

VIGAS PREMOLDEADAS PRETENSADAS

Algunos Problemas Constructivos

por

Ing. Claudio L. Cotignola

0. INTRODUCCION

Me ha tocado tratar un tema constructivo y he elegido vigas pretensadas. Voy a hablar de algunas experiencias que he vivido en las obras que participé. Trataré la construcción de una viga realizada al pie de obra y postesada en su totalidad para luego ser montada.

Probablemente muchos de los de aquí presentes tengan experiencia en obra y ya conozcan lo que voy a decir, pero quizás otros no y les sea de utilidad.

Trataré las distintas etapas a saber:

1. Proyecto
2. Armado
3. Hormigonado
4. Protección y curado
5. Tesado
6. Inyección

1. PROYECTO

Una viga con pretensado total está sometida a distintos estados tensionales a lo largo de su servicio.

No obstante, existen dos condiciones ideales y limitantes en la vida de una viga de hormigón postesado que son las que interesan al diseñador: la condición temporaria y la condición final.

En el momento en que la fabricación de la viga se ha completado la fuerza de pretensado tiene su máxima magnitud, ya que las pérdidas aún no se han iniciado. Por otra parte, la resistencia del hormigón se irá incrementando paulatinamente, correspondiendo a este momento el valor mínimo de toda la vida de la viga.

En la manufactura de una viga de hormigón postesado es usual y deseable que el tesado de la viga se realice tan pronto como el hormigón haya alcanzado la resistencia necesaria para soportarlo, de manera que la viga pueda removerse y que el lecho de pretensado pueda volver a utilizarse.

Los esfuerzos admisibles en el hormigón para el estado temprano, o sea previo a la ocurrencia de las pérdidas, se proporcionan como porcentajes o funciones de la resistencia del hormigón en el momento de efectuarse el tesado.

Transcurrido el tesado, el esfuerzo comienza a disminuir.

La reducción total de la fuerza de tesado, la cual se debe principalmente al acortamiento de la viga, causada por la contracción y deformación progresiva del hormigón, y el relajamiento en el acero, se efectúa principalmente durante los primeros años después de la fabricación de la viga.

Transcurridos, digamos alrededor de 3 años y para los fines prácticos, todas las pérdidas se han producido, llegándose a la denominada condición final, con la fuerza de tesado mínima y la resistencia del hormigón máxima.

Los esfuerzos admisibles en el hormigón correspondiente a la condición final se proporcionan como porcentajes o funciones de la resistencia exigida para 28 días.

Analizaremos un caso concreto, con valores numéricos, para evaluar los distintos estados tensionales que debe soportar una viga, partiendo del estado tensional nulo que corresponde a la viga descansando en su molde o lugar de hormigonado. Ver Figuras Nº 1 y Nº 2.

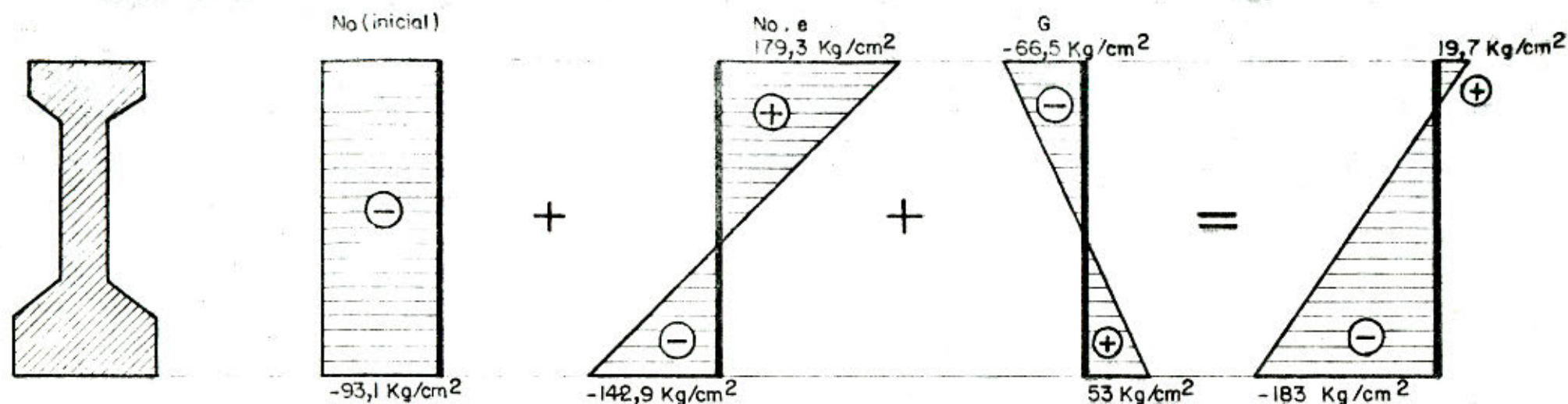
Si observamos los diagramas resulta que las mayores tensiones se producen durante la condición temporaria, o sea entre el momento que se finaliza el tesado y el hormigonado de la losa.

