

UTILIZACIÓN DE VIGAS DE APEO PREMOLDEADAS Y POSTESADAS EN GRANDES EDIFICIOS

Autores

*Hugo B. Yentel, Ingeniero Civil. Reside en Buenos Aires
Vicepresidente de Lavallaz, Yentel y Asociados, Ing. S.A.*

*Sergio A. Muñoz, Ingeniero Civil. Reside en Buenos Aires
Proyectista de Lavallaz, Yentel y Asociados, Ing. S.A.*

Resumen

En el presente trabajo se desarrolla la tarea realizada en el proyecto y construcción de un edificio perteneciente a un complejo edilicio de 22 unidades similares, en las que se utilizaron vigas premoldeadas y pretensadas de gran luz, construidas a 300 km de distancia de la obra y que, luego de colocadas, se integraron hiperestáticamente a la estructura de la obra y se postesaron en etapas.-

Lo novedoso de esta construcción fue el minucioso estudio de las distintas etapas que atravesó la estructura a lo largo de la ejecución, ya fuera por los cambios geométricos, como por la aplicación de las cargas constructivas, así como por la acción del paulatino tesado de los cables y la evolución de la estructura tesada y no tesa a lo largo de las distintas etapas constructivas.-

Resultó importante también el estudio del comportamiento reológico del conjunto y de las consecuencias de las pérdidas de tesado en la totalidad de la estructura, en especial desde el punto de vista de las deformaciones.-

Abstract

This presentation deals with the Project and Construction of a single large structure, part of the development of 22 buildings with similar characteristics, in which big span precast and prestressed beams manufactured 300 km from the construction site were used. The beams were transported, erected, incorporated hyperstatically into the structure and postensioned.-

An innovative feature of this job was the meticulous study of the different stages and modifications of the structure during its construction because of the geometric changes, the constructive loads, the tensioning of the postensioning cables, the evolution of the prestressed structure and the non prestressed members throughout the different construction stages.-

It was also important the study of the reologic behavior of the total structure and the consequences of the prestressing losses on the whole structure, especially for the importance of the deformations.-

1.- Descripción

Para el mes de Diciembre de 2008 está prevista la conclusión de un complejo edilicio de aproximadamente 80.000 m² ubicado en la Riviera Maya.-

El conjunto está compuesto por 22 bloques de construcción similar, cada uno de ellos con un subsuelo y 9 plantas en elevación, pero con la particularidad de que la mayoría de las unidades constructivas tiene la forma de un arco de gran tamaño, en el que los últimos 3 ó 4 pisos están apeados a una altura variable.-

Los hay de luces del orden de 12 m apeando hasta 8 plantas y otros de luces de 24m recibiendo la carga de 4 entresijos. (Ver Fig. 1).-



Fig. 1. Vista frontal del edificio principal.

Además del diseño arquitectónico, resultó condicionante en el planteo de la estructura de hormigón el requerimiento local sobre seguridad ante eventos atmosféricos extremos (huracanes). Los edificios deben, reglamentariamente, soportar vientos de hasta 200 km/hora, por lo que las estructuras cuentan con tabiques en elevación en sentido transversal, núcleos de circulación vertical y pórticos de fachada en sentido longitudinal.-

En el presente trabajo se desarrolla la tarea realizada en el proyecto y construcción de uno de los edificios típicos, en el que se utilizaron vigas premoldeadas y pretensadas de 24 m de luz.-

La decisión de utilizar grandes vigas pre y postesadas se tomó luego de efectuar diversos estudios que arrojaban valores de deformaciones inadmisibles cuando se utilizaban estructuras de hormigón armado solamente.-

Las vigas, que se fabricaban con los ductos y cables colocados y listos para realizar el postesado en etapas, fueron construidas a gran distancia de la obra. (Ver Fig. 2).-



Fig. 2. Viga premoldeada en planta de fabricación.

