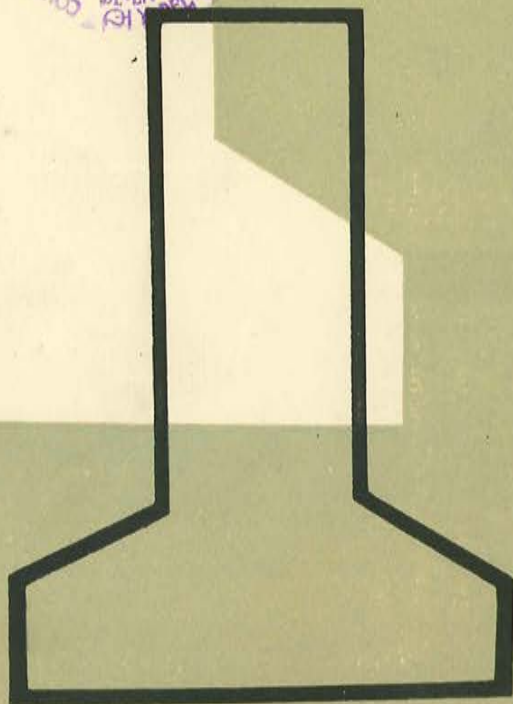
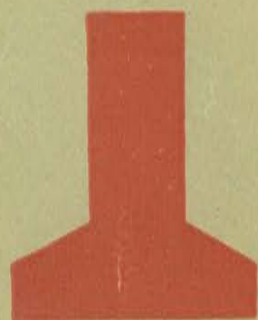


ULTIMAS NOTICIAS SOBRE

# hormigón pretensado



BOLETIN NUM. 15 DE LA ASOCIACION ESPAÑOLA DEL HORMIGON PRETENSADO  
DEL INSTITUTO TECNICO DE LA CONSTRUCCION Y DEL CEMENTO

a

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS  
Patronato "Juan de la Cierva" de Investigación Técnica



ULTIMAS NOTICIAS

Técnicas en Estructuras

Hormigón Pretensado

Boletín de circulación limitada

Nº 15

2º Trimestre 1953

- INSTITUTO TECNICO DE LA CONSTRUCCION Y DEL CEMENTO -

## I N D I C E

=====

457-0-10	La seguridad y la economía en el hormigón pretensado.. Por A. Páez .....	pág. 1
457-0-11	Normas para el proyecto de elementos de hormigón pretensado. III Parte ...	" 29

N o t a s : El Instituto, una de cuyas finalidades es divulgar los trabajos de investigación sobre la construcción y edificación, no se hace responsable del contenido de ningún artículo y el hecho de que patrocine su difusión no implica, en modo alguno, conformidad con la tesis expuesta.



457-O-10. LA SEGURIDAD Y LA ECONOMIA EN EL HORMIGON PRETENSADO

Por: A. Páez.- Ingeniero de Caminos.

-- -- --

S i n o p s i s

En este artículo se reproduce la conferencia pronunciada por el autor, el día 28 de Abril último, en la Escuela de Ingenieros Industriales de Barcelona, con ocasión del cursillo -- que, sobre temas de hormigón pretensado, se organizó en dicho -- centro docente.

En la citada conferencia se estudian los diversos -- factores que es necesario tener en cuenta cuando se trata de enjuiciar, de un modo objetivo, cual de las dos técnicas, la del -- hormigón armado o la del pretensado, resulta más conveniente, -- desde el punto de vista económico, para la realización de una de terminada estructura.

Como resultado de tal estudio y después de analizar los distintos márgenes de seguridad disponibles según el tipo de coeficiente (nominal o real) que se adopte, se llega a la conclu sión de que la condición objetiva para poder comparar dos solu -- ciones correspondientes a técnicas o tipos de estructura distin -- tos, ha de basarse sobre unos mismos criterios de seguridad en -- rotura y nunca sobre una engañosa identificación de coeficientes de seguridad elásticos o nominales.

Finalmente, se incluyen algunas consideraciones so -- bre el debatido tema de la seguridad de las piezas de hormigón -- pretensado en el transcurso del tiempo.

-- -- -- -- --

### La seguridad y la economía.

Resulta para mí un honor el hecho de que el ilustre Director de esta Escuela de Ingenieros Industriales me haya confiado una de las sesiones del cursillo. Mi juventud profesional contrasta bien claramente con la experiencia de los prestigio - sos conferenciantes que me han precedido y así no os extrañará que en estos momentos me sienta cohibido ante el temor de no poder desarrollar esta modesta aportación a la altura de las documentadas disertaciones pronunciadas en días anteriores. Al mis - mo tiempo experimento una gran satisfacción al comprobar a tra - vés de este cursillo, el alto nivel que en nuestro país, están alcanzando los conocimientos sobre el hormigón pretensado.

Dada la altura y extensión de los programas de las anteriores conferencias no me fué fácil encontrar un tema que - pudiera añadir algo de interés a este cursillo. Después de algu - nas tentativas y vacilaciones, acabé inclinándome por este de - la economía y de la seguridad.

Los más candentes problemas que actualmente tiene - planteados la técnica del hormigón pretensado, son, por un la - do, el de su pretendida inferioridad o superioridad respecto a las soluciones simplemente armadas; por otro lado el de las di - vergencias existentes entre los métodos llamados clásicos y los de rotura.

Ambos problemas están, desde su origen, situados bajo el signo de las condiciones de seguridad. Solo analizando - con todo cuidado estas últimas condiciones y su dependencia con la economía deducible, podremos sentar, con el necesario rigor,



las premisas necesarias para desarrollar tales problemas de un modo objetivo e imparcial. La economía y la seguridad, vienen a constituir así la piedra angular sobre la cual descansa el planteamiento de tan debatidas cuestiones.

De un modo matemático, la relación existente entre la seguridad y la economía puede expresarse diciendo que, en el campo de las infinitas soluciones que pueden imaginarse con solo variar el coeficiente de seguridad de una misma estructura en un proyecto, la solución lógica, por más económica en un sentido general, es aquella cuyo coste conjunto de la obra en sí y de la prima aseguradora de los posibles daños que puede causar su improbable hundimiento, incluyendo entre ellos la reconstrucción de la obra, alcance un valor mínimo.

A cada elemento estructural, realizado según las normas de una determinada técnica, le corresponde así un preciso coeficiente de seguridad. Desaparecida toda indeterminación entre la seguridad y la economía la única duda que puede subsistir se refiere al acierto en la elección de la técnica encargada de convertir en realidad el proyecto.

Admitamos, algo hay que suponer, que en la fase previa de elaboración de dicho proyecto, las soluciones metálicas han sido desestimadas por razones de economía. Supongamos que la distribución general de elementos está ya definida en luces y disposición y que la única duda que queda por solventar es la referente a la conveniencia o no de pretensar la pieza o estructura.

Creo que este es el enunciado del problema que con

más frecuencia y pasión se discute a la hora de enjuiciar las ventajas del pretensado, y al plantearlo, no me refiero a aquellos tipos de piezas o estructuras tales como tuberías, depósitos, traviesas, etc., en las que la introducción de unos esfuerzos previos de compresión, comunica al elemento unas características peculiares de impermeabilidad o endurancia. La discusión alcanza su máximo auge cuando se intentan comparar dos piezas una armada y otra pretensada en la cual las tensiones previas se introducen con el único fin de reducir el coste total de la armadura.

La idea originaria sobre la cual se basa el principio económico del pretensado, reconoce como origen el hecho, plenamente comprobado, de que, una armadura constituida por hilos o barras de acero especial es, a igualdad de esfuerzo resistido, más económica que la integrada por redondos de acero de calidad inferior. El precio de un acero, no guarda proporción con sus características resistentes. Con frecuencia se nos ofrecen armaduras cuya carga unitaria de rotura es cuatro veces más elevada que la de los aceros ordinarios, a un precio doble. El coste de la armadura, en acero especial, necesaria para absorber un determinado esfuerzo de tracción  $T$ , resulta así la mitad del precio de una armadura constituida por aceros ordinarios.