Por todo lo expuesto se deduce que el periodo crítico para la

aparición de fallas es anterior al hormigonado de la losa, pudiendo ser éstas evitadas mediante una adecuada inspección.

SECCION ANALIZADA 0,5 L (viga de 25m. y 1,35m de altura).

CONDICION DE CARGA: Fuerza de pretensado + peso de la viga.



PARA PROCEDER AL TESADO DE ESTA VIGA SERIA NECESARIO, SEGUN LAS EXIGENCIAS QUE TIENE V.N., VERIFICAR QUE LAS PROBETAS ACUSEN.

a) POR COMPRESION.

$$R_{cp} \geq 1,5 \sigma_{bc}$$

$$R_{cp} \geq 1,5 \times 183 \text{ Kg/cm}^2$$

$$R_{cp} \geq 274,5 \text{ Kg/cm}^2$$

R_{cp} : RESISTENCIA A COMPRESION DEL HORMIGON
A LA EDAD DEL TESADO

σ_{bc} : TENSION DE COMPRESION PRODUCIDA POR
No.

b) TRACCION POR FLEXION

$$R_{cp} \geq 15 \sigma_{bz}$$

$$R_{cp} \geq 15 \times 19,7 \text{ Kg/cm}^2$$

$$R_{cp} \geq 295 \text{ Kg/cm}^2$$

σ_{bz} : TENSION DE TRACCION PRODUCIDA POR
No.

Fig. 1

CONDICION DE CARGA: Anterior + perdidas + sobrecargas permanentes +
+ carga movil c/impacto.

