17	17,07	48,25	4,71	12,96	17,07	9,50	5,18	6,82	1380	1,94	2074
118				0	15,91	13,53	8,16	18,05	50,76	4,71	14,19	18,05	8,76	7,30	9,29	1490	2,11	2243
119		0,2	500	- 0,2	34,15	15,28	7,21	18,59	47,23	4,71	14,25	18,59	9,84	6,06	7,91	1361	2,08	2050
120				- 0,4	45,40	17,83	6,32	19,53	44,00	4,71	14,79	19,53	11,10	5,12	6,76	1295	2,13	1952
121				0	17,68	17,27	9,74	19,40	49,69	4,71	15,28	19,40	9,06	8,03	10,20	1457	2,21	2197
122			750	- 0,2	40,78	18,59	8,40	20,48	44,91	4,71	15,82	20,48	10,72	6,60	8,55	1314	2,25	1983
123				- 0,4	54,70	21,67	7,16	22,13	40,74	4,71	17,12	22,13	12,73	5,56	7,18	1265	2,41	1909

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

F. Análisis de la estabilidad al deslizamiento.

La expresión de la condición global de estabilidad al deslizamiento es:

$$\frac{V \cdot f}{H} > \text{seguridad al deslizamiento, o}$$

$$\frac{V}{H} > \frac{\text{seguridad al deslizamiento}}{f}$$

Esta condición es uno de los factores fundamentales que condicionan la elección del perfil de una presa.

Siempre es interesante, por consiguiente, conseguir que los valores de $\frac{V}{H}$ sean lo más elevados posible, con el fin de que el perfil correspondiente pueda ser utilizado aun en aquellos casos en que las condiciones del terreno sean poco favorables.

A este respecto resulta oportuno señalar la conveniencia de que la inclinación del esfuerzo de pretensado se dirija hacia el paramento de agua arriba.

En efecto, de la expresión:

$$C \cdot \cos \alpha + \text{superficie total } x\ 2{,}4 + \frac{\omega}{2} [i \cdot b^2 + (2\,b + y)\, n \cdot y] - \frac{\lambda \cdot \omega}{2} (y + b)$$

$$\frac{V}{H} = \frac{[n \cdot y + a + x + b\,(i + k)]}{C \cdot \operatorname{sen} \alpha + \frac{\omega}{2} (y + b)^2}$$

(donde λ es el coeficiente de subpresión) se deduce que si el esfuerzo de pretensado está inclinado hacia el paramento de agua arriba, α es menor que cero, lo que favorece la obtención de valores más elevados para la relación $\frac{V}{H}$.

Para cada una de las alturas 20, 40 y 60 m y en cada uno de los casos estudiados, se ha obtenido el valor de la relación $\frac{V}{H}$; partiendo del coeficiente $\lambda = 0{,}75$ que, realmente no tiene nada de favorable y admitiendo, por tanto, que no existe ninguna pantalla de estanqueidad agua arriba de la presa.

Los resultados aparecen también en los cuadros V a VII (penúltima columna).

G. Economía del sistema.

a) Las presas pretensadas no encuentran justificación mas que si resultan más económicas que las presas clásicas. Por consiguiente, esta condición que es la que a continuación se estudia, como final del presente trabajo, adquiere una importancia fundamental.

Es evidente que todo estudio económico varía radicalmente en función de las condiciones locales. Resultará inútil, por tanto, tratar de analizar el problema en busca de conclusiones aplicables con carácter general.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

Por otra parte, para poder realizar este estudio es imprescindible partir de algunos precios (en este caso, en francos belgas, F); es obligado, por consiguiente, llamar la atención sobre el carácter particular de estos valores.

De todo ello se deduce que el problema debe estudiarse de un modo específico para cada caso particular. Pero esto no presenta ninguna dificultad; basta con adoptar valores distintos para los datos introducidos en el computador.

En la descomposición del precio de una presa aparecen, como principales elementos, los siguientes:

1. Hormigón.
2. Cables de pretensado.
3. Pozos para el anclaje de estos cables.
4. Anclajes.
5. Zunchos del hormigón alrededor de estos anclajes.
6. Encofrados, excavaciones y otros elementos de carácter general.

A continuación se estudian estos elementos, para cada tipo de presa.

No se tendrá en cuenta el punto 6, ya que su valor es casi igual para todas las presas, ya sean clásicas o pretensadas, y puede, por tanto, prescindirse de él para un primer análisis.

Sólo se estudiarán, pues, sucesivamente los otros cinco factores.

b) Hormigón.

Se ha estimado que el precio del hormigón es de 1.500 F (F = francos belgas) por m^3 (todo incluido: fabricación, colocación y vibrado).

El precio del hormigón, por metro lineal de presa, es, por tanto, igual a 1.500 F por la superficie de la sección de la presa Sp (en m^2)... (13).

c) Cables de pretensado y pozos para el anclaje de estos cables.

1. Si se emplea acero normal de pretensado, de 120 kp/mm^2 de límite elástico, su tensión de trabajo será del orden de: $\sigma = 0{,}8$ Re; o sea, 96 kp/mm^2.

Un esfuerzo de pretensado de C (Mp/m) exigirá una sección de acero, S, igual a:

$$S = 1.000 \frac{C}{96} \text{ mm}^2$$

es decir, un cable cuyo peso por metro lineal será:

$$\frac{1.000\, C}{96} \times 7{,}85 = 81{,}77\, C\,(\text{gr}) = 0{,}08177\, C\ (\text{kg})$$

El precio de los cables, de su puesta en obra, de los anclajes y de la amortización de la diversa maquinaria necesaria, puede estimarse en 37 F por kg de acero. El precio de la operación de tesado es de unos 5 F por kg de acero. En definitiva, resulta un total de 42 F por kg de acero teso.

Por tanto, el precio del metro de cable teso será:

$$0{,}08177 \times 42 \times C = 3{,}434\, C\ (\text{F/m})$$

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

A continuación se determina la longitud de los cables.

2. Se supone que se ha decidido utilizar pozos de gran diámetro (1,20 m) dispuestos a 4 m entre ejes para que la realización del anclaje sea más fácil y poder colocar en ellos tirantes de la potencia apropiada.

Si se adopta un esfuerzo de pretensado de:

250 Mp/m se dispondrá un tirante de 1.000 Mp cada 4 m ;
500 Mp/m se » » de 2.000 Mp cada 4 m ;
750 Mp/m se » » de 3.000 Mp cada 4 m .

Es evidente que pueden adoptarse otras disposiciones que, en determinados casos, incluso pueden resultar más ventajosas.

En primera aproximación para conocer la profundidad de los pozos de anclaje, se admite la hipótesis de que el esfuerzo del cable debe ser equilibrado, con la suficiente seguridad, por el peso de un prisma de roca, de 4 m de longitud y cuyas paredes estén inclinadas 45° respecto a la horizontal.

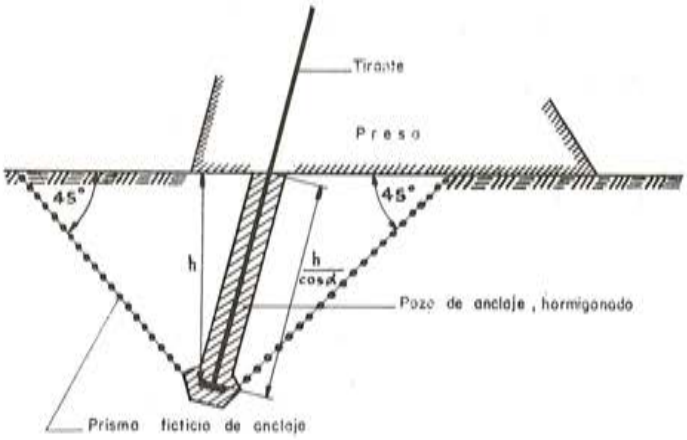


Figura 19.

El volumen de este prisma es el siguiente (fig. 19):

$$V_p = \frac{1}{2} \times 4\,(\mathrm{m}) \times h\,(\mathrm{m}) \times 2\,h\,(\mathrm{m}) = 4\,h^2\,(\mathrm{m}^3)$$

y la profundidad de los pozos, adoptando un coeficiente de seguridad de 1,5 y tomando 2,6 como peso específico de la roca, vendrá dada por:

$$\frac{1}{1{,}5}\,[4\,h^2\,(\mathrm{m}^3) \times 2{,}6\,(\mathrm{t/m}^3)] = 4\,(\mathrm{m}) \times C\,(\mathrm{Mp/m})$$

de donde:

$$h = \sqrt{\frac{1{,}5\,C\,(\mathrm{Mp/m})}{2{,}6}} \quad (\mathrm{m})$$

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

La longitud del cable será, por consiguiente, igual a:

$$l = \frac{b+y}{\cos\alpha} + \frac{1}{\cos\alpha}\sqrt{\frac{1{,}5\ C}{2{,}6}}$$

y, finalmente, cada cable valdrá:

$$\frac{1}{\cos\alpha}\left[b+y+\sqrt{\frac{1{,}5\ C}{2{,}6}}\right]\times 3{,}434\times 4\times C \quad (F)$$

Según esto, el precio de los cables por metro lineal de presa vendrá dado por la fórmula:

$$\frac{1}{\cos\alpha}\left[b+y+\sqrt{\frac{1{,}5\ C}{2{,}6}}\right]\times 3{,}434\times C \quad (F) \qquad [14]$$

3. La estimación del coste de los pozos de anclaje (excavación e inyección) se hará sobre la base de un precio para la excavación, de 3.000 F/m³ y un precio para el hormigón inyectado, de 1.500 F/m³.

El coste de estos pozos, referido al metro lineal de presa (un pozo de 1,20 de diámetro cada 4 m), será entonces el siguiente:

$$\frac{1}{4}\times\frac{\pi}{4}\times 1{,}2^2\times\frac{1}{\cos\alpha}\sqrt{\frac{1{,}5\ C}{2{,}6}}\,(3.000+1.500) \quad (F) \qquad [15]$$

d) Zunchado del hormigón alrededor de los anclajes superiores.

Dado el grado de aproximación con que se está realizando este estudio no se estima necesario determinar el precio exacto de este zunchado, lo cual, por otra parte, exigiría un estudio demasiado detallado. Por consiguiente, se hará sólo un estudio aproximado.

El esfuerzo explosivo (tracción transversal) originado por el cable sobre el bloque de hormigón del anclaje, a causa de la concentración de la carga aplicada, viene dado, aproximadamente, por la fórmula siguiente:

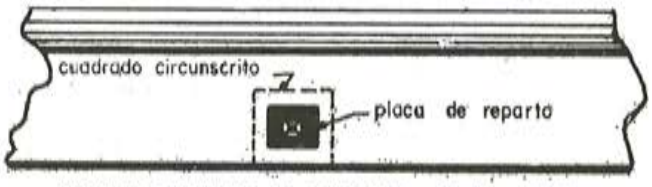
$$\frac{T}{P} = -0{,}4\,\beta^3 + 1{,}53\,\beta^2 - 1{,}57\,\beta + 0{,}71$$

en la cual:

T es el esfuerzo transversal de tracción provocado por el cable.

P la carga concentrada, y

β la relación entre la anchura de la placa de reparto y el lado del mayor cuadrado que puede circunscribirse a ella sin que sobresalga de la estructura (Fig. 20).



Vista en planta de la coronación de la presa

Figura 20.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

Como la placa de reparto ha de ser bastante grande, ya que la carga concentrada es muy fuerte, puede tomarse, a título de ejemplo: $\beta = 0{,}6$.

El esfuerzo de tracción T valdrá entonces para un cable de 4 C megapondios:

$$T = (-0{,}4 \times 0{,}6^3 + 1{,}53 \times 0{,}6^2 - 1{,}57 \times 0{,}6 + 0{,}71)\ 4\ C = 0{,}9264\ C\ (\mathrm{Mp})$$

Si se emplea un acero cuya tensión de trabajo sea de 1.200 kp/cm², será necesaria una sección de:

$$S = \frac{926{,}4\ C}{1.200} = 0{,}772\ C\ (\mathrm{cm}^2)$$

Suponiendo ahora que, para absorber estos esfuerzos transversales de tracción se disponen armaduras en dos direcciones ortogonales, con una longitud de 2,50 m (fig. 21), el peso de esta armadura será:

$$2 \times 0{,}772\ C\ (\mathrm{cm}^2) \times \frac{250\ (\mathrm{cm})}{1.000} \times 7{,}85\ (\mathrm{kg}),\ \text{por anclaje}$$

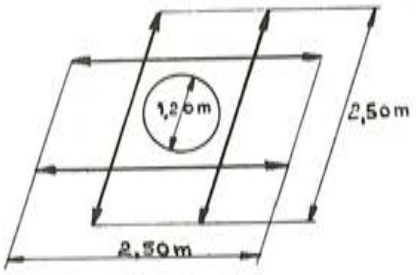


Figura 21.

o sea, aproximadamente 3 C kg por anclaje, es decir:

$$\frac{3}{4}\ C\ \mathrm{kg} = 0{,}75\ C\ \mathrm{kg},\ \text{por metro lineal de presa}$$

Mayorando esta cantidad en un 50 por 100 en concepto de seguridad y admitiendo como precio del acero preparado el de 14 F/kg, se deduce, finalmente, que el coste por metro lineal de presa, de la armadura necesaria para absorber los esfuerzos transversales de tracción que están considerados, resulta:

$$0{,}75 \times C \times 1{,}5 \times 14\ (F) = 15{,}75\ C\ (F) \simeq 16\ C\ \text{francos belgas} \qquad [16]$$

e) En definitiva, el coste por metro de longitud de presa, teniendo en cuenta las fórmulas [13] a [16] vendrá dado por la siguiente expresión:

$$\text{Coste por metro lineal de presa} = 1.500 \times \mathrm{Spt} + \frac{1}{\cos\alpha}\left[b + y + \sqrt{\frac{1{,}5\ C}{2{,}6}}\right] 3{,}434\ C +$$

$$+ \frac{\pi}{16} \times \frac{1{,}44}{\cos\alpha} \sqrt{\frac{1{,}5\ C}{2{,}6}}\ (4.500) + 16\ C\ (\text{francos belgas})$$

Se ha valorado esta expresión para cada uno de los casos precedentemente estudiados de presas de 20, 40 y 60 m de altura. En la última columna de los cuadros V a VII, se indican los resultados obtenidos.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

H. Examen de los resultados y perfiles definitivos.

a) Para cada una de las alturas totales de 20, 40 y 60 m, se han estudiado 123 perfiles distintos de presas. Los valores de los correspondientes datos definidores se recogen en los cuadros V a VII.

Conviene ahora elegir entre todos estos perfiles el que más interesante resulte, tanto desde un punto de vista económico como desde el punto de vista de la seguridad. Para ello se someterán a un proceso de eliminación los diversos casos estudiados. Esta eliminación se efectuará en dos etapas sucesivas.

b) En primer lugar, es preciso recordar que todas las presas estudiadas cumplen la condición de Levy modificada, ya que fue ella, precisamente, la que permitió determinar la ecuación del paramento de agua abajo. Pero aún no se han tenido en cuenta otros criterios de seguridad de los cuales ya se ha hablado anteriormente.

Si se consideran estos otros criterios se puede, por ejemplo, limitar:

— La tensión principal de tracción en el hormigón, a 5 kp/cm².

— La tensión principal de compresión en el hormigón, a 60 kp/cm².

— La tensión normal sobre la cimentación, a 20 kp/cm².

— La relación $\frac{V}{H}$, a 1,35 (es su límite inferior).