Lo novedoso de este proyecto fue el minucioso estudio del estado tensional correspondiente a las distintas etapas atravesadas por la estructura a lo largo de la construcción.-

En efecto, si bien las vigas, por su naturaleza de hormigón postesado están sujetas a deformaciones tanto durante la construcción como con posterioridad a su instalación definitiva, se tomó la determinación de integrarlas por completo a la estructura de la totalidad de la obra. En consecuencia, fue necesario efectuar el seguimiento de las solicitaciones en los distintos elementos de la estructura a medida que progresaba la construcción y se introducían nuevas cargas y nuevas fuerzas de postesado en las vigas.

En el análisis se debían considerar las deformaciones diferidas producidas por las sucesivas configuraciones de la estructura y el postesado.-

Las vigas, de sección AASHTO IV, se construyeron, se trasladaron a obra y se montaron en su posición definitiva al alcanzar la obra los niveles correspondientes a sus apoyos. Las vigas se pretesaron en fábrica con hilo adherente y fueron dimensionadas para soportar no solamente su peso propio, sino también las cargas que originaba el peso de todo el nivel en que quedarían incorporadas, debido a que luego de su colocación se procedía al llenado de la losa

de ese nivel, lo que implicaba la construcción de las vigas y ménsulas transversales de hormigón armado.-

Las fuerzas de postesado fueron aplicadas, en consecuencia, a una viga cuya geometría difería de la original, pues al momento de iniciarse ese proceso ya estaba fraguada la losa que se incorporaba a la sección resistente.-

Es de destacar lo complejo del estado de tensión en la viga premoldeada, sometida a acciones importantes en una geometría diferente a la inicial. (Ver Fig. 3).-

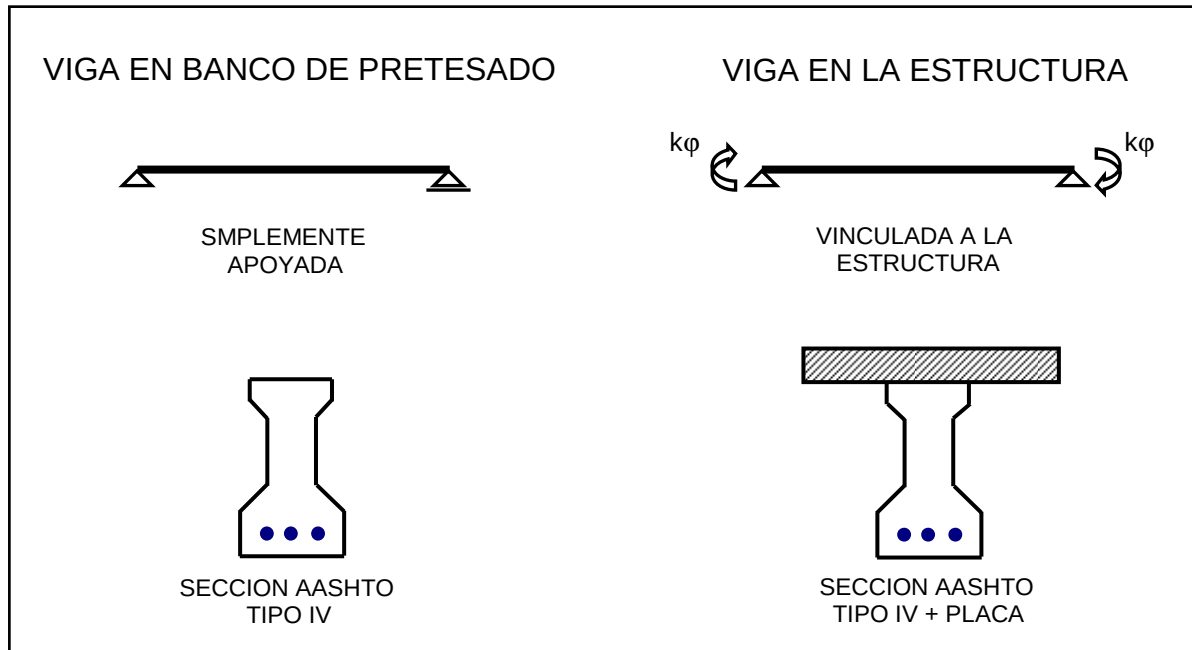


Fig. 3. Cambios geométricos en vigas premoldeadas.