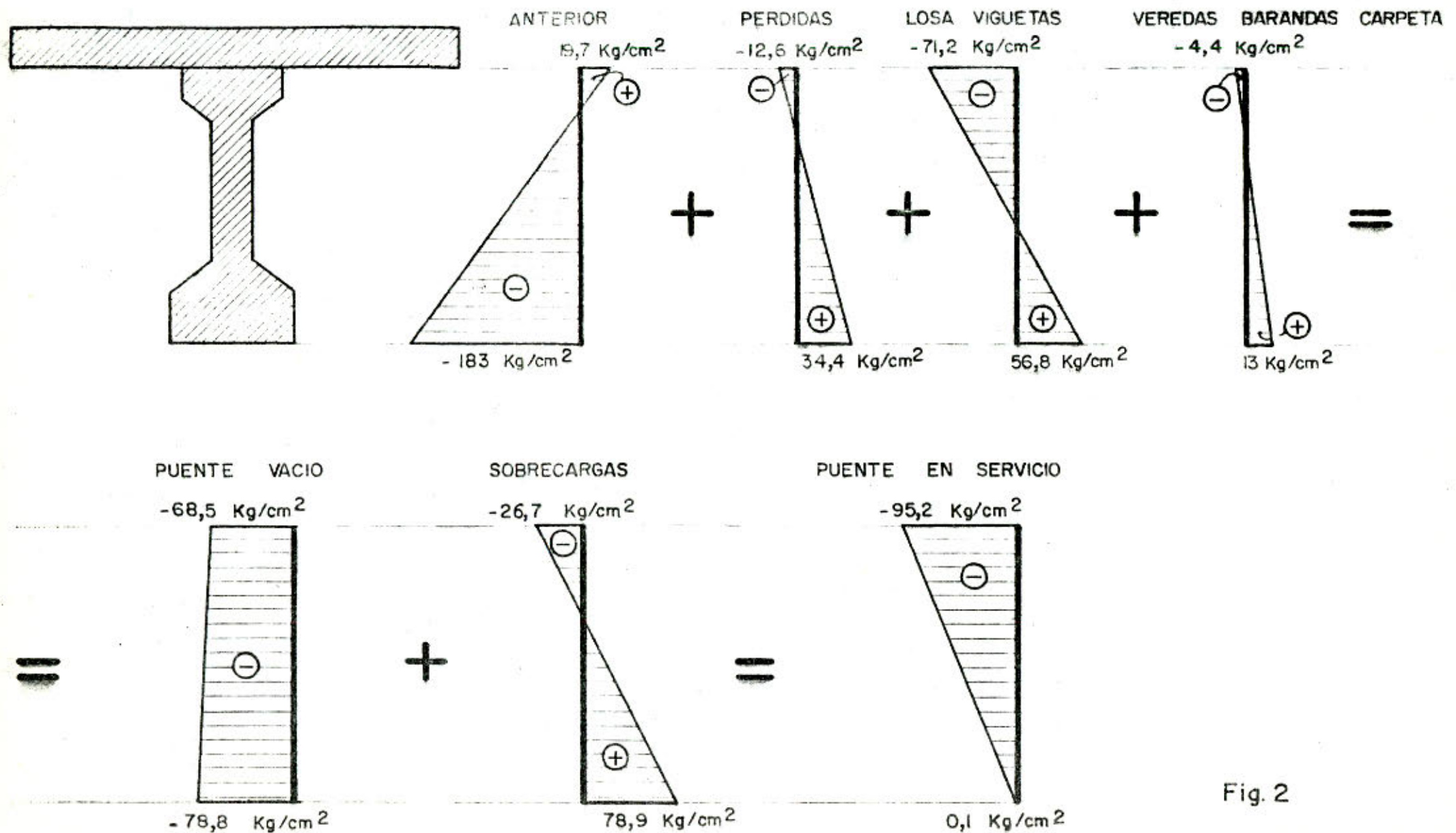


Fig. 2

2. ARMADO

La descuidada ejecución de la obra y una disminución en la calidad de los materiales prevista en el proyecto, puede ocasionar problemas de costosa y difícil reparación.

Como consecuencia del papel activo de las armaduras, que actúan como acciones exteriores, los elementos estructurales pretensados son muy sensibles a las discrepancias entre lo proyectado y lo construido. Por ello, la colocación de las armaduras activas debe realizarse con una precisión superior a lo que es habitual en otros tipos de construcciones.

Normalmente se admite una tolerancia vertical de ± 5 mm.

Veamos con un ejemplo lo que puede suceder cuando no se respeta la tolerancia. Ver Figura N° 3.

Los 29,8 kg/cm² de tracción en la fibra superior excede lo especificado por los reglamentos y sería necesario para absorberlos 7 $\phi 10$, que habitualmente no se colocan. La consecuencia es una fisura parte central superior.

Otro problema que comúnmente se presenta es el escaso espesor del alma que se proyecta por su poca colaboración en el módulo resistente. Veamos un ejemplo: vaina tipo para 24 $\phi 7$, diámetro 5 cm. Ver Figura N° 4.

Conforme al tamaño máximo del agregado grueso que oscila entre 3/4" y 1 1/4" no es conveniente proyectar vigas con un espesor de alma inferior a los 20 cm.

Analizando el problema del punto de vista económico, llevar un alma de 15 a 20 cm implica para una viga de 25 m, 0,6 m³ de hormigón, que traducido a Dólares serían 120 -valor no comparable con el costo de reparación de una viga mal llenada.

La disposición de las vainas y de las armaduras pasivas se debe realizar pensando en el hormigonado de la viga, para que pueda pasar el hormigón entre ellas y recubrirlas con comodidad.

Disposición de vainas. Ver Figura N° 5.

La disposición de la armadura tanto pasiva como activa debe permitir el acceso del vibrador. Para ello en algunas ocasiones si es necesario hay que agrupar la armadura pasiva superior de la cabeza de la viga, siempre respetar la separación entre vainas, proyectar almas del espesor suficiente y prestar especial atención en las zonas de anclajes, donde por lo general hay gran cantidad de armadura y una superposición vertical de anclajes activos y pasi-

vos.