De la misma forma se pueden limitar los precios a:

200.000 F/metro lineal, para una presa de 20 m de altura.

750.000 F/metro lineal, para una presa de 40 m de altura.

1.800.000 F/metro lineal, para una presa de 60 m de altura.

En los cuadros V a VII aparecen en color todos los valores que no cumplen estas limitaciones. Si se suprimen los correspondientes perfiles quedan sólo las presas que figuran en los cuadros VIII a X.

c) En principio, basta comparar entre sí estas últimas presas para encontrar la solución más aconsejable; pero como son aún bastante numerosas, se debe efectuar una segunda eliminación.

Para ello se divide el intervalo de variación de cada una de las variables en varias zonas arbitrarias.

El valor de la variable queda entonces representada por las siguientes letras:

M (malo) si este valor se encuentra en una zona relativamente poco aconsejable.

B (bueno) si este valor se encuentra en una zona francamente aconsejable.

TB (muy bueno) si este valor se encuentra en una zona francamente muy aconsejable.

Para esta clasificación se siguen los criterios indicados en el cuadro XI.

Los resultados de esta clasificación son los consignados en las columnas tituladas "calificaciones" de los cuadros VIII a X.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

Se eliminan entonces todas las presas en cuyas calificaciones aparece alguna M. Evidentemente, entre las restantes se encontrarán las soluciones más interesantes.

El número de casos que hay que comparar se reduce así notablemente; de hecho, quedan únicamente 12 casos entre los cuales resulta fácil seleccionar las soluciones más económicas para las tres alturas de 20, 40 y 60 m. Estas soluciones son las que aparecen en el cuadro XII.

Finalmente, en la figura 22 se representan las secciones transversales de las tres presas que resultan más apropiadas de acuerdo con los criterios adoptados.

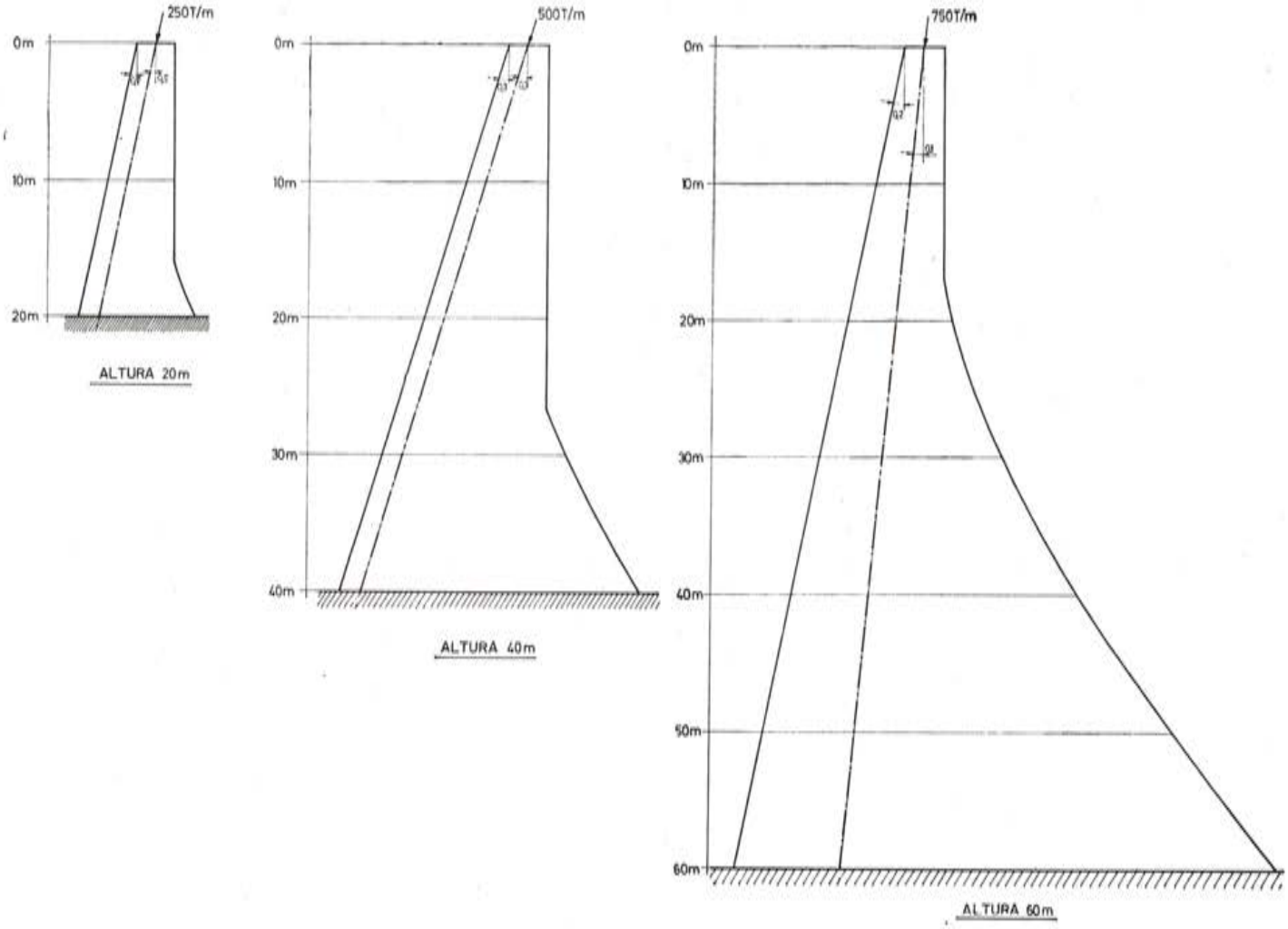


Figura 22.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

CUADRO VIII

Casos seleccionados ($H = 20$ *m.*).

DATOS				VALORES INTERESANTES						CALIFICACIONES				
$n = i$	k	Mp/ml	tg ∞	Tensión agua abajo mín (Lp/cm²)	Tensión agua abajo máx (Lp/cm²)	Tensión máx. cimentac. (Lp/cm²)	$\frac{V}{H}$	Precio (1.000 fr/ml)	Economía respecto a la presa de gravedad (%)	Tensión en el hormigón	Deslizamiento	Precio		Tensión sobre la cimentación
0	0,1	250	0	— 4,64	18,46	15,15	2,04	135	39,73	M	TB	B	TB	M
	0,2	250	0	— 3,37	16,53	15,30	2,20	155	30,80	M	TB	B	B	M
0,1	0	250	0	1,52	16,67	9,06	2,27	160	31,33	TB	TB	M	B	TB
			— 0,1	— 2,10	17,62	13,10	2,45	138	40,77	M	TB	B	TB	M
		500	0	6,07	29,58	16,89	3,46	149	36,05	TB	TB	B	B	M
	0,1	250	0	1,82	14,51	9,37	2,34	168	28,21	TB	TB	M	B	TB
			— 0,1	— 1,02	15,58	13,02	2,62	156	33,33	M	TB	B	B	M
		500	0	6,59	23,09	17,35	3,56	161	31,20	TB	TB	M	B	M
	0,2	250	0	2,54	13,44	9,93	2,48	186	21,19	TB	TB	M	M	TB
			— 0,1	— 0,58	11,36	12,39	2,84	184	22,03	M	TB	M	M	M
		500	0	4,83	15,88	13,69	3,74	188	20,34	TB	TB	M	M	M
		750	0	5,58	16,04	17,98	4,99	192	18,64	TB	TB	M	M	M
0,2	0	250	0	4,26	14,43	8,50	2,59	196	20,65	TB	TB	M	M	TB
			— 0,1	2,80	14,04	9,38	2,80	172	30,36	TB	TB	M	B	TB
			— 0,2	0,54	14,79	11,09	3,16	158	36,03	TB	TB	B	B	TB
		500	0	8,74	26,03	14,08	3,79	188	23,89	TB	TB	M	M	M
			— 0,1	7,14	22,55	17,13	4,86	163	34,01	TB	TB	M	B	M
		750	0	13,82	37,44	19,89	5,02	187	23,29	TB	TB	M	M	M
	0,1	250	— 0,1	3,39	12,78	9,81	2,94	188	24,50	TB	TB	M	M	TB
			— 0,2	1,53	12,81	10,65	3,42	184	26,10	TB	TB	M	M	B
		500	0	8,97	19,68	14,29	3,85	196	21,29	TB	TB	M	M	M
			— 0,1	6,56	16,99	15,29	5,11	188	24,50	TB	TB	M	M	M
			— 0,2	— 1,64	8,27	18,84	7,54	188	24,50	M	TB	M	M	M
		750	— 0,1	7,20	17,12	16,20	8,11	192	22,89	TB	TB	M	M	M
0,3	0	250	— 0,3	2,68	13,02	11,05	4,17	184	20,69	TB	TB	M	M	B
		500	— 0,1	8,95	19,44	14,16	5,26	198	14,66	TB	TB	M	M	M
			— 0,3	— 0,10	9,63	17,12	14,67	188	18,97	M	TB	M	M	M
		750	— 0,1	13,76	25,92	19,95	8,27	198	14,66	TB	TB	M	M	M

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

CUADRO IX

Casos seleccionados ($H = 40$ m.).

DATOS				VALORES INTERESANTES						CALIFICACIONES				
$n = i$	k	Mp/ml	tg ∞	Tensión agua abajo mín (Lp/cm²)	Tensión agua abajo máx (Lp/cm²)	Tensión máx. cimentac. (Lp/cm²)	$\frac{V}{H}$	Precio (1.000 fr/ml)	Economía respecto a la presa de gravedad (%)	Tensión en el hormigón	Deslizamiento	Precio		Tensión sobre la cimentación
0,1	0	250	0	— 0,74	16,67	10,33	1,37	711	24,44	M	M	M	M	TB
		500	0	— 1,56	29,58	13,23	1,53	605	35,71	M	B	B	TB	B
		750	0	— 1,55	41,99	16,42	1,76	547	41,87	M	B	TB	TB	M
	0,1	250	0	— 0,71	14,51	10,46	1,38	714	23,23	M	M	M	M	TB
		500	0	— 1,49	23,09	13,43	1,55	614	33,98	M	B	B	TB	B
		750	0	— 1,38	30,44	16,66	1,79	561	39,68	M	B	TB	TB	M
	0,2	250	0	— 0,59	13,66	10,72	1,41	724	22,73	M	M	M	M	TB
			— 0,1	— 2,67	14,69	11,71	1,37	673	28,18	M	M	M	B	TB
		500	0	— 1,18	19,88	13,82	1,61	639	31,80	M	B	B	B	B
		750	0	— 0,73	25,05	17,09	1,87	598	36,18	M	TB	TB	TB	M
0,2	0	250	— 0,1	1,09	14,04	9,29	1,56	733	24,82	TB	B	M	M	TB
			— 0,2	— 0,99	14,79	10,01	1,49	671	31,18	M	M	M	B	TB
		500	0	3,39	26,03	10,78	1,83	727	25,44	TB	TB	M	M	TB
			— 0,1	0,74	22,55	11,98	1,78	630	35,38	TB	B	B	B	TB
			— 0,2	— 3,10	22,67	14,54	1,76	551	43,49	M	B	TB	TB	M
		750	0	4,71	37,44	13,38	2,08	685	29,74	TB	TB	M	B	B
			— 0,1	0,94	29,84	14,90	2,10	574	41,13	TB	TB	TB	TB	M
	0,1	250	— 0,1	1,31	13,18	9,44	1,59	745	23,59	TB	B	M	M	TB
			— 0,2	— 0,33	13,79	10,26	1,55	694	28,82	M	B	M	B	TB
		500	0	3,47	19,68	10,90	1,84	733	24,82	TB	TB	M	M	TB
			— 0,1	1,12	19,05	12,17	1,84	655	32,82	TB	TB	B	B	B
			— 0,2	— 1,93	20,18	14,81	1,88	600	38,46	M	TB	B	TB	M
		750	0	4,82	26,13	13,53	2,10	693	28,92	TB	TB	M	B	B
			— 0,1	1,61	24,09	15,06	2,19	610	37,44	TB	TB	B	TB	M
	0,2	250	— 0,2	0,57	14,19	10,51	1,64	733	24,82	TB	B	M	M	TB
		500	— 0,1	1,97	17,88	12,33	1,95	704	27,79	TB	TB	M	M	B
			— 0,2	— 0,13	19,32	14,77	2,05	677	30,56	M	TB	M	B	M
		750	0	5,28	21,10	14,02	2,16	723	25,85	TB	TB	M	M	M
			— 0,1	3,04	22,09	15,73	2,34	681	30,15	TB	TB	M	B	M
			— 0,2	— 0,63	21,36	19,33	2,61	672	31,08	M	TB	M	B	M
0,3	0	250	— 0,3	1,23	13,02	8,92	1,74	720	29,69	TB	B	M	M	TB
		500	— 0,3	0,24	19,18	12,84	2,14	617	39,75	TB	TB	B	TB	B
		750	— 0,1	5,98	25,92	13,92	2,45	710	30,66	TB	TB	M	M	B
			— 0,3	— 0,61	24,03	17,61	2,78	574	44,00	M	TB	TB	TB	M
	0,1	500	— 0,3	1,74	18,18	12,49	2,31	687	32,98	TB	TB	M	B	B
		750	— 0,1	6,34	20,49	14,17	2,51	739	27,90	TB	TB	M	M	M
			— 0,3	2,00	22,44	17,69	3,04	673	34,34	TB	TB	M	B	M
0,4	0	500	— 0,4	3,00	17,20	12,78	2,61	702	35,30	TB	TB	M	M	B
		750	— 0,4	3,08	21,29	17,09	3,55	676	37,70	TB	TB	M	B	M

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

CUADRO X

Casos seleccionados ($H = 60$ *m.*).