Mientras proseguía la construcción, aumentaba la carga en las vigas y se incrementaba la fuerza del postesado, por lo que consecuentemente se producían los fenómenos habituales en las estructuras postesadas, a saber: caída de la fuerza de postesado, modificaciones dimensionales, variaciones en las flechas, etc.-

Se dispuso que al hormigonar las vigas y losas del nivel de apeo, también se procediera a hormigonar su vinculación con los grandes tabiques y columnas de apoyo, por lo que los fenómenos correspondientes a las deformaciones de las vigas y de la estructura en su conjunto se producirían a partir de ese momento en una estructura de muy alta hiperestaticidad.-

Solamente se dejaban sin vincular algunos sectores de losa contiguos a los tabiques de apoyo, a fin de evitar que las fuerzas de postesado se dispersaran en las zonas posteriores a los anclajes de postesado. Luego de concluido el hormigonado de las losas superiores y el postesado, se procedía a completar las losas.-

A fin de realizar el control necesario, se procedió a la nivelación de las losas inmediatamente luego de su construcción y se repitió la nivelación luego de ejecutada cada etapa de postesado.-

2.- Diseño de la Estructura

2.1- Características

La forma general del edificio es la de un pórtico, con una nave central formada por seis módulos de 4 m de longitud. (Ver Fig. 3).-

Los pies del pórtico están formados por dos cuerpos de tres módulos también de 4 m de longitud; a ambos lados se alojan núcleos de circulación vertical de hormigón armado. Las dimensiones en planta son aproximadamente de 13 m x 65 m. (Ver Fig. 4).-

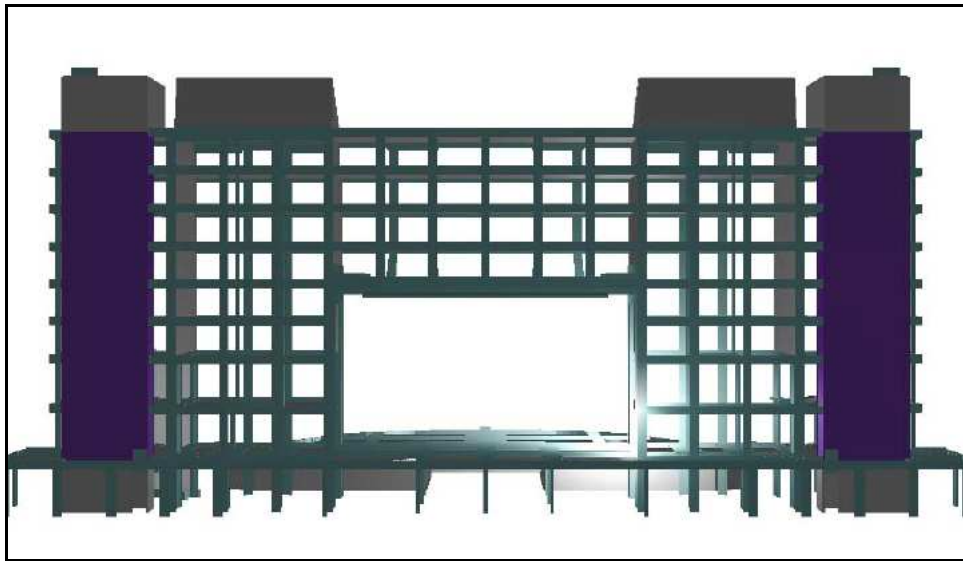


Fig. 3. Axonometría sólida del modelo estructural.

2.2- El sistema estructural para soportar cargas laterales

Como se indica en el apartado 1.-, el reglamento local relativo a acción del viento sobre las estructuras establece velocidades de viento de diseño del orden de 200 Km/h, correspondientes a huracanes tipo 5 según la escala Saffir-Simpson. La aplicación de estas normas conduce a considerar presiones de hasta 200 kg/m² sobre las superficies a barlovento y succiones de hasta 100 kg/m² sobre las superficies a sotavento de la estructura.-

La acción del viento de dirección transversal al edificio es tomada por la acción combinada de cuatro tabiques de hormigón armado y los núcleos de circulación vertical ubicados en ambos laterales de la estructura. De los tabiques transversales, los dos centrales se convierten en columnas de 2 m de canto y 0.5 m de espesor al llegar a las plantas inferiores.-