Cada sistema de pretensado tiene su armadura pasiva característica para absorber los esfuerzos que los anclajes tanto activos como pasivos imponen al hormigón al producirse el tesado. De nada sirve esta armadura si no permite un razonable hormigonado.

Es preciso que en el proyecto de los elementos pretensados se definan no sólo la disposición de las vainas, características geométricas de las mismas, dispositivos de anclaje y demás elementos auxiliares, sino también la disposición de las armaduras pasivas de la totalidad de la pieza, con especial atención a las interferencias con las armaduras activas, a la densidad de armaduras en zonas especiales y al cumplimiento de las exigencias de recubrimientos y distancias.

SECCION 0,5 L, vainas 3 cm. por debajo de la posicion especificada.

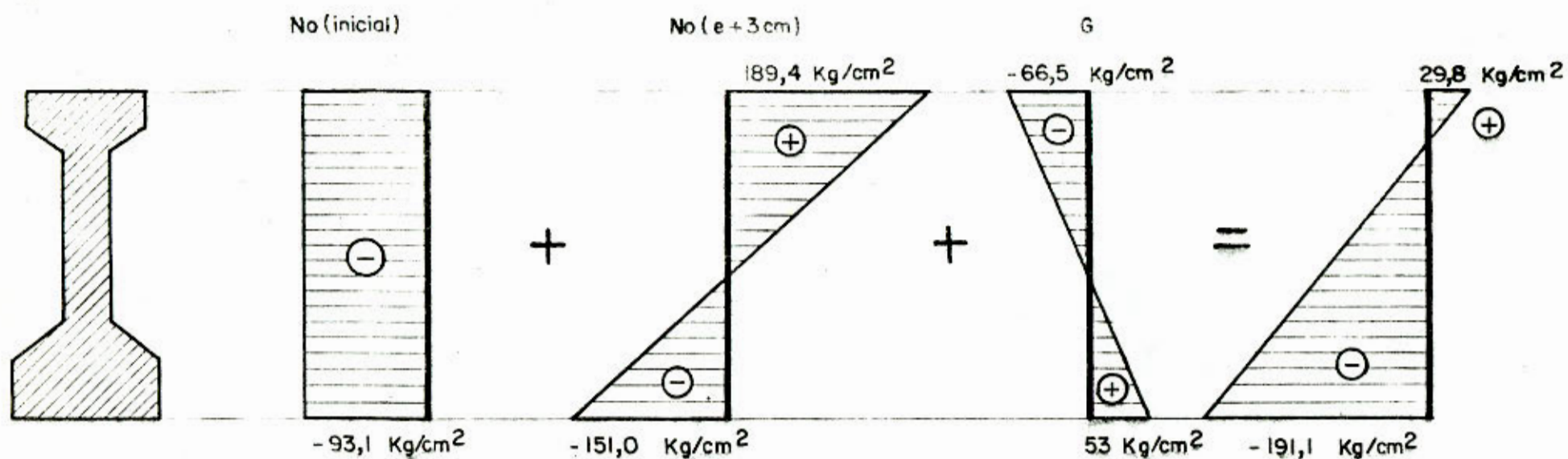


Fig. 3

ESPESOR DEL ALMA

EJEMPLO: Vaina tipo para 24 $\emptyset$ 7, espesor 5 cm.