DATOS				VALORES INTERESANTES						CALIFICACIONES				
$n = i$	k	Mp/ml	tg ∞	Tensión agua abajo mín (Lp/cm²)	Tensión agua abajo máx (Lp/cm²)	Tensión máx. cimentac. (Lp/cm²)	V/H	Precio (1.000 fr/ml)	Economía respecto a la presa de gravedad (%)	Tensión en el hormigón	Deslizamiento	Precio		Tensión sobre la cimentación
0,1	0	750	0	— 2,37	41,99	16,49	1,36	1450	32,08	M	M	TB	TB	M
	0,1	750	0	— 2,36	30,44	16,68	1,37	1456	31,77	M	M	TB	TB	M
	0,2	750	0	— 2,20	25,05	17,13	1,39	1479	30,50	M	M	TB	TB	M
0,2	0	250	— 0,2	— 0,99	15,92	12,01	1,43	1765	19,85	M	M	M	M	TB
		500	0	3,19	26,03	12,69	1,57	1785	18,94	TB	B	M	M	TB
			— 0,1	0,72	22,55	13,29	1,49	1634	25,79	TB	M	B	B	TB
			— 0,2	— 3,10	22,67	14,06	1,41	1494	32,15	M	M	TB	TB	B
		750	0	3,62	37,44	13,80	1,63	1676	23,89	TB	B	M	B	TB
			— 0,1	0,38	29,84	15,04	1,55	1484	32,61	TB	B	TB	TB	B
	0,1	250	— 0,2	— 0,33	16,30	12,21	1,45	1773	19,41	M	M	M	M	TB
		500	0	3,24	19,68	12,74	1,57	1788	18,73	TB	B	M	M	TB
			— 0,1	1,02	19,05	13,49	1,51	1649	25,05	TB	B	B	B	TB
			— 0,2	— 1,93	20,18	14,45	1,45	1528	30,55	M	M	B	TB	B
		750	0	3,67	26,13	13,85	1,64	1681	23,59	TB	B	M	B	TB
			— 0,1	0,75	24,09	15,30	1,58	1512	31,27	TB	B	B	TB	B
			— 0,2	— 3,37	25,21	17,30	1,54	1375	37,50	M	B	TB	TB	M
	0,2	250	— 0,2	0,57	16,86	12,48	1,48	1796	18,29	TB	M	M	M	TB
		500	— 0,1	1,63	19,14	13,79	1,55	1686	23,29	TB	B	M	B	TB
			— 0,2	— 0,43	19,80	14,90	1,52	1593	27,53	M	B	B	B	B
		750	0	3,87	21,10	14,03	1,66	1704	22,47	TB	B	M	M	B
			— 0,1	1,50	22,09	15,67	1,64	1573	28,43	TB	B	B	B	B
			— 0,2	— 1,31	23,77	17,79	1,65	1480	32,67	M	B	TB	TB	M
0,3	0	500	— 0,3	0,24	19,18	12,74	1,63	1580	31,33	TB	B	B	B	TB
		750	— 0,1	5,41	25,92	14,13	1,84	1725	25,03	TB	TB	M	M	B
			— 0,3	— 0,72	24,03	15,24	1,75	1419	38,33	M	B	TB	TB	B
	0,1	500	— 0,3	1,70	18,94	12,95	1,70	1646	28,47	TB	B	B	B	TB
		750	— 0,1	5,65	20,49	14,30	1,87	1755	23,73	TB	TB	M	M	B
			— 0,3	1,26	22,44	15,42	1,85	1521	33,90	TB	TB	B	TB	B
	0,2	500	— 0,3	3,39	19,75	13,71	1,81	1751	23,90	TB	TB	M	M	TB
		750	— 0,3	3,48	22,69	16,07	2,01	1674	27,25	TB	TB	M	B	M
0,4	0	500	— 0,4	3,00	18,19	13,15	1,89	1710	29,54	TB	TB	M	M	TB
		750	— 0,4	2,83	21,29	14,98	2,07	1571	35,27	TB	TB	B	B	B
	0,1	750	— 0,4	4,91	21,40	15,97	2,21	1711	29,53	TB	TB	M	M	B

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

CUADRO XI

CRITERIO PARA LAS TENSIONES PRINCIPALES

	Tensiones principales (kp/cm²)		
	0	40	
Alturas: 20, 40, 60 m.	M	TB	B

CRITERIO PARA LA TENSION NORMAL SOBRE EL TERRENO DE CIMENTACION

		Tensiones (kp/cm²)				
		10	12	14	16	20
Alturas	20 m	TB	B	M	M	M
	40 m	TB	TB	B	M	M
	60 m	TB	TB	TB	B	M

CRITERIO PARA LA ESTABILIDAD AL DESLIZAMIENTO

	Valores de $\frac{V}{H}$		
	1,5	1,8	
Alturas: 20, 40, 60 m.	M	B	TB

CRITERIO PARA EL PRECIO

	Precio (1.000 fr/m lineal)				
	120	140	160	180	200
Altura: 20 m	TB-TB	TB-B	B-B	B-M	M-M

	Precio (1.000 fr/m lineal)				
	600	630	660	700	750
Altura: 40 m	TB-TB	TB-B	B-B	B-M	M-M

	Precio (1.000 fr/m lineal)				
	1500	1550	1650	1700	1800
Altura: 60 m	TB-TB	TB-B	B-B	B-M	M-M

CUADRO XII

h (m)	n	k	C (Mp/m)	tg α	Tensión máx. en el hormigón (kp/cm²)	Tensión máx. sobre el fondo (kp/cm²)	$\frac{V}{H}$	Precio (1.000 fr/m l¹)	Economía respecto a la presa de gravedad (%)
20	0,2	0	250	— 0,2	14,79	11,09	3,14	158	36,03
40	0,3	0	500	— 0,3	19,18	12,84	2,14	617	39,75
60	0,2	0	750	— 0,1	29,84	15,04	1,55	1 484	32,61

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

APENDICE:

Después de la rotura de la presa de Bouzey, en Francia, Maurice Levy formuló la condición que lleva su nombre, y según la cual, la fisuración en el paramento de agua arriba de una presa de gravedad se evitará si la tensión principal σ alcanza el valor $\mu \cdot \omega \cdot y$ siendo $\mu \geqq 1$ (fig. 23).

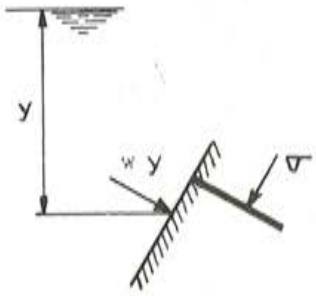


Figura 23.

Según Levy, σ debe calcularse de tal forma que el paramento de agua arriba de la presa resulte perfectamente estanco.

Esta condición es demasiado severa y conduce a resultados demasiado caros, pues supone que las tensiones de tracción creadas por la presión intersticial alcanzan el valor $\omega \cdot y$.

De hecho, las últimas teorías sobre la acción del agua en el interior de las estructuras demuestran que esta tracción no puede sobrepasar el valor $\theta \cdot \omega \cdot y$, y que se reduce considerablemente mediante un drenaje en la masa de hormigón de la estructura.

Con ello, para evitar toda fisuración del hormigón por tracción basta admitir que:

$$\sigma \geqq \mu \cdot \omega \cdot y \qquad \text{siendo} \qquad \mu = \theta < 1$$

en donde θ es el coeficiente de porosidad superficial (o de presión intersticial) que es preciso determinar mediante un adecuado método de ensayo.

Traducido por: RAFAEL RIÑEIRO.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

publicación de ANDECE-I.E.T.c.c.

V.A.P.-70

Instrucción para la Fabricación de Viguetas Autorresistentes de Hormigón Pretensado

Ha sido redactada, tras numerosas reuniones de trabajo, por un Comité mixto formado por fabricantes de viguetas y personal del Instituto Eduardo Torroja, con la colaboración de ANDECE (Agrupación Nacional de Derivados del Cemento) a través de su Secretaría Técnica. La citada Instrucción es la primera de una serie de ellas que están en curso de elaboración por parte de diferentes comisiones: "Tubos de hormigón en masa", "Bloques de hormigón", así como de otras que se iniciarán en breve: "Viguetas semirresistentes", "Viguetas mixtas", "Paneles de grandes dimensiones", etc.

La Instrucción V.A.P.-70 se compone de tres documentos bien delimitados:

— Especificaciones.

— Normas relativas al control de calidad (control interno).

— Normas relativas a la inspección (control del control).

La primera parte, independiente de las otras dos, viene a ser una revisión profunda y total de la H.P.1-60, publicada por la Asociación Española del Hormigón Pretensado.

Un volumen de 137 páginas, encuadernado en rústica.

Precios: España, 200 pesetas; extranjero, $ 4.

Puede adquirirse en el I.E.T.c.c. o bien en la Agrupación Nacional de Derivados del Cemento, Avda. General Mola, 211, Madrid-2.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

notas de la F.I.P.

n. 28, enero 1970

REUNION EN VIENA DEL COMITE EJECUTIVO DE LA F.I.P.

El Comité Ejecutivo de la F.I.P., invitado por el Grupo Austriaco, celebró en Viena su última reunión antes del VI Congreso, el miércoles 10 de diciembre de 1969, siendo objeto de un caluroso recibimiento a pesar de los muy pregonados ocho pies de nieve que cubrían la ciudad.

Como es natural, gran parte del trabajo se centró en el Congreso de 1970 y se dedicó toda una mañana a examinar la labor efectuada por las Comisiones desde 1966, con vistas a su presentación en Praga. Todas las Comisiones prepararon interesantes informes, que serán presentados al Congreso por el Presidente y sometidos a discusión entre los delegados. Los temas tratados en estos informes se refieren a los siguientes aspectos:

Comisión de hormigones ligeros

— Ultimos avances en fabricación y empleo de áridos ligeros de alta calidad en Bélgica, Checoslovaquia, Alemania Occidental y Gran Bretaña.
— Experiencias holandesas en pretensado externo de losas de hormigón ligero en pavimentos.

Comisión sísmica

— Nueva propuesta de recomendaciones de cálculo para estructuras antisísmicas.

Comisión de hormigones de muy alta resistencia

— Avances conseguidos desde 1966 en la fabricación de hormigones de muy alta resistencia.

Comisión de prefabricación

— Diversos aspectos de los elementos prefabricados de hormigón pretensado (tipos de juntas, curado acelerado, esfuerzo cortante en la unión, deformaciones de almacenamiento, tolerancias, pilas de gran altura y estudio sobre la filosofía del proyecto de estructuras prefabricadas).

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

Comisión de resistencia al fuego

— Nuevas recomendaciones sobre resistencia al fuego de estructuras pretensadas (a incluir en las Recomendaciones F.I.P.-C.E.B.).
— Nuevas recomendaciones sobre resistencia al fuego de estructuras armadas (preparadas por el Presidente de la Comisión, profesor Kordina; se presentarán en Praga como informe especial F.I.P.).

Comisión de durabilidad

— Estudio de los factores que pueden afectar de forma adversa la durabilidad de las estructuras de hormigón pretensado y recomendaciones de buena práctica para eliminar estos peligros.

Comisión de aceros de pretensado

— Recomendaciones para la concesión de certificados para aceros de pretensado e informe sobre las actividades del subgrupo de anclajes.

El Comité Ejecutivo fue informado de que la acogida que a tenido la idea nueva, en los Congresos de la F.I.P., de admitir comunicaciones técnicas individuales, breves, por parte de los delegados, ha sido realmente notable, habiéndose presentado ya más comunicaciones en inglés de las que pueden aceptarse, dadas las limitaciones de tiempo. En consecuencia, se nombró un subcomité para examinar todas las comunicaciones presentadas en los idiomas del Congreso y decidir cuáles debían aceptarse y cuánto tiempo debería darse a cada intervención.

El Comité se hizo cargo de la gran dificultad que supondrá el tener que rechazar algunas de las comunicaciones, dado el elevado nivel de la mayoría y el gran interés que tendrían para los asistentes al Congreso. A pesar de todo, sería obligado aceptar sólo las más interesantes, conteniendo cosas nuevas a discutir y evitar duplicidades sobre los mismos temas. El resultado de la reunión del subcomité de selección se publicará en el boletín de febrero de las Notas de la F.I.P.

A través de un informe del Comité Organizador del Congreso, se sabe que están recibiendo gran número de inscripciones, siendo el sentir general que el interés técnico del VI Congreso será todavía mayor que el de congresos anteriores. Como en otras ocasiones, habrá también en éste conferencias a cargo de especialistas eminentes; informes de comisiones, incluyendo la nueva edición F.I.P.-C.E.B. de las "Recomendaciones para el Proyecto y Construcción de Estructuras de Hormigón", y como novedad, las contribuciones técnicas de todos los países sobre un amplio abanico de temas, tanto de investigación como de aplicación práctica.

COMISION DE LA F.I.P. DE HORMIGON LIGERO

En los meses pasados, la Comisión F.I.P. sobre Hormigón Ligero ha creído conveniente y ventajoso el celebrar reuniones conjuntas con la Comisión XII del C.E.B., también sobre Hormigón Ligero. Ambos grupos tienen los mismos objetivos, ya que ambos aporta-

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

ron sus trabajos y contribuciones para las nuevas Recomendaciones F.I.P.-C.E.B., en las que era importante garantizar que los diversos temas tratados cubrían correctamente, no sólo el hormigón normal, sino también el hormigón ligero. Esta cooperación, por otra parte, se ha simplificado por el hecho de que las dos Comisiones tienen un presidente común, el Sr. Short, de Inglaterra.

En Viena, el pasado diciembre, se reunieron ambas Comisiones conjuntamente. El objetivo principal de la reunión fue preparar una redacción adecuada para las Recomendaciones, en los aspectos de Esfuerzo Cortante y Pandeo en estructuras de hormigón ligero. Sobre el primer punto, se manifestaron opiniones muy diferentes, apoyadas por resultados de ensayos igualmente diferentes. Como fórmula final de compromiso, se decidió que las Comisiones recomendarían que "en aquellos casos en que se dispusiera una armadura especial de cortante podrían aplicarse las mismas reglas de cálculo que para el caso del hormigón normal, particularmente para el estado límite de rotura".

Hubo acuerdo general, no obstante, en la inclusión de este otro párrafo:

"Para el estado límite de fisuración y en el caso de losas y otros elementos en flexión desprovistos de armadura especial de cortante, debería incluirse en los cálculos un coeficiente de comportamiento $\gamma = 1{,}4$; en particular, cuando concurriesen circunstancias especiales, tales como bajas temperaturas, condiciones de curado desfavorables, etc."

Hubo acuerdo en estimar que las cargas de pandeo en columnas esbeltas de hormigón ligero deberían reducirse en comparación con el hormigón normal. Al final se decidió incluir una reducción progresiva para esbelteces (l/i) entre 35 y 140, llegando a un coeficiente de comportamiento máximo de 1,4. Este factor, 1,4, se recomendará para valores de l/i igual a 80, como máximo.

También se prepararon recomendaciones sobre otros puntos, como el valor del módulo de elasticidad y de los factores de fluencia y edad del hormigón.

Asistieron a la reunión de las Comisiones unos 12 miembros, incluido el Presidente del C.E.B., Profesor Rüsch (Alemania Occidental). El delegado brasileño Sr. Carneiro dijo que el empleo de áridos de arcilla expandida en Brasil estaba aumentando espectacularmente.

DEFORMACION DE ESTRUCTURAS DE HORMIGON LIGERO PRETENSADO

En febrero de 1969 se publicó un informe del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Iowa (Estados Unidos), titulado "Deformaciones diferidas de estructuras simples y mixtas de hormigón ligero pretensado", que describe las investigaciones efectuadas en los últimos dos años, tanto en laboratorio como en obra, sobre vigas de hormigón de árido grueso ligero y arena fina normal.

Debido al incremento experimentado en el empleo de hormigón ligero estructural en vigas prefabricadas pretensadas para puentes con tableros de losas de hormigón ordinario, se estimó necesario tratar de conocer más a fondo todos aquellos fenómenos que dependen fundamentalmente de la variable tiempo y que afectan a las pérdidas de pretensado y a las flechas en vigas realizadas con este material.

El informe está dividido en tres partes: un estudio del hormigón como material, un estudio de laboratorio sobre el comportamiento de vigas simples y de vigas mixtas y, por último, un conjunto de medidas in situ de flechas en vigas pretensadas de puentes. La du-

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

ración abarcada en los ensayos de vigas en laboratorio fue de cinco meses, aunque se continúan recogiendo datos. Para las vigas de puentes, la duración abarcada fue de cuatro meses.

La finalidad principal del informe era el estudio del comportamiento en el tiempo del hormigón ligero como material en sí y como elemento empleado en estructuras pretensadas, lo que incluye: las pérdidas de pretensado e incrementos de flechas que son anejas a las altas deformaciones iniciales, debidas, no sólo a las elevadas tensiones iniciales, sino también el relativamente bajo módulo de deformación del hormigón; el efecto del tablero mixto, que reduce el nivel de tensiones y los correspondientes factores de fluencia y pérdidas de pretensado, y el efecto del tiempo de hormigonado de la losa mixta, puesto que el factor de fluencia, las pérdidas de pretensado y el aumento de las flechas son muy diferentes antes y después de hormigonada la losa.

Como resultado de este trabajo, se ofrecen procedimientos de cálculo cubriendo los siguientes aspectos:

1.º Cálculo de la retracción y la fluencia del hormigón ligero, a cualquier edad después del hormigonado, incluyendo sus valores últimos. Se dan igualmente indicaciones sobre estos mismos valores para hormigón ordinario y para toda clase de hormigones ligeros en general.
2.º Métodos teóricos y métodos aproximados para calcular las pérdidas de pretensado en estructuras pretensadas simples y mixtas.
3.º Métodos teóricos y métodos aproximados para calcular flechas de estructuras pretensadas simples y mixtas.