La sustitución de aceros ordinarios por otros de excepcional calidad, puede por consiguiente representar considerables economías, especialmente cuando, por determinadas causas, la cuantía o proporción de armaduras es muy fuerte.

Cuando un problema presenta, como este de la economía un elevado número de variables, resulta peligroso prescindir



de algunas de ellas con el fin de simplificar el estudio y poder deducir consecuencias prácticas. La fuerte complejidad de la solución, resulta así un campo abonado a la especulación y fácilmente se alcanzan resultados erróneos por apartados de la realidad de los hechos.

Al repasar las realizaciones efectuadas en hormigón pretensado, se observa que no faltan casos en los cuales no parece suficientemente justificada la adopción de esta técnica. En alguna ocasión me han hecho recordar aquella pintoresca contestación de un profesor centroeuropeo: ¿Por qué vamos a hacer sencillas las cosas que pueden hacerse complicadas?

No hay que olvidar que existen casos en los cuales, por paradójico que parezca, tal criterio es defendible. Los primeros ferrocarriles que circularon por el mundo y los primeros navíos de vapor, presentaban unas dudosas ventajas frente a la sencillez de los medios de comunicación con los cuales competían y hoy día, debemos agradecer la obstinada y terca posición de aquellos hombres que defendieron, con tanta ilusión como osadía, unos sistemas que, en un principio, no presentaban una notable mejora sobre los medios existentes.

Lo que ya me parece menos defendible es la postura, mantenida en muchos de los artículos publicados sobre esta materia, de intentar justificar la adopción de una técnica más complicada, basándose en unos resultados comparativos excesivamente simplificados.

Con gran frecuencia aparecen, en revistas y libros extranjeros, descripciones de obras de hormigón pretensado. Puentes, hangares, naves industriales y estructuras se construyen



por doquier especialmente en Francia y Bélgica ejecutadas con un primor y un detalle desgraciadamente poco comunes en nuestro país. Pero lo más curioso del caso es que, salvo en contadas excepciones, el empleo del hormigón pretensado se justifica basándose en la discutible propiedad de presentar una ligereza y esbeltez mayores que las permitidas por el hormigón armado. La necesidad, impuesta por la rasante y los gálivos, de reducir los cantos, se estima frecuentemente, como un motivo suficiente para adoptar una solución pretensada.

Soy de la opinión de que en este aspecto hay formulado un pequeño error de concepto. Sin duda alguna, existen casos en los cuales, por necesidades de hormigonado, es conveniente transportar la pieza, ya fabricada, al lugar directo de ubicación. En estas circunstancias, el peso de dicho elemento, debe reducirse al mínimo para facilitar la maniobra, empleándose, a tal fin, hormigones de alta resistencia cuya ejecución se hace posible al calor de la prefabricación centralizada. El canto y las dimensiones de la sección transversal quedan aquilatadas y restringidas a un valor límite con lo que la cuantía de las armaduras se eleva de un modo tal, que en ocasiones no caben, en el cordón extendido, los redondos de acero ordinario exigidos por el cálculo como sección simplemente armada. Es entonces, y sólo en estos casos, cuando en rigor puede hablarse de una imposibilidad de construir en hormigón armado una pieza tan esbelta.

Estimo, tal vez me equivoque, que en esta apasionada discusión entre las dos técnicas hermanas del hormigón, existe una buena dosis de disculpable partidismo y que, en algunas ocasiones, aparece la solución pretensada como la más favorable por

la incomprensible circunstancia de privar al hormigón armado del libre y legítimo juego que le permiten sus numerosas variables. La causa real que motiva el hecho de que el canto de las vigas -- pretensadas sea inferior al de las armadas, reconoce frecuente -- mente como origen la poco objetiva hipótesis de enfrentar unos -- hormigones de excepcional calidad con unos hormigones para armar de resistencia normal.

Cada cual tiene sus manías. Es muy humano, y entre -- las numerosas que figuran en mi haber, haciéndome insoportable, una de ellas, bastante inofensiva por cierto, es la de creer que se desprecia con infundado desdén la influencia económica de una acertada elección de la resistencia del hormigón encargado de -- realizar una determinada estructura. Me parece un tanto arbitraría la cómoda postura de fijar a sentimiento la citada resistencia, basándose únicamente en el empírico criterio de elevarla -- cuando se prevé disponer de buenos áridos y rebajarla prudente -- mente cuando se presupone una débil vigilancia sobre la obra, a causa de su lejanía de todo centro urbano. Pocas veces se piensa en las conveniencias de la propia estructura y nunca se arriesga un somero estudio económico.

Pasa algo parecido a lo que ocurre con el coeficiente de seguridad. Raro es el proyectista que está dispuesto a sacrificar unos minutos, media hora a lo más, en el cálculo del preciso valor de dicho coeficiente, aún consciente de que ello -- puede reportarle unas economías que oscilan alrededor del 15% -- del coste total de la estructura. Pocos son también los que desarrollan un ligero estudio acerca de la economía alcanzable al mo



dificar la resistencia exigible al hormigón.

Imaginemos como caso más sencillito, una sección rectangular de hormigón armado. Admitamos, de momento, que el precio del metro cúbico de hormigón es independiente de su resistencia y que el coste de colocación y encofrado es siempre el mismo. Evidentemente, a mayor canto, la cuantía de armaduras es menor, al tiempo que aumenta el volumen de hormigón. El simple establecimiento de una relación entre el precio del kilogramo de acero en redondos y el precio del metro cúbico de hormigón, conduce, por su propia naturaleza, a un dimensionado económico, libre de todo criterio subjetivo. No son pocos los autores que, basándose en estos criterios, formulan el postulado de que la solución o cuantía más económica es aquella para la cual se igualan los costes del hormigón y de la armadura.

Pero precisemos más. Pasemos a una segunda fase. Imaginemos la pieza simplemente apoyada y bajo la acción de las sobrecargas exteriores. Todo aumento de canto supone una reducción en la armadura, a causa del mayor brazo mecánico disponible. Sin embargo, esto solo es cierto hasta un determinado límite, toda vez que, el citado aumento produce un proporcional incremento en el peso propio de la pieza. El momento flector aumenta exigiendo una mayor cuantía.

Finalmente, admitamos una cierta relación entre el precio del metro cúbico de hormigón y su resistencia. Un hormigón de alta calidad, de elevada resistencia, es siempre más costoso que uno de escasa carga de rotura. Ciertamente esta correlación es un tanto variable por ser función de numerosas circunstancias de origen local, por intervenir, en dicho estudio económico, la

posibilidad, o conveniencia de acarrear los áridos de una u otra cantera, de efectuar o no un enérgico apisonado o vibrado, de llevar a cabo una más o menos escrupulosa dosificación, etc. Las dificultades son, evidentemente, muy grandes si se pretende deducir una ajustada ley, pero no debe olvidarse que el carácter fundamental del problema planteado es establecer una fórmula de comparación, un criterio aproximado que permita eliminar la existente indeterminación. En tal hipótesis, fácilmente se comprende -- que la correlación entre precios y resistencias, por muy grosera y poco aproximada que sea, siempre conducirá a una solución más lógica y objetiva que la obtenida siguiendo el arbitrario criterio de definir dicha resistencia a sentimiento, sin posibilidad de estimar la influencia del peso propio en el óptimo dimensionamiento.

La extensa variedad de tipos de piezas imaginables, con sus distintas luces, regímenes de tensión y sistemas de fuerzas exteriores, impide indicar un porcentaje que refleje la economía alcanzable con este procedimiento. Solamente a título de orientación, y con todas las salvedades que las citadas variantes imponen, puede decirse que, como término medio, suelen conseguirse unas economías del orden del 7%. Si a esta reducción se le añade el 15% deducible a partir de un estudio previo del coeficiente de seguridad; se llega a la conclusión de que es posible alcanzar una economía comprendida entre el 20 y el 25% del coste de la estructura, con solo desarrollar estos tanteos previos de sencillo proceso, el uno por lo elemental de su planteamiento y el otro por estar ordenado y tabulado en un sistemático procedimiento.