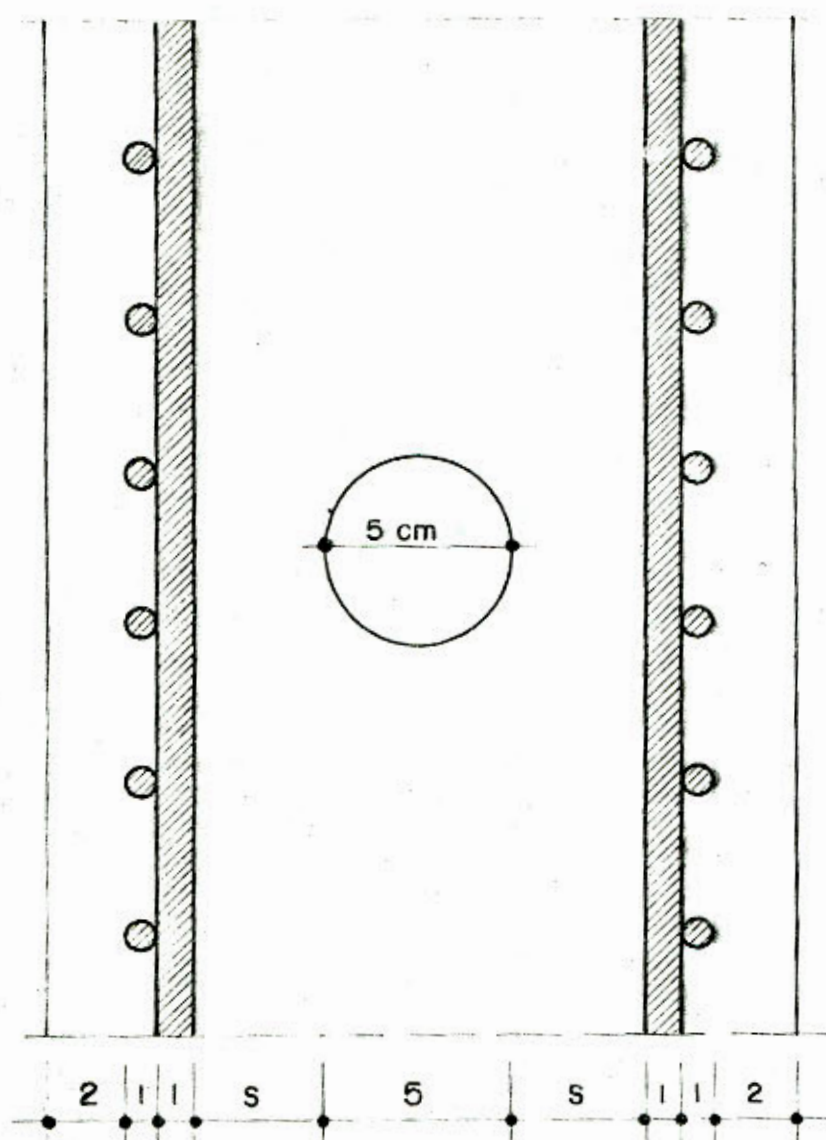


Fig. 4

Separacion S para :

$e = 15 \text{ cm.}$ $s = 1 \text{ cm.}$

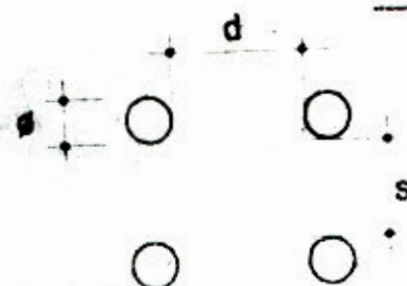
$e = 18 \text{ cm.}$ $s = 2,5 \text{ cm.}$

$e = 20 \text{ cm.}$ $s = 3,5 \text{ cm.}$

COMO DISPONER LAS VAINAS

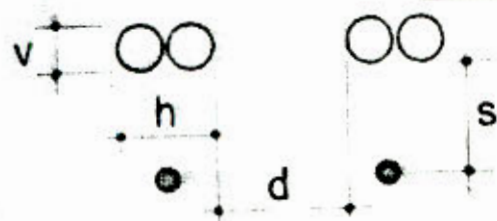
entre si o con respecto a las armaduras pasivas.

Aisladas



$$s, d \geq \begin{cases} 40 \text{ mm} \\ \emptyset \text{ vaina o } \emptyset \text{ armadura pasiva mas cercana.} \\ 1,20 \text{ veces el tamaño max. del árido.} \end{cases}$$

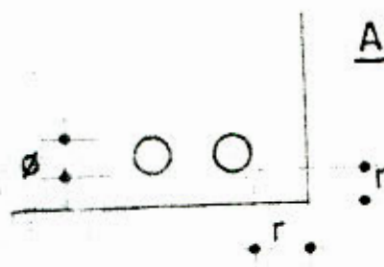
Grupos de dos elementos tangentes.