Como ejemplo de valores relativos, las pérdidas de pretensado en vigas de puente de hormigón ligero fueron del orden del 20 al 21 por 100 cuatro meses después del tesado y del 27 al 29 por 100 como valores finales. Y se estima que el empleo de una losa mixta (hormigonada posteriormente) hace descender esta cifra en un 40 por 100, aproximadamente.

CONSTRUCCION DE UN PUENTE PREFABRICADO AUTOLANZADO EN ZOAGLI, CERCA DE GENOVA (Italia)

El viaducto de Zoagli, en la autopista Génova-Sestri, recientemente terminado, se ha construido con el fin de conectar dos túneles gemelos a través de un barranco de 80 metros de altura. El viaducto es de hormigón pretensado, con elementos prefabricados que se lanzaron en voladizo como viga continua, abarcando cinco vanos de 50 m cada uno. Se construyó en dos mitades con sección transversal trapezoidal, en la que la losa superior tiene 10 m de largo, por 3 m la losa inferior y 1,28 m de canto. La sección va pretensada transversalmente con barras Dywidig para evitar deformaciones durante el lanzamiento. El pretensado se realizó con cables de 18 alambres de 7 mm de diámetro.

Las pilas, cuadradas y huecas, se construyeron con encofrado deslizante y van pretensadas con barras Dywidag. El lanzamiento de las vigas se efectuó mediante empujes de gatos hidráulicos, reposando el extremo delantero del puente sobre un carretón de 17 m de largo, que deslizaba sobre las cabezas de las pilas provistas de apoyos deslizantes. Con una grúa se tiraba, a la vez, de unos cables unidos al extremo trasero que recibía el empuje, con objeto de reducir tensiones de tracción.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

PUENTE SOBRE LA BAHIA PARKWAY, EN NUEVA YORK

En las Notas de la F.I.P., núm. 25, octubre 1969, se describían diversos detalles de las vigas prefabricadas pretensadas, excepcionalmente grandes, utilizadas en el puente San Diego-Coronado, en Estados Unidos.

Recibimos ahora de la Compañía Freyssinet de Estados Unidos otros detalles sobre vigas prefabricadas pretensadas de dimensiones mucho mayores, y, aun cuando no deseamos iniciar ningún campeonato sobre el tema, nos complace publicar algunas características de estos nuevos elementos gigantes.

El nuevo puente sobre la bahía Parkway, en la ciudad de Nueva York, tiene 19 vanos principales de 40 m y un vano para la navegación de 83 m. Todas las vigas son prefabricadas con tableros y traviesas hormigonadas in situ. Lleva tres carriles de tráfico en cada dirección y un arcén de 3 m de anchura, separado con un peto de la calzada.

Las vigas prefabricadas se transportaron en barcazas. Para las luces normales de 40 metros, se fabricaron 247 vigas de esa longitud; y para el vano de navegación, las mismas vigas fueron ampliadas con voladizos de 20 m, resultando de una longitud total de 60 m. Todas son vigas en T, con ala superior uniforme de 2,44 m de ancho. Las vigas de 40 m tienen canto constante de 2,44 m, y las voladas varían en canto entre 2,44 m y 3,50 m. Los espesores de alma son de 19 cm para la serie normal y de 19 a 25 cm para la de voladizos, ensanchándose el espesor en todas ellas a 51 cm en los extremos de anclaje. Las vigas en voladizo pesaban 230 toneladas y se manejaban con una cabria flotante. El vano central entre extremos volados se cubre con vigas de 43 m de largo.

El pretensado de los voladizos está realizado con seis tendones 12/500 K y otros seis iguales sobre el apoyo. Cada tendón 12/500 K lleva 12 cables de 1/2 pulgada, con carga de rotura garantizada de 225 toneladas y carga de trabajo de 135 toneladas. La fuerza total de pretensado es de 1.640 toneladas.

Una característica interesante de las vigas en voladizo es el empleo de estribos pretensados, compuestos por 150 bucles de alambre de 1/2 pulgada en cada viga, anclados en la cabeza superior. Estos estribos se concentran en las zonas de máximo cortante, donde el pretensado longitudinal es horizontal. La fuerza proporcionada por estribo es del orden de 17 toneladas, deducidas las pérdidas. Una de las ventajas de estos estribos es que su flexibilidad permite doblarlos o desplazarlos en las zonas congestionadas por el paso de los tendones principales en el fondo de la viga, con objeto de evitar dichos tendones. El bucle inferior se efectúa sobre una chapa curvada de 16 mm de grueso, para distribuir las cargas concentradas. Se han dispuesto también bucles especiales de acero en esas zonas para evitar roturas bruscas.

Los estribos van normalmente envainados en plástico y sin inyectar, pero se dejan en contacto directo con la chapa de acero.

Una diferencia básica entre este puente y el de San Diego es que este último está hecho con vigas de hormigón ligero.

PASARELAS PRETENSADAS

Incluimos en estas notas de la F.I.P. detalles sobre tres pasarelas para peatones que muestran aspectos muy diferentes en cuanto al pretensado. En este conjunto de pasare-

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

las está representado, como se verá, el hormigón denso y el hormigón ligero, así como el método de fabricación in situ y el de prefabricación.

El puente de Hong-Kong representa el empleo de la prefabricación como forma de resolver la galopante necesidad de construir con rapidez. En este caso, la pasarela se montó en una noche, para poder abrir al tráfico la carretera principal a la mañana siguiente.

En el puente sobre el río Barwon se empleó lo que es hoy un método generalizado en la construcción de puentes pretensados: el de avance por voladizos sucesivos. Es interesante observar que fue ésta la primera vez que se empleó este método en Australia.

Por último, en el puente para la Universidad de Newcastle se combinan las ventajas del hormigón ligero con las del pretensado. En este caso, las vigas son prefabricadas y postesadas, con los parapetos formando parte de los elementos estructurales.

Tres estructuras similares (dos materiales diferentes y tres métodos diferentes de construcción) que son casi un tratado-guía de pretensado básico.

PASARELA SOBRE EL RIO BARWON, EN GEELONG (Australia)

Esta pasarela para peatones, pretensada, cruza el río Barwon, en Geelong (Australia), y presenta ciertas reminiscencias con la obra del ingeniero italiano profesor Ricardo Morandi. Una característica poco usual es que, además de los peatones, da paso a una conducción de aguas residuales a través del río, la cual va alojada dentro de la viga principal.

El río tiene unos 80 m de anchura en la zona en que está ubicada la pasarela. Los vanos laterales salvan una carretera ancha más una reserva natural, de unos 65 m, en la orilla Sur; y una reserva natural de unos 50 m en la orilla Norte. El río tiene un gran empleo para deportes náuticos y forma parte de las instalaciones para regatas del Head of River.

El vano central tiene 90 m, más dos laterales de 60 m. La viga pretensada principal tiene sección en forma de trapecio y lleva incorporado un orificio de algo más de un metro de diámetro para la tubería que conduce las aguas residuales. Como estructura y tubería forman un todo único, hubo que proteger el conducto del ataque de los sulfuros con una lámina de polivinilo alrededor del núcleo del orificio antes de colocar el hormigón.

La viga principal se hormigonó in situ por el procedimiento de voladizos sucesivos, con avances de 3 m en el vano principal, lo que constituyó la implantación del método en Australia. Los vanos laterales se cimbraron desde el suelo.

Las partes bajas de los pilonos se hormigonaron in situ. Las partes altas se hormigonaron al lado en dos mitades, que se conectaron después de colocadas mediante seis tornillos pasantes, galvanizados, de 1 3/8 de pulgada de diámetro. En las juntas entre la parte alta y la baja de cada pilono se colocaron seis gatos Freyssinet para compensar la retracción y la fluencia. Sobre esas juntas se ubica una rótula Freyssinet de hormigón en cada pata del pilono, lo que permite que la parte superior del pilono tome los movimientos térmicos sin provocar flexiones en la parte inferior. En ambos extremos de la viga principal, y sobre uno de los pilonos, van apoyos de caucho natural zunchado con planchas de acero.

El proyecto es de J. L. van der Molen.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

PASARELA EN LA UNIVERSIDAD DE NEWCASTLE (Australia)

Recientemente se ha construido en el campus universitario de Newcastle (Australia) una bella pasarela de sencillo aspecto en hormigón ligero pretensado, que salva un curso natural de agua entre los edificios de la Universidad, en medio de un paisaje de monte bajo. Tiene cuatro vanos iguales de 17 m, con 3 m de anchura y su alzado describe una curva vertical de 500 m de radio. Cada vano está constituido por dos vigas en L de hormigón ligero, formando el parapeto los palos verticales de la L, con lo que no se requieren barandillas. Las vigas son postesadas y se apoyan en los estribos y en tres pilas intermedias de hormigón armado ejecutado in situ. Las pilas se cimentan en pilotes huecos de un metro de diámetro, que llegan hasta la roca con una capacidad portante útil de 8,7 kp/cm^2. Las vigas se prefabricaron en una zona adyacente, utilizando encofrados forrados de contrachapado y cartón para conseguir un acabado liso.

Arquitectos: Laurie y Heath.
Ingenieros: McDonald, Wágner y Priddle.

PASARELA PRETENSADA EN HONG-KONG

Se trata de una pasarela de casi 4 m de anchura, que salvará 33 m de luz principal e incluye un voladizo de 3,30 m en un extremo. El peso de la pasarela, que es prefabricada, es del orden de 72 toneladas y lleva 40 cables inferiores y 5 a cada lado, todos de 15 mm de diámetro. La losa inferior es de sólo 12 cm de espesor, lo que reduce mucho el peso y otorga un agradable aspecto de ligereza a la estructura.

Las pilas son también prefabricadas, de hormigón armado, con perfil triangular que arranca arriba en una sección a todo ancho y llega al suelo con 20 × 60 cm solamente.

Se proyecta transportar por carretera la unidad principal y colocarla en posición durante una noche, para dejar libre al tráfico la carretera a la mañana siguiente.

Agradecemos a la Compañía Green Island Cement la información suministrada, así como a la Revista Concrete Quarterly, de cuyo número 82 hemos tomado esta reseña.

Traducido por:
ALVARO GARCÍA MESEGUER.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

notas de la F.I.P.

n. 29, febrero-abril 1970
Número especial dedicado al Congreso de Praga.

SEXTO CONGRESO DE LA F.I.P., 6-13 DE JUNIO DE 1970

Esta publicación especial de las Notas de la F.I.P. tiene por objeto informar a los miembros de las últimas noticias relacionadas con el VI Congreso, que se celebrará en junio. Los días 15 a 17 del pasado mes de marzo, se reunieron en Praga el Presidente, el Vicepresidente General y el Secretario General, para comentar con el Comité de Organización el progreso de los preparativos.

El número de delegados ya inscritos es superior al que se registraba en fechas comparativamente iguales, en el último Congreso, continuando sin cesar la inscripción de nuevos participantes. El 15 de marzo había ya 900 inscripciones formales y 200 en fase de terminación de formalidades de viaje. El Comité de Organización espera un número total no menor de 1.300 delegados, aparte de las damas, de las que ya han formalizado su asistencia más de 450. Este inesperado interés de las damas por el Congreso ha requerido una reorganización del programa para señoras, para poder acomodar a todas en todas las visitas ofrecidas. Estamos seguros de que el Programa definitivo para las damas será excelente, con muchas cosas que ver en la misma Praga y varias visitas fuera de la ciudad entre las que poder escoger.

Aún están llegando inscripciones, habiendo sido ignorada y ampliamente rebasada la fecha límite que inicialmente se estableció en el 28 de febrero. Por ello, aún es tiempo de inscribirse para quienes lo deseen, aunque deberán darse prisa porque de otro modo no encontrarán plazas libres para las visitas.

CEREMONIA DE APERTURA

El Congreso se inaugurará oficialmente el domingo 7 de junio en el Salón Principal de Congresos, con un breve discurso del profesor Klimes, presidente del Congreso. Habrá también discursos del Ministro Oldrich Cernik, presidente de la Junta Federal de Desarollo en Inversiones y Tecnología, y del Alcalde de Praga, Ludvik Cerny. El presidente saliente de la F.I.P., profesor Levi, ofrecerá entonces las tres primeras medallas Freyssinet a los señores Esquillan, Finsterwalder y Morandi, así como los diplomas de Miembro Honorario de la F.I.P. La ceremonia concluirá con un breve concierto a cargo de la Orquesta Filarmónica Checha.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

INAUGURACION DE LA EXPOSICION

Inmediatamente después de la ceremonia de apertura, el Vicepresidente y Delegado General Dr. Janssonius, inaugurará oficialmente la exposición, a las doce horas. A esta hora todos los expositores deben estar en sus pebellones respectivos, ya que habrá diversas personalidades paseando por la exposición, como los embajadores de Italia, Holanda y varios ministros y representantes del Gobierno checo. El recinto de la exposición continuará abierto el resto del día hasta las 6 de la tarde, pero no habrá ese día sesiones del Congreso. La exposición estará abierta todos los días de las 8 a las 18, desde el lunes 8 de junio al sábado 13. El jueves 11 por la tarde, cuando la mayoría de los delegados estén en las sesiones en la Universidad Técnica, o en las visitas técnicas, se abrirá la exposición especialmente para el público técnico checo y la prensa técnica.

EXPOSICION DE LIBROS

Se ha decidido organizar una exposición de libros técnicos sobre proyecto, materiales y estructuras de hormigón. No podrán venderse libros en el Congreso, pero se invita a las editoriales que deseen exponer libros para que envíen un ejemplar de cada uno al Secretariado, con prospectos y tarjetas-pedido para quienes estén interesados. Los Organizadores del Congreso no podrán organizar la devolución de los ejemplares expuestos y la F.I.P tiene proyectado regalar estos libros a la biblioteca de la Universidad al finalizar el Congreso.

PELICULAS

Habrá un pase continuo de películas a las horas del Congreso en el Planetarium, que está en el Parque Julius Fucik a unos 300 m del Palacio de Congresos. Ya se han aceptado unas 20 películas procedentes de muchos países y podrían aceptarse más con tal de que versen sobre el pretensado.

RECOMENDACIONES INTERNACIONALES F.I.P.-C.E.B. PARA EL CALCULO Y CONSTRUCCION DE ESTRUCTURAS DE HORMIGON

Se están imprimiendo las versiones inglesa, francesa y alemana de las Recomendaciones F.I.P-C.E.B. sobre hormigón armado y pretensado, y el grupo soviético prepara una traducción al ruso (1). Se ha realizado un considerable trabajo para editar y traducir estas recomendaciones, y los autores de los distintos capítulos están tan empeñados en su labor que el texto estará completamente al día y tendrá en consideración los últimos avances y datos numéricos procedentes de la investigación, ya que todavía se están introduciendo correcciones adicionales. Por tal razón no es posible enviar copias antes del Congreso a los participantes, como inicalmente se había previsto y deseado, pero habrá ejemplares disponibles sin cargo alguno en el Congreso para aquellos delegados que hayan satisfecho por completo los derechos de inscripción. En cuanto haya ejemplares disponibles de las Recomendaciones, se venderán a 10 libras el primer tomo (Principios y Recomendaciones) y a 2 libras el segundo (Apéndices).

(1) El grupo español prepara, igualmente, una versión en castellano que será distribuida en Praga. (Nota del T.)

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

ESTRUCTURAS SINGULARES

Se ha hecho tradicional ya en los Congresos de la F.I.P. la interesante sesión informativa en la cual los grupos miembros dan una panorámica de las estructuras singulares en hormigón pretensado realizadas en los países respectivos. Este año se mostrarán también avances notables en el empleo del hormigón pretensado y varios grupos miembros, que poseen un rico y variado material que ofrecer, están preparando publicaciones, recogiendo las obras de sus países, para ofrecerlas a los participantes en el Congreso.

CONTRIBUCIONES TECNICAS

Para el Congreso de 1970, la F.I.P ha dispuesto una nueva sesión en la que se presentarán contribuciones técnicas breves a cargo de diversos delegados. Al no poder disponer de traducción simultánea en estas sesiones, se invitó a los participantes a que enviasen sus comunicaciones en uno de los idiomas del Congreso, nombrándose a un Ponente General en cada idioma que presentará un informe al final del Congreso, ilustrando especialmente aquellas comunicaciones que estime son más sobresalientes. Se publicarán en los Proceedings del Congreso, este informe y los resúmenes de las comunicaciones presentadas, junto con unas indicaciones para poder adquirir cada comunicación después del Congreso.

Esta innovación ha encontrado una abrumadora acogida y, debido a la falta de tiempo, los Ponentes Generales se han visto obligados a aceptar tan sólo la mitad de las comunicaciones recibidas. Los trabajos se han dividido en dos grandes grupos: los relacionados con la investigación teórica y experimental, por una parte, y los que tratan temas de proyecto y construcción, por otra. Habrá una sesión para ambos grupos en lengua francesa y otra en lengua alemana; y dos sesiones en lengua inglesa. El Ponente General para los trabajos de investigación en francés es el Profesor Roger Lacroix y para las dos sesiones alemanas, el Profesor Peter Bonatz. El Ponente General para los trabajos de investigación en inglés es el Profesor R. E. Rowe y para los trabajos de proyecto y construcción en inglés, el señor Burr Bennett.

La tarea de los Ponentes Generales en estas sesiones será muy difícil y para ayudarles, el Secretariado de la F.I.P. ruega a los que han presentado comunicaciones y les ha sido aceptada, que faciliten copias de su trabajo por anticipado a los delegados asistentes a las sesiones, las cuales tendrán lugar en la Universidad Técnica y no en el Palacio de Congresos. En el Secretariado de la F.I.P. no habrá copias de estos trabajos antes del Congreso, pero los asistentes al mismo encontrarán en sus carteras, en el momento de la inscripción, una lista de todas estas comunicaciones y podrán obtener una copia de aquellas que les interese dirigiéndose al Centro de Distribución de Documentación en el vestíbulo del Palacio de Congresos, tras indicar en su lista cuáles desea tener.

CONFERENCIAS

Han despertado gran interés las ocho conferencias especiales del Congreso, a cargo de los señores Baus, Gerwick, Guyon, Kristek, Leonhardt, Mikhailov, Milovanov y Ostenfeld. El texto de estas conferencias no podrá distribuirse antes del Congreso, pero se incluirá en los Proceedings del mismo.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

ASAMBLEA GENERAL DE LA F.I.P.

La reunión de la Asamblea General tendrá lugar en el Planetario a las 9 del domingo 7 de junio. El orden del día es relativamente breve, pero el tema importante de la reunión será la elección de los nuevos Presidentes y Vicepresidentes General y otras elecciones, así como la aprobación por parte de los delegados de la reforma de los Estatutos, que se habrán distribuido por anticipado a los representantes de todos los Grupos Miembros de la F.I.P. Muchas de las correcciones afectan sólo a detalles y tienen por objeto simplificar los Estatutos y hacerlos más prácticos. Otras correcciones de mayor enjundia son la ampliación propuesta del Comité Ejecutivo para que incluya 15 Vicepresidentes (en lugar de 12) y la creación de la figura de Miembro Honorario de la F.I.P. A pesar de la hora relativamente temprana, se confía en que todos los delegados de los Grupos Miembros asistirán a tiempo a la reunión.

ACTIVIDADES SOCIALES

El Comité Organizador Checo no ha ahorrado esfuerzos para organizar un sugestivo programa de diversiones para la tarde del martes 9 de junio. Los delegados y señoras se verán ante el difícil dilema de escoger entre una representación de "La ninfa del agua", de Dvorak, el "Don Juan", de Mozart o un concierto de la Filarmónica Checa, con obras de Smetana, Dvorak y Janecek.

El jueves 12 de junio, por la tarde, como cierre anticipado del Congreso, habrá una recepción en el Palacio Cernik para todos los delegados y señoras, en la que se servirá una cena fría.

Para ambos acontecimientos sociales se recomienda traje oscuro en los caballeros y vestido corto para las señoras, y no trajes de noche como se anunció por error en una circular anterior.

LOS GANADORES DE LA MEDALLA FREYSSINET

En memoria de su primer Presidente y "fundador" del pretensado, Eugenio Freyssinet, la F.I.P. ha decidido conceder anualmente una Medalla Freyssinet como reconocimiento de realizaciones sobresalientes en el campo del hormigón pretensado, y las primeras tres medallas se entregarán, con ocasión de la Ceremonia de Apertura del VI Congreso en Praga, a tres de los más eminentes ingenieros del mundo que han conquistado la admiración de todos por sus realizaciones en este tipo de construcción. Se trata de Nicolás Esquillan (Francia), Ulrich Finsterwalder (Alemania Occidental) y Riccardo Morandi (Italia). Cada uno de estos eminentes ingenieros ha sido responsable de tantas estructuras impresionantes que el describirlas todas requeriría varios volúmenes. Estas Notas de la F.I.P. no pueden hacer otra cosa que dar los siguientes resúmenes breves de sus carreras.

NICOLAS ESQUILLAN

Nació en Fontainebleau el 27 de agosto de 1902. Se graduó como ingeniero en 1922, ganando la medalla de plata, y entró en la empresa Boussiron, donde fue discípulo de Mr. Simon Boussiron, uno de los pioneros del hormigón armado desde 1898. Desde entonces,

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

el Sr. Esquillan ha permanecido en la empresa Boussiron, ocupando sucesivamente los cargos de Ingeniero de Proyectos (1923 a 1936), Jefe de Proyectos de Estructuras (1936 a 1938), Delegado General en 1939 y Director Técnico desde 1941. A lo largo de su carrera, el Sr. Esquillan proyectó o dirigió el proyecto o la construcción de un enorme número de estructuras, de las cuales ocho fueron (y algunas aún son) récord mundial por la aplicación en ellas del hormigón armado o pretensado:

1935. Puente La Roche Guyon, sobre el Sena (destruido en 1940).
1943. Puente La Coudette, sobre el Gave de Pau.
1950. Viaducto Mediterráneo, sobre el Ródano.
1951. Hangar en el aeropuerto de Marignane.
1955. Viaducto de La Voulte, sobre el Ródano.
(Fue el primer gran puente de ferrocarril en hormigón pretensado en Francia y, en aquella época, probablemente el más largo de su clase en el mundo, 300 metros; para esta estructura se concibió el sistema Boussiron de pretensado.)
1957. Pilonos y sus cimentaciones del puente colgante de Tancarville.
1958. Palacio de Exposiciones de París.
1967. Estadio olímpico de hielo, en Grenoble.

Entre 1935 y 1969 el Sr. Esquillan ha pronunciado o publicado más de 50 conferencias o artículos y ha colaborado en más de 30 comisiones o comités nacionales e internacionales relacionados con Normas e Instrucciones, incluidas las relativas a seguridad, así como en otros órganos profesionales. Fue miembro del Comité Permanente de la Asociación Internacional de Puentes y Estructuras (A.I.P.C.) y luego desempeño la Vicepresidencia en 1966; es miembro del Comité W 23 sobre Ingeniería Estructural Básica del C.I.B. y miembro fundador, miembro del Comité Ejecutivo y Presidente del Comité Asesor (en 1969) de la I.A.S.S. El Sr. Esquillan ha sido miembro también del Consejo de Administración del Comité Europeo del Hormigón (C.E.B.) y es Vicepresidente del mismo desde 1966. Como ponente general del comité mixto F.I.P.-C.E.B., el Sr. Esquillan ha conducido el trabajo de más de una docena de comités internacionales y grupos de trabajo a una brillante conclusión con la publicación para el Congreso de la nueva edición de la Norma conjunta para hormigón armado y pretensado "Recomendaciones Internacionales F.I.P.-C.E.B. para el Cálculo y Construcción de Estructuras de Hormigón".

El Sr. Esquillan posee los siguientes honores y condecoraciones:

Francesas

Caballero de la Legión de Honor, 1950.
Oficial de la Legión de Honor, 1959.
Laureado de la Sociedad de Ingenieros Civiles de Francia: Premio Colombet, 1953. Premio Félix Robin, 1959.
Laureado de la Sociedad de Impulso a la Industria Nacional: Premio Elphege Baude, 1962.

Inglesas

Medalla T. J. Gueritte, 1954.
Medalla T. J. Gueritte, 1958.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

Belgas

Medalla de Oro Gustavo Magnel, 1955-58.

Alemanas

Doctor Honorario de Ingeniería de la Universidad Técnica de Stuttgart, 1965.
Medalla Conmemorativa Emil-Mörsch, 1969.

Americanas

Premio Alfred E. Lindau (del A.C.I.), 1966.

ULRICH FINSTERWALDER

Ulrich Finsterwalder nació en Munich el 25 de diciembre de 1897, hijo del Doctor Honoris Causa Sebastián Finsterwalder, que fue durante muchos años profesor de matemáticas y geometría descriptiva en la Universidad Técnica de Munich, y creador de los principios fundamentales de la moderna fotogrametría.

Se graduó como Ingeniero Diplomado en la Universidad Técnica de Munich en 1923 y entró en la empresa Dyckerhoff y Widmann (delegación de Nuremberg) en diciembre del mismo año. Consiguió el grado de Doctor en la Universidad Técnica de Munich en 1930, pasó a ingeniero jefe de Dyckerhoff y Widmann en diciembre de ese año y en 1938 pasó a director de la empresa. Desde sus primeros años de estudiante Finsterwalder se interesó por la teoría de láminas, y su tesis doctoral en 1930 se titulaba "Bóvedas laminares cilíndricas reforzadas transversalmente, con sección transversal en forma de segmento de círculo". En los primeros años treinta ya empleaba la idea de pretensar la zona en tracción de las vigas-lámina de gran luz. La intervención de Finsterwalder fue decisiva en el desarrollo del sistema Zeiss-Dywidag para láminas, empleado en los famosos mercados de Frankfort, Colonia y Hamburgo.

En 1941 Ulrich Finsterwalder pasó a ser miembro del equipo técnico directivo de Dyckerhoff y Widmann KG, y socio en 1949. Cuando se retiró en diciembre de 1967 había completado casi los cincuenta años de servicio en esta empresa.

Finsterwalder jugó un papel fundamental en la invención y desarrollo del sistema Dywidag de pretensado, que posibilitó la construcción de puentes muy esbeltos de gran luz. El primer puente pretensado así construido fue el puente sobre el Rin, en Worms (1951), y la mayor luz conseguida hasta la fecha es la del puente de Bendorf, sobre el Rin, acabado en 1964, con sus 208 m de vano. Otro ejemplo de su notable genio creador fue el desarrollo de un método de construcción rápida de puentes, el tipo hongo de construcción empleando un encofrado móvil; ejemplos de este tipo de construcción son el puente de Elztal y los de la parte Norte de la autopista del Brenner. Ultimamente, Finsterwalder se ha ocupado del proyecto de un nuevo puente a través del Bósforo, con una luz total de 1.074 m, empleando un nuevo principio de diseño estructural a base de láminas tesas. Esta idea se llevó a cabo por vez primera en Alemania en la pasarela para peatones de Freiburg i/Breisgau.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

El Doctor Finsterwalder posee los siguientes honores y condecoraciones:

Recibió una mención personal cuando se otorgó la Medalla Edward Longstreth, por el Instituto Franklin de Filadelfia, a las empresas Dyckerhoff y Widmann y Carl Zeiss, 1938.

Premio Erfinder del Deutschen Reiches, 1944.

Medalla Mörchs de la Deutscher Beton Verein, 1953.

Medalla Carl-Friedrich-Gauss de la Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft, 1956.

Condecorado con la "Grosses Verdienstkreuz des Verdienstordens der Bundesrepublik Deutschland", 1963.

Miembro Honorario del American Concrete Institute, 1964.

Medalla Charles S. Whitney del American Concrete Institute, junto con Dyckerhoff y Widmann KG, 1967.

Premio Fritz-Schumacher, del Senado de la Freie und Hansestadt Hamburg, 1967.

Miembro extraordinario de la Academia de las Artes de Berlín, 1968.

RICCARDO MORANDI

Nació en Roma el 1 de septiembre de 1902. Obtuvo su título de ingeniero civil en la Universidad de Roma y fue después lector universitario en técnicas de la construcción y tecnología de los materiales. Actualmente es lector y Jefe del Departamento de Construcción de Puentes de la Facultad de Ingeniería de Roma.

Es también jefe de la Oficina Técnica Morandi en Roma, que, durante más de cuarenta años de actividad, ha proyectado centenares de estructuras de hormigón armado, incluyendo edificios industriales, instalaciones deportivas y puentes.

Desde 1945 la Oficina Técnica Morandi ha venido proyectando y construyendo un gran número de estructuras de hormigón pretensado, habiendo desarrollado su propio sistema, que ha sido adoptado después por otras organizaciones.

La lista de estructuras construidas con el sistema Morandi es impresionante:

— Quince centrales termoeléctricas con una capacidad total de unos 3.000 MW.
— Una central electronuclear.
— Once salas de cine, cuatro de ellas en hormigón pretensado.
— Cuatro grandes hangares de hormigón pretensado.
— Doscientos puentes importantes, incluyendo 15 con luces entre 90 y 235 m.
— Ciento veinte puentes de hormigón pretensado de luces variables, incluido el de Maracaibo (con una luz máxima de 235 m), el viaducto Polcevera (con luz máxima de 208 m) y el puente en Wadi Kuf (que tendrá una luz máxima de 286 m).
— Diez naves industriales con luces de cubierta de hasta 70 m, en hormigón pretensado.

Riccardo Morandi es consultor de muchas empresas italianas y extranjeras, miembro de la Junta Directiva de la A.N.I.C.A.P. (Asociación Italiana del Hormigón Pretensado) y Profesor de Investigación de la Universidad de Gainesville, Florida.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

PUENTES DE HORMIGON PRETENSADO EN ESPAÑA

Recientemente se han construido en España dos puentes de proyecto análogo, ambos mixtos para carretera y ferrocarril. En este aspecto son semejantes al puente Nusle, en Praga, que se abrirá al tráfico en 1971 y dará paso al tráfico de carretera y a los trenes eléctricos que sirven la ciudad.

Los tres puentes tienen sección en cajón, con su interior reservado para el paso del ferrocarril. El puente Nusle se describió en número 22 de las Notas de la F.I.P. y ahora se describen los dos puentes españoles.

El puente de Alconétar tiene cinco vanos de 50, 65, 85, 65 y 50 m, dando una longitud total de 342 m.

El puente de La Plata tiene también cinco vanos con una longitud total de 308 metros. Las paredes del cajón van pretensadas longitudinal y transversalmente, empleando el sistema Dywidag y ambos puentes van anclados en un extremo mediante rótulas fijas y simplemente apoyados en el otro con apoyos deslizantes.

Ambos puentes fueron financiados por Hidroeléctrica Española, S. A.