Pero, tal vez he ido demasiado lejos. No era mi intención exponer estos criterios como unos procedimientos de general aplicación, sino, únicamente, como base y fundamento de una objetiva formulación del problema económico del hormigón pretendido.

En realidad, mientras se deje un parámetro al libre albedrío, mientras no se justiprecie en su debida importancia la influencia que en la economía de una obra, pueda tener el valor de la resistencia  $R$  del hormigón, no puede establecerse una objetiva comparación económica entre ambas soluciones.

Si se quiere plantear el problema despojándose de todo disculpable partidismo, es preciso renunciar a cómodos supuestos y liberar de toda inútil ligadura a los parámetros que podemos manejar a nuestro antojo. Para que la comparación sea válida es necesario relacionar la más económica solución pretendida con la más económica solución de hormigón armado, colocar ambas técnicas en unas mismas condiciones de seguridad y economía.

Por otra parte las diferentes condiciones locales, -- la distinta relación entre precios de materiales, transporte y -- coste de la mano de obra, hacen que no sean aplicables a un país las conclusiones obtenidas en otro.

A nosotros, los técnicos españoles, nos suelo extrañar la desusada importancia que los ingenieros suizos conceden a las estructuras de madera. Los arquitectos extranjeros, suelen -- quedar impresionados por la profusión, valentía y belleza de -- nuestras fachadas de ladrillo visto. En cierta ocasión observé -- el asombro de un ingeniero sudamericano, profesionalmente forma-

do en las espesas selvas venezolanas, al ver el proceso de ejecución de nuestros pontones carreteros. Comprendí su sorpresa e imaginad la mía, cuando me dijo que ellos resolvían aquel menudo problema colocando, una junto a otra, vigas metálicas de alma llena, transportadas desde Caracas en camiones y enluciéndolas con un mortero, para evitar la corrosión y formar el tablero. Cuando les sobraban vigas, hecho bastante corriente según me dijo, las abandonaban en el terraplén y no volvían a preocuparse de ellas.

Brutal contraste entre dos condiciones económicas locales diametralmente opuestas. Explicad, a un ingeniero norteamericano, que las razones que motivaron que una determinada empresa constructora de nuestro país, construyese un teleférico transportador de grava, fueron las de conseguir una reducción en el coste del acarreo de los áridos mediante mulos, y que el flamante teleférico solo funcionó las horas precisas para rebajar las pretensiones de los rebeldes "transportistas" de la localidad.

Pero no sólo son las condiciones económicas locales, los costes relativos de mano de obra y precios de los materiales los que imponen orientaciones y sesgos sorprendentes y disparatados para un técnico no familiarizado con las características regionales. Son también las condiciones técnicas de ejecución las que obligan, en circunstancias especiales, a recurrir a sistemas no tradicionales.

Unas veces, las condiciones especiales de navegación imponen unos procesos constructivos tan extraños como el de la fig. 1. La estructura se desnaturaliza convirtiéndose en dos voladizos lo que parece debería constituir un arco. La técnica del pretensado proporciona aquí el medio de conseguir la necesaria



trabazón entre las sucesivas dovelas o tramos hormigonados e incluso las correcciones oportunas sobre las flechas de ambos elementos. En otros casos, las reservas forestales permiten la construcción de robustas cimbras de madera (fig. 2) en lugar de las autocimbras metálicas.

No puede decirse que sea muy frecuente la simultánea construcción de cinco puentes iguales, en lugares relativamente próximos y ubicados, todos ellos, sobre un mismo río navegable. La intuición genial de Freyssinet ante tan insólito caso, le condujo a la original solución de construir los cinco puentes, fragmentados en dovelas, en un taller situado en las márgenes del río y llevar en barcazas dichos elementos hasta la propia obra (fig. 3). Mediante adecuados pretensados, las piezas quedan ensambladas y unidas unas con otras, hasta formar unos arcos biarticulados muy rebajados. Unos potentes gatos hidráulicos, introducidos en las rótulas de arranques, corrigen la directriz y someten la estructura a un régimen de precompresión longitudinal.

Aleccionada por los progresos realizados por otras industrias, la técnica de la construcción evoluciona, en el momento actual, intentando captar los beneficios de la prefabricación. En este aspecto, la influencia del hormigón pretensado ha sido general. Salvando las fronteras de su propio campo ha orientado la técnica de la construcción hacia la fabricación centralizada de vigas en taller como medio para conseguir hormigones de la más alta calidad, y, como consecuencia, elementos ligeros propios para cubrir grandes vanos con un mínimo de peso propio.

La fig. 4 muestra unas vigas de impresionante ligereza. La extraordinaria delgadez del alma, sólo puede conseguirse mediante la utilización de finos alambres, distribuidos en toda

su altura, eliminando el cordón de alojamiento de armaduras en el borde inferior. Una fuerte precompresión robustece la resistencia del débil nervio frente a los esfuerzos cortantes, reduciendo las tensiones principales de tracción por ellos producidas.

Pero no debemos olvidar que también la técnica del hormigón armado progresa en ese mismo sentido y sabe sacar partido de tales orientaciones. Unas veces utiliza viguetas prefabricadas, otras pilotes. En ocasiones transporta a la obra elementos más complicados, triángulos, cerchas, y no faltan casos en los que (fig. 5) las piezas prefabricadas, convenientemente enlazadas entre sí, integran etéreas y vaporosas estructuras laminares, tan ligeras, que a primera vista se confunden con los entramados metálicos.

Cada técnica tiene su propio campo de aplicación, y el acierto del proyectista estriba en obtener la conveniente adecuación de formas al carácter funcional de la obra, a las necesidades a cumplir, recurriendo a uno u otro procedimiento según las características que precise alcanzar para conseguir su objetivo. Del mismo modo que la adopción de una estructura metálica para realizar un proyecto, solo está justificada cuando las condiciones económicas o de otro orden así lo aconsejan, la construcción de una estructura pretensada solo será acertada cuando las ventajas que se deducen de su específico carácter, compensen la complicación que supone la introducción de unos esfuerzos previos.

Rota la analogía de ejecución, desaparecida toda identidad en el proceso constructivo, se hace imposible deducir unas normas o unos criterios simplistas destinados a discriminar



la supremacía económica de una u otra técnica. Los ejemplos que acabais de ver ponen de manifiesto el hecho de que, no existe ra razón alguna por la cual, la más económica solución armada haya de guardar parentesco funcional con la óptima solución pretensada.

Pero todavía os digo más. Ni aún admitiendo la hipótesis de una identidad de soluciones, ni aún suponiendo que por determinadas circunstancias una y otra técnica coinciden en un mismo tipo de estructura, podemos asegurar "a priori", sin examinar los respectivos presupuestos, cual será la más económica. - Las distintas condiciones locales impiden traducir a nuestra patria los resultados económicos y las conclusiones sancionadas por la práctica en otros lugares situados fuera de nuestras fronteras. Puesto que la economía obtenida al sustituir unos aceros or dinarios por otros de alta calidad, queda mermada y a veces superada, por el coste adicional de las maniobras de pretensado, se comprende que, en primera aproximación, el cociente que resulta de dividir la diferencia entre los costes de una y otra armadura entre el coste de las maniobras de pretensado, juegue un papel, de la mayor importancia, a la hora de decidir entre una y otra técnica.

Plantenido así el problema, parece llegarse a la conclusión, cuya verosimilitud ignoro y someto a vuestra consideración, de que cuanto menor es el coste relativo de la mano de obra, más amplio y dilatado es el campo de aplicación del hormigón pretensado. Dicho de otro modo, estructuras que en un determinado país serían prohibitivas, por su coste, en hormigón pretensado, podrían ser adecuadas, por más económicas, en otro en el que a igualdad de calidades y precios de aceros ordinarios y especiales, los salarios fueran inferiores.