$$s, d \geq \begin{cases} 40 \text{ mm} \\ \text{el mayor de los valores } v \text{ o } h \\ 1,20 \text{ veces el tamaño máx. del árido} \end{cases}$$

COMO DISPONER LAS VAINAS respecto de los paramentos

Aisladas



$$r \geq \begin{cases} 40 \text{ mm} \\ \text{el diametro de la vaina.} \\ 1,20 \text{ el tamaño max. del arido.} \end{cases}$$

Grupos de dos elementos tangentes.



$$r \geq \begin{cases} 40 \text{ mm.} \\ \text{el mayor de los valores } v \text{ ó } h \\ 1,20 \text{ veces el tamaño max. del arido.} \end{cases}$$

VAINAS MAL DISPUESTAS

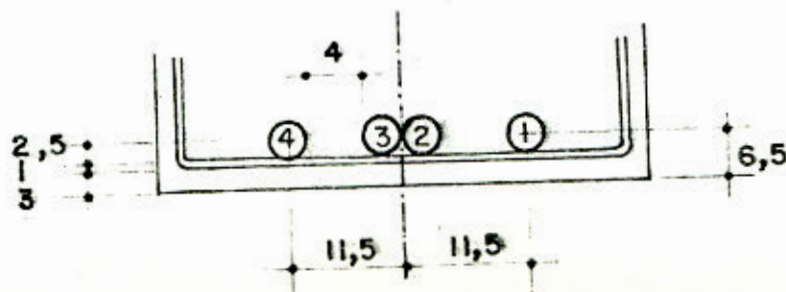


Fig. 5

3. **HORMIGONADO**

Algunas consideraciones sobre el hormigón:

Vialidad Nacional especifica $R_c 28 \geq 300 \text{ kg/cm}^2$ (resistencia media mínima), un contenido de cemento entre 350 kg y 400 kg de cemento por m^3 de hormigón y una relación agua-cemento menor o igual que 0,50.

Para colocar este hormigón es recomendable el uso de aditivos plastificantes o plastificantes-retardadores. Un asentamiento normal para un llenado aceptable se debe aproximar a los 15 cm.

Para lograr una mejor terminación superficial y un mejor llenado es conveniente una mezcla rica en mortero y con un agregado grueso de pequeño tamaño máximo (19 mm), pero la disminución del agregado grueso y el aumento de la arena para una determinada cantidad de cemento, implica mayor cantidad de agua y por lo tanto una disminución de la resistencia.

Otra forma de mejorar el hormigón sería disponer de arena con un buen módulo de fineza, digamos alrededor de 3, que nos permitiría manteniendo la relación agua-cemento, disminuir la piedra y aumentar la arena. Los yacimientos de Salta tienen un bajo rendimiento para conseguir arenas de buena calidad.

La vibración es conveniente combinarla entre vibradores de encofrado y de inmersión. Los de encofrado hay que ubicarlos estratégicamente en aquellos lugares donde no es posible acceder con los de agua, debiendo funcionar durante períodos limitados para no segregar el hormigón.

Las vainas se sujetarán a las armaduras pasivas, o al encofrado, de forma que quede garantizada su inmovilidad, incluida la posibilidad de flotación, durante el proceso de hormigonado.

4. PROTECCION Y CURADO DEL HORMIGON

Inmediatamente después de su colocación y hasta tanto adquiera resistencia suficiente, el hormigón será protegido contra toda influencia desfavorable que pueda perjudicarlo.

Nuestra experiencia en el Norte de Salta, donde las temperaturas son altas, indica que la parte superior de la viga es imprescindible mantenerla permanentemente humedecida, durante por lo menos las primeras 24 horas posteriores al momento de su terminación, con el objeto de evitar la formación de fisuras no previstas, y también el consiguiente agrietamiento que se produce, cuando el hormigón está aún en estado plástico, por efecto de una gran evaporación del agua de mezclado y consecuente secado.

El curado se iniciará inmediatamente después que el hormigón haya endurecido lo suficiente como para que su superficie no resulte afectada por el método de curado adoptado. Los métodos que se utilizan son: curado por humedecimiento, curado mediante compuestos líquidos para la formación de membranas y curado a vapor.

Quando la temperatura del aire sea mayor de 30°C (caso frecuente en el Norte de Salta), el curado de membrana debe ser complementado mediante rociado con agua en forma de niebla, que debe aplicarse sobre la película tan pronto se haya producido el secado de la misma.

El curado por humedecimiento se debe realizar (para el clima de Salta) durante 5 a 7 días. Si el encofrado se retira antes de cumplirse el período, inmediatamente después de desencofrar se continuará con el curado hasta completarse los días establecidos.

El no cumplimiento del curado puede conducir a un secado prematuro y su consiguiente agrietamiento, producido por la rápida pérdida de la humedad interna debido a la acción de las altas temperaturas, viento y sol.

5. TESADO

Un sistema de pretensado está definido por los elementos que lo componen, que son: anclajes activos y pasivos, vainas, barras o alambres, gatos de tesado, bombas de inyección, etc.

Analizaremos algunos problemas específicos que suelen suceder y la forma en que se solucionaron.

5.1. Rotura de alambres en cables de 24 a 7

Cuando se produce la rotura de algún alambre, se escucha el ruido y el alambre roto se identifica porque deja de estar perfectamente estirado como los que permanecen en tensión. La presión en el manómetro disminuye.

En ese momento hay que tomar la decisión de continuar con el tesado o bien aflojar tensión, para replantear la situación, evaluar los daños y adoptar una solución.

Un equipo de tesado acciona dos gatos que tiran 12 alambres cada uno. El gato que esté vinculado con los alambres rotos se elongará más rápidamente porque a igual presión se opondrá menor sección de acero.

Ecuaciones a considerar. Ver Figura Nº 6

Se debe evaluar la posibilidad de seguir adelante con un cable de una viga que aporte menor tesado. Quizás sea posible compensarlo con los otros cables cuidando siempre la simetría de los esfuerzos.

5.2. Deslizamiento de uno o varios alambres

Siempre que sea posible, y especialmente cuando se anclan varios alambres a un mismo cuerpo rígido del gato, se harán marcas en los mismos para comprobar que no hay deslizamientos relativos de dichas armaduras respecto a su anclaje en el gato.

En el caso de verificarse que una o varias marcas se retrasan respecto de la mayoría, se está produciendo el deslizamiento de esos alambres. En ese momento hay que hacer una rápida evaluación, considerando los mismos conceptos del problema anteriormente tratado, con la ventaja de que en este caso es posible soltar la presión y volver a comenzar con el 100 % del cable.

5.3. Hundimiento del cono hembra

El gato se asienta para estirar los alambres sobre el cono hembra. Es posible que la zona situada por detrás del cono hembra no se haya llenado correctamente, como se indicó

ECUACIONES A CONSIDERAR

N_0 = Esfuerzo de tesado inicial previsto

$$N_0 = \sigma_0 \cdot F_e$$

La tension $\sigma_0 \Rightarrow \Delta L_1 = \frac{\sigma_0 \cdot L}{E}$ (alargamiento previsto). Disminuida la seccion del cable por rotura se debe tratar de lograr:

$$N_0 = \sigma \cdot F_e \quad \text{siempre que } \sigma \leq \sigma_{adm}.$$

Para ello se verificara
$$\Delta L_2 = \frac{N_0}{F_e} \cdot \frac{L}{E}$$

Si la tension $\sigma = \frac{N_0}{F_e} \geq \sigma_{adm}$, se debe llegar hasta el

$$\Delta L_{max} = \sigma_{adm} \cdot \frac{L}{E}$$

Fig. 6

cuando se habló del hormigonado, debido al poco lugar para el vibrador, a los anclajes pasivos o a la armadura no tesa propia del sistema.

En ese caso se puede hundir el cono hembra, rompiéndose.

La solución es picar y reemplazar el mismo.

5.4. Rotura del talón

Durante el tesado o luego de efectuado el mismo es frecuente que se produzca una fisura vertical en la zona comprendida entre el cono hembra y el filo exterior.

El esfuerzo introducido mediante el tesado hace que la viga se levante gradualmente a medida que el hormigón se va deformando. Esta contraflecha implica un deslizamiento de los extremos hacia el centro.