ANCLAJES PRETENSADOS CONTRA EL TERRENO PARA UN DEPOSITO DE AGUA DE LLUVIA

El programa de expansión de obras de saneamiento en Coventry, Inglaterra, que está llevando a cabo actualmente el Departamento de Ingeniería del Ayuntamiento de Coventry, incluye una gran estación colectora de aguas de lluvia. Se trata de un depósito de hormigón armado de dimensiones impresionantes, provisto de bombas ordinarias, rastrillos, rejillas y una central de bombeo situada a unos 17 m por debajo del nivel del terreno.

El depósito tiene 76 m de diámetro y 25.000 m³ de capacidad, llevando un sumidero central sobre el cual se construirá la central de bombeo, de 8,20 m de diámetro y 11,30 metros de alto, en hormigón armado. En la zona donde se ubica el depósito, hay de 3 a 5 metros de gravas y arenas sueltas. Para excavar el gran agujero de 80 m de diámetro y 7,60 m de profundidad en la periferia, que aumenta en rampa hacia el borde del sumidero hasta llegar a los 11 m, hubo que remover unos 50.000 m³ de tierras.

SUBPRESION

La capa freática está tan sólo a 2,40 m del nivel del terreno, lo que planteaba a los ingenieros el problema clásico de este tipo de estructuras de tener que soportar la subpresión, en este caso la correspondiente a casi 17 m de agua en la zona del sumidero. En vez de acudir a la disposición ordinaria de mantener contra el suelo el depósito a base de peso propio, se decidió emplear anclajes de roca pretensados, actuando sobre una serie de vigas de anclaje de sección en T.

VIGAS DE ANCLAJE

En la solera en rampa se disponen unas 160 vigas de hormigón armado, de 7,90 m de largo, sobre una capa de 15 cm de hormigón de recubrimiento. Dispuestas en cuatro anillos

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

concéntricos, estas vigas tienen cada una un metro de canto y 0,90 m de anchura en la cabeza de la T y 0,76 m en la base. Los 7 cm de diferencia a cada lado se dejan para encajar luego el solado, que se coloca posteriormente.

Cada viga va anclada a la roca subyacente mediante tres anclajes pretensados. Cuando se hormigonan las vigas, se dejan en ellas orificios de 10 cm de diámetro, y a través de ellos se taladran en la roca agujeros de 95 mm de diámetro hasta profundidades comprendidas entre 7,5 y 15 m, inyectándolos después para impermeabilizarlos. Dentro de cada agujero van instalados unos cables de pretensado de 12 ó 22 alambres, según la capacidad requerida. Los cables se anclan luego al fondo mediante inyección y se tesan con gatos hidráulicos, a 45 toneladas los del anillo exterior de vigas y a 90 toneladas el resto. Por último, se inyectan los cables a presión, se cortan los alambres sobrantes y se sella la cabeza con betún.

En el sumidero central hay 25 cabezas de anclaje, cada una de 1,5 m de diámetro en la parte superior y con una pestaña de 7 cm para asentar sobre las vigas en T.

Estos anclajes tienen 18,3 m de profundidad y van tesos a 90 toneladas. Luego se hormigona in situ un encepado de 1,80 m de espesor, sobre las cabezas y entre ellas, para formar la base del sumidero de lodos.

PLACAS DE SOLERA

Para la parte principal del depósito, las placas de solera, proyectadas como voladizos de unos 37 m² de área, se hormigonaron sobre y entre las vigas de anclaje. Cada placa, en forma de cuña, lleva 3 toneladas de armadura y abarca desde el punto medio entre dos vigas de anclaje adyacentes hasta el punto medio de las dos siguientes, pasando por encima de las vigas. El espesor de las placas varía de un máximo de 1,50 m en la base de las vigas, a 0,50 m sobre la cabeza de las vigas.

Cada placa de solera queda aislada en todo su perímetro por un canalillo y una junta de dilatación de un centímetro de anchura. A 27 cm por debajo de la solera entre placas adyacentes, se coloca una lámina de PVC. La junta se sella, finalmente, hasta una profundidad de 13 mm con un producto a base de polisulfuro. Por debajo del canalillo se dispone un relleno especial de junta, impregnado de betún.

El empleo de casi 500 anclajes en roca de este tipo, con una capacidad total de cerca de 40.000 toneladas, es un ejemplo notable de la economía del empleo del pretensado en cimentaciones.

Agradecemos la ayuda de los constructores Kottler and Heron Limited al proporcionarnos los datos para este artículo, así como a la Propiedad, Coventry Corporation, por su autorización para describir la obra.

PUENTE LAICHIKOK EN KOWLOON, HONG KONG

Construido bajo la supervisión del gobierno de Hong-Kong, este nuevo puente aprovecha las técnicas del pretensado en varias partes de su estructura.

Aparte de una rampa de acceso de 140 m de longitud, construida en terraplén, el puente tiene 13 vanos de 28 m y 15 de 19 m, dando paso a dos calzadas gemelas de 10 metros de anchura, separadas por una mediana de 2 m. El tramo que va sobre el agua lleva, además, dos aceras de 2,70 m de anchura.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

La estructura se cimenta sobre pilotes, que son prefabricados de hormigón armado en la parte de tierra y prefabricados pretensados en el agua. Los pilotes pretensados son todos cuadrados, de 45 cm de lado y capaces para absorber 100 toneladas, llevando cada uno 32 alambres de 7 mm, tesos para producir una tensión final en los pilotes de 50 kp/cm². El hormigonado de los pilotes se efectuó sobre camas de hormigón especialmente preparadas, empleando moldes metálicos atornillados para los costeros. En algunos casos se necesitaron pilotes en la zona de tierra de hasta 41 m de longitud, pero no se prefabricaron elementos más largos de 27 m. Las longitudes adicionales se obtuvieron ampliando el pilote después de un hincado inicial e hincando de nuevo hasta la posición final. Los pilotes pretensados se hormigonaron en camas largas de 90 m, colocando una lámina de polietileno sobre la cama antes del hormigonado, con objeto de facilitar el movimiento al transferir la tensión.

El manejo, colocación e hincadura de los pilotes en el agua se efectuó desde un pontón flotante, equipado con una grúa de 20 toneladas en un extremo y una torre metálica triangulada especial en el otro. Esta torre estaba proyectada para actuar como ménsula desde el pontón, proporcionando un medio para hincar los pilotes flotantes en cualquier dirección, cambiando la posición de las guías dentro de la torre. Para hincar estos pilotes se empleó un martillo de vapor de simple acción, de 8 toneladas de peso.

Sobre los pilotes se construyeron encepados de hormigón in situ, que soportan unos pórticos rígidos de hormigón armado, consistentes en soportes circulares y cabezales superiores en forma de T invertida.

Tramos pretensados.

En total se prefabricaron 358 vigas de dos tipos: vigas de borde de sección en cajón y vigas interiores de sección doble T. El ritmo de fabricación fue de una por día.

Se prepararon unas camas de hormigonado a base de una capa de 15 cm de espesor hormigonada sobre una base preparada de piedra partida. Sobre el hormigón se colocó una chapa metálica de 32 mm de espesor como base de trabajo. Como costeros se emplearon unos paneles metálicos, sellando las juntas entre ellos con bandas de goma para evitar pérdidas de mortero. Se emplearon vibradores internos y externos.

Como sistema de pretensado se utilizó el sistema "Cabco" de la Compañía Cable Covers Ltd., que emplea siete cables de $^1/_2$ pulgada. Las vainas para los conductos, de 5 centímetros de diámetro, se fabricaron en obra con chapa metálica en bandas de una pulgada de anchura.

Tesado.

El Pliego de Condiciones imponía el tesado simultáneo desde ambos extremos para reducir las pérdidas por rozamiento y conseguir una distribución de la fuerza de pretensado simétrica respecto al punto medio de las vigas. Desde el principio se realizaron intentos para cambiar este método y tesar solamente desde un extremo, operando desde extremos alternados con los distintos tendones de la misma viga; pero este procedimiento no tuvo éxito porque se presentaban deslizamientos, se cree que debidos a la rapidísima formación de herrumbre entre las cuñas y los cables, que impedía el adecuado anclaje. En cambio, al tesar desde los dos extremos, las cuñas se introducen mientras el cable está bajo tensión mayor y entran en contacto firme con él por acuñamiento.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

Los cables se tesaron al 77 por 100 de su tensión de rotura, produciéndose así un 70 por 100 de dicha tensión en la sección central de cada viga. No se autorizaba el tesado hasta que la resistencia del hormigón en probeta cúbica alcanzaba un mínimo de 360 kp/cm² y/o habían transcurrido al menos siete días desde el hormigonado.

Colocación de las vigas.

En tierra, las vigas se elevaban sobre dos torres, cada una de ellas capaz de levantar 35 toneladas. Para lanzar las vigas sobre el agua se dispuso una viga metálica de lanzamiento y para ripar las vigas hasta su posición final, se organizó un sistema de poleas y rodillos. A ambos lados de cada vano se hormigonaron unas traviesan in situ, para atar las vigas prefabricadas. Las losas del tablero se encofraron utilizando como apoyo las alas inferiores de las vigas.

Agradecemos la ayuda de Far East Builder (abril 1969) y la amabilidad de los señores Maslowicz y Wilson autores del artículo sobre el que está basada nuestra reseña, titulado "Proyecto y Construcción del Puente Laichikok".

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

nota de la asociación técnica española del pretensado

intercambio [de] publicaciones

Dentro del programa de intercambio de publicaciones, organizado por la F.I.P. entre las diversas Asociaciones Nacionales que la integran, hemos recibido, últimamente, las que a continuación se mencionan. En ellas aparecen los trabajos que en esta nota se comentan, relacionados con la técnica del hormigón pretensado.

Para mayor comodidad de nuestros lectores, los títulos de todos los artículos se han traducido al español.

Recordamos a todos los Asociados que estas publicaciones se encuentran a su disposición, para consulta, en nuestros locales del Instituto Eduardo Torroja, Costillares, Chamartín, Madrid.

Publicaciones enviadas por el Prestressed Concrete Institute, Estados Unidos.

Revista: *Journal of the Prestressed Concrete Institute*, vol. 14, núm. 5, octubre, 1969.

1. "La utilización de prismas de hormigón pretensado, como armadura para controlar la fisuración", por N. W. Hanson.

   Sinopsis: En este artículo se presenta un informe de los resultados obtenidos en los ensayos realizados sobre siete vigas de sección en T, en las cuales, parte de sus armaduras en las alas fueron sustituidas por prismas de hormigón pretensado. Se demuestra que la presencia de estos prismas de hormigón pretensado aumenta el momento resistido en las zonas de momentos negativos antes de la aparición de primera fisura y que, una vez formada esta primera fisura, al ir aumentando los momentos las grietas, son de menor anchura.

2. "Comportamiento de las tablestacas de hormigón con juntas plásticas", por G. S. Orenstein.

   Sinopsis: Se han realizado ensayos, con un nuevo tipo de tablestacas de hormigón pretensado en cuyas juntas se incorpora un material plástico a base de polietileno, con el fin de determinar su comportamiento. Durante estos ensayos, las juntas entre piezas se sometieron a esfuerzos de tracción, esfuerzo cortante y tracción combinada con esfuerzo cortante. Los resultados obtenidos, recogidos en el presente artículo, demuestran un comportamiento suficientemente satisfactorio.

3. "Fisuración longitudinal en las vigas de hormigón pretensado de sección en cajón", por E. G. Nawy y H. Goodkind.

   Sinopsis: En la losa inferior de una viga de puente, de hormigón pretensado, de sección en cajón, se formó una grieta longitudinal que se extendía desde el apoyo hasta casi el centro de la luz. Con el fin de determinar la causa de esta grieta y valorar la reserva de resistencia hasta rotura que poseía la viga, se sometió a ensayo. En este artículo se describe dicho ensayo y se dan recomendaciones para evitar, en el futuro, fisuraciones análogas.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

4. "Estudio de las pérdidas del esfuerzo de pretensado", por W. Podolny, Jr.

Sinopsis: En el presente artículo se estudian las diferentes causas que producen pérdidas en el esfuerzo de pretensado y se intenta valorar la influencia respectiva de cada una de dichas causas en relación con las demás. Se discuten las pérdidas ocasionadas por: la relajación del acero; la retracción, deformación elástica y fluencia del hormigón; deslizamiento de los anclajes y rozamiento. Se proponen métodos adecuados para valorar estas pérdidas y se estudia la posibilidad de utilizar una sobretensión temporal o una tensión inicial más elevada, con el fin de reducir las pérdidas y conseguir que el valor de las tensiones remanentes sea el mayor posible.

5. "Industrialización de la construcción en Inglaterra", por P. J. Schryver.

Sinopsis: En este trabajo se expone el desarrollo de la industrialización de la construcción en Inglaterra y se comparan los sistemas que en dicho país se emplean con los utilizados en los Estados Unidos. Se incluyen algunas normas fundamentales para poder aplicar con éxito los distintos sistemas de industrialización de la construcción.

6. "Informe sobre la durabilidad de las estructuras de hormigón pretensado en: Estados Unidos, Canadá y países del Pacífico y Lejano Oriente", por R. Szilard.

Sinopsis: Se informa sobre la durabilidad de las estructuras de hormigón pretensado y los sistemas de construcción normalmente utilizados en los Estados Unidos, Canadá, Japón, Australia, Nueva Zelanda, India y otros países del Pacífico y Lejano Oriente. Se demuestra que los casos de accidentes o roturas son muy pocos comparados con el gran número de estructuras de hormigón pretensado actualmente construidas.

Un análisis detenido de los casos de rotura recogidos en este informe indica que, en la mayoría de los casos, los accidentes se deben al empleo de técnicas de construcción inadecuadas y, en menor proporción, a proyectos defectuosos.

Revista: *Journal of the Prestressed Concrete Institute*, vol. 14, núm. 6, diciembre 1969.

7. "Resumen de la información básica disponible en relación con el tema de las uniones entre elementos prefabricados de hormigón pretensado", por el Comité sobre Detalles de Uniones del P.C.I.

Sinopsis: El Comité que ha redactado el presente trabajo publicó ya anteriormente un manual titulado "Detalles de uniones entre elementos prefabricados de hormigón pretensado", en el cual se incluyen esquemas y descripciones generales de los diversos tipos de juntas utilizados. Recientemente, el Comité decidió aumentar la utilidad de dicho manual dando normas detalladas para el cálculo de cada tipo de juntas, reseñando numerosos ejemplos de su aplicación práctica, discutiendo las ventajas e inconvenientes de los diferentes tipos y regulando las tolerancias. Efectuó también una recopilación de todos los datos existentes sobre los tipos de unión de uso más frecuente, recopilación que, en esencia, constituye un resumen del estado actual de esta técnica.

En el presente artículo se recogen los resultados de estos trabajos.

8. "Estudio sobre el cálculo y construcción de placas planas pretensadas", por G. D. Nasser.

Sinopsis: Este artículo constituye una puesta al día de la construcción de placas planas pretensadas. Después de pasar revista a los diferentes trabajos publicados en relación con este tema durante los últimos quince años, el autor comenta las ventajas y posibilidades de las placas planas pretensadas y discute las ventajas e inconvenientes de los diferentes métodos de cálculo actualmente utilizados. Se describen brevemente varios ejemplos de estructuras construidas con este tipo de placas.

Publicaciones enviadas por la Japan Prestressed Concrete Engineering Association, Japón.

Revista: *Journal of Japan Prestressed Concrete Engineering Association*, vol. 11, núm. 5, noviembre 1969.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

9. "Construcción del puente Kawaotogawa en la carretera de To-Mei", por Y. Sasado y otros (en japonés).

Sinopsis: Se comentan los problemas surgidos durante la construcción del puente Kawaotogawa, y cómo fueron resueltos. Se incluyen también los principales detalles del proyecto del referido puente.

10. "Proyecto y construcción del mono-raíl de la Feria Internacional «EXPO-70»", por K. Amimoto y otros (en japonés).

Sinopsis: Este mono-raíl fue proyectado con el fin de facilitar el transporte a los visitantes de la Exposición Internacional celebrada en Osaka en 1970. En el presente artículo se describen el proyecto, fabricación y montaje de las vigas de dicho mono-raíl.

11. "Proyecto y construcción de las vigas prefabricadas, de sección en π, de hormigón pretensado, utilizadas en el puente Rahmen", por S. Ito y otros (en japonés).

Sinopsis: Este puente, situado a los pies del monte Fuji, se construyó totalmente a base de vigas constituidas por dovelas prefabricadas, enlazadas posteriormente entre sí mediante cables pretensados por el sistema PC. Las vigas están compuestas por 16 dovelas huecas cada una. En el presente artículo se comenta la rapidez de ejecución que el método utilizado para la construcción de este puente proporciona.

12. "Cálculo y construcción de vigas continuas para puentes", por Y. Takahashi y otros (en japonés).

Sinopsis: Los tramos de acceso del puente de Shin-Ishikari han sido construidos a base de vigas continuas de tres o cinco tramos, pretensadas únicamente en las alas, mediante el sistema BBRV. En el artículo se describe el proyecto de estas vigas y se indican los resultados obtenidos en los ensayos realizados en la propia obra.

13. "Cálculo y construcción del edificio Akafudads", por G. Fuginami y otros (en japonés).

Sinopsis: Se describe en el presente artículo el cálculo y la ejecución de un edificio destinado a centro comercial, que consta de un aparcamiento subterráneo, tres plantas de locales comerciales y una bolera en la planta superior. En la planta destinada a bolera se exigían luces libres de 28,6 metros, por lo cual, para su construcción, se adoptó una estructura a base de vigas de hormigón pretensado. El sistema de pretensado utilizado fue el V.S.L. (Vorspann System Losinger).

14. "Cálculo y construcción de un edificio destinado a las Oficinas de la Prefectura de Tochigi", por T. Kimura y otros (en japonés).

Sinopsis: Se describe el cálculo y la construcción del edificio destinado a las Oficinas de la Prefectura de Tochigi. Se trata de un ejemplo típico del empleo de la prefabricación.

15. Cálculo y construcción de un mercado de pescado para la Asociación de Pescadores de Kominato", por A. Nakagawa y otros (en japonés).

Sinopsis: Se trata de un edificio, sin muros exteriores, que exigía grandes luces libres. Por ello, se adoptó una estructura construida a base de láminas en paraboloide hiperbólico de hormigón pretensado. En el artículo se incluyen los principales detalles sobre el cálculo y la ejecución de este edificio.

Revista: *Journal of Japan Prestressed Concrete Engineering Association*, vol. 12, núm. 1, enero 1970.

16. "Cálculo y construcción del puente de Yamatogawa en la autopista de Han-Shin", por H. Motomura (en japonés).

Sinopsis: Este puente, construido por el sistema Dywidag sobre el río Yamato, en Osaka, tiene un ángulo de esviaje de unos 31°, directriz curva y tramos de distinta luz.
En el artículo se comentan los principales problemas que planteó el cálculo y la ejecución de dicho puente, dadas sus especiales características.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

17. "Obras de reparación de la presa de Marunuma", por Y. Oka y F. Kamata (en japonés).

Sinopsis: Se describen en este artículo los trabajos de reparación y modernización efectuados en la presa de Marunuma, situada en la Prefectura de Gunma y que fue construida en 1930. Como quiera que la presa se encuentra situada a más de 1.400 metros de altura y sometida a condiciones climatológicas muy adversas para los trabajos de reparación, se utilizó el hormigón pretensado. En el presente artículo se describen los principales trabajos realizados.

18. "Resistencia a compresión que deben poseer los hormigones destinados al pretensado", por Y. Miyazaki (en japonés).

Sinopsis: En el hormigón pretensado se producen pérdidas en la tensión de las armaduras como consecuencia de la retracción y fluencia del hormigón, por lo que deben utilizarse hormigones especiales, con una resistencia mínima a compresión, para que el valor de dichas pérdidas sea el menor posible.

Por otra parte, los elementos de hormigón pretensado sometidos a flexión deben construirse con hormigones cuya deformación en compresión sea lo sificientemente pequeña para que no se rompan por aplastamiento antes de que las deformaciones de las armaduras tesas hayan alcanzado un determinado valor. Por consiguiente, existe también un límite superior para la resistencia del hormigón.

Teniendo en cuenta las dos condiciones anteriormente mencionadas, el autor estudia la resistencia a compresión que deben poseer los hormigones destinados a la construcción de elementos pretensados, en función de las características de las armaduras utilizadas.

19. "Estudio experimental sobre el puente Pilz, parte I. Ensayos de carga de las vigas Gerber", por T. Kinoshita y otros (en japonés).

Sinopsis: El puente de Pilz, cuya estructura está resuelta en forma de vigas tipo Gerber, se construyó a base de placas planas de hormigón pretensado enlazadas entre sí mediante rótulas de un tipo especial. Se considera que esta solución resulta muy adecuada para la construcción de puentes para autopistas.

En el presente artículo se estudia la concentración de tensiones que se produce en las rótulas y su resistencia a fisuración. Después de varios ensayos de carga sobre modelos a escala reducida y otros realizados sobre el propio puente se comprobó que estas rótulas poseen la resistencia suficiente para fisurarse bajo la acción del pretensado total.

20. "Ensayo de carga de la estructura de un puente construido a base de vigas de sección en π de hormigón pretensado", por S. Kanda y otros (en japonés).

Sinopsis: Se han realizado ensayos de carga sobre un puente de hormigón pretensado construido a base de vigas de sección en π. Este puente, designado con el nombre de Tsuzi, tiene 4,5 metros de anchura y está situado sobre la autopista Nagoya-Kobe.

En el presente artículo se indican los resultados obtenidos en dichos ensayos, que se considera pueden ser útiles para el estudio de otros puentes del mismo tipo.

21. "Construcción de un nuevo edificio para salas de exposiciones, en Akasaka, propiedad de la Okamura Seisakusho Ltd.", por K. Yano y otros (en japonés).

Sinopsis: Este edificio, por ir destinado a salas de exposiciones, debía tener todas sus plantas diáfanas. En consecuencia, desde la tercera a la séptima planta se utilizaron vigas de hormigón pretensado de 15 metros de luz. En el artículo se dan detalles sobre el cálculo y la construcción de dicho edificio.

Revista: *Journal of Japan Prestressed Concrete Engineering Association*, vol. 12; núm. 2, marzo 1970.

22. "Traviesas de hormigón pretensado para los ferrocarriles japoneses. Pasado, presente y futuro", por Y. Higuchi y otros (en japonés).

Sinopsis: Desde hace unos veinte años los ferrocarriles japoneses vienen utilizando traviesas de hormigón pretensado, de distintos tipos, en la mayor parte de las líneas principales. También en varias líneas secundarias y en algunos tramos especiales utilizan traviesas pretensa-

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

das con características peculiares. En este artículo se hace un resumen de los principales avances técnicos realizados en la fabricación de estos tipos de piezas y de los programas previstos para el futuro.

23. "Cálculo y construcción del puente de Tama", por I. Kawashima y otros (en japonés).

Sinopsis: Se indican los principales detalles del cálculo y ejecución del puente construido sobre el río Tama, cerca de Fussa. El puente se construyó por el sistema de dovelas prefabricadas.

24. "El control de las contraflechas en las vigas de hormigón pretensado utilizadas para los puentes de la autopista de Kinki, de la línea de Osaka", por M. Ichihara y K. Kusuara (en japonés).

Sinopsis: Se han utilizado cerca de 3.000 vigas prefabricadas de hormigón pretensado para la construcción de varios puentes de 20 metros de luz en la autopista de Kinki, de la línea de Osaka. En el presente artículo se informa sobre los resultados obtenidos en los ensayos realizados para comprobar las características de estas piezas y, en especial, se comentan los métodos utilizados para controlar las contraflechas.

25. "Sobre el cálculo y fabricación de vigas con armaduras pretesas, de trazado curvo, utilizadas en la autopista de Kinki", por S Hashimoto y otros (en japonés).

Sinopsis: Resulta ventajoso, en general, especialmente cuando las vigas son de una luz considerable, utilizar armaduras de trazado curvo, aunque sean pretesas. Hasta el presente, esta solución se ha utilizado poco por no estar bien resuelto todavía el sistema necesario para conseguir el trazado curvo de estas armaduras.

En la construcción de los puentes de 20 metros de luz de la autopista de Kinki se han utilizado 25 vigas, en las cuales las armaduras pretesas tienen un trazado curvo, empleando para ello un procedimiento especial que se describe en el presente artículo.

26. "La relajación y otras características mecánicas de los alambres de acero de baja aleación", por I. Honda y otros (en japonés).

Sinopsis: En el presente artículo se informa del desarrollo alcanzado en la fabricación de alambres de acero de baja aleación, para pretensado. Se indican los datos fundamentales sobre su relajación y otras características mecánicas, comparándolos con los de los aceros normales. Se discuten también los distintos métodos de extrapolación utilizados para calcular la relajación a largo plazo.

27. "Cálculo y construcción de un edificio para el almacenamiento de frutas, en Yamagata", por I. Ito y otros (en japonés).

Sinopsis: La Prefectura de Yamagata ha construido, a base de elementos prefabricados de hormigón pretensado, un edificio destinado a frigorífico y almacén de frutas. En el presente artículo se indican los principales detalles de su proyecto y construcción.

Revista: *Journal of Japan Prestressed Concrete Engineering Association*, vol. 12, número 3 mayo 1970.

28. "Construcción de puentes de hormigón pretensado, en Europa", por A. Kawai (en japonés).

Sinopsis: En este artículo el autor presenta un informe sobre su viaje a Europa para estudiar los métodos de ejecución utilizados en la construcción de puentes pretensados. Dice que la mayoría de los puentes se construyen en voladizo a base de dovelas prefabricadas, o mediante el sistema "Gerüst Wagen". Estos métodos tienen la particularidad de que permiten independizar la construcción del tráfico inferior, por lo que resultan muy apropiados en los casos de puentes sobre vías de gran circulación (autopistas, por ejemplo) o valles profundos.

29. "Cálculo y construcción del puente en esviaje, de hormigón pretensado, sobre la entrada oriental de la "Expo-70", por K. Sato y otros (en japonés).

Sinopsis: Se trata de un puente en esviaje que cruza la entrada oriental de la "Expo-70" y el mono-raíl que recorre el recinto de la exposición. Las características fundamentales de este puente son: sus estudiadas proporciones, la forma de la sección transversal de su viga prin-

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

Edificio para oficinas y laboratorio de la Tunnel Cement Limited, en Pitstone, Bucks. Este edificio y otros análogos, que también se describen, presentan como característica fundamental una estructura construida a base de elementos prefabricados de hormigón, de sección rectangular, que se ajustan a los tipos normalizados, con carácter nacional, por el Ministerio de Edificación.

Pasarela sobre la carretera de Aveley, en Essex. El tramo central de esta pasarela es de 27 metros de luz y se prolonga, en voladizo, en dos tramos laterales de 15 metros de longitud. Toda la estructura se construyó a base de elementos prefabricados.

Revista: *Precast Concrete*, vol. 1, núm. 4, abril 1970.

40. "Empleo de elementos prefabricados de hormigón en la superestructura del nuevo puente de Londres" (anónimo).

Sinopsis: El famoso "Puente de Londres", sobre el río Támesis, construido en el siglo XIX y abierto al tráfico en 1831, se ha considerado inadecuado para el tráfico actual, por lo que se ha decidido sustituirlo por uno nuevo, de tres vanos. El tramo central es de 103 metros y los dos laterales de 80 metros. Su anchura será la necesaria para dar paso a seis líneas de circulación y dos aceras para peatones.

El eje del nuevo puente coincide con el del antiguo, por lo que su construcción se hará de la siguiente forma: se construirán primero dos pasarelas, una a cada lado del antiguo puente, que se demolerá una vez terminadas éstas. A continuación se terminará la construcción de la nueva estructura. De esta forma, en ningún momento se interrumpirá la circulación.

La demolición de la antigua estructura se hará con toda clase de precauciones, pues se piensa reconstruirla en los Estados Unidos.

El tablero del nuevo puente está constituido por vigas prefabricadas de hormigón pretensado, de sección en cajón, construidas a base de elementos prefabricados.

Revista: *Magazine of Concrete Research*, vol. 22, núm. 70, marzo 1970.

41. "Resistecia y deformación del hormigón sometido a tracción y compresión monoaxil", por C. D. Johnston.

Sinopsis: Se estudia la influencia de las distintas variables sobre la resistencia y deformación de las probetas de hormigón en masa sometidas a tracción o compresión monoaxil. Los parámetros considerados son: la real relación agua/cemento; la relación árido/cemento; el tamaño máximo del árido, y la resistencia y módulo de elasticidad del árido grueso. Los resultados obtenidos sobre 94 masas distintas se utilizan para dibujar los ábacos que permiten predecir, con suficiente aproximación, en función de los parámetros antes indicados, la resistencia y deformación del hormigón sometido a tracción o compresión monoaxil.

42. "Armaduras para esfuerzo cortante en las vigas de hormigón sometidas a cargas repartidas", por R. B. L. Smith.

Sinopsis: En las normas y en diversos trabajos teóricos realizados basándose en numerosos ensayos efectuados sobre vigas, se prescriben las armaduras para esfuerzo cortante que deben disponerse en las piezas sometidas a cargas uniformemente distribuidas. Con el fin de deducir la cuantía de armadura transversal necesaria para alcanzar la capacidad resistente a flexión de las piezas, se han ensayado 11 vigas de luces distintas y con diferentes armaduras transversales. Los resultados se comparan con los deducidos teóricamente aplicando las prescripciones de las normas inglesa y americana.

43. "Ensayos no destructivos sobre placas racionalmente calculadas", por M. A. Muspratt.

Sinopsis: Se describen los ensayos no destructivos realizados sobre placas de hormigón armado calculadas por los métodos de las líneas de rotura de Johansen y el de las bandas de Hillerborg. Todas las placas eran cuadradas y simplemente apoyadas en su contorno; y fueron sometidas a cargas uniformemente distribuidas. Los resultados obtenidos en estos ensayos se comparan con los deducidos aplicando el método de cálculo aproximado denominado "límite óptimo inferior". Los cálculos realizados por este último método conducen a unas armaduras un 37 por

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

100 inferiores a las deducidas por el método de Johansen y un 16 por 100, inferiores también, a las deducidas por el método de Hillerborg.

Revista *Magazine of Concrete Research*, vol. 22, núm. 71, junio 1970.

44. "La teoría de las líneas de rotura y el cálculo en estados límites de placas y losas", por M. W. Braestrup.

Sinopsis: Se comparan los resultados obtenidos en los cálculos realizados de acuerdo con la teoría de las líneas de rotura y según el método de los estados límites, para predecir la resistencia de las losas y placas. Se discuten las ventajas e inconvenientes de cada uno de dichos métodos y se deduce, como conclusión, que ambas teorías conducen a resultados suficientemente satisfactorios.

45. "Un nuevo método de ensayo para determinar la resistencia a tracción del hormigón", por B. Mayfield.

Sinopsis: En este artículo se describe un nuevo método para determinar la resistencia a tracción del hormigón, propuesto por el Departamento de "Energía, Minas y Recursos", de Ottawa, Canadá. Se indica que se han realizado un cierto número de ensayos previos, utilizando este método en la Universidad de Nottigham. De los resultados obtenidos se deduce que el nuevo método propuesto elimina varios de los inconvenientes que presentan los actualmente utilizados.