No debo ocultaros que estas conclusiones deben ser -- aceptadas con gran cautela y con numerosas reservas. La complejidad del problema en su doble aspecto técnico y económico es tan fuerte que solo deben interpretarse tales orientaciones como le -- ves sugerencias. La experiencia es quien, en definitiva debe sancionar esta discusión.

Siento desilusionar a aquellos que vinieron a oír esta comunicación con la esperanza de entresacar unos criterios -- concretos. Mis conocimientos, como veis, son bastante reducidos. Pero no me habría atrevido a presentarme ante vosotros tan de vacío, si no fuera porque estimo, que, en el momento actual, ahora, cuando se comienza a construir en hormigón pretensado con -- más acentuado ritmo que en años anteriores, cuando proyectistas y constructores consagran su atención a las posibilidades de la introducción de esta nueva técnica en nuestro país, es cuando ha llegado el momento de difundir unos criterios generales encaminados a conseguir una necesaria objetividad en los estudios comparativos. De otro modo, si por diferencias de concepto los proyectos y los resultados no son comparables, habremos dilatado, prorrogando la fecha, el plazo necesario para que la práctica sancione con equidad el incipiente pleito entre las dos técnicas -- del hormigón.

Cada tipo de obra, es más, cada grupo funcional de -- una misma estructura, debe estar proyectado con un apropiado coeficiente de seguridad. Su valor depende de las características -- mecánicas particulares y de la magnitud o importancia de los daños que puede originar su posible hundimiento. Su determinación puede efectuarse en cada caso concreto, mediante los métodos ma-



temático-estadísticos existentes.

Si se estudian dos soluciones, una armada y otra pretensada, mecánicamente iguales entre sí, con idéntica distribución de luces y elementos y un mismo grado de hiperestatismo, los coeficientes de seguridad resultantes en uno y otro caso son prácticamente iguales.

Por el contrario, si las dos soluciones son funcionalmente distintas, los coeficientes de seguridad matemáticamente deducidos podrán no ser los mismos, y para poder comparar objetivamente ambas soluciones, será preciso establecer, como base de partida, un mismo criterio de seguridad para una y otra estructura.

La razón es de tal evidencia que puede calificarse como de incursión por los terrenos de Pero Grullo. Tan elemental es repetir que para comparar dos soluciones con criterio objetivo, debe partirse de unas mismas condiciones de seguridad, que parece inútil machaconería el traer a la memoria tan evidentes conceptos.

Y sin embargo, creo que es aquí, en este punto concreto, donde nace uno de los errores de concepto más arraigados en la técnica del hormigón pretensado.

Con el fin de justificar esta opinión, comencemos por imaginar una pieza de sección rectangular de 0,30 x 0,10 m. Permitidme que antes de estudiar esta pieza como si fuera de hormigón, la suponga materializada en acero, y sea (fig. 6) el diagrama de tensión-deformación de tal material. Mientras al principio el acero se comporta como un cuerpo hookeano, al llegar a la tensión de 2400 Kg/cm<sup>2</sup> el material se deforma, fluye, plastifi-

cándose sin sensible incremento de la carga impuesta, hasta al -  
canzar la rotura después de sufrir grandes alargamientos.

Si se somete la sección citada a un esfuerzo de trac-  
ción axil de 360 T., las distintas fibras longitudinales trabaja-  
rán a una tensión de:

$$\sigma = \frac{360.000}{30 \times 10} = 1.200 \text{ Kg/cm}^2$$

Si el límite elástico del material es de 2.400 Kg/cm<sup>2</sup>,  
el coeficiente de seguridad elástico o nominal, vendrá represen-  
tado por el cociente que resulta de dividir este límite por la -  
tensión alcanzada, es decir que el coeficiente de seguridad elás-  
tico que presenta la pieza, para un esfuerzo de tracción de 360  
T., es:

$$C_1 = \frac{2.400}{1.200} = 2$$

Por otra parte, si la tensión límite de rotura es de  
2.400 Kg/cm<sup>2</sup> el esfuerzo de tracción máximo será de 2,4 x 30 x 10 =  
= 720 T. El coeficiente de seguridad real, o relación entre la -  
solicitud de rotura y la aplicada es:

$$C = \frac{720}{360} = 2$$

es decir en perfecto acuerdo con el nominal anteriormente halla-  
do.

No nos confiemos dejándonos llevar por una identidad  
de resultados solo concordantes en estos casos elementales de so



solicitud. No nos dejemos ahora arrastrar por el mismo error -- que, por engañosas coincidencias, sedujo el ánimo de los técnicos que, en el pasado siglo, fundaron el criterio de las tensiones admisibles, a raíz de los primeros ensayos en tracción y compresión simple, sobre probetas. En lugar de generalizar la validez de los resultados obtenidos extendiéndola a casos más complejos, veamos lo que ocurre cuando la misma pieza se encuentra sometida a esfuerzos de flexión.

Cambiamos el tipo de solicitud. En lugar de aplicar un esfuerzo simple de tracción, introduzcamos un momento flector inicial de 18 m T. (fig. 7). El reparto de tensiones, será ahora lineal por estar comprendidas las cargas unitarias dentro del primer tramo de práctica proporcionalidad. La tensión máxima alcanzada es de 1.200 Kg/cm<sup>2</sup>, lo cual nos autoriza a decir que, bajo tal solicitud, el coeficiente de seguridad nominal es:

$$C' = \frac{2.400}{1.200} = 2$$

Sin embargo, contrariamente a lo que cabría esperar, la rotura no se produce ahora bajo un momento flector doble. Al introducir un momento de 36 m T., (fig. 8) se alcanza, efectivamente, la tensión de 2.400 Kg/cm<sup>2</sup> en la fibra más cargada, pero, a diferencia del caso precedente ahora la pieza está facultada para absorber momentos mayores.

Aumentemos el momento en 10 m T. más. Bajo el momento de 46 m T. la pieza sigue sin romperse. Una buena parte de las fibras extremas han alcanzado la tensión de relajamiento y --

acompañan a las otras fibras en la deformación aunque sin incrementar la carga unitaria. Agotadas en su trabajo, rebasado su límite de resistencia activa, transmiten todo exceso de carga a las fibras menos deformadas (fig. 9). Una zona de 5 cms. a partir de cada borde, opera ya en pleno escalón de fluencia.

A medida que aumenta el momento exteriormente aplicado, la zona agotada se amplía más y más hasta que se alcanza una deformación límite. Sólo al llegar a los 54 m T. la pieza, prácticamente agotada en toda su sección, se rompe, incapaz ya de aumentar el volumen de compresiones, igual al de tracciones.

El resultado es totalmente distinto al obtenido al aplicar un esfuerzo simple de tracción. Antes, el coeficiente de seguridad elástico o nominal era igual, en valor numérico, al real. Ahora no sucede lo mismo. Bajo un momento de 18 m T., el coeficiente de seguridad elástico es igual a dos, por ser este valor el cociente que resulta de dividir la tensión máxima, 2.400 Kg/cm<sup>2</sup> por la tensión producida al aplicar dicho momento 1.200 Kg/cm<sup>2</sup>. En cambio, el coeficiente de seguridad real será igual a tres, ya que para alcanzar la rotura, 54 m T., se hace preciso multiplicar por tres, el citado momento de 18 m T. Los coeficientes de seguridad elásticos y reales, que en el caso elemental de tracción simple coincidían, difieren en un 50% en el caso de flexión simple, con el mismo material y con idéntica sección. Lo único que ha cambiado es el tipo de sollicitación o esfuerzo aplicado.

¿Qué ocurre con el hormigón? No era mi propósito, al referiros estos dos ejemplos, mostraros una particularidad, por muy interesante que sea, de la técnica de los elementos metáli-



cos. No, mi idea estaba fija en el hormigón y así no he vacilado al proponeros un ejemplo de sección rectangular. Si me he referido al acero es porque el diagrama de tensión-deformación que os acabo de proyectar es más sencillo que el mismo diagrama en el hormigón.