La acción del viento en sentido longitudinal es soportada por la combinación de tabiques en los núcleos de circulación vertical y los pórticos de fachada.-

2.3- El sistema estructural de apeo de los pisos sobre el vano central

La altura disponible de las vigas destinadas a soportar el peso y las cargas correspondientes a los cuatro pisos que constituyen el vano central hizo imprescindible el empleo de elementos preesforzados, ya que se debían controlar las deformaciones inducidas por las cargas muertas y evitar las perturbaciones que dichas deformaciones transmitirían a los elementos estructurales soportados, constituidos en general por losas sin vigas.-

Para generar el sistema de apeos se utilizaron tres vigas premoldeadas tipo AASHTO IV pretesadas en planta con hilo adherente y postesadas in situ.- Vinculándolas, se dispusieron 5 vigas transversales de repartición que tomaban los apeos de las columnas del frente y del contrafrente de edificio. (Ver Fig. 4).-

La disposición en planta de las vigas no era simétrica, por lo cual las solicitaciones en las mismas tampoco lo eran.-

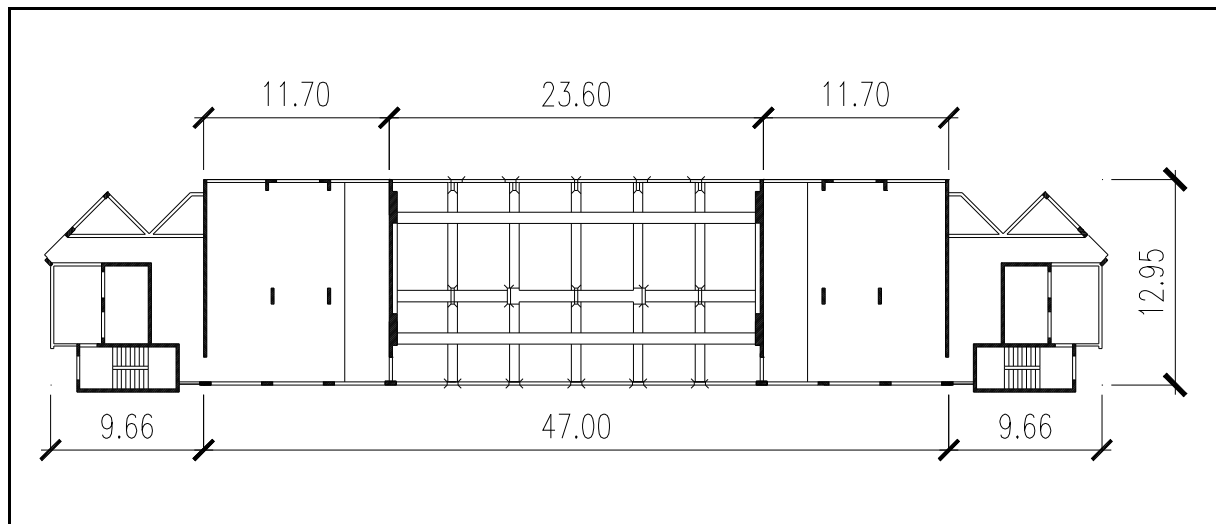


Fig. 4. Planta estructural del nivel de apeos.

Las vigas premoldeadas se integraron completamente al resto de la estructura sin que existan juntas de ningún tipo. Por este motivo, el comportamiento hiperestático del conjunto fue afectado por la acción del postesado sobre las vigas, participando tanto de los efectos inmediatos producidos por las deformaciones elásticas de las vigas como de los diferidos debidos a su comportamiento reológico.-

2.4- El cálculo

Los edificios se construyeron en Hormigón Armado, siguiendo las normas ACI.- Las calidades de los materiales utilizados fueron las siguientes:

- Acero ADN 420
- Acero para pretensado C-1900
- Hormigón en vigas premoldeadas H-35
- Hormigón en demás elementos H-25
- Sistema de Postesado Freyssinet

Para generar el modelo matemático de la estructura se utilizó el programa de cálculo Strap 12.5. Se muestra, a continuación, una elevación de la geometría del modelo estructural. (Ver Fig. 5).-

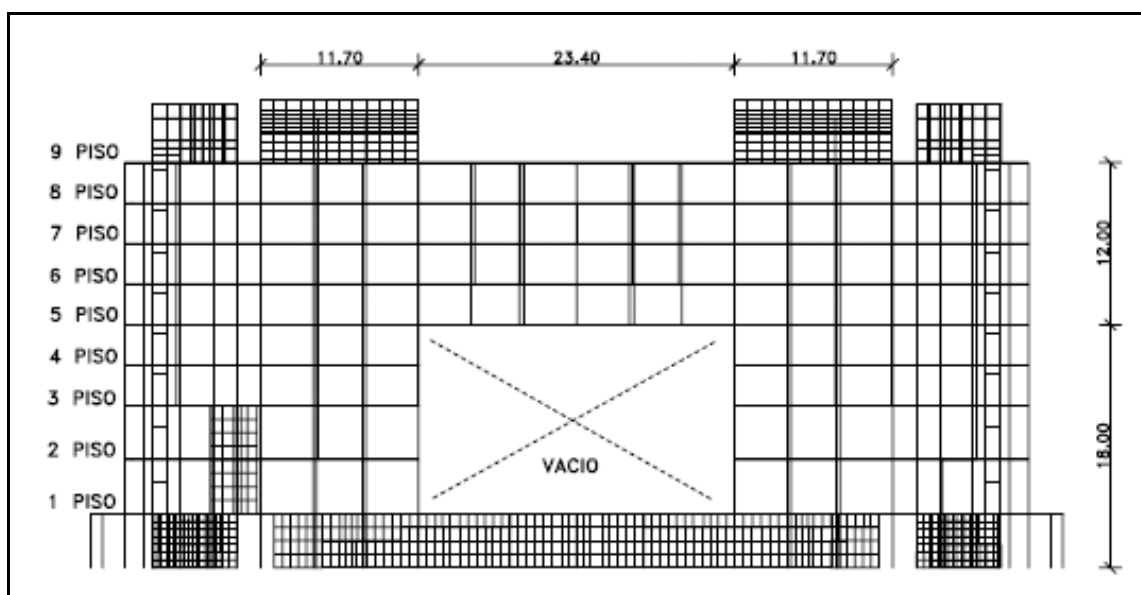


Fig. 5. Vista frontal del modelo estructural.

2.4.1.- Las etapas constructivas

Las vigas premoldeadas se tesaron en banco con 22 torones de $\frac{1}{2}$ ". Para el postesado se dispusieron 4 cables sistema Freyssinet, 2 de ellos constituidos por 19 torones de $\frac{1}{2}$ " y los otros 2 por 12 torones de igual diámetro.-

Fue necesario tesar por etapas, ya que de otra manera no era posible introducir las fuerzas de postesado de una sola vez obteniendo una respuesta admisible en la estructura.-

En base a las cargas y a los cambios de geometría que se gestaron durante el proceso constructivo, se definieron básicamente cuatro etapas de postesado en cada una de las cuales se tesaba por completo uno de los cables.-

Las cuatro etapas fueron definidas de manera tal que en cada una de ellas se obtuviera una situación admisible desde el punto de vista de las tensiones y deformaciones correspondientes, evitando valores de tracción y de compresión elevados, tanto en las vigas postesadas como en la estructura no tesa.-

Simultáneamente, se controlaba la magnitud de las deformaciones en los elementos apeados, como las vigas, columnas y losas.-

En el cálculo se consideraron todas las etapas constructivas por las que pasó la estructura, teniendo en cuenta los diferentes eventos: cambios en la geometría, cambios en los estados de carga y aplicación de las fuerzas de pretensado. (Ver Tab. 1 y Fig. 6).-

Finalmente, sobre la estructura terminada se han considerado los estados de servicio teniendo en cuenta la carga de peso propio total, la carga permanente total

y un porcentaje de la sobrecarga considerada como permanente para verificar a tiempo infinito las pérdidas, tensiones y deformaciones en toda la estructura.-

También, como es requerido por el código de diseño, se han tenido en cuenta las combinaciones últimas con todas las cargas actuantes en la estructura para efectuar las verificaciones de resistencia en todos sus elementos, a saber: peso propio, cargas permanentes, sobrecargas, viento, temperatura y empujes de suelo.-

Se muestra a continuación una tabla resumen de las etapas consideradas:

ETAPAS	CARGAS ACUMULADAS	ESQUEMA VIGA H°P°	SECCION	DIAS
ETAPA 1	PP VIGA + PRT	SIMPLEMENTE APOYADA	SIN PLACA	7
ETAPA 2	PP EST5 (SF) + PRT	SIMPLEMENTE APOYADA	SIN PLACA	28
ETAPA 3	PP EST 5 (CF) + PRT + PST 1	VINCULADA A LA ESTRUCTURA	CON PLACA	35
ETAPA 4	PP EST 6 (SF) + PRT + PST 1	VINCULADA A LA ESTRUCTURA	CON PLACA	42
ETAPA 5	PP EST 6 (CF) + PRT + PST 2	VINCULADA A LA ESTRUCTURA	CON PLACA	49
ETAPA 6	PP EST 7 (SF) + PRT + PST 2	VINCULADA A LA ESTRUCTURA	CON PLACA	56
ETAPA 7	PP EST 7 (CF) + PRT + PST 3	VINCULADA A LA ESTRUCTURA	CON PLACA	63
ETAPA 8	PP EST 8 (SF) + PRT + PST 3	VINCULADA A LA ESTRUCTURA	CON PLACA	70
ETAPA 9	PP EST 8 (CF) + PRT + PST 4	VINCULADA A LA ESTRUCTURA	CON PLACA	77
ETAPA 10	PP EST 9 (SF) + PRT + PST 4	VINCULADA A LA ESTRUCTURA	CON PLACA	84
ETAPA 11	PP TOT (CF)+ CP + PRT + PST 4	VINCULADA A LA ESTRUCTURA	CON PLACA	120
ETAPA 12	PP TOT (CF) + CP + SC + PRT + PST 4	VINCULADA A LA ESTRUCTURA	CON PLACA	360

Tab. 1. Resumen de las etapas consideradas.

Notación:

PP VIGA = el peso propio de la viga.

PPEST N (SF) = las cargas de peso propio que actúan hasta el fraguado de losa del estructural N.

PPEST N (CF) = las cargas de peso propio que actúan después el fraguado de losa del estructural N.

PP TOT = las cargas de peso propio de toda la estructura.

CP = la carga permanente correspondiente a los contrapisos y paredes.

SC = la sobrecarga de uso según el destino.

PRT = la carga equivalente efectiva del pretesado en banco.

PST N = la carga equivalente efectiva del postesado después del tesado del cable N.

DIAS = Se entiende por los días corridos después del hormigonado de la viga premoldeada.

Se muestran a continuación los esquemas de las etapas consideradas:

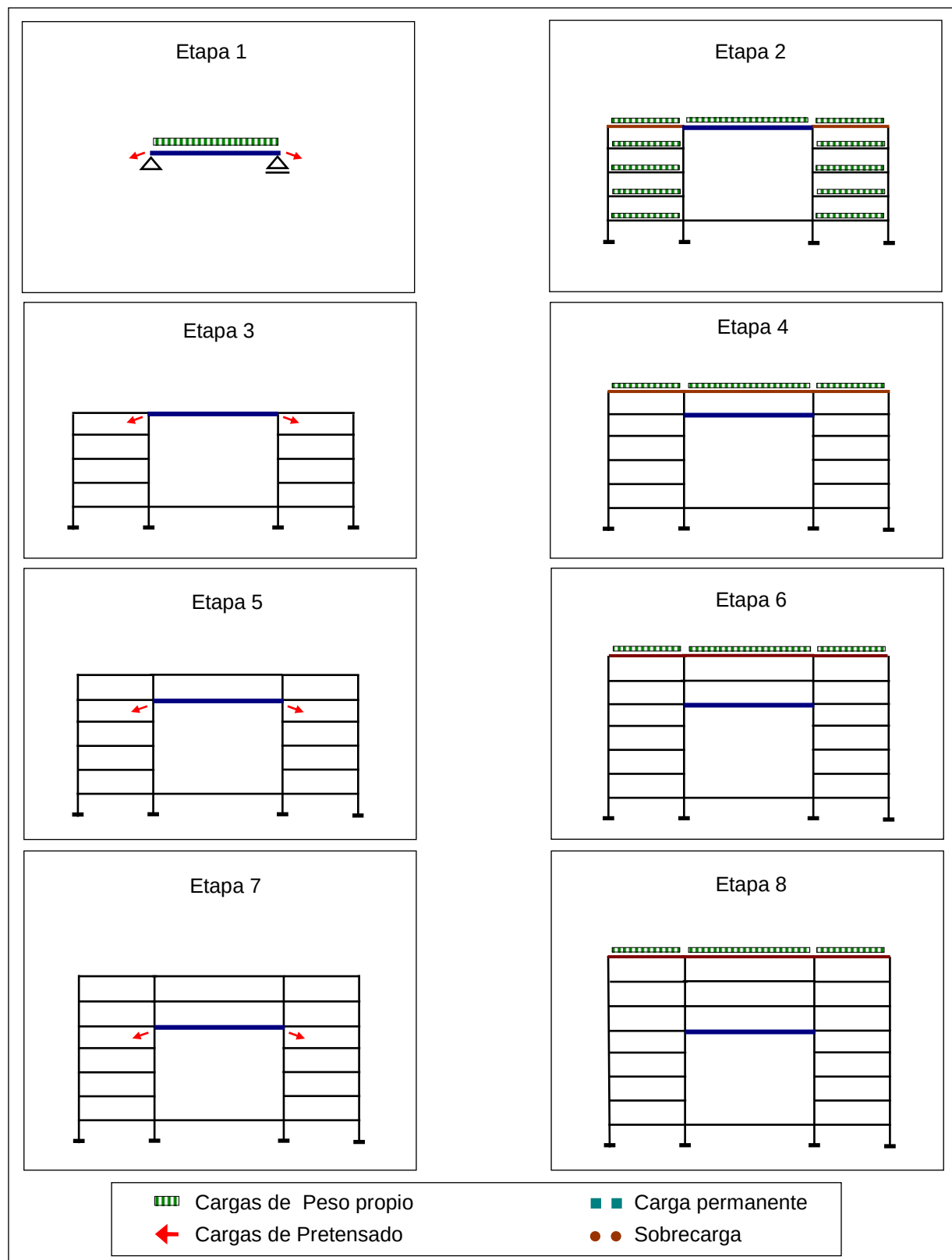


Fig. 6.I. Esquemas de las etapas consideradas.

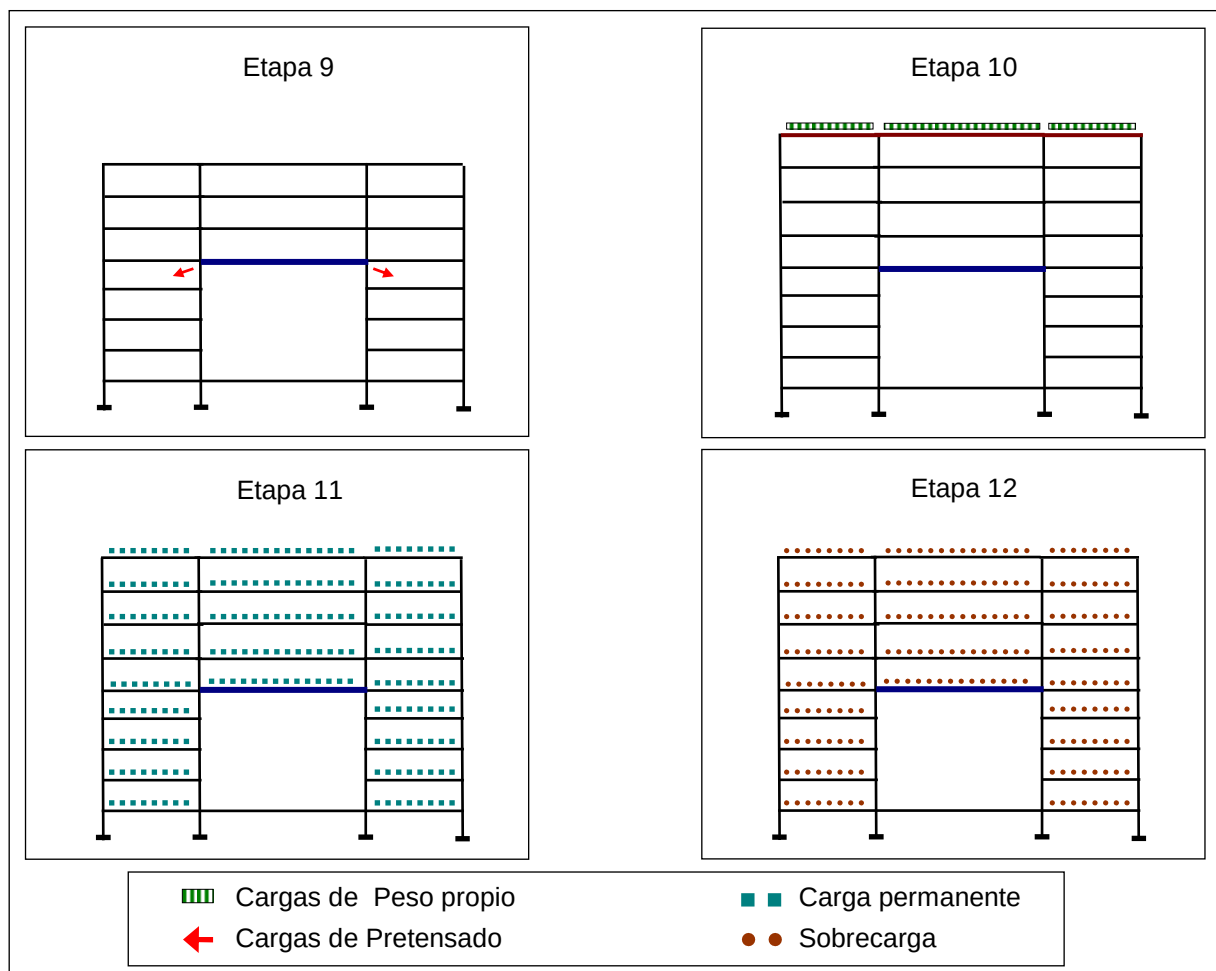


Fig. 6.II. Esquemas de las etapas consideradas.

2.4.2- Las pérdidas en las vigas postesadas

Se tuvieron en cuenta en el cálculo tanto las pérdidas instantáneas (Fricción, Acuñamiento, Acortamiento Elástico) como las diferidas (Fluencia Lenta, Retracción y Relajación).-

De los resultados del procesamiento Strap se obtuvo que la caída de tensión en la sección central, después de la transferencia, fue del 9% en todos los cables. Se obtuvo, además, que para el primer cable tesado la pérdida de tensión a largo plazo y en la misma sección era del 17%, mientras que para el último cable tesado la pérdida de tensión a largo plazo era del 13%. El promedio total de todas las pérdidas alcanzó el 25% de la fuerza de tesado inicial.-

2.4.3.- Resultados y verificaciones

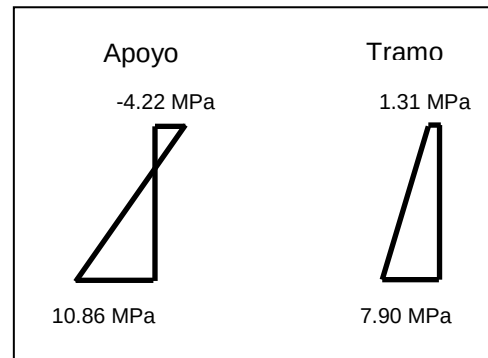
2.4.3.1.- Tensiones admisibles

Las tensiones fueron obtenidas directamente mediante el software de cálculo, teniendo en cuenta cada uno de los escenarios mencionados en 2.4.1-, en los que, además de las pérdidas instantáneas y diferidas, aparecían cambios en la geometría, en las secciones a considerar y en las cargas aplicadas.-

A título ilustrativo, a continuación se indican las variaciones en las tensiones de la viga (en Mpa) en los puntos más representativos y en algunas de las etapas:

