

Singularidades en losas postesadas en edificación en altura

Singularities of post-tensioned slabs in high-rise buildings.

Ivan Salvadó Obrero^a, Pedro Ossó Rebull^b

^a Ingeniero Civil. VSL Construction Systems. Ingeniero Centro Técnico. Ivan.salvado@vsl.com

^b Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. VSL Construction Systems. Country Manager España. Pedro.osso@vsl.com

RESUMEN

En el diseño y ejecución de losas postesadas en edificación para torres de gran altura se deben tener en cuenta diversas particularidades, tanto a nivel de diseño y detalle, como a nivel de ejecución.

En este documento se muestran ejemplos de dichas particularidades basados en algunos proyectos de torres de gran altura desarrollados en los últimos años, con el objetivo de mostrar las ventajas que ofrecen las losas postesadas frente a otras tipologías estructurales en este tipo de edificaciones.

ABSTRACT

In the design and execution of post-tensioned slabs in high-rise buildings, there are some particularities that must be considered at all stages: design, detailing and execution. This presentation shows some examples based on some high-rise building projects developed in recent years, with the aim of showing the advantages that post-tensioned slabs offer compared to other structural typologies in this type of building.

PALABRAS CLAVE: Edificación, Losas, Torres, Postesado

KEYWORDS: Buildings, Slabs, Towers, Post-tensioning

1. Introducción

El documento presenta algunos aspectos a tener en cuenta en el diseño de una torre de gran altura con losas postesadas.

En los dos primeros apartados, se muestra cómo el postesado se puede adaptar desde el diseño a las diferentes secuencias constructivas, tanto en vertical como en horizontal.

A continuación, se expone el enfoque para tomar en cuenta los efectos térmicos y reológicos del hormigón en losas postesadas y la estrategia a seguir para obtener un buen diseño.

Finalmente, se presentan algunos ejemplos de singularidades resueltas mediante soluciones postesadas.

2. Análisis de la influencia de la secuencia constructiva en el diseño: el tratamiento de núcleos trepados

Un condicionante de diseño común en los proyectos de torres de gran altura que venimos realizando en los últimos años es el empleo de núcleos trepados por adelantado, con el objetivo de reducir ciclos.

El empleo de núcleos trepados suele ir relacionado con el empleo de cajas de esperas, que consisten en chapas perfiladas de acero con barras corrugadas, habitualmente hasta los 12 mm de diámetro, que vienen dobladas y que posteriormente se enderezan sin necesidad de taladrar el encofrado.

Así pues, la práctica habitual consiste en determinar, en función del espesor de losa y los esfuerzos flector y cortante que se producen en la conexión losa-muro que caja de esperas utilizar, en base a los catálogos de las diferentes casas comerciales.

Y en obra, el procedimiento es simple: se replantea en el encofrado del núcleo trepado la caja de esperas, se hormigona el núcleo trepado, y cuando llega el momento de ejecutar la losa, se quita la tapa de la caja de espera y se desdoblan las barras, que servirán para garantizar la conexión losa-muro con el nivel de rigidez que se haya determinado en la fase de diseño.

Sin embargo, cuando hablamos de losas postesadas hay un aspecto adicional a considerar en este aspecto, que afecta a la elección y el replanteo de los anclajes de postesado.



Figura 1. Vista aérea de estructura con núcleo trepado y solución de losa postesada.

El sistema de postesado que utilizamos habitualmente en edificación es un sistema monocordón adherente, con el que tenemos la ventaja respecto a los sistemas de vaina plana de tener un anclaje pasivo embebido con placa, mientras que en los sistemas de vaina plana los anclajes pasivos embebidos habitualmente se resuelven con bulbo.

Los anclajes pasivos con placa tienen la ventaja respecto a los anclajes pasivos con bulbo de que se dispone el total de la fuerza de postesado a lo largo de todo el tendón, mientras que en el caso del pasivo de bulbo, la fuerza de postesado en el tramo de bulbo (en una longitud de entorno a 1m) se reduce del 100% hasta el

40% que es lo que es capaz de retener el bulbo, tal y como se indica en [2] y [5].

Volviendo a la conexión losa-muro con cajas de esperas, se debe tener en cuenta que el anclaje pasivo no se podrá disponer sobre el apoyo (el muro) al estar éste ya hormigonado, y que se debe tomar la tracción en el anclaje pasivo. En esta situación, la mejor opción que tenemos es disponer anclajes pasivos embebidos de bloque, repartidos uniformemente, con lo que la tracción llegue lo más cerca posible al muro, y sea tomada por el refuerzo de la caja de esperas.

Así pues, vemos que en la elección de las cajas de esperas tenemos un elemento añadido, que es la tracción en las placas de anclaje del postesado. La práctica habitual es disponer el anclaje centrado en el eje de la sección, y considerar que las esperas, además de los esfuerzos flexión-cortante obtenidos en el diseño, deberán tomar la tracción del postesado, que se repartirá uniformemente entre las esperas superiores e inferiores.

Por lo general, en torres de gran altura con losas postesadas se emplean cajas de esperas con barras de diámetro 12mm, que son las que mas capacidad tienen y permiten resolver la problemática de tomar la tracción del postesado y llevarla hasta el apoyo.

Sin embargo, en algunas situaciones particulares, como el proyecto Tour CFC en Casablanca (Marruecos), donde los requerimientos arquitectónicos que se pueden consultar en [1] obligaban a disponer elevadas cuantías de postesado en algunos puntos, la solución que se tomó fue disponer en los núcleos armaduras de espera grifadas de diámetro 14mm, en el momento en que se iba a ejecutar la losa, se repicaba el hormigón en el espesor en que se debía apoyar la losa, y se desdoblaban las esperas, quedando un detalle como el siguiente:

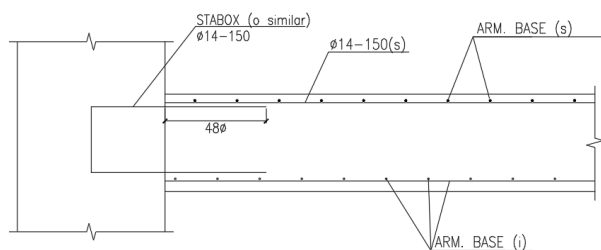


Figura 2. Detalle de esperas a realizar in-situ

Este detalle, en términos de diseño es igual al de cajas de esperas, pero permite tener mayor capacidad. Sin embargo, incrementa el coste por la dificultad de las tareas de repicado del hormigón, con lo cual es una solución que sólo debe valorarse en situaciones muy particulares.

Por último, es importante tener en cuenta que el reparto de los anclajes pasivos en la conexión losa-muro se debe realizar de la forma lo más uniforme posible, con el fin de evitar tener valores altos de tracciones que no puedan ser tomados con las cajas de esperas, tal y como se observa en la imagen de la figura 1.

3. Influencia de la secuencia de ejecución de losas en el diseño: tratamiento de las juntas de hormigonado-tesado

Otro condicionante de diseño común que también nos encontramos en torres de gran altura es el replanteo de juntas de hormigonado y como desde el diseño se puede colaborar en optimizar la secuencia constructiva para permitir ciclos de una planta por semana, mediante el uso de juntas de hormigonado-tesado y anclajes intermedios dispuestos de forma óptima.

3.1 Uso de anclajes intermedios en edificación

De igual manera a como ocurre con las tipologías de anclajes pasivos, tal y como se ha explicado en el apartado anterior, el tipo de anclaje intermedio también depende del sistema de postesado que se vaya a emplear.

Por un lado, están los sistemas multicordón de vaina circular, que son los que habitualmente se usan en obra civil y que apenas se usan en edificación al no ser óptimos para cantos reducidos, en los cuales el acople del postesado se consigue por medio de una virola, SIN continuidad del cordón de postesado.

Por otro lado, tenemos los sistemas monocordón, en los que podemos colocar una placa de anclaje en el punto que queramos a lo largo del cordón, con los únicos requerimientos de longitud recta detrás del anclaje y placa centrada en el canto de losa, tesar y luego seguir montando. El anclaje intermedio se consigue únicamente CON continuidad del cordón de postesado, y se puede tesar con un gato tipo TWIN, que es un gato con doble cilindro que muerde por encima y no requiere enfilado en la longitud del cordón.

Y por último, están los sistemas multicordón con vaina plana, con los que NO se pueden realizar anclajes intermedios.

Esto es debido a que los sistemas de vaina plana no admiten desvíos en planta de curva-contracurva, los cuales serían necesarios en los anclajes intermedios, ya que los tendones se tesan cordón a cordón, y al tesar un cordón pisaría a los adyacentes que están sin tesar.

En el caso en que se empleen sistemas de vaina plana y se requiera una junta de hormigonado-tesado, la práctica habitual es realizar una junta dentada, donde el anclaje activo y el anclaje pasivo (que deberá ser de bulbo, tal y como se ha visto en el apartado anterior) se solapan y por lo tanto permitan tener este efecto de continuidad del postesado.

Así pues, resulta evidente que los sistemas de vaina plana presentan mayor dificultad a la hora de colaborar en optimizar el ciclo de ejecución de plantas resueltas con sistema de losa postesada en comparación con los sistemas monocordón.

3.2 Juntas de hormigonado-tesado para la reducción de ciclos

Las losas postesadas tienen la gran ventaja frente a otras tipologías estructurales que son autoportantes desde muy tempranas edades, ya que en el momento en que se realiza el tesado la losa ya pasa a transmitir esfuerzos a los pilares y se puede recuperar material de encofrado y parte del sistema de apuntalamiento.

Esto resulta de especial interés en torres de gran altura, ya que con una adecuada estrategia de replanteo de pastillas de hormigonado se pueden conseguir ciclos de trabajo rápidos, lo cual redunda en un ahorro de materiales y de costes indirectos.

La práctica habitual en estos casos consiste en dividir la losa en 2 o 3 zonas de hormigonado, haciendo coincidir la junta de hormigonado y tesado a una distancia aproximada de $L/5$ pasado el vano, con el fin de aprovechar las secciones de momento cercano a 0 para disponer de anclajes activos (con tesado) centrados en la losa.

Como se ha expuesto en el apartado anterior, con el sistema monocordón basta con cortar el cable en toda la longitud, colocar la placa de anclaje que hará de anclaje intermedio

en la tabica que delimita la junta de hormigonado-tesado, dejando el cable sobrante enrollado, y una vez el hormigón tiene la resistencia mínima, tesar con un gato de doble pistón, como se ha expuesto en el apartado anterior.

Por último, en el momento de ejecutar la siguiente pastilla se desdobra, se enfila la vaina y se instala según las alturas requeridas, colocando un nuevo anclaje activo al final, y realizando un nuevo tesado.

Con esto se consigue dividir la losa en varias pastillas que pasan a ser autoresistentes en el momento de tesado (que suele ser al tercer día tras hormigonado, con una resistencia del hormigón de 20 MPa), lo cual permite recuperar material y seguir una planificación de trabajos en cadena con la que se reducen significativamente los tiempos de ejecución.

A modo de ejemplo, se muestra a continuación el esquema del ciclo de ejecución que se siguió en la obra Tour CFC, dividiendo la losa en dos pastillas de hormigonado. Con este ciclo se pudo materializar la ejecución de las plantas tipo a un ritmo de 1 nivel por semana, trabajando en turno diurno y nocturno y 6 días por semana.

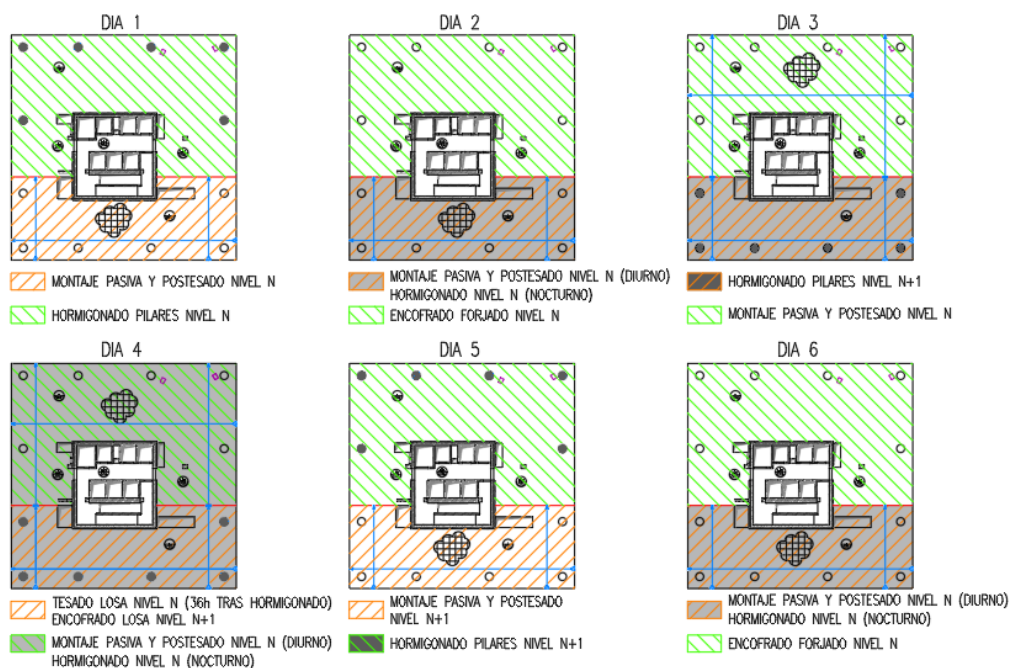


Figura 3. Ejemplo de esquema del ciclo de ejecución para losas postesadas en plantas

3.3 Tratamiento de las juntas de hormigonado-tesado en situaciones particulares

Existen situaciones en que las juntas de hormigonado-tesado no se pueden ejecutar del modo convencional.

Un ejemplo de ello son las losas de aparcamiento en que los propios forjados se construyen con pendiente a modo de rampa.

En Tour CFC (Casablanca – Marruecos) existía esta situación en los 5 niveles bajo rasante. Cada forjado se hormigonaba en tres zonas de hormigonado de dimensiones similares, y una de las juntas se ubicaba al final de la rampa, con lo cual era una zona en que era necesario garantizar su continuidad y evitar el salto al vacío del postesado en el quiebro de la rampa.

Por ello, disponer anclajes intermedios no era una buena opción ya que se realizaría un solape sin continuidad.

En casos como este, hay diversas soluciones posibles. Una solución que se puede disponer son anclajes de bloque pasivos alternados combinados con una junta de construcción dentada, como se puede ver en el siguiente detalle:

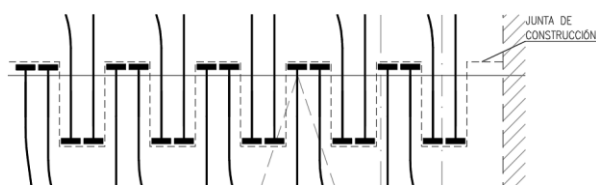


Figura 4. Detalle de junta dentada con anclajes pasivos de bloque alternados.

Otra alternativa, en el caso que la secuencia de hormigonado de pastillas sea rápida, y que se utilizó una vez se alcanzó el ciclo de trabajo deseado en los forjados bajo rasante, consiste en dejar los cordones preparados con el anclaje pasivo embebido en la pastilla anterior y prever cajones de tesado para los anclajes activos, como vemos en el siguiente detalle:

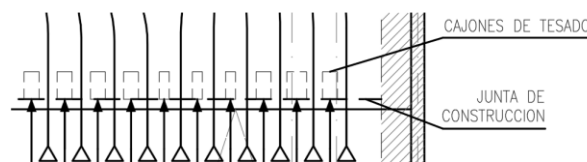


Figura 5. Detalle con anclajes solapados y cajones de tesado.

Otras situaciones que pueden ocurrir en grandes edificaciones son juntas de hormigonado-tesado inclinadas respecto a la dirección del postesado, o que una pastilla vaya muy adelantada respecto a las otras. En estos casos puede no interesar hacer una junta de hormigonado-tesado con continuidad del postesado, ya que dejaríamos el cable expuesto durante un tiempo y, en caso de ser un postesado adherente, sin poder inyectar, afectaría a la durabilidad.

Además, conviene tener en cuenta que a nivel de ejecución disponer cordones de gran longitud aumenta la dificultad en las tareas.

En estas situaciones, la solución pasa necesariamente por hacer juntas dentadas de igual forma a como haríamos en el caso de utilizar el sistema de vaina plana, decalando los anclajes activo y pasivo para tener una longitud de solape adecuada, que habitualmente y del lado de la seguridad, es igual a la longitud de adherencia del anclaje pasivo de bulbo, pero que puede ser menor.

Un ejemplo de ello se puede ver en la obra Moon Palace, en República Dominicana, con forjados de 5000 m² por nivel, en la cual se planteó esta estrategia en algunas de sus losas.

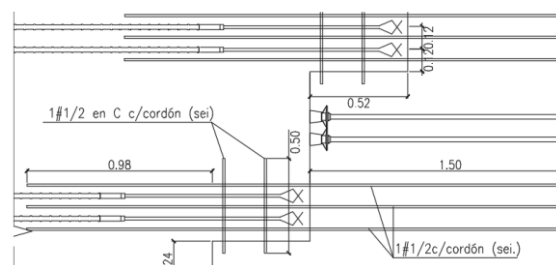


Figura 6. Detalle de junta dentada inclinada.

4. Evaluación del efecto de la retracción en losas postesadas

Un aspecto a tener en cuenta en el diseño de losas postesadas es la estrategia para minimizar la pérdida de precompresión.

La existencia de elementos rígidos verticales en los contornos o en las esquinas, o de dos núcleos enfrentados, puede hacer que las precompresiones no sean efectivas en la losa, ya que puede llegar a impedirse el acortamiento elástico de ésta, con lo cual parte del esfuerzo axial se perdería en deformar los elementos verticales.

El efecto de pérdida de precompresión se puede determinar comparando la rigidez axial de la losa frente a la rigidez a flexión de los elementos verticales que coartan el movimiento, de igual manera a como se evalúan los efectos de retracción.

Las numerosas referencias que hablan de esta casuística indican que dicho efecto no es significativo salvo en casos específicos, y que es un efecto que sólo debe tenerse en cuenta en el primer nivel, ya que para los niveles superiores la rigidez a flexión de los elementos verticales se reduce significativamente.

Si hacemos una aproximación numérica sencilla, podemos ver como efectivamente el efecto de acortamiento elástico en losas postesadas no es significativo:

Para ello, consideremos una losa de 60m de longitud, con una precompresión de 1 MPa, y un hormigón con módulo elástico de 30 GPa, y apliquemos la ley de Hooke:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \rightarrow \varepsilon = \sigma / E \quad (1)$$

$$\varepsilon = \Delta L / L \quad (2)$$

Igualando (1) y (2), obtenemos que:

$$\Delta L = \sigma \cdot L / E \quad (3)$$

Y particularizando para los datos inicialmente, se obtiene un acortamiento elástico de 2mm, lo cual resulta en 1mm por lado, en una

losa de 60m de longitud, valor que claramente es despreciable.

Sin embargo, la retracción y la limitación del acortamiento elástico sigue siendo un punto de preocupación cuando se plantea el diseño de una losa postesada, cuando resulta evidente que en la mayoría de los casos no debería ser así, y que generalmente basta con tomar en cuenta alguna de las diferentes estrategias existentes que ayudan a reducir significativamente dichos efectos, tal y como se expone a continuación.

4.1 Desvinculación temporal de forjados a muros para asegurar precompresiones en losa

Una solución habitual en forjados bajo-rasante que se ejecutan conectándose a muros de hormigón en el perímetro ejecutados previamente, y que suelen presentar elevada rigidez a flexión, consiste en desvincular de forma temporal la conexión forjado-muro, de manera que se hormigona la porción de losa correspondiente, dejando una franja de hormigonado de aproximadamente 1 metro en la zona del muro con las esperas del armado preparadas, que a su vez sirve como plataforma para el tesado de los cordones. Tras el tesado e inyección de los cordones, ya una vez se han asegurado las precompresiones en el hormigón de la losa, se procede a rellenar la franja que conecta el muro con la losa con hormigón armado, asegurando la conexión al muro.

Esta solución se puede realizar cuando tenemos pilares relativamente cerca del muro, de manera que, si tenemos un vano extremo corto, éste actúa temporalmente como voladizo, y no es necesario dejar encofrado y puntales.

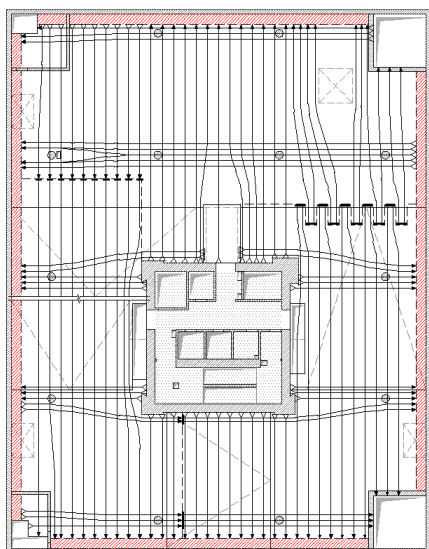


Figura 7. Vista en planta con franja perimetral desvinculada temporalmente.

4.2 Desvinculación temporal entre losas para reducir los efectos de limitación al acortamiento elástico

Otra solución habitual que puede aplicarse simultáneamente a la desvinculación temporal forjado-muro es la apertura de franjas de cierre o closure strips en la losa.

El funcionamiento de estas franjas de cierre es sencillo: Se utilizan para realizar el tesado por ambos lados, garantizando el acortamiento elástico en el instante de tesado y por lo tanto asegurando las precompresiones, y posteriormente se cierran, habitualmente en un período mínimo de entre 15 y 30 días tras el hormigonado de la segunda zona.

Con ello, se evitan los efectos de retracción a corto plazo, y se agiliza la construcción al poder trabajar desde dos frentes con cordones de menor longitud, con la consecuente reducción de plazos.

Para determinar la posición de estas franjas de cierre, se debe tener en cuenta dónde se ubicarán. En este caso, tenemos dos opciones:

La primera opción, en caso de ser posible, es que la franja de cierre se ubique en $L/2$ de un vano corto en el que no sea necesario el postesado, y se pueda resolver el vano como armado, con el mismo espesor de losa.

La segunda opción, en caso de no tener un vano corto, es hacerlo en un vano normal, con el primer hormigonado en $L/5$, y el segundo hormigonado en $4L/5$. En este caso, se debe tener en cuenta que el voladizo del segundo hormigonado no está equilibrado y esa zona no se podría desapuntalar hasta no cerrar el closure strip.

Un ejemplo de estas franjas de cierre lo podemos encontrar en los pódiums de la obra Moon Palace Fase II (Punta Cana – Republica Dominicana), en la que en los forjados tenían dimensiones considerables y se planteó el empleo de éstas franjas de cierre en los vanos cortos:

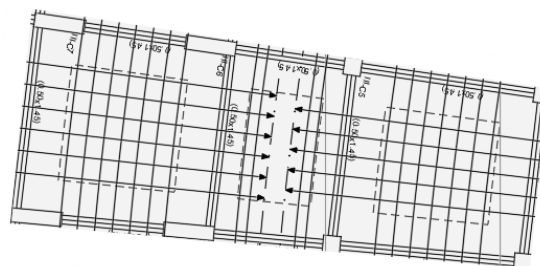


Figura 8. Detalle de franja de cierre en vano corto.

4.3 Evaluación del tiempo en que se debe disponer franja abierta

Como se puede comprobar, las opciones para garantizar el efecto favorable del postesado pasan por asegurar el acortamiento elástico de las losas en el instante de tesado y con ello las precompresiones en el forjado, pero adicionalmente se deben comprobar los efectos térmicos y de retracción que se desarrollan desde el momento en que se cierran las franjas y que el armado, tanto activo como pasivo que se dispone en la losa, sea capaz de tomar dichos efectos.

Desde el punto de vista de la ejecución, siempre interesa cerrar las franjas lo antes posible, aunque ello va en contra del comportamiento reológico del hormigón, ya que en este sentido interesa dejar la franja abierta el máximo tiempo posible, tal y como se indica en [3] y [4].

Por ello, la práctica habitual suele ser plantear una junta abierta entre 15 y 30 días, y tomar en cuenta en el diseño la retracción remanente que queda desde el día en que se cierra la franja hasta tiempo infinito.

La estrategia de diseño, en base a dicha práctica, consiste en:

- Se realiza un diseño convencional de toda la losa para cargas gravitatorias, obteniendo cuantías de armadura activa y pasiva.
- Se determina los efectos de retracción a largo plazo.
- Cálculo de la rigidez axial de la losa y la rigidez a flexión de los elementos verticales.
- Por compatibilidad de deformaciones entre elementos verticales y losa, obtenemos el total de tracción en la losa asociada a los efectos de retracción.
- Definido el momento en que se cierra la junta, obtenemos el porcentaje de retracción que se desarrollará hasta tiempo infinito.
- Se determina la cuantía de armadura adicional requerida para tomar los esfuerzos de tracción asociados a la retracción y se agrega a la armadura calculada en el paso inicial.

Conviene ser consciente, sin embargo, de que dicha estrategia de diseño, a pesar de ser correcta, no se corresponde con lo que ocurre desde un punto de vista físico, ya que en la práctica no se generarán unas tracciones, sino que habrá una pérdida de la precompresión que tenemos en la losa.

En cualquier caso, esto no significa que el armado adicional que se requiera deba ser activo para agregar precompresión adicional, se puede realizar el diseño agregando armadura pasiva adicional para control de fisuración y seguirá siendo válido, ya que se en el diseño final se

toman en cuenta tanto los efectos directos como indirectos.

5. Resolución de singularidades con postesado

Otro aspecto en que es muy conveniente tener en cuenta el postesado en el diseño de torres de gran altura es para enfrentar problemáticas derivadas de diseños singulares a los que hay que hacer frente mediante soluciones fuera de lo común, como las que se muestran a continuación.

5.1 Desvíos de pilares

En el caso de tener pilares con un quiebro que necesariamente se generará en una unión losa-pilar, se genera una tracción en la losa que en algunos casos es muy elevada y requiere de postesado para poder tomar dichos esfuerzos.

El ejemplo más significativo de dicha singularidad lo tenemos en Tour CFC (Marruecos). El edificio, de 27 niveles sobre rasante y con forma de diamante, tenía desvíos en todos los pilares perimetrales en los niveles inferiores, y esto originaba fuertes tracciones en la losa, la mayor de ella de 2.380 Ton.



Figura 9. Desvíos de columnas en CFC.

Para tomar estas tracciones, se tuvo que recurrir a un sistema de postesado multicordón actuando como tirantes horizontales que recogían la carga de tracción en los pilares y la llevaban a la cara opuesta del núcleo, que era capaz de absorber los esfuerzos.

Esta solución entraña diferentes aspectos a tener en cuenta, tanto a nivel de diseño como a nivel de ejecución.

En el diseño, se debe determinar la cuantía de armadura activa en ELS, ya sea para controlar fisuración, para controlar que las tracciones no exceden la resistencia a tracción del hormigón o para evitar tracciones, y ver cómo materializar dicha solución, y la cuantía de armadura pasiva adicional para verificar en ELU.

Desde el punto de vista de la ejecución, por un lado, al estar la construcción del núcleo avanzada respecto a la de la losa, tal y como se ha explicado en el primer apartado, se tenían que dejar las vainas de multicordón colocadas en el núcleo con el anclaje correspondiente, ya que los tirantes iban desde el pilar en que se producía el quiebro hasta la cara opuesta del núcleo, y así se podía hormigonar el núcleo y, una vez llegados al nivel, hacer los empalmes de vaina correspondientes para poder montar los tirantes. Esta operación era delicada ya que el núcleo tenía mucho armado y la vaina tenía que quedar bien colocada.

Además, en algunos casos, en el tramo de losa, la cantidad de postesado multicordón necesario no cabía en la losa respetando separación y recubrimiento, con lo cual se tuvo que disponer un sobreespesor en la losa en la zona de los tendones de postesado.

También se debe tener en cuenta que en estos casos el tesado se tiene que realizar por fases igual que en una viga de apeo, ya que la carga va aumentando conforme se van ejecutando los niveles superiores. Esto afecta tanto a nivel de ejecución (planificación y afectación a futuros trabajos en fachada) como a diseño (se deben determinar cuántas fases y cuando).

Otra obra de ejemplo en la que se ha tenido que hacer frente a esta casuística es la Torre Safra en Buenos Aires, Argentina. En esta obra, se añadía la dificultad de que las columnas tenían forma de diamante y estaban en el borde sin disponer de vuelo de forjado, con lo cual se trataba de una situación más compleja al tener que disponer los anclajes pasivos embebidos en el interior de las columnas.

La solución planteada en dicho caso fue un paso más allá, y es que se realizó un doble cosido: Por un lado, en el interior de las columnas se dispusieron barras de alta resistencia que conectaban con la losa, y luego se dispuso una zona en que se producía el solape de dichas barras con el postesado convencional, que ya podía llevar los esfuerzos de tracción hasta el núcleo.

A nivel de ejecución, se planteó el hormigonado en dos etapas: Una primera etapa en la que se hormigonaba el tramo con barras con un hormigón de alta resistencia, dejando anclajes pasivos de postesado embebidos en el tramo de solape, y tras tesado de las barras, un segundo hormigonado convencional hasta núcleo. Las barras tenían capacidad para tomar la tracción de desvío y conforme se ejecutaron niveles superiores, se realizó el tesado por fases en el postesado, de forma análoga a como se realizó en Tour CFC.

5.2 Apeos y cuelgue de forjados

Otra singularidad que se puede resolver con postesado en edificación, no sólo en torres de gran altura sino también en cualquier tipo de estructura, es el cuelgue de forjados mediante postesado.

A modo de ejemplo, mostraremos los forjados NS1, NS2 y NS2M de la obra P1B en La Habana, Cuba.

En dicha obra, NS1 y NS2 eran más pequeños y no llegaban a los pilares de borde de losa que venían de N0, y por requisitos de arquitectura, la única solución para resolver el

apoyo de estos forjados era colgar los forjados de NS2M.

En estos casos, la práctica habitual es usar columnas metálicas o mixtas, y resolver el apeo o tirante ya sea mediante viga de hormigón armado o viga postesada. Sin embargo, la dificultad de conseguir acero estructural en obra hizo que la solución que se tomara fuera realizar pilares de hormigón postesado, aplicando un axil de compresión igual a la carga de tracción que toma el tirante.

A nivel constructivo, este caso no planteó dificultades ya que se realizó un cimbrado convencional con una torre de apuntalamiento, y una vez se llegó al NS2M, se realizó el tesado de los tirantes.

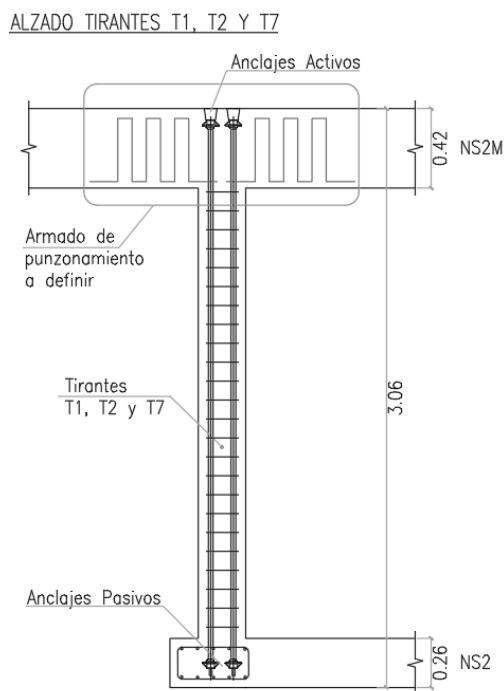


Figura 10. Ejemplo de tirantes postesados.

6. Conclusiones

Como hemos ido viendo en los diferentes apartados, el postesado aplicado a losas en torres de gran altura ofrece total versatilidad y permite obtener grandes rendimientos a nivel de ejecución al ser una solución con la que las losas pasan a ser autoresistentes a edades muy tempranas.

Para ello, es importante conocer la estrategia de ejecución de la estructura, y determinar en base a ésta la estrategia de ejecución del postesado.

Por otra parte, se han mostrado algunos casos relevantes en que el postesado ha resultado ser la única alternativa para cumplir con los requisitos específicos de dichos proyectos.

Agradecimientos

Agradecemos a las empresas BOUYGUES BATIMENT INTERNATIONAL y a GRUPO MALESPIN por haber confiado en las soluciones de losas postesadas de VSL Construction Systems para sus proyectos.

Referencias

- [1] CHIERICATO F., “Casablanca finance city’s CFC Tower”, Insight, No.2, 2018, pp. 63-65
- [2] AALAMI B., “POST-TENSIONING. Concepts; Design; Construction”, PT-Structures.com, 2021.
- [3] DC20.6-99: Design Fundamentals of PT Concrete Floors, PTI INSTITUTE, 1999.
- [4] DC20.9-11: Guide for Design of PT Buildings, PTI INSTITUTE, 2011.
- [5] TAB.1-23: Post-Tensioning Manual, seventh edition, PTI INSTITUTE, 2023.