Ciertamente no faltan autores, Saliger entre ellos, que han propuesto en alguna ocasión un diagrama para el hormigón semejante al que habeis visto. La reología, esa moderna rama de la mecánica de pseudo-sólidos, se inclina abiertamente hacia unos diagramas de tipo parabólico y creciente curvatura a medida que aumenta la carga impuesta. En esencia, los resultados son cualitativamente los mismos; coincidencia de coeficientes reales y nominales bajo esfuerzos de compresión simple y superiores valores de los coeficientes reales sobre los elásticos o nominales, bajo esfuerzos simples de flexión.

Subrayemos unos instantes esta conclusión. Imagine mos una pieza de hormigón armado sometida a unos determinados es esfuerzos de flexión simple. Si, de acuerdo con la teoría clásica, se calcula la sección de tal modo que la fibra más cargada de hormigón no rebase la tensión admisible, se obtendrán unas dimensiones, una sección tal, que su coeficiente de seguridad real para el hormigón, será superior al previsto.

Podreis decirme que en ese caso, preferís aplicar los métodos tradicionales, ya que las diferencias no son demasiado grandes. De acuerdo, solo puedo oponeros el que, disponiendo de métodos más afinados, más exactos y precisos y, aunque os parezca paradójico, de aplicación más sencilla, nunca más complicada, no parece razonable aferrarse a unos criterios tradicionales.

De todos modos, en lo relativo a la seguridad nada puedo objetar ya que, los márgenes son más amplios, por conducir a dimensiones excesivas.

Pero no olvidéis que cuanto os he dicho se refiere, única y exclusivamente a esfuerzos de flexión simple. Todo el razonamiento se ha basado en suponer un esfuerzo normal nulo. No generaliceis con excesiva despreocupación. Los anteriores resultados son sólo aplicables al hormigón armado ya que, implícitamente, hemos supuesto que la armadura incrementa su esfuerzo a medida que aumenta la sollicitación exterior.

¿Satisface el hormigón pretensado esta última hipótesis? ¿Que principios admitimos en el cálculo de las secciones pretensadas?

De acuerdo con la teoría clásica, es decir la basada en el ya antiquado concepto de las tensiones admisibles, suponemos que el esfuerzo de pretensado se mantiene constante, inalterable, independiente de la magnitud del momento flector aplicado. El volumen de compresiones en una determinada sección es así constante en todo momento y lo único que hace es trasladar su centro de gravedad, o punto de aplicación de su resultante, para mantener el equilibrio con las sollicitaciones impuestas.

Aplicando estas hipótesis lisa y llanamente, a la sección rectangular estudiada, llegaríamos a la conclusión, verdaderamente sorprendente, de que la sección se rompería bajo un momento 2,33 veces superior a aquel que produce unas tensiones máximas iguales a la tercera parte de la resistencia. Dicho de otro modo, a un coeficiente de seguridad elástico o nominal tres, le corresponde un coeficiente de seguridad real 2,33.



La teoría clásica conduce así a unas dimensiones insuficientes, a unos resultados faltos de la necesaria seguridad. Los criterios basados en el principio de las tensiones admisibles, que no resistieron el peso de una teoría de la seguridad -- por inconsistencia de su significado físico, se tornan volubles y mientras en unos casos conducen a soluciones dotadas de un margen superior al real, en otras se muestran incapaces de suministrar las convenientes garantías.

La razón de este cambio radica en la substancial diferencia operada en el comportamiento de la pieza cuando, al superar el momento aplicado el valor previsto, determinadas fibras de hormigón, dejan de estar comprimidas por el esfuerzo inicialmente introducido para pasar a estar fuertemente extendidas. En estas circunstancias, dada la incapacidad de este material para resistir importantes esfuerzos de tracción, el reparto interno de tensiones se transforma. Sus leyes, dejan de obedecer la distribución propia de secciones sometidas a esfuerzos de compresión compuesta, para pasar a funcionar en un régimen de flexión compuesta. La fibra neutra, se sitúa ahora dentro de la sección separando, a modo de frontera, dos zonas, una activa y resistente y otra pasiva, incapacitada para un trabajo eficaz con sus fibras extendidas y en muchos puntos fisurada.

La diferencia entre los coeficientes de seguridad no minales o elásticos y los reales, es excesivamente fuerte para -- soslayar la discusión basándose en la necesidad de aceptar unas ciertas tolerancias. Un 22% de error, es un porcentaje demasiado alto para ser despreciable. Entre un resultado y otro, existe algo más que una simple cuestión de apreciación. Existe una laten-

te diversidad de criterio, una honda discrepancia en el planteamiento del problema. Si nos contentamos con determinar las condiciones o estado de tensión de la pieza bajo las sollicitaciones previstas bien está el primer criterio. Si deseamos conocer el margen de seguridad disponible, habremos de atenernos a los resultados del segundo.

La repercusión de estas conclusiones en el estudio comparativo entre dos soluciones distintas, no debe pasar desapercibida para los proyectistas. Sería injusto y arbitrario compararlas entre sí cuando no existe una misma unidad de criterio en uno y otro caso, cuando se disponen márgenes de seguridad diferentes, aunque enmascarados bajo la falsa apariencia de unos mismos coeficientes de seguridad nominales.

En consecuencia, estimo, es también una modesta opinión personal, que la condición objetiva para poder comparar equitativamente dos o más soluciones, correspondientes a otras tantas técnicas o tipos de estructura distintas, ha de basarse sobre unos mismos criterios de seguridad en rotura, y nunca sobre una engañosa identificación de coeficientes de seguridad elásticos o nominales.

- - - -

Finalmente, y para concluir esta modesta aportación, dedicaré unas breves palabras al tan debatido tema de la seguridad de las piezas pretensadas, en el transcurso del tiempo.



No puedo ocultar la atmósfera de marcado pesimismo - que sobre este particular han creado, en algunos sectores, las conferencias que anteriormente he pronunciado. Las opiniones suscitadas han sido múltiples y contradictorias. Con frecuencia se me han achacado cosas que no he dicho. A veces se han dado a mis palabras interpretaciones exageradas.

Por ello, quiero aprovechar la ocasión que amablemente me brinda esta prestigiosa Escuela de Ingenieros Industriales para dirigirme a todos aclarando conceptos que creí suficientemente explicados pero que veo han sido mal interpretados. Jamás me he atrevido a fijar plazos previos de catástrofes. La inspiración profética es un don sólo propio de los elegidos. Sería ridículo, por otra parte, augurar unos periodos de vida tan cortos - como los que, según se dice, he asegurado, cuando la realidad nos ofrece obras pretensadas, que ya cuentan con más de una veintena de años de existencia. Llevado por un disculpable patriotismo y simpatía por nuestros valores nacionales, no he vacilado en clasificar como obra pretensada, si bien correspondiente a una fase de incipiente evolución, el acueducto de Tempul construido en Jerez el año 1926. Pocos autores han sostenido la primacía de esta obra, y si yo he sido uno de ellos, he aceptado, al hacerlo, la supervivencia de una obra de este estilo durante 28 años. Jamás he condenado las estructuras pretensadas a una inexorable rotura. Repasad las conferencias publicadas y vereis una clara tendencia a relacionar un posible plazo de vida, con la tensión inicialmente aplicada. Nunca me he atrevido a establecer una ley fija. Solo me he limitado a señalar la dependencia citada, y aún así os ruego la acepteis como una opinión personal.

Creo, ratificando mis opiniones que existe tal ley. La veo en los hormigones cuando estos se rompen al cabo de las horas bajo una compresión mantenida en las proximidades de la rotura. La veo en el acero sometido a fuertes cargas y elevadas temperaturas. Sus límites los desconozco. Su expresión la ignoro.

¿Conclusiones? Si, una. La experiencia nos enseña que siempre que sometemos el acero de las armaduras pretesas a unas cargas prudentes, del orden de las aplicadas en las obras construídas los fenómenos de fluencia son tan débiles que no parecen comprometer la estabilidad futura de la pieza. Los defectos observados, no deben ser interpretados como causa suficiente para desechar el procedimiento, sino como puntos a estudiar en las sucesivas soluciones. También los vemos en las estructuras simplemente armadas y no por eso abandonamos esa técnica, horrorizados ante tales fallos. La labor que cabe a los investigadores es constructiva. Se estudian los defectos, se analizan sus causas, se dan normas y se escriben artículos detallando las sugerencias que se estiman oportunas para corregir tales errores. No me negaréis que en las estructuras metálicas existe el peligro bien palpable de la corrosión y nadie ha tildado de pesimista y contrario a tales procedimientos, a quienes han escrito extensos volúmenes sobre esta materia.

Mientras no nos apartemos del trillado camino abierto entre la maleza por los que, con decisión, nos precedieron, no surgirán desagradables sorpresas. Yendo tímidamente a la zaga de los demás, podremos construir con la confianza que nos proporciona el aval de las obras ya ejecutadas. Sólo nos quedará corre



gir, si ello es necesario, los ligeros defectos que las anteriores realizaciones acusaron.

Pero el campo de las estructuras pretensadas no presenta unas fronteras, unos límites, perfectamente definidos. La supremacía sobre el hormigón armado radica en el empleo de unas armaduras de alta calidad. La economía así conseguida, depende -- en gran parte, de la magnitud de las cargas unitarias aplicadas al acero y del acierto en la elección del tipo de dispositivos -- de anclaje encargados de mantener dichos esfuerzos.

Por tanto nada tiene de extraño el que, con laudable afán, se intenten alcanzar nuevos horizontes, forzando las tensiones previas en busca de adicionales economías. Entonces, al avanzar por el peligroso sendero de la extrapolación, al afinar las secciones elevando los esfuerzos iniciales por encima de los valores sancionados por la experiencia, es cuando se hace preciso adoptar todo género de precauciones y detectar, con el radar de la teoría, los fenómenos que nos puedan saltar en esa región inexplorada por la cual pretendemos penetrar.

Mi consideración y encomio para aquellos que, con va lentía y decisión, aceptaron conscientemente el reto del fracaso aventurándose por nuevos derroteros. No importa si triunfaron o no. Su labor ha sido en todo caso fecunda ya que, o bien abrieron nuevos horizontes, ampliando la zona consolidada por la experiencia, o bien balizaron con su esfuerzo fallido, unas barreras, unos límites, que hasta entonces se habían mantenido borrosos, -- envueltos en la bruma de la incertidumbre.

Creo que faltaría a mi deber si, con torpe intención, callara mis preocupaciones, nacidas a la luz de la teoría, al --

vislumbrar una zona resbaladiza e inestable, cercana al borde -- de los dominios consolidados por la experiencia, y con malicia, empujase a todos hacia un abismo cuya profundidad presiento sin poder localizar donde se oculta. Estimo que lo justo, en tal situación, es señalar la posible presencia de un peligro, y me parece improcedente, incorrecto e ilógico que tal advertencia sea calificada de unilateral, derrotista y destructiva.

Observad que, en anteriores conferencias, solo os -- he informado de un fenómeno de fluencia, claramente acusado en los ensayos realizados sobre aceros sometidos a fuertes cargas unitarias y elevadas temperaturas. No es este el caso de la -- construcción de estructuras pretensadas, pero analizando las -- causas, pude entrever, con mis escasas luces, la posibilidad de que, por encima de determinadas tensiones límites, tales resultados representen, en cierto modo, unos ensayos acelerados. Las razones las conoceis por estar publicadas. Allí vereis que apunto la posibilidad de unos hechos, imposibles de ser comprobados experimentalmente por vía directa, ya que imponen, por defini -- ción, la necesidad de esperar largos años. Por debajo de esos -- límites está la experiencia de obras construídas. Por encima, -- unas previsiones basadas en unas propiedades metalográficas. La tensión límite, la barrera a partir de la cual son de temer la presencia de tan oscuros fenómenos, os la he definido repetidas veces, una de ellas en las pasadas conferencias desarrolladas -- en el Colegio de Arquitectos de esta ciudad. Nada tengo que añadir a tales criterios. Nada creo que pueda objetarse a la permanencia de unos esfuerzos introducidos con arreglo a tales condiciones, siempre que los anclajes se realicen de un modo conve --



niente y mediante dispositivos que ofrezcan las necesarias garantías acerca de su comportamiento.

Disculpadme si, quebrando la línea o trayectoria de esta conferencia, he acabado leyendoos estas cinco cuartillas. -- Si lo he hecho así, ha sido con la deliberada intención de poder reproducir, con absoluta fidelidad y rigor, las palabras últimamente pronunciadas.

Trato así de evitar y corregir las erróneas interpretaciones, desvirtuadas por el transcurso del tiempo. Más de una vez, he pensado que también el recuerdo sufre fenómenos de deformación lenta y más de una vez, he tenido ocasión de recordar -- aquella infantil fragmentación del Credo:

"Poncio Pilato fué crucificado, muerto y sepultado".

457-0-11 NORMAS ALEMANAS PARA EL PROYECTO DE ELEMENTOS DE HORMI-  
GON PRETENSADO

(Vorgespannte Stahlbetonbauteile. Richtlinien für die Bemessung.  
DIN 4227)

Publicado por "WILHELM ERNST UND SOHN" -- Berlin 1950

Autor: Hubert Rüsch

- - -

(Continuación)

9. CARGA UTIL. ESTADO DE CARGA MAS DESFAVORABLE

9.1 Generalidades

Las estructuras deben calcularse de tal forma que sean capaces de resistir todos los estados de carga previstos, tanto durante su construcción como a lo largo de su vida de servicio.

En elementos estructurales pretensados, la variación de tensiones no es proporcional a la variación de las cargas por cuanto la magnitud del esfuerzo previo de pretensado es independiente de las cargas aplicadas. Además, en general, el esfuerzo de pretensado disminuye lentamente desde el momento inicial de su aplicación hasta que cesan los efectos de las deformaciones lentas o deslizamientos plásticos y de la retracción de fraguado.

Por ello es por lo que en elementos estructurales pretensados, a fin de establecer los valores extremos de las tensiones, es necesario analizar los distintos sistemas de carga a medida que se van sucediendo con el tiempo, y tener en cuenta tan-



to el proceso constructivo como la fecha en la cual la estructura haya de ser puesta en servicio.

## 9.2 Tipos de carga

La determinación de los sistemas de carga más desfavorables se simplifica mucho si se analizan independientemente los siguientes tipos de carga:

### 9.21 Pretensado

Comprende todos los esfuerzos y tensiones debidos únicamente al pretensado sin, incluir los efectos de cualquier otro tipo de carga.

### 9.22 Cargas permanentes

Teniendo en cuenta que el efecto producido por las cargas permanentes es distinto según el momento en que empiezan a actuar sobre la estructura cabe, en ocasiones, establecer una subdivisión dentro de este tipo de carga.

### 9.23 Sobrecargas accidentales:

También este sistema de cargas, debe subdividirse en - varios grupos, a estudiar independientemente, (P.ej. sobrecargas verticales, presión del viento, peso de la nieve, etc.) sobre todo en los casos en que unos tipos de sobrecarga actúen antes, y otros después de haberse producido las deformaciones lentas más importantes y la retracción de fraguado.

### 9.24 Variaciones de temperatura:

Cuando sea necesario, deberán también tenerse en cuenta las tensiones originadas por las variaciones de temperatura. Así ocurre, por ejemplo, en el caso de piezas de grandes dimen-

siones en las cuales el esfuerzo de pretensado resulta considerablemente afectado por el calor de fraguado del hormigón (ver 8.1).

#### 9.25 Retracción y deformaciones lentas:

A este estado de carga corresponden las modificaciones de esfuerzos y tensiones originadas por la retracción de fraguado y la fluencia bajo carga permanentemente aplicada.

#### 9.3 Combinaciones de sobrecargas

Generalmente para determinar las tensiones más desfavorables será necesario estudiar las hipótesis de sobrecarga que se indican a continuación, a no ser que previamente se haya demostrado que todas o algunas de ellas no conducen a valores desfavorables extremos.

#### 9.31 Estado previo a la transmisión del esfuerzo de pretensado al hormigón

En este estado, se produce generalmente la máxima tensión de tracción en los alambres, en el caso de armaduras pretensas. Dado que solo se trata de una sollicitación transitoria, se admite una tensión superior a la normal de trabajo (ver 16. Tabla VIII renglón 43).

Este estado debe ser también estudiado cuando la pieza haya de estar sometida a carga antes de su pretensado.

#### 9.32 Estado de carga inmediatamente posterior a la aplicación del esfuerzo de pretensado

En este estado se producen, en general, las máximas tensiones de compresión en la zona extendida bajo la acción del momento de agotamiento y numerosas veces, también, las máximas tensiones de tracción en la futura zona comprimida. En consideración



a que este estado es de corta duración y teniendo en cuenta que las tensiones que en él se originan son de signo contrario a las producidas en los demás estados de carga, suelen tomarse, para las tensiones admisibles, tanto en tracción como en compresión, valores superiores a los normales (ver 16. Tabla VIII renglones 5 a 8 y 11 y 18).

9.33 Estado de carga posterior a la aplicación del pretensado, - bajo el efecto combinado de todas las cargas permanentes, todas las cargas móviles en su posición más desfavorable y las variaciones de temperatura que puedan actuar antes de que el deslizamiento plástico y la retracción de fraguado dejen de manifestarse en forma efectiva.

Aquellas cargas que hayan de ser aplicadas más de seis meses después del hormigonado, no deben tenerse en cuenta.

Esta combinación de cargas conduce, generalmente, a la máxima sollicitación de la armadura de pretensado.

9.34 Estado de cargas posterior a la terminación del deslizamiento plástico y retracción del hormigón

Deben considerarse, para su cálculo, todos los esfuerzos de precompresión, cargas permanentes y sobrecargas móviles, y los efectos producidos por las variaciones de temperatura, de formaciones lentas y retracción, combinados en la forma más desfavorable.

Este estado conduce a la mínima tensión de compresión o a la máxima de tracción en la zona extendida bajo la acción - del momento de agotamiento y a la máxima tensión de compresión de la zona comprimida. En ciertos casos da lugar también a la máxima sollicitación en la armadura de pretensado.

## 10. SEGURIDAD CONTRA LA FISURACION EN LOS CASOS DE PRECOMPRESION TOTAL

### 10.1 Tensiones de tracción admisibles en la zona extendida bajo la acción del momento de agotamiento

En los elementos totalmente pretensados, en general, - no se permite que, bajo las cargas de trabajo, existan tensiones de tracción en el hormigón. En los siguientes casos, sin embargo, pueden admitirse las tensiones de tracción que figuran en 16 Tabla VIII, renglones 13 a 17.

#### 10.11 Superposición de estados de carga desfavorables

Deben admitirse tensiones de tracción en el hormigón - cuando se considere una combinación de estados de carga desfavorables, muy improbable (p. ej. la acción simultánea de varias - grúas todas ellas en la posición más desfavorable o el efecto combinado del viento y una grúa en posición desfavorable). Sin embargo para cualquier combinación probable de cargas no deberán producirse tensiones de tracción.

#### 10.12 Flexión esviada

En este caso se admitirán también tracciones en el hormigón.

Sin embargo, si solo actúan momentos flectores según - uno de los ejes, no deben originarse tensiones de tracción.

10.13 Hipótesis en las cuales se consideran distribuidas las sobrecargas, exclusivamente, sobre las zonas de igual signo de las líneas de influencia. En el caso de estructuras hiperestáticas, proyectadas con el auxilio de sus líneas de influencia, podrán admitirse tensiones de tracción en el hormigón cuan-



do se considere, como hipótesis más desfavorable, que todos los tramos en los cuales las ordenadas de dichas líneas de influencia tienen el mismo signo, están simultáneamente cargados y descargados los restantes. Por el contrario, no se admitirán tracciones en el hormigón, cuando se suponga que la carga se encuentra distribuida, únicamente sobre un solo tramo.

#### 10.2 Tensiones de tracción admisibles en la zona comprimida bajo la acción del momento de agotamiento.

##### 10.21 Estado transitorio

En las zonas que han de quedar comprimidas bajo la acción del momento de agotamiento, pueden admitirse en el hormigón las tracciones unitarias que se indican en 16 Tabla VIII línea 11, siempre que dichas tensiones actúen solamente durante poco tiempo y en el intervalo comprendido entre el instante en que se aplica el esfuerzo de pretensado y el momento en que empieza a actuar la totalidad de las cargas permanentes.

##### 10.22 Estado final

En la zona que ha de quedar comprimida bajo la acción del momento de agotamiento y cuando ya toda la carga permanente se encuentra actuando, sólo se admitirán, como excepción, tensiones de tracción en el hormigón bajo las condiciones especificadas en 10.1 y dentro de los límites establecidos en 16 Tabla VIII, renglones 13 a 17.

#### 10.3 Armadura para absorber los esfuerzos de tracción

##### 10.31 Generalidades

Las tensiones de tracción que, de acuerdo con 10.1 y 10.2 se originen bajo las cargas de trabajo deberán ser absorbi-

das por armaduras, cuya sección se determinará teniendo en cuenta las tensiones admisibles que, para el acero, figuran en 16 Tabla VIII renglones 46 a 48. Dichas armaduras se distribuirán uniformemente por toda la zona de tracciones. En el caso de emplear el procedimiento de pretensado por adherencia, podrá contarse para absorber las tracciones con las secciones de armadura pretensada (barras o alambres) situadas en la zona extendida, siempre que se compruebe que las tensiones en la citada armadura no exceden de las admisibles indicadas en 16 tabla VIII renglón 44.

#### 10.32 Caso especial

Para las tensiones de tracción descritas en 10.21 pueden aumentarse en un 30% los valores admisibles indicados en 16, Tabla VIII renglones 46 a 48, siempre que se tenga la seguridad de que dicho estado de carga ha de ser de corta duración. Esta excepción, sin embargo, no podrá admitirse en casos tales como los de losas pretensadas, prefabricadas, para forjados de piso.

#### 10.4 Precauciones especiales para garantizar la seguridad a la fisuración en el caso de pretensado sin adherencia.

##### 10.41 Cálculo de la armadura auxiliar necesaria en las zonas extendidas

En el caso de pretensado sin adherencia existe el peligro de que, en secciones débilmente armadas, para pequeños aumentos de carga, se originen tensiones de tracción capaces de producir fisuración, si no se dispone la armadura suplementaria necesaria en la zona extendida. Para evitarlo, se determinan las tensiones de tracción producidas en el hormigón, por una carga teórica constituida por la suma del esfuerzo de pretensado más los efectos de la fluencia y la retracción de fraguado más 1,35 veces



los efectos de la carga permanente, sobrecarga móvil y las variaciones de temperatura combinados en la forma más desfavorable.

El esfuerzo total de tracción originado por dicho estado de carga debe ser absorbido por una armadura auxiliar calculada partiendo de las tensiones indicadas en 16 Tabla VIII líneas 49 a 51.

#### 10.42 Armadura mínima

En general, los elementos pretensados sin adherencia, deberán poseer una cuantía mínima de armadura del 0,2%, repartida uniformemente sobre toda la sección.

