

REDESCUBRIENDO EL POSTENSADO

Jaramillo, Emilio^{a,b}

^aUniversidad Tecnológica Nacional (FRGP), jaramillo.emiliorodolfo@alumni.frgp.utn.edu.ar

^bUniversidad Autónoma "Juan Misael Saracho", ingemiliojaramillo@gmail.com

Palabras clave: postensado, calculo, construcción

RESUMEN

El postensado tuvo sus inicios a mediados del siglo pasado, usándose principalmente en puentes de un solo tramo. Hoy en día se sigue utilizando en puentes, pero también en losas postensadas. Existen, sin embargo, otros usos que de alguna manera resultan poco habituales; esta rareza resalta las ventajas de este sistema, muchas veces olvidado.

Se presentarán en este trabajo tres experiencias en obras ejecutadas en las cuales el postensado fue utilizado de formas diferentes a las habituales. En el primer caso, se describirá cómo se utilizó para controlar la deformación de una viga en voladizo de 9,00 m en el edificio de la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad de Buenos Aires.

En el segundo caso, se describirá la aplicación del postensado en un pavimento superplano sin juntas (10.000,00 m² sin junta de dilatación), en lo que ahora es el depósito de Coca-Cola (Pcia. Bs. As.). Finalmente, en el último caso se describirá la ejecución de un depósito circular, más específicamente un digestor de lodos para la empresa AYSA (Pcia. Bs. As.).

ABSTRACT

Post-tensioning began in the mid-twentieth century, being used mainly in single-span bridges. Today it continues to be used in bridges, but also in post-tensioned slabs. There are, however, other applications that are somewhat uncommon; this rarity highlights the advantages of this often-forgotten system.

This work will present three case studies of projects in which post-tensioning was used in ways different from the usual ones. In the first case, it will describe how it was used to control the deformation of a 9.00-m cantilever beam in the building of the Faculty of Exact Sciences at the University of Buenos Aires.

In the second case, it will describe the application of post-tensioning in a superflat jointless pavement (10,000.00 m² without expansion joints), in what is now the Coca-Cola warehouse (Province of Buenos Aires). Finally, the third case will describe the construction of a circular tank, more specifically a sludge digester for the company AYSA (Province of Buenos Aires).

Organiza:

CORRECCION DE DEFORMACIONES

Muchas veces, en las estructuras se adoptan consideraciones sobre las deformaciones máximas según los lineamientos estipulados en las diferentes normas y criterios generales basados en la experiencia o en las reglas del buen arte. Sin embargo, algunas veces surgen obras que requieren un análisis un tanto particular. El caso que se describe a continuación pertenece a la obra CERO+INFINITO, nombre que recibió el proyecto de construcción del nuevo edificio de la Facultad de Ciencias Exactas de la UBA.

Dentro de las principales características de este edificio se distingue un voladizo de 9 m, el cual se puede ver a continuación:



Figura 1 Vista del Sector de la obra

La estructura fue ejecutada en su totalidad en hormigón armado y el voladizo mostrado consistía en una viga de 40 cm de ancho y 140 cm de altura. En el cálculo de la solución original se esperaban deformaciones que, si bien cumplían con los

requerimientos antes mencionados, presentaban una magnitud final incompatible con las deformaciones admisibles para el cerramiento vidriado.

Para mitigar la magnitud de las deformaciones en la punta del voladizo se plantearon las soluciones típicas, es decir, incrementar la rigidez ($E \cdot I$). Por un lado, se buscó aumentar el módulo de elasticidad (E) y, por el otro, la sección transversal, buscando el mayor momento de inercia (I) posible. Estas alternativas no llevaron a soluciones aplicables, ya sea porque en aquel momento no se tenía demasiado conocimiento de los hormigones de muy alta resistencia o porque el aumento de la sección incrementaba también el peso propio. En ese punto se exploró someramente la posibilidad de realizar un refuerzo exterior mediante perfiles metálicos; esta propuesta fue descartada casi de inmediato.

Habiendo agotado las soluciones tradicionales, se aplicó la base del conocimiento del postensado. Como se sabe, el preesfuerzo puede asimilarse a un estado de carga que, según sea su trayectoria, será contrario a las cargas gravitatorias.

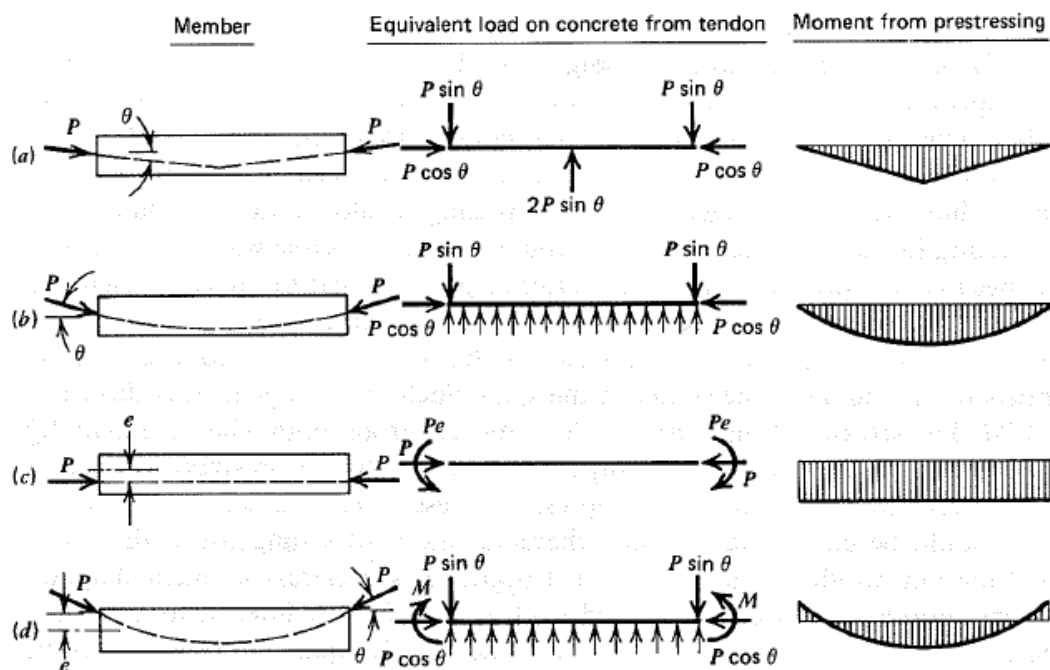


Figura 2 Tipos de carga equivalente

La imagen anterior (Figura 2) muestra casos típicos que se estudian en la facultad. Estos se diferencian según la trayectoria que describe el cable de postensado. Este problema no corresponde al caso típico, porque se trata de un voladizo y, además, se quiere reducir su deformación.

En el cálculo de postensado es común llamar “armadura pasiva” a las armaduras de acero ADN420 y “armadura activa” a los cables del postensado. Este ejemplo es una muestra clara de ambos conceptos. Los cables permiten, por un lado, definir su ubicación y forma; esto, sumado al tesado, permite proyectar soluciones según la necesidad estructural que se busque.

En este caso se buscó generar un efecto contrario a la gravedad en el extremo del voladizo. Por un lado, los cables se debían ubicar lo más arriba posible en la zona del apoyo; por el otro, se debía definir la ubicación de los anclajes en el extremo del voladizo. Para ello, se evaluaron tres escenarios (ver Figura 3).

Por un lado, el criterio general indica que los anclajes se deben ubicar en el baricentro de la sección transversal, lo cual es correcto para vigas simplemente apoyadas, puesto que cualquier otra ubicación generaría momentos en los extremos y esto no resulta beneficioso. Como se puede ver, la opción denominada (a) muestra la carga equivalente que se generaría. Hay que notar que la componente vertical del postensado P_y dependerá de su inclinación, pero ésta no podrá ser muy grande dadas las dimensiones disponibles. Esta disposición demandaba una cantidad de cables que no era posible introducir en la sección transversal disponible.

La segunda opción que se consideró seguía el siguiente razonamiento: “si el problema es la inclinación, incrementarla al máximo”, para lo cual se evaluó ubicar los anclajes lo más abajo posible. Efectivamente, el valor de P_y aumentó en comparación con la alternativa anterior, pero trajo consigo la aparición de un momento producto de P_x por la excentricidad. Al estar ésta por debajo del baricentro, se generó un par que producía deformaciones coincidentes con las debidas a las cargas gravitatorias. Esta configuración dio como resultado deformaciones que no mejoraron la situación respecto de la alternativa sin postensado.

Finalmente, la opción que dio mejores resultados, y que fue la adoptada para este problema, consistió en disponer los anclajes con una excentricidad por arriba del baricentro. Esto permitió obtener un par contrario al de las cargas gravitatorias y, aunque P_y tenía menor magnitud que en los casos anteriores, la solución combinada permitió obtener valores de deformación aceptables con cantidades de cables razonables.

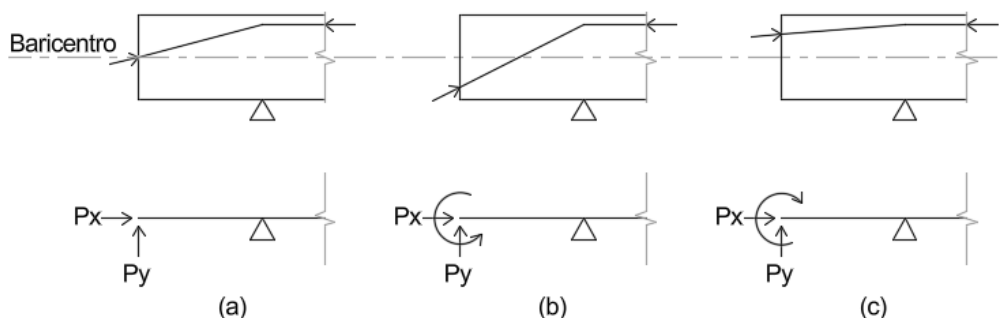


Figura 3 Alternativas de ubicación de anclajes extremos

Seguidamente se puede ver un esquema de la carga equivalente adoptada. Nótese que, además de las cargas en los extremos, se tienen las demás cargas que equilibran el sistema general.

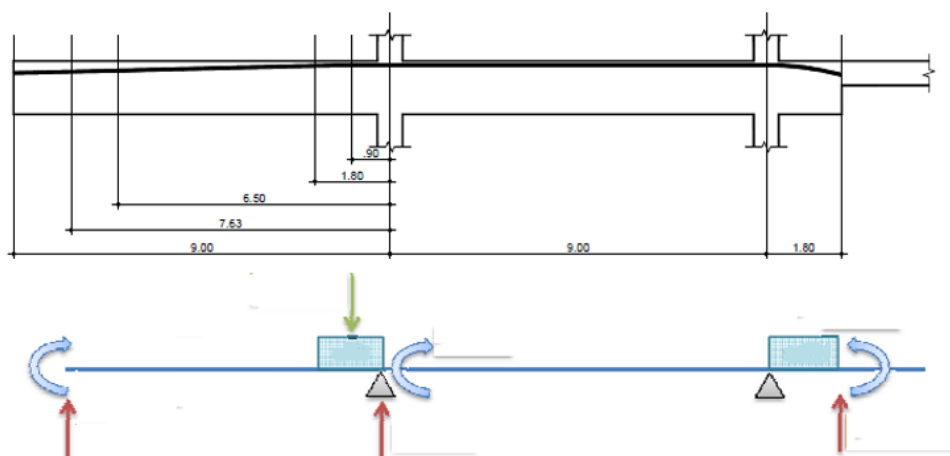


Figura 4 Esquemas de cargas equivalentes resultantes

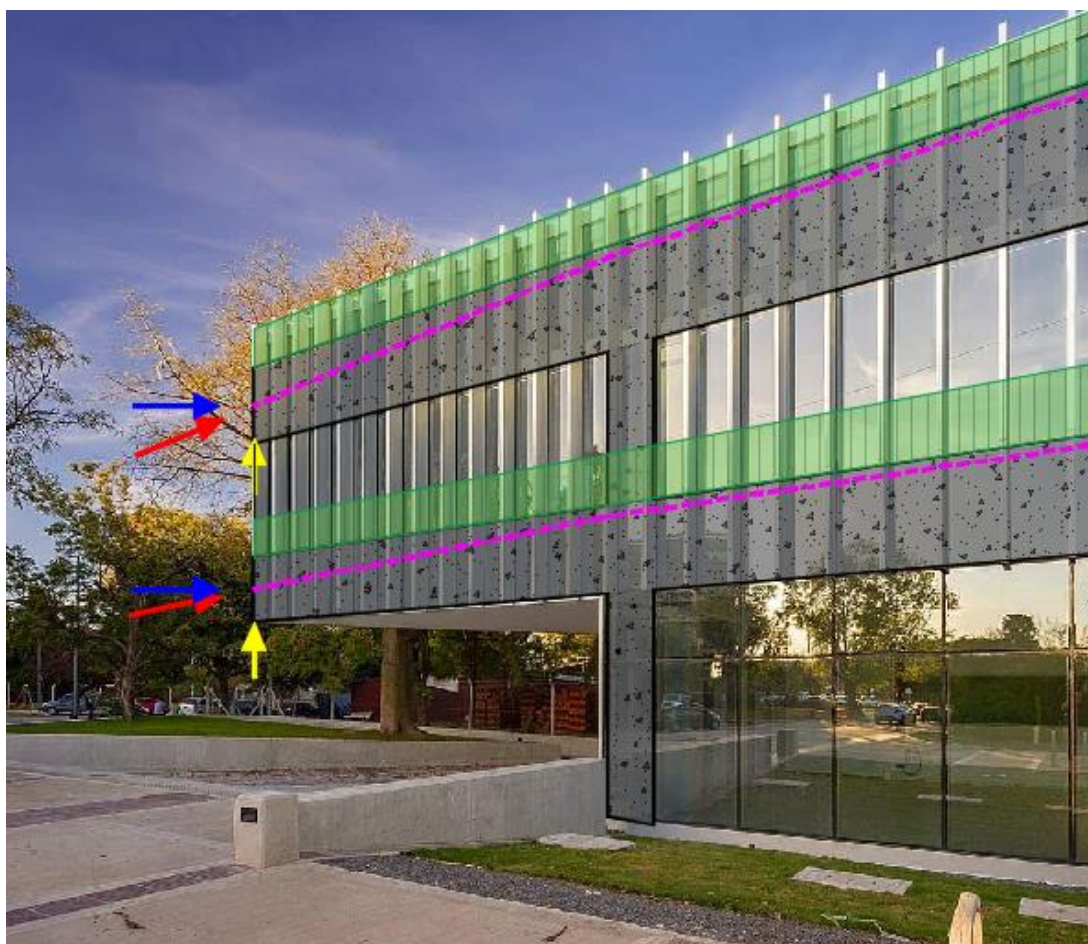


Figura 5 Idealización de cables y solicitaciones

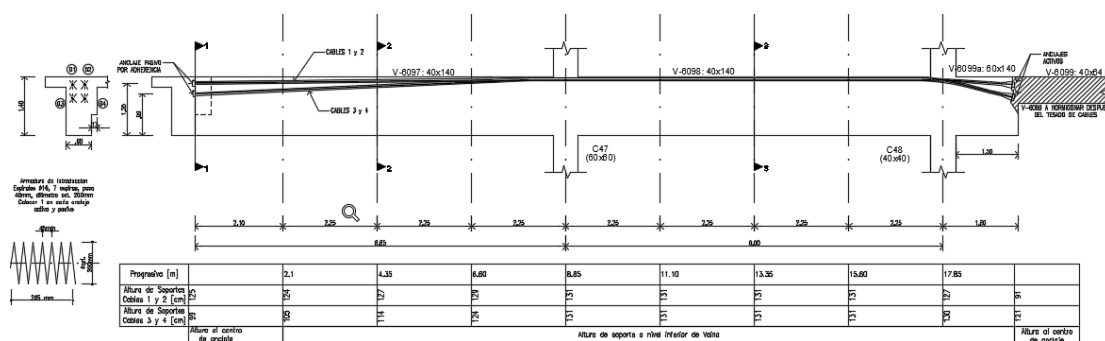


Figura 6 Plano de armado de cables

Aunque la solución final se ve simple, para alcanzarla se decidió recurrir al uso de dos softwares en simultáneo. La estructura en su conjunto no es lineal ni regular y, por esto, su comportamiento no podría ser descrito por un modelo lineal.

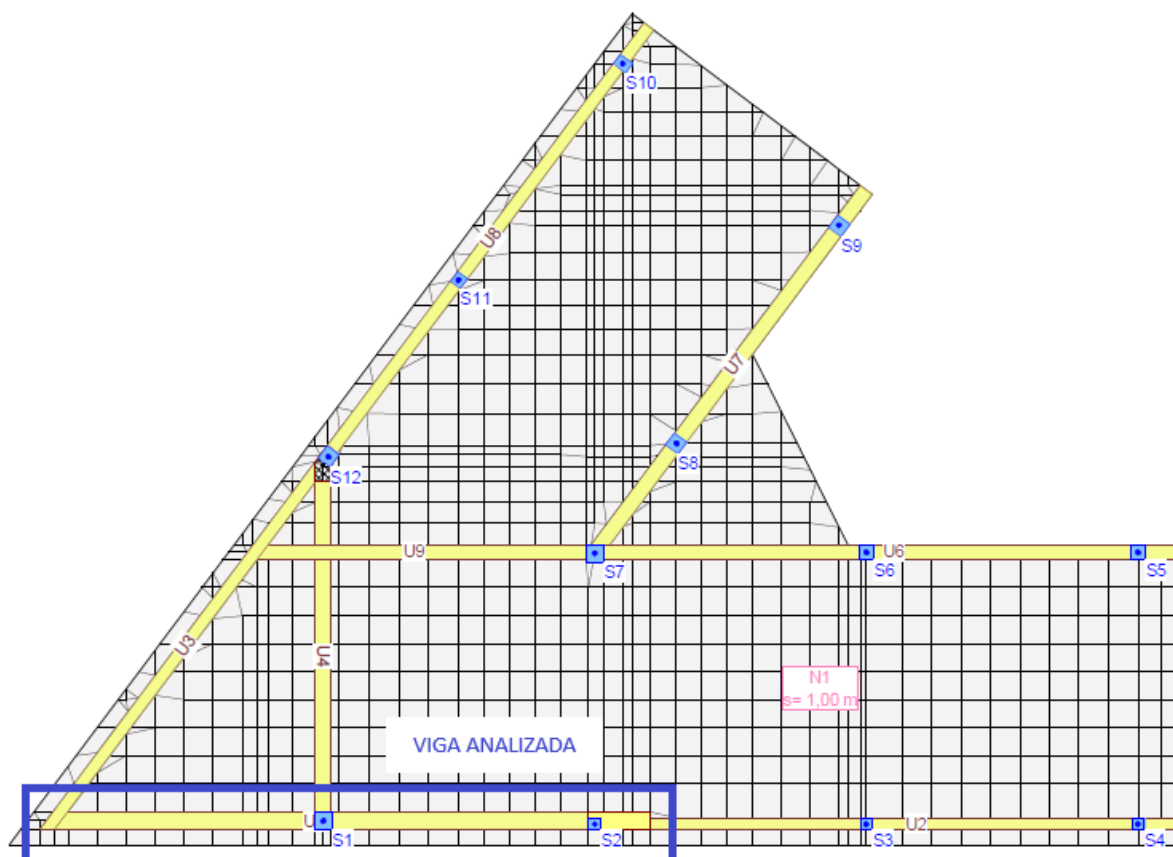


Figura 7 Extracto del modelo en Cedrus

Se buscaba reducir las deformaciones y, para esto, un modelo plano permitía una mejor aproximación que un modelo lineal. Para ello se utilizó el software CEDRUS. Si bien es un software de cálculo de losas postensadas, para este trabajo no se generaron los cables, sino que se utilizaron sus cargas equivalentes. En este se modelaron la sección de la estructura y todas las cargas estimadas en el proyecto.

Para determinar las cargas equivalentes se utilizó el software ADAPT-PT, que permite la verificación de armaduras a rotura y corte y, además, la verificación de los tesados en diferentes etapas. Su desventaja es que solo permite modelar elementos lineales.

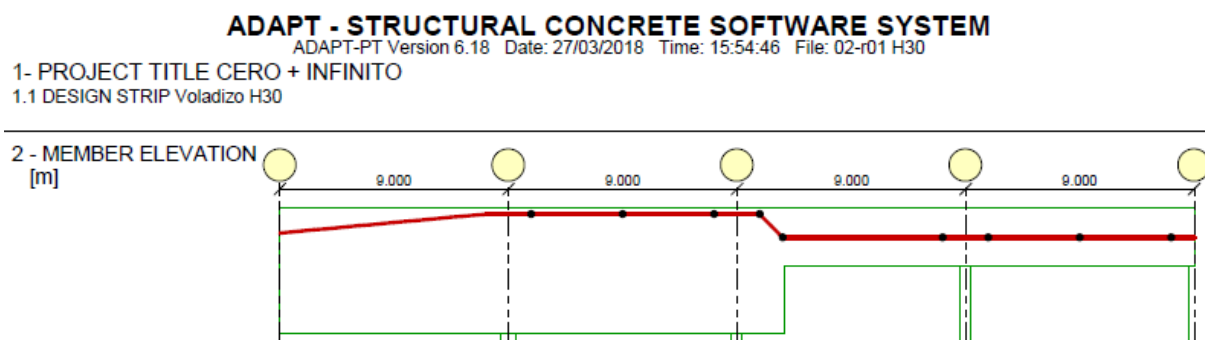


Figura 8 Extracto del modelo en Adapt-PT

Finalmente, se realizaron cálculos manuales tanto para la armadura de introducción como para la deformación a tiempo infinito.

Como se vio, el postensado puede ser utilizado no solo como una tipología estructural, sino como un efecto externo para corregir deformaciones. También se puede utilizar para incrementar la capacidad de carga en estructuras existentes; en estos casos, el postensado es de tipo exterior.

En casos como el descrito anteriormente existe un fenómeno que no se discutió: el efecto de precompresión. Como se sabe, el análisis de deformaciones de estructuras de hormigón armado debe tener en cuenta la fisuración y, como consecuencia, las deformaciones a tiempo infinito resultan mayores debido a la reducción del momento de inercia.

El postensado, si se garantiza una tensión de compresión mínima, permite considerar la sección bruta, es decir, una sección sin fisurar. Este es un factor beneficioso que muchas veces se deja de lado y que resulta adicional al efecto de la carga equivalente.

DIGESTOR DE LODOS

El postensado circular es una aplicación poco difundida, principalmente porque son pocas las obras que lo requieren. Un caso particular son los depósitos circulares, cuyo análisis es esencialmente el mismo, aunque difieren fundamentalmente en la magnitud y naturaleza de las cargas que soportan. Históricamente, el postensado circular se ha utilizado en tanques de GNL (Gas Natural Licuado), aunque también se emplea en tanques de agua potable o de materiales pesados. Como es sabido, las cargas que actúan en las paredes de cualquier depósito siguen una función lineal, de tal manera que su magnitud es máxima en la base y disminuye hacia el nivel superior. Para este análisis, únicamente se considerarán las cargas sobre las paredes, omitiendo las que actúan en la base del depósito.

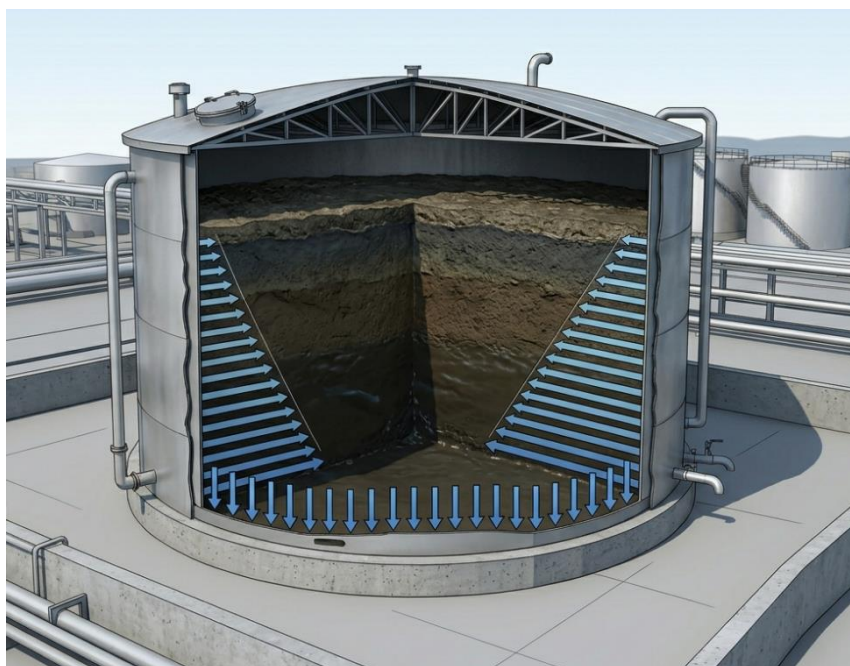


Figura 9 Esquema típico de un Digestor

Se busca ubicar los cables dentro del espesor del tabique perimetral para generar un efecto anular. Los cables, dispuestos siguiendo la circunferencia del depósito, generan una carga radial contraria al empuje a la misma altura en la que se ubican. Dado que la carga varía según la altura del depósito, el postensado debe acompañar esta variación para lograr una carga equivalente similar al empuje del material contenido.

Esto puede lograrse de dos maneras:

1. Variando la cantidad de cables en cada nivel.
2. Ubicándolos más próximos entre sí en los niveles inferiores (donde la carga es mayor) e incrementando la separación hacia arriba.

En la práctica, pueden combinarse ambos métodos, con la única limitación del espesor del tabique, que condiciona la cantidad de cables por nivel.

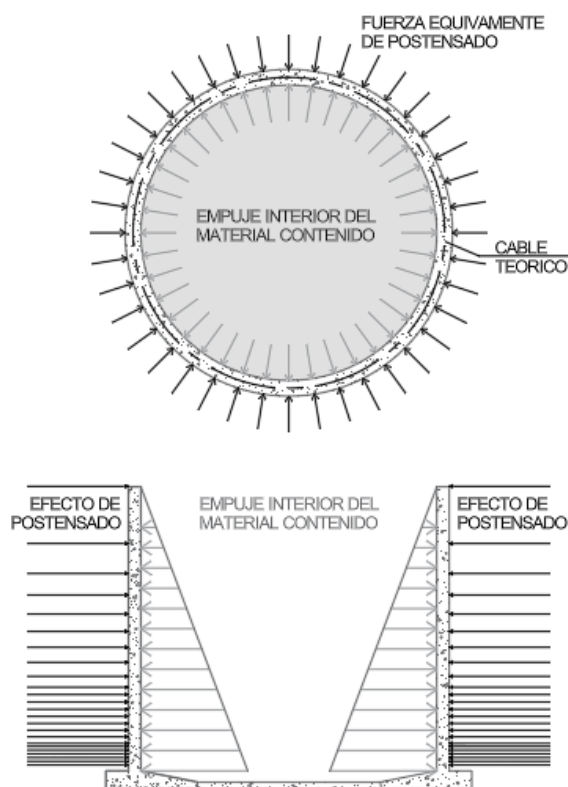


Figura 10 Cargas actuantes

Partiendo del principio de que el postensado puede asumirse como una hipótesis de carga adicional a los empujes del relleno y del material contenido, las combinaciones de carga pueden generarse con relativa facilidad. Sin embargo, al igual que en cualquier elemento postensado, se debe realizar una verificación en el denominado “tiempo 0”, es decir, el instante inmediatamente posterior a la aplicación del postensado con el depósito vacío. Aunque parezca obvia, esta verificación suele ser omitida por los calculistas, tanto en este tipo de estructuras como en otras más simples.

El ejemplo analizado consiste en el postensado de un digestor de lodos para la planta de la empresa AYSA en la provincia de Buenos Aires. Este depósito circular tiene 30,9 m de diámetro y una altura de 13,7 m. El tabique a postensar está compuesto por dos secciones: los primeros 3,8 m tienen un espesor de 0,55 m, mientras que en los restantes 9,9 m el espesor se reduce a la mitad.

El sistema adoptado consistió en cables monocordón envainados y engrasados. Este sistema ofrece una solución eficiente, ya que evita tareas secundarias como la inyección de lechada. Además, al estar los cables envainados en fábrica, cuentan con una doble protección contra la corrosión (vaina plástica y grasa) y presentan menores pérdidas por fricción.

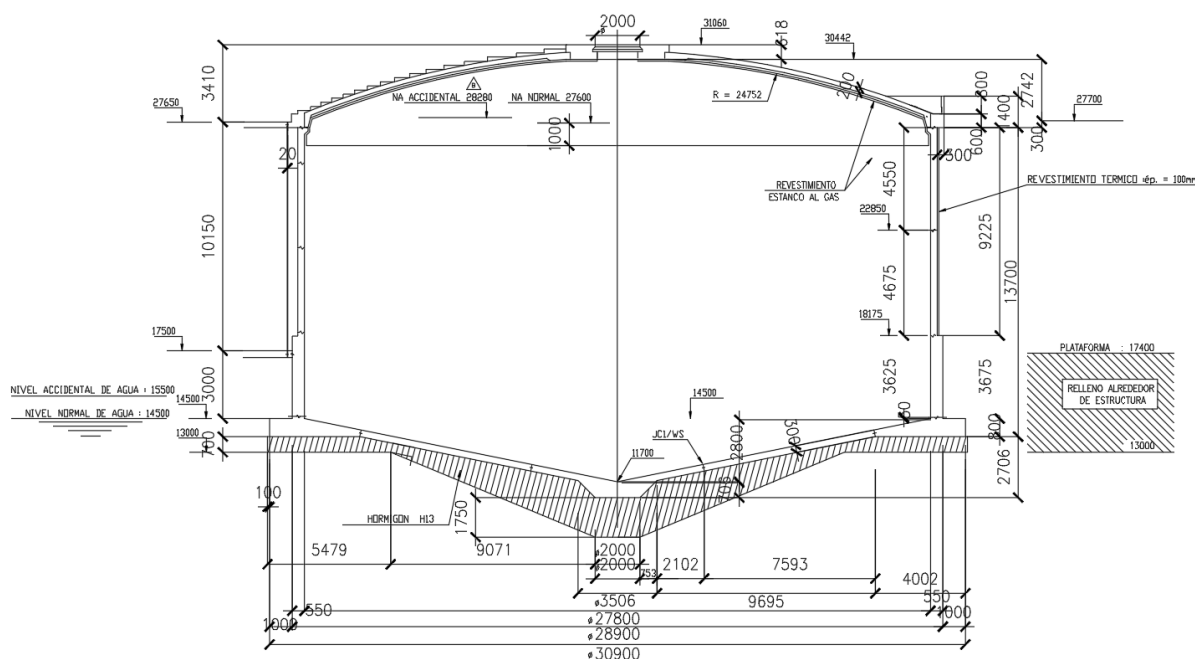


Figura 11 Sección transversal del digestor

Aunque estas dimensiones podrían considerarse pequeñas comparadas con los tanques de GNL (que pueden duplicar el diámetro y triplicar la altura), los conceptos de cálculo de postensado son esencialmente los mismos. Por ello, se recomienda realizar el cálculo estructural como si se tratara de un tanque de hormigón armado convencional, tratando al postensado como una hipótesis de carga adicional. En este caso, se utilizó software de elementos finitos como STAAD o SAP2000.

El análisis debe enfocarse en tres puntos clave:

3. El estudio de las pérdidas instantáneas y diferidas.
4. El diseño de la zona de anclaje.
5. La carga equivalente resultante de los cables idealizados.

En este ejemplo, cada cable fue dividido en dos “subcables” y anclado en sobreespesores del tabique. Esto permite aplicar una carga similar a la idealizada; sin embargo, esta yuxtaposición debe alternarse en cada nivel para evitar la concentración de empalmes en una misma línea vertical. En tanques de mayor diámetro, es probable que el cable deba dividirse en una mayor cantidad de subcables.

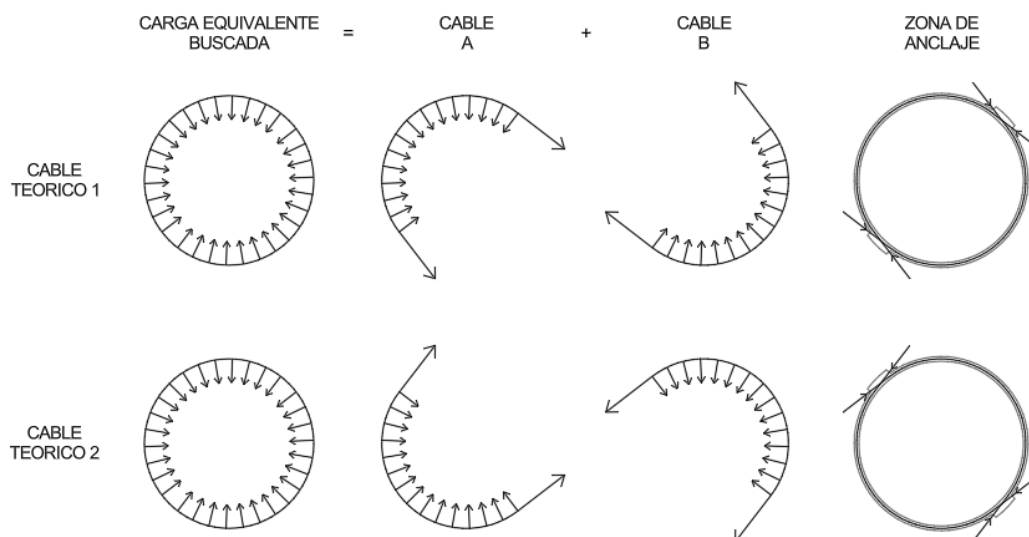


Figura 12 Armado de cables

El cálculo de las pérdidas es fundamental, ya que permite definir la longitud máxima del subcable, la cual depende principalmente de las pérdidas por fricción y por penetración de cuña. Por su parte, la zona de anclaje presentó una complejidad particular al verificarse el entrecruzamiento de cables. Aunque podría resolverse mediante elementos finitos complejos, se optó por el método de bielas y tensores debido a su simplicidad y eficacia.

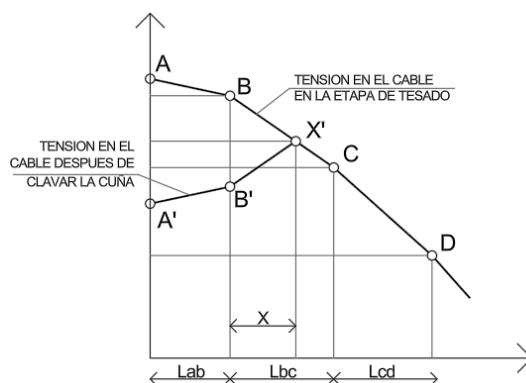


Figura 13 Diagrama de tensiones de postensado

La carga equivalente se calcula considerando la geometría de la circunferencia y los extremos tangentes de los anclajes. Aunque se puede estimar como una carga uniforme, en realidad varía debido a la caída de tensión provocada por la penetración de cuña y la fricción.

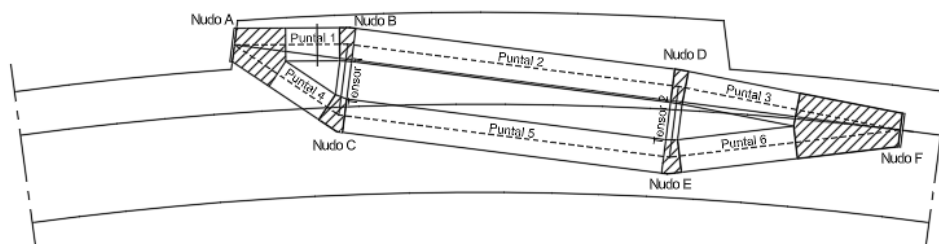


Figura 14 Diagrama de bielas y tensores

La fuerza equivalente varía según la etapa de ejecución: es máxima durante el tesado (cuando solo actúa el postensado sin el fluido) y alcanza su valor final tras las pérdidas diferidas. La carga equivalente de postensado debe ser igual o mayor que la correspondiente al fluido contenido en el depósito. Debido a que la fuerza de postensado disminuye como consecuencia de las pérdidas, para el cálculo se debe considerar su valor final, una vez producidas estas pérdidas, y compararlo con la carga correspondiente al fluido.



Figura 15 Vista de armado de cables



Figura 16 Vista de armado de cables

PAVIMENTO POSTENSADO

Los pavimentos a los cuales se hará referencia serán de tipo industrial y no vehicular. Entre los múltiples usos de las naves industriales se encuentra el almacenamiento. Para ello, se busca una superficie plana que permita el almacenamiento en altura, con el fin de optimizar su aprovechamiento.

Además de la planitud, sobre la cual no se profundizará en este trabajo, uno de los principales problemas de los pavimentos en naves industriales está constituido por las juntas de dilatación. Se busca reducir estas al mínimo por varias razones, principalmente para evitar tareas de mantenimiento y, además, permitir que los equipos circulen con la mayor fluidez, a fin de optimizar las tareas operativas.

Las juntas en pavimentos constituyen una respuesta mecánica para controlar la aparición de fisuras en el hormigón. Este material, al disponerse en elementos de gran extensión superficial en relación con su espesor, está expuesto a fenómenos reológicos de contracción y temperatura, así como a fenómenos de curling, entre otros. De esta manera, se puede afirmar que un pavimento es naturalmente propenso a fisurarse. Para controlar la cantidad y ubicación de estas fisuras, se proyectan juntas que permiten definir previamente dónde se producirán, evitando que aparezcan de manera aleatoria en el pavimento.

Como se mencionó anteriormente, en un pavimento industrial se busca reducir al mínimo la cantidad de juntas, por lo que se realiza un diseño que permita conciliar esta reducción con la propensión del hormigón a fisurarse.

En proyectos en los cuales se busca aumentar la distancia entre juntas, una solución consiste en el uso de aditivos retardadores de retracción. El uso de estos aditivos es denominado por el autor “método químico” y puede ampliar la distancia entre juntas, llegando hasta los 50 m. Otra alternativa, denominada “método mecánico”, consiste

en aplicar una precompresión en el hormigón para reducir los efectos reológicos tempranos. Esta solución es más eficaz y permite separaciones de juntas del orden de los 200 m.

Es importante entender que el postensado en un pavimento tiene como función principal reducir los efectos reológicos y controlar la fisuración. A diferencia de una losa postensada, donde el postensado resulta esencial para su comportamiento estructural, en un pavimento su función está principalmente relacionada con mantener las condiciones necesarias para su uso. Esta diferencia puede entenderse a partir del denominado “paquete estructural”. Mientras que en una losa este está conformado únicamente por la propia losa, en un pavimento el paquete estructural está formado por la subrasante, la subbase, la base y, finalmente, la capa de rodadura, que en este caso es el hormigón.

En estos términos, para realizar el cálculo estructural se modelará una platea considerando los espesores y el coeficiente de balasto de las diferentes capas, sobre la que se aplicarán las cargas proyectadas. Desde el punto de vista estructural, se buscará que las tensiones producidas por las cargas, sumadas a las generadas por el postensado, no superen la tensión de fisuración del hormigón, considerando un coeficiente de seguridad adecuado.

Lo expuesto anteriormente sirve como preámbulo para detallar los aspectos que se deben tener en cuenta al momento de proyectar el postensado.

El cálculo estructural en sí no resulta complejo y, en función de este, se puede definir la cantidad de postensado necesaria para cumplir con los requisitos estructurales. El problema radica en el análisis de las pérdidas a considerar y en la ejecución en obra.

A continuación, se describen los pormenores de una obra realizada para la firma Coca-Cola, consistente en una nave industrial de 10.000 m².



Figura 17 Vista general de la obra

Como característica adicional, dentro de la superficie de la nave se dispuso un sector destinado a soportar bajas temperaturas, denominado cámara de congelados.

En estas condiciones quedan definidos dos sectores: la cámara de congelados, de 22,9 m de ancho y 86,0 m de longitud, y la cámara de frescos, de 72,07 m de ancho y 95,6 m de longitud. Ambos sectores están cubiertos por la misma nave industrial y su separación se materializa internamente mediante tabiques de paneles compuestos (tipo sándwich). El pavimento de ambas cámaras se resolvió con postensado, tiene un espesor de 16 cm y no presenta juntas de dilatación intermedias.

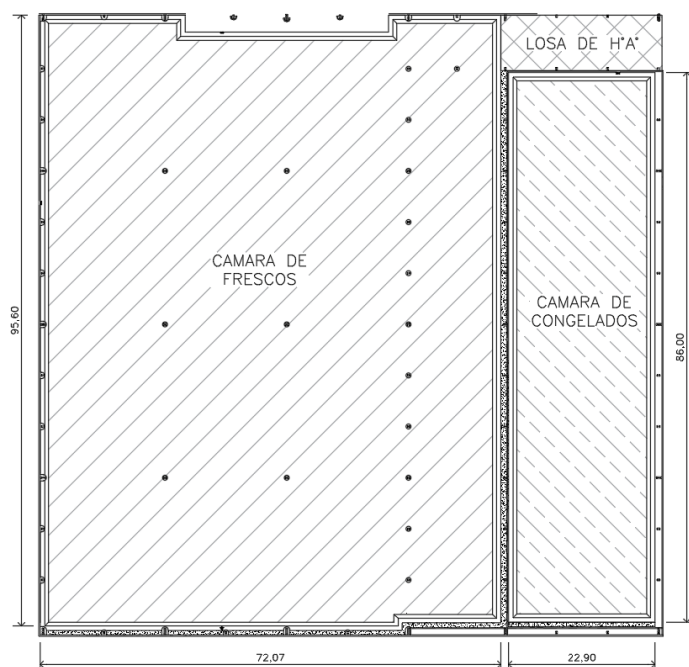


Figura 18 Vista superior del pavimento

Como se mencionó anteriormente, el cálculo de un pavimento postensado puede dividirse en dos partes. Por un lado, se debe modelar el pavimento, que puede idealizarse como una losa apoyada sobre un lecho elástico, sobre la que se aplican las cargas previstas según el tipo de uso. Por otro lado, a partir de los resultados del análisis estructural, se define la cantidad de postensado necesaria para evitar la aparición de fisuras.

Para la definición de la longitud de postensado, resulta necesario realizar un análisis de pérdidas, considerando los efectos ya conocidos de fricción, penetración de cuña y acortamiento elástico del hormigón, entre otros. Además, debe considerarse una cantidad de postensado que permita reducir o compensar los efectos reológicos del pavimento, principalmente los efectos de warping y curling.

Estos fenómenos corresponden a deformaciones tempranas del hormigón como resultado de variaciones de temperatura y de la tasa de evaporación de humedad propias de las reacciones químicas de fraguado. Los efectos de warping y curling se manifiestan en forma de alabeos en la losa. Durante las primeras 20 horas posteriores

al hormigonado se produce entre el 60 y el 80 % de las fisuras, gobernadas principalmente por estos fenómenos.

Consideraciones constructivas

Para la obra expuesta, se adoptaron las siguientes consideraciones constructivas a fin de mitigar al máximo estos efectos. Por un lado, se definió ejecutar los cerramientos y la cubierta de la nave industrial antes del pavimento, dejando únicamente un tramo libre para el ingreso y egreso de equipos.

Si bien el pavimento no presenta juntas de dilatación, para reducir las pérdidas y mejorar la productividad se definieron juntas de tesado intermedio. Estas son de amplio uso en losas de hormigón y, en la etapa final, debido a la precompresión, resultan prácticamente imperceptibles y no presentan las características de una junta tradicional de hormigonado ni de una junta de dilatación.

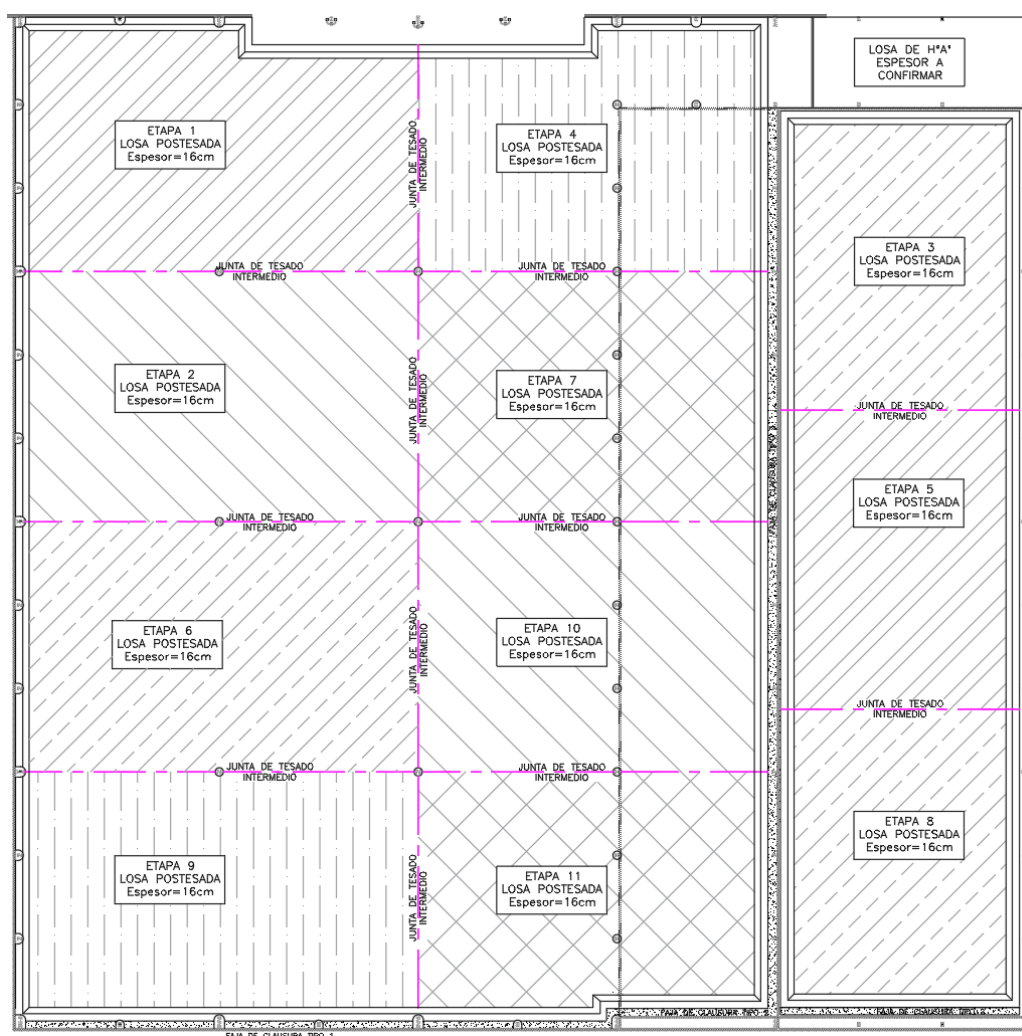


Figura 19 Etapas de tesado

Otra consideración adoptada fue realizar un tesado temprano para mitigar aún más los efectos reológicos mencionados. En la práctica, se efectuaron tesados a las 24,

48 y 72 horas posteriores al hormigonado de cada etapa. Estos tesados se ejecutaron con un porcentaje reducido de la fuerza de tesado, acorde con la resistencia alcanzada por el hormigón a cada edad.

Para ello, la empresa contrató un servicio de rotura de probetas con presencia permanente en obra, con el fin de contar con resultados en tiempo real.

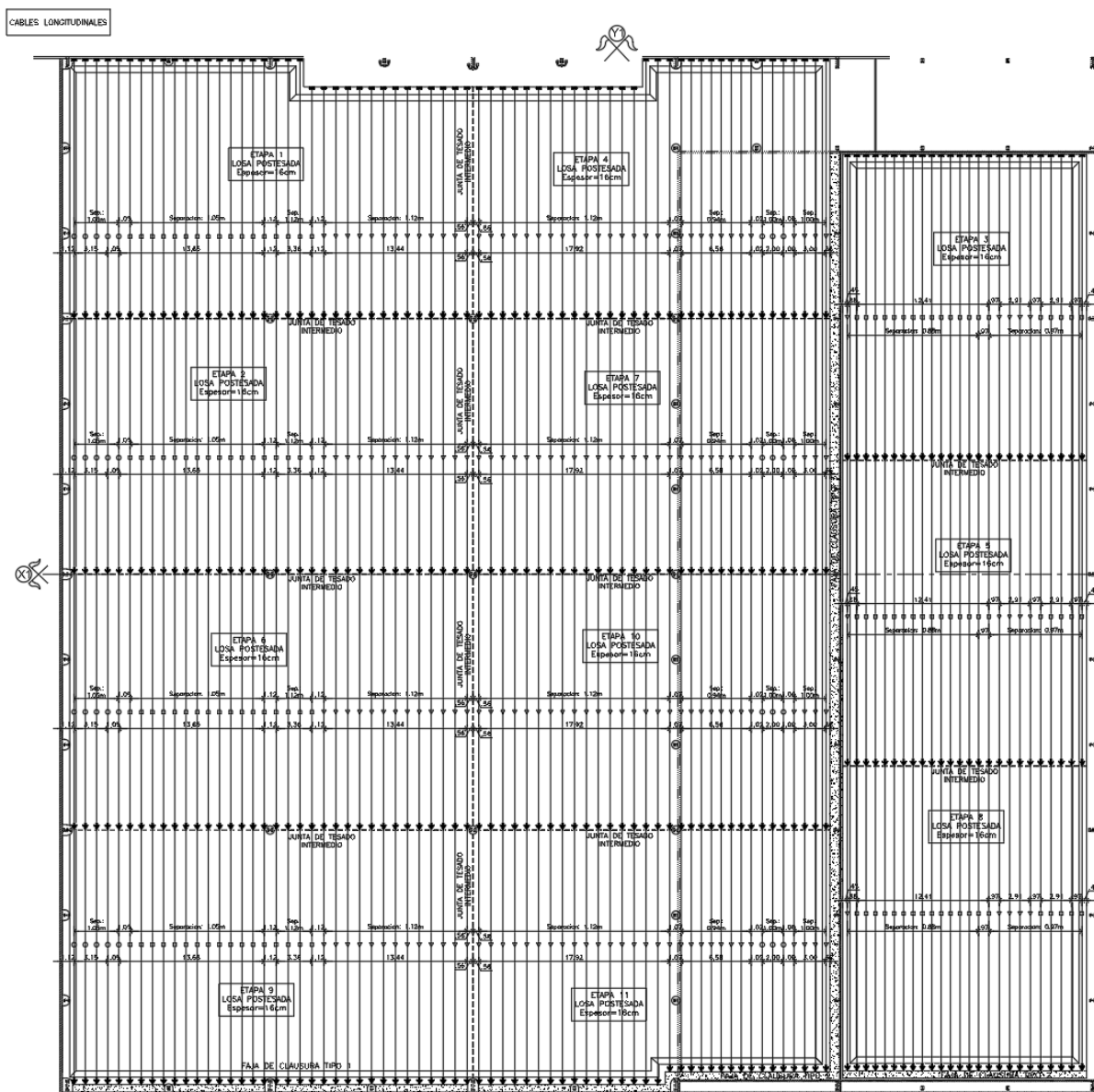


Figura 20 Disposición de los cables de postensado en dirección Y

CABLES TRANSVERSALES

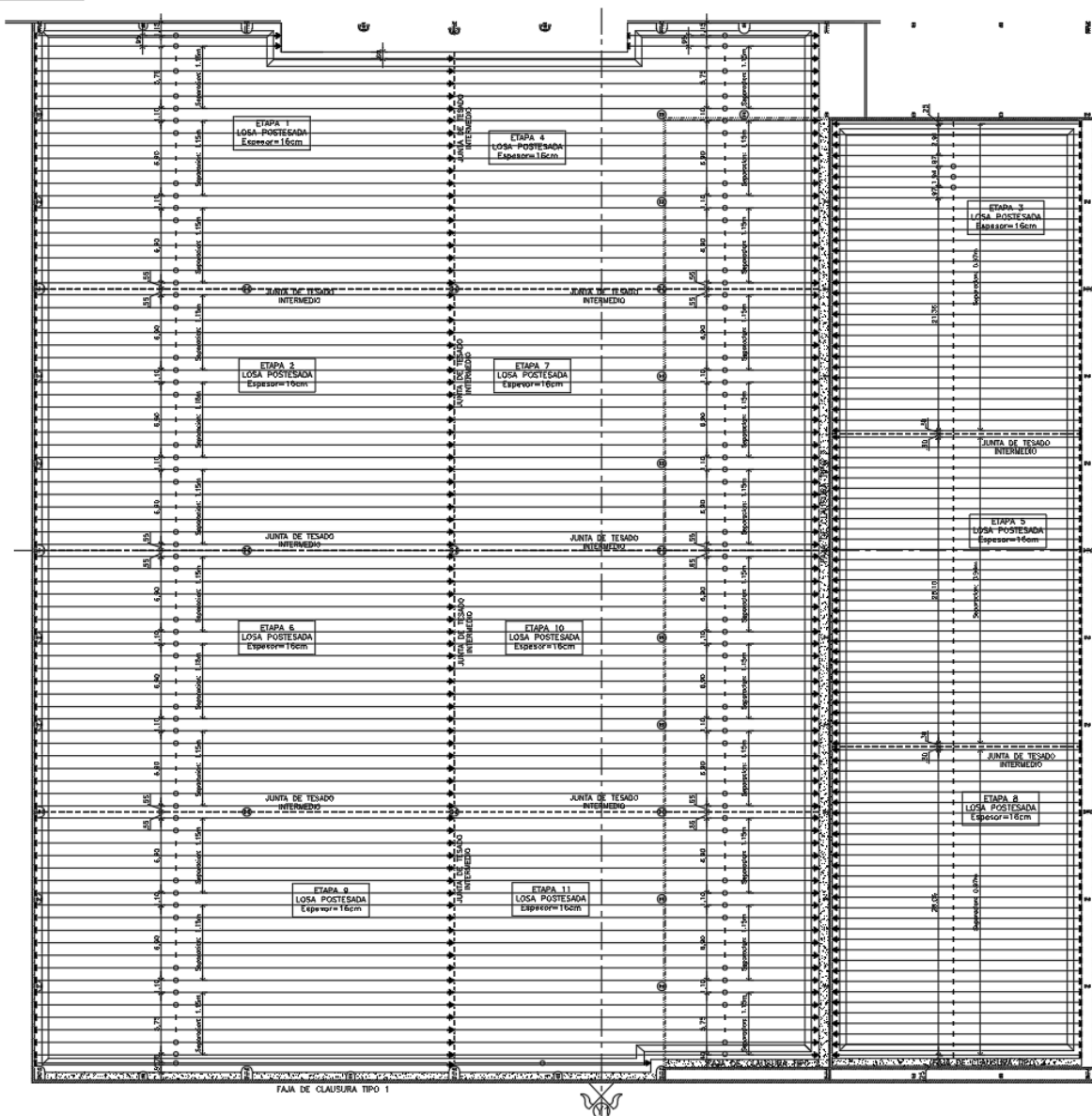


Figura 21 Disposición de los cables de postensado en dirección X

CONCLUSIONES

A partir de los tres casos expuestos y de la experiencia obtenida a lo largo de muchos años de ejercicio profesional, se pueden establecer las siguientes conclusiones:

Uno de los primeros conceptos que se aprenden al introducirse en el postensado es el de las pérdidas. Estas son estudiadas tomando como base, principalmente, una viga simplemente apoyada. Estos conceptos son, a criterio del autor, suficientes para ser aplicados en los tres casos expuestos, considerando las particularidades de cada uno. Esto resulta particularmente notorio en el análisis de los pavimentos, donde estos

Organiza:

conceptos son críticos, aunque, paradójicamente, la pérdida por fricción no resulta predominante. Esto se explica porque, a diferencia de las vigas y losas, en los pavimentos los cables son rectos y no presentan curvatura. En el caso de los depósitos postensados, las pérdidas por fricción y por penetración de cuña pueden definir la cantidad de subdivisiones que deberá tener el cable teórico.

Aunque muchas veces el concepto de carga equivalente no resulta relevante a la hora de calcular una viga simplemente apoyada, en estructuras hiperestáticas constituye una herramienta casi imprescindible para modelar de manera clara los efectos del postensado. Esto se observa principalmente en el caso de la viga en voladizo analizada, donde su aplicación permitió realizar un cálculo coherente.

Las zonas de anclaje de postensado constituyen regiones complejas en las cuales no resulta aplicable el principio de Saint-Venant. Su diseño y el de la correspondiente armadura de refuerzo han sido ampliamente estudiados para vigas y, en el caso de losas, se encuentran definidos en el CIRSOC 2005. Sin embargo, en el depósito postensado analizado, la geometría y disposición particular de los anclajes hacen que estos procedimientos no resulten suficientemente representativos. En casos como este existen dos alternativas: un modelo de elementos finitos o el modelo de bielas y tensores. La experiencia indica que la tendencia inicial es buscar la solución mediante elementos finitos; sin embargo, en la práctica, la modelación de estas zonas resulta demasiado compleja y requiere software específico. Por esta razón, el método de bielas y tensores constituye la herramienta que mejor se ajusta a la solución del problema y, aunque puede resultar tedioso, presenta una gran versatilidad.

El control de deformaciones, analizado en el caso de la viga en voladizo, es un ejemplo perfecto de una de las ventajas que presenta el postensado y que muchas veces es ignorada. El problema consistía en reducir la deformación de una viga de hormigón armado; la solución fue introducir una fuerza mediante el postensado. Sin embargo, existe un efecto adicional de gran importancia: el control de la fisuración. Mientras una viga de hormigón armado se fisura y, con ello, reduce su momento de inercia, una viga postensada puede mantener la sección sin fisurar y, por lo tanto, conservar su inercia completa. En problemas de deformación, este efecto puede resultar crítico, casi tanto como el efecto directo del postensado.

Los tres casos pueden parecer bastante complejos; sin embargo, en lo que concierne a la aplicación del postensado, los conocimientos empleados son ampliamente conocidos. El problema radica en la experiencia y en la capacidad de aplicar esa base teórica a casos atípicos. Los trabajos expuestos no buscan presentar una innovación en los fundamentos del postensado, sino mostrar cómo conceptos tradicionales pueden ser aplicados a situaciones excepcionales, atendiendo a las particularidades de cada problema. En este sentido, el postensado constituye una solución relativamente simple, pero poderosa, a la hora de encarar un sinnúmero de proyectos.

Bibliografía

- Aalami, B. O. (1990). *Load Balancing: A Comprehensive Solution to Post-Tensioning*. Redwood City: ADAPT Corporation.
- Aalami, B. O. (1990). *Post-Tensioning Manual*. Phoenix, AZ: Post-Tensioning Institute.
- Aalami, B. O. (1999). *Design Fundamentals of Post-Tensioned Concrete Floors*. Redwood City, CA: ADAPT Corporation.
- Aalami, B. O. (2000). Structural Modeling of Posttensioned Members. *Post-Tensioning Institute*, 157-162.
- Aalami, B. O. (2004). *Prestressing Losses and Elongation Calculations*. Redwood City, CA: ADAPT Corporation.
- Aalami, B. O. (2007). *Shortening Calculation of Post-Tensioned Floor Systems*. Redwood City: ADAPT Corporation.
- Aalami, B. O. (2008). *Deflection of Concrete Floor Systems for Serviceability*. Redwood City: ADAPT Corporation.
- Comentarios al Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón*. (2005). Buenos Aires: INTI.
- Díaz, D., & Videla, C. (2003). *Tecnología de construcción de grandes pisos superplanos postensados*.
- INTI-CIRSOC. (2005). *Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón*. Buenos Aires: INTI.
- Loguercio, A. (2007). *Pavimento de hormigón sin juntas: la solución postesada*. Buenos Aires: VSL Argentina.