Publicaciones enviadas por la Asociación Rusa del Hormigón Pretensado, Rusia.

Revista *Hormigón y Hormigón Armado*, número 1, 1970.

46. "Sobre el cálculo de las estructuras de hormigón armado, sometidas a acciones sísmicas, teniendo en cuenta las deformaciones plásticas", por J. L. Korchinsky (en ruso).

47. "El empleo de fibras de vidrio como armadura de piezas de hormigón ligero", por V. I. Khartchevnikow (en ruso).

48. "Cálculo de la resistencia a fisuración de las piezas pretensadas, de sección rectangular, sometidas a flexión esviada", por M. S. Torianik (en ruso).

49. "Sobre el proyecto de norma rusa: Hormigones. Valoración de la resistencia y homogeneidad", por G. A. Berditchevsky (en ruso).

50. "Deformaciones anelásticas, por fluencia, en las piezas de hormigón sometidas a estados complejos de carga", por S. V. Alexandorvsky (en ruso).

51. "Longitud de anclajes de las armaduras de alta resistencia, en los hormigones ligeros", por R. L. Mailiane (en ruso).

52. "Estudio experimental del comportamiento de las vigas de hormigón armado sometidas a cargas repetidas", por T. F. Gordeiev (en ruso).

53. "Estudio de los hormigones de alta resistencia y de las estructuras con ellos construidas", por P. I. Krivocheiev (en ruso).

54. "Informe sobre el Simposio Internacional para el estudio de la técnica de ensayo de estructuras sometidas a la acción de cargas estáticas y dinámicas", por I. K. Chevtchenko (en ruso).

Revista *Hormigón y Hormigón Armado*, número 2, 1970.

55. "Influencia del calentamiento eléctrico en las características de los hormigones", por V. D. Kopylov (en ruso).

56. "Aumento de la resistencia de los hormigones con el tiempo", por D. Y. Ceylon (en ruso).

57. "Resistencia y deformaciones de las vigas de hormigón armado que se rompen según una fisura oblicua", por M. S. Torianik (en ruso).

58. "Informe sobre el VI Congreso Internacional para el estudio de elementos prefabricados de hormigón", por R. I. Karalov (en ruso).

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

Revista: *Hormigón y hormigón armado,* núm. 3, 1970.

59. "Revisión de algunas hipótesis de la teoría de la fisuración en hormigón armado", por J. M. Nemirovsky (en ruso).

60. "Influencia de la fluencia y retracción sobre el comportamiento espacial de los puentes isostáticos", por B. E. Oulitsky y K. I. Lvovitch (en ruso).

61. "Mejora de la calidad de los elementos prefabricados de hormigón", por A. V. Cherstnev (en ruso).

62. "Cálculo en rotura de las láminas de hormigón armado, de débil pendiente, en presencia de grandes flexiones", por G. K. Haidoukov (en ruso).

63. "Estudio de las láminas de hormigón armado por el método del equilibrio límite", por A. K. Ermakov (en ruso).

64. "Consideraciones sobre el pandeo de los soportes en edificios de varias plantas", por I. K. Nikitine (en ruso).

65. "Resistencia a tracción de los hormigones de gran resistencia", por G. N. Pissanko (en ruso).

66. "Control semiautomático de la tensión de las armaduras", por V. F. Doudine y otros (en ruso).

67. "Sobre el cálculo de estructuras hiperestática de hormigón armado", por A. A. Dykhovitchny (en ruso).

Revista: *Hormigón y hormigón armado,* núm. 4, 1970.

68. "Problemas que se plantearon durante la construcción de puentes de hormigón armado durante el Plan Quinquenal", por N. M. Kolokolov (en ruso).

69. "Desarrollo de la fabricación de tuberías de hormigón en Rusia", Por I. N. Akhverdov (en ruso).

70. "Ensayo de las juntas entre elementos prefabricados empleados en la construcción de forjados para edificios industriales de varias plantas", por A. I. Burakas y otros (en ruso).

71. "El empleo de hormigones de alta resistencia en Los Urales", por F. G. Shumilin y A. D. Penkonv (en ruso).

72. "Cubiertas de hormigón pretensado para edificios industriales", por H. Schmidt (en ruso).

Revista: *Hormigón y hormigón armado,* núm. 5, 1970.

73. "Elementos pretensados en tres direcciones", por V. V. Mikhailov (en ruso).

74. "Sobre el cálculo de edificios en hormigón pretensado", por V. A. Mikhailov (en ruso).

75. "Cálculo de depósitos prefabricados de hormigón pretensado", por Y. S. Volkov (en ruso).

76. "Sobre la tecnología del pretensado de las armaduras", por S. A. Madatian (en ruso).

77. "El pretensado de elementos de hormigón mediante cables", por A. I. Semionov (en ruso).

78. "Influencia de la temperatura sobre el comportamiento de los elementos de hormigón pretensado", por A. F. Milovanov (en ruso).

79. "La fisuración de los elementos pretensados bajo cargas repetidas", por S. A. Dmitriev (en ruso).

80. "Sobre el ensayo de placas en TT pretensadas para forjados", por B. A. Kalatourov y S. I. Dokoudovsky (en ruso).

81. "Pérdidas de pretensado originadas por la retracción y fluencia en hormigones de áridos ligeros", por K. P. Dellos y S. A. Sveriev (en ruso).

82. "Influencia del pretensado de las armaduras transversales sobre el estado de tensión y deformación de las vigas de hormigón", por V. M. Melnikov (en ruso).

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

Publicaciones enviadas por la Verkoopassociatie Nederlans Cement, Holanda.

Revista: *Cement*, núm. 1, enero 1970.

83. "Cálculo de la resistencia de una escalera simétrica, con zanca en voladizo, sometida a carga simétrica", por E. G. Kepershoek (en holandés).

Sinopsis: Durante estos últimos años se vienen utilizando, cada vez más, las escaleras simétricas con zancas en voladizo. Partiendo de diversas simplificaciones se han propuesto varios métodos para el cálculo de la resistencia de este tipo de escaleras. En el presente artículo, el autor hace un estudio crítico de dichos métodos y, como resultado del mismo, propone un nuevo procedimiento de cálculo. Con ayuda de un ejemplo compara los diversos métodos y propone las siguientes modificaciones a los procedimientos propuestos por A. Cusens y Jong-Gwo Kwang:

— Tiene en cuenta la rigidez de la junta entre los peldaños y la zanca.
— Tiene en cuenta también las deformaciones que se producen en los elementos de los peldaños.

Indica las fórmulas que considera más adecuadas para la realización de estos cálculos y compara los resultados que con ellas se obtienen con los deducidos aplicando los métodos de los otros autores.

84. "Informe sobre la Asamblea Plenaria del Comité Europeo del Hormigón", anónimo (en holandés).

Sinopsis: Durante los días 24 a 26 de septiembre de 1969 se celebró, en Scheveningue, la XIII Asamblea Plenaria del C. E. B., dedicada enteramente al estudio de las "Recomendaciones internacionales F. I. P.-C. E. B. para el cálculo y construcción de estructuras de hormigón armado y hormigón pretensado", que habrían de ser sometidas a la aprobación del VI Congreso de la F. I. P., celebrado en Praga en junio de 1970. En el presente artículo se hace un amplio resumen de las discusiones mantenidas en relación con estas Recomendaciones.

Revista: *Cement*, núm. 2, febrero 1970.

85. "Nuevos métodos para el cálculo de placas angulares, propuestos en las normas para hormigón de 1970", por W. J. Beranek (en holandés).

Sinopsis: Para el cálculo de placas rectangulares se parte, de acuerdo con las actuales normas holandesas, de la conocida teoría de la envolvente. Según el valor de los momentos en los empotramientos es posible deducir, partiendo de la posición de la línea de momento nulo, la distribución de los momentos totales en el centro del tramo y la de los momentos de empotramiento. Sin embargo, si se calculan las placas simplemente apoyadas de acuerdo con las normas vigentes parece ser que parte de la suma total de momentos no se tienen en cuenta en los cálculos. Por ello, una comisión de la C. U. R. ha realizado un estudio especial de la distribución de las reacciones de apoyos en placas rectangulares, bajo carga uniformemente distribuida, con el fin de preparar las modificaciones que deben ser introducidas, al respecto, en las nuevas normas.

86. "Excursión de la S. T. U. V. O. a Alemania occidental", anónimo (en holandés).

Sinopsis: En septiembre de 1969, la Asociación para el Estudio y Desarrollo del Hormigón Pretensado" (S. T. U. V. O.) realizó una excursión a Alemania con el fin de visitar diversas obras de interés, tales como el estadio del Rhin, en Dusseldorf; los depósitos de fermentación de limos en Colonia, con una capacidad total de 11.000 metros cúbicos; el puente de Tauberbischogsheim, cuyo tablero se construyó a la altura de los estribos, siendo después empujado por encima de las pilas; las grandes obras en el nudo de enlace Rhin-Main-Danubio, constituidas especialmente por una serie de exclusas y acueductos; el viaducto para el Metro, en Nurenberg, y el nuevo hangar del aeropuerto de Frankfort. Esta última obra, especialmente, que presenta un espacio diáfano, sin soportes, de 27.000 metros cuadrados, es un notable ejemplo de las posibilidades de la técnica del hormigón pretensado.

Revista: *Cement*, núm. 3, marzo 1970.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

87. "El empleo del hormigón ligero en la construcción", por TH. MONNIER y P. W. VAN DE HAAR (en holandés).

Sinopsis: En Holanda, el empleo del hormigón ligero en la construcción acaba realmente de comenzar. En el presente artículo se intenta reforzar la creciente confianza que ofrecen los hormigones ligeros, partiendo de las experiencias efectuadas con este material en el Instituto para Materiales de Construcción y Obras Públicas (T. N. O.). Las características del hormigón ligero y su comportamiento se comparan con las del hormigón ordinario.

Revista: *Cement*, núm. 4, abril 1970.

88. "El control de la calidad", por J. J. VAN DE PLAS (en holandés).

Sinopsis: En el presente informe, presentado a la Jornada Holandesa del Hormigón (1969), se trata de la aplicación de los métodos basados en la estadística matemática, utilizados actualmente para el control de la calidad del hormigón. Se establece una clara diferencia entre "el control de la calidad del material que se piensa suministrar" y "el control de la calidad del material recibido". Ambos controles son, generalmente, de naturaleza muy diferente, debido a que sus fines también lo son.

89. "El viaducto de Chillón", anónimo (en holandés).

Sinopsis: Se describe un viaducto construido en Suiza, a lo largo del lago de Ginebra, conocido con el nombre de Himmelstrasse. Se construyó a base de dovelas prefabricadas de sección en cajón, montadas en obra mediante una viga de lanzamiento de 122 metros de longitud. En las juntas entre dovelas se ha utilizado una cola a base de resina epoxi.

90. "La normalización de las armaduras", por D. DE ROVER (en holandés).

Sinopsis: Se trata de conseguir la normalización de las armaduras para las piezas de hormigón, con el fin de que puedan suministrarse para ser colocadas en obra sin necesidad de poseer conocimientos especiales. Se trata, además, de que los tipos de armadura elegidos satisfagan no solamente las exigencias de los cálculos estáticos, sino también, y con vistas a la economía de la construcción, las exigencias de costo mínimo.

Revista: *Cement*, núm. 5 mayo, 1970.

91. "Relación entre el tamaño de las probetas y la resistencia a compresión obtenida", por A. J. M. KOEMANS (en holandés).

Sinopsis: Se ha hecho un estudio para determinar la relación entre la resistencia a compresión obtenida, a los veintiocho días, ensayando cubos de hormigón de 20 cm de arista y probetas prismáticas de base cuadrada, de 10 cm de lado y altura superior a los 10 cm, procedentes de prismas de $10 \times 10 \times 50$ cm. Paralelamente se realizó otro estudio para la determinación de la resistencia del hormigón utilizando el martillo Schmidt. De esta forma ha podido comprobarse, entre otras cosas, que la resistencia a los veintiocho días de los cubos de 20 cm de lado resulta igual al 98 por 100 de la obtenida en los cubos pequeños siendo su desviación standard del 5,2 por 100. Los valores obtenidos con el martillo de ensayo, presentan una buena concordancia con los resultados deducidos en los ensayos sobre probetas. Los coeficientes de correspondencia para los cubos de 20 cm de arista es de 0,783 y para los cubos de 10 cm de arista de 0,758.

92. "Puente para carretera, de hormigón ligero pretensado", por C. M. M. VERHAGEN y J. W. A KOLTHOF (en holandés).

Sinopsis: En este artículo se describe un trabajo de fin de carrera, de la Escuela Técnica Superior de Delft, en el cual se pedía un estudio comparativo entre un puente construído en hormigón pretensado y un proyecto del mismo puente para ser realizado en hormigón ligero pretensado. La sección central del puente construido (el puente Hartel, en Rotterdam) consta de tres tramos de 66,85 m; 114 m y 66,85 m. Su sección transversal está constituida por tres vigas cajón, con junta longitudinal en el centro del tablero. Las vigas cajón se construyeron a base de elementos prefabricados, enlazados entre sí mediante encolados y pretensado. El puente se construyó por el método de voladizos sucesivos.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

Para el proyecto en hormigón ligero pretensado se parte de un árido a base de arcilla dilatada (Korlin). Este proyecto ha permitido deducir una serie de interesantes conclusiones, entre las cuales, la más significativa, se refiere a la acción de la retracción la cual, utilizando este tipo de hormigón, queda reducida a un valor muy pequeño. El problema consiste en saber si ésto seguirá siendo así, a lo largo del tiempo.

Revista *Cement* núm. 6, junio 1970.

93. "El hormigón pretensado y la colaboración internacional", anónimo (en holandés).

Sinopsis: En este artículo, preparado con motivo del VI Congreso Internacional de la F.I.P., se hace un estudio histórico del desarrollo de dicha Federación, así como del hormigón pretensado en general, desde sus primeros tiempos.

94. "Sobre las normas del CEB y de la FIP", por J. Brakel (en holandés).

Sinopsis: Unos 50 especialistas de diversos países, reunidos en Viena durante los días 11 a 13 de diciembre de 1969, han dado los últimos retoques a las normas comunes del CEB y de la FIP para el cálculo y la ejecución de las estructuras de hormigón. Estas normas fueron preparadas para su presentación en el VI Congreso Internacional de la FIP, de junio de 1970, en Praga. En el presente artículo se hace un informe muy detallado de dichas sesiones que, en realidad, pueden considerarse como la continuación de la XIII Sesión Plenaria del CEB, celebrada en Scheveningue, en septiembre de 1969.

95. "Construcción de un viaducto para la prolongación sur del metro de Rotterdam", por J. van Dijke (en holandés).

Sinopsis: Se ha construido un viaducto para la prolongación sur del metro de Rotterdam. El proyecto comprende una serie de pilas aisladas y hormigonadas *in situ*, separadas entre sí unos 41 m, que son las que habían de soportar los tramos constituidos por 3 vigas pretensadas, de unos 33 m de longitud. Los voladizos del capitel de las pilas eran de 4,50 m de longitud. La característica fundamental de este viaducto es la excepcional calidad del hormigón utilizado que, gracias a un riguroso control de su fabricación, llega a alcanzar los 700 kg/cm^2 de resistencia en compresión, a los veintiocho días. El aligeramiento de la estructura así obtenido, ha permitido reducir sensiblemente el número de cables de pretensado, así como el tamaño de las zapatas de cimentación de las diferentes pilas y, por consiguiente, también el número de pilotes por metro lineal de viaducto.

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025

asociación técnica
española del pretensado

Documento descargado de www.e-ache.com el 18/08/2025