#### 10.5 Disposiciones especiales para garantizar la seguridad a la fisuración en los casos de pretensado con adherencia adicional

Cuando en este tipo de pretensado, la adherencia se produzca inmediatamente después de aplicar el esfuerzo de pretensado y la armadura se encuentre distribuida más o menos uniformemente sobre la zona que ha de quedar extendida bajo la acción del momento de agotamiento, la comprobación de la seguridad a la fisuración se realizará como en el caso de pretensado por adherencia. Si la adherencia se produce posteriormente regirán las recomendaciones dadas en 10.41, para todas las cargas que puedan presentarse antes de que se produzca la adherencia. Si la armadura de pretensado no se encuentra uniformemente distribuida sobre la zona extendida, (p. ej. si existen sólo unos pocos cables formados por alambres trenzados) será necesario comprobar todas las cargas con arreglo a lo dispuesto en 10.41. Al calcular la armadura auxiliar podrá descontarse la sección correspondiente a los cables pretensados comprendidos en la zona extendida.

## 11. SEGURIDAD A LA FISURACION EN LOS CASOS DE PRETENSADO PARCIALES

### 11.1 Generalidades

En el pretensado parcial, la seguridad a la fisuración es menor que en el pretensado total; sin embargo como las tensiones de tracción que se admiten son inferiores a la resistencia a la tracción del hormigón, resulta que aún en las piezas parcialmente pretensadas la seguridad a la fisuración es siempre considerablemente mayor que en los elementos de hormigón armado no pretensados.

La comprobación de las tensiones de tracción debe realizarse para el estado I.

En lo posible deberá evitarse que en las estructuras parcialmente pretensadas aparezcan tensiones de tracción bajo la acción combinada del esfuerzo de pretensado y las cargas permanentes. Esta recomendación tiene especial interés en el caso de puentes.

### 11.2 Tensiones de tracción admisibles en el hormigón

Bajo las cargas de trabajo, las tensiones de tracción admisibles son generalmente las indicadas en la Tabla VIII líneas 19 a 21. Y para las hipótesis especiales de carga reseñadas en 10.1 las de las líneas 22 a 26. Cuando se sobrepasen dichas tensiones, los cálculos deberán realizarse de acuerdo con la parte A (DIN 1045) sin tener en cuenta el esfuerzo de pretensado.

### 11.3 Juntas de hormigonado

Se intentará evitar en lo posible las juntas de hormigonado en las zonas sometidas a tracción. Podrán admitirse sin



embargo, si las tensiones de tracción en dichas zonas no exceden de la mitad del valor admisible, o se presentan únicamente bajo estados excepcionales de carga muy poco probables y de corta duración, mientras que bajo las cargas normales aparecen únicamente tensiones de compresión que tienden a cerrar las grietas.

#### 11.4 Armaduras para absorber esfuerzos de tracción

La armadura necesaria para absorber los esfuerzos de tracción originadas por las cargas de trabajo, se calculará de acuerdo con lo estipulado en 10.3.

#### 11.5 Medidas suplementarias para garantizar la seguridad a la fisuración en los casos de pretensado sin adherencia o con adherencia adicional

En los casos de pretensado sin adherencia o con adherencia adicional, deberán adoptarse también las medidas suplementarias, para garantizar la seguridad a la fisuración, previstas en los apartados 10.4 y 10.5.

(Continuará)

- - -

Conferencia de Mr. J. N. Walker

=====

El pasado día 17 de Abril y en los locales de este Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento, Mr. J. N. Walker, I.C.E., miembro del "Prestressed Concrete Development Group" entidad dependiente de la "Cement and Concrete Association", pronunció una conferencia, sobre hormigón pretensado, con arreglo al guión que a continuación se reproduce:

- 1º.- Breve charla sobre la teoría del hormigón pretensado.
- 2º.- Descripción de los diversos métodos.
- 3º.- Economía de materiales.
- 4º.- Hormigones de alta calidad.
- 5º.- Resistencia al fuego del hormigón pretensado.

Al final de la misma, y después de haber respondido amablemente a diversas preguntas que le fueron formuladas por algunos de los presentes, en relación con los temas tratados, proyectó una película sobre el empleo en Inglaterra del procedimiento "Ductube".

- - -

Conferencia de Mr. Y. Guyon

=====

A las siete de la tarde del pasado día 1 de Mayo, y en los locales del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, (Duque de Medinaceli, 4), invitado por la "Asociación Española - del Hormigón Pretensado" del Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento, pronunció una interesante conferencia el Ingeniero francés Mr. Y. Guyon, director técnico de la S.F.U.P., sobre el tema:

"Essais sur des poutres continues en béton précontraint. Enseignements a en tirer".

La conferencia fué ilustrada con numerosas proyecciones.

- - -



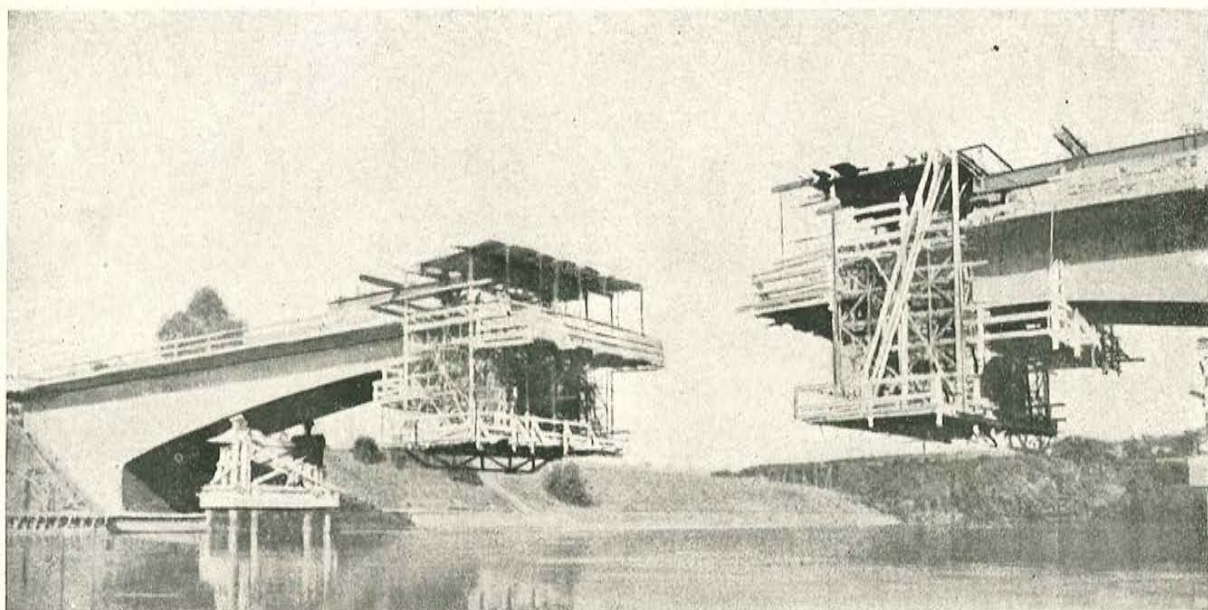


Fig. 1.

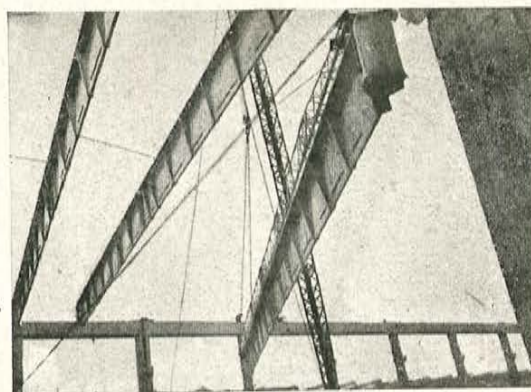


Fig. 4.



Fig. 3.

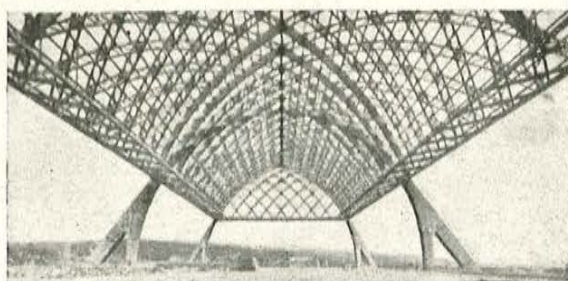


Fig. 5.