Para tener una idea de magnitudes una viga de 25 m se levanta 4 cm, quedando apoyada en sus extremos, debiendo éstos desplazarse hacia el centro 3,5 mm. El peso aproximado de la viga es 30 t, siendo de 15 t cada reacción.

El esfuerzo que debe soportar la zona en cuestión es función del coeficiente de rozamiento entre el hormigón de la viga y la superficie sobre la que asienta.

Tratándose de hormigón con hormigón $\mu \approx 0,7$ y la fuerza de rozamiento $0,7 \times 15 \text{ t} = 10,5 \text{ t}$. La armadura para tomar el esfuerzo sería 4 $\phi 12$.

Conclusión: evaluar la superficie que actuará como fondo de viga y colocar la armadura necesaria para repartir la fisuración.

6. INYECCION

La inyección tiene por objeto proteger el acero tesado contra la corrosión y asegurar la adherencia entre los elementos tensores y el hormigón.

En general se utiliza para la inyección pasta de cemento, cuyos componentes son cemento, agua y, en su caso, aditivos.

En aquellos casos en que la sección de los conductos sea grande (4 veces la sección envainada) podrán utilizarse morteros con una proporción de arena, en peso, referida al cemento, no superior al 30 %. En condiciones normales no se recomienda la utilización de morteros, por la mayor dificultad de conseguir con ellos una inyección correcta; ya que, si bien puede reducirse la retracción, aumenta en cambio el riesgo de formación de tapones en los conductos mientras se inyectan.

Equipo

Mezcladora (capaz de preparar un producto de consistencia uniforme).

Batidora (continuo movimiento evitando los grumos).

Bomba (6 x 12 metros por minuto p < 10 at m).

Elementos auxiliares (tamiz 1,2 mm entre mezcladora y batidora).

Es recomendable tener en obra un equipo para inyectar agua, independiente del equipo de inyección, con capacidad suficiente para, en caso de avería en el equipo de inyección, poder limpiar rápidamente el conducto que se estaba inyectando.

Consistencia de la pasta de cemento

El aumento de la fluidez de la lechada tiene sus ventajas y sus inconvenientes.

Inconvenientes: Exudación de agua, con peligro de heladicidad y corrosión de armaduras.
Disminución de volumen de la pasta de cemento.
Disminución de la resistencia, con peligro para la adherencia.

Ventajas: Mayor penetrabilidad de la inyección.
Menor probabilidad de formación de tapones.

Se estima que los valores óptimos de la relación a/c son los comprendidos entre 0,38 y 0,43, no debiendo exceder 0,44.

La inyección deberá llevarse a cabo lo antes posible después del tesado, excepto que se haya previsto una adecuada protección de las armaduras.

Inyección: Previamente a la inyección se verificará el paso del aire y se procederá a lavar los conductos con agua.

(eliminar aceite soluble).

- La inyección se realizará desde el tubo más bajo, con todos los restantes abiertos (boquillas de inyección-tubos de purga).
- Cuando la consistencia de la pasta que sale es igual a la de la que entra se cerrarán los tubos de salida y se mantendrá la presión durante 30 segundos.

Reinyección: En conductos muy largos se recomienda reinyectar antes de las 2 horas para eliminar la posible reducción de volumen de la mezcla y los posibles huecos situados en la parte superior de los conductos.

- De comprobarse la existencia de algún tapón, que impida el paso de la inyección, deberá localizarse para su eliminación, picando el hormigón si fuera necesario.

Es aconsejable colocar tubos de purga en los puntos más altos y en los más bajos, para facilitar la evacuación del aire y del agua interior de los conductos.

Controles a realizar:

- Ensayo de aptitud: A - Fluidéz.
B - Exudación y estabilidad volumétrica.
C - Resistencia a la compresión.

A - Tiempo que tarda en escurrir 1 litro de mezcla. Se realiza utilizando el cono de Marsh. Valores aceptables oscilan entre 13 y 25 segundos.

B - Recipiente cilíndrico transparente de 10 cm de diámetro y 10 cm de altura. Los resultados no superarán:
Exudación 3 horas - 2 %.
Variación de volumen - 10%.

C - Las probetas serán cilíndricas de 10 cm de diámetro y 10 cm de altura. La resistencia mínima a verificar será:
7 días = 210 kg/cm² 28 días = 300 kg/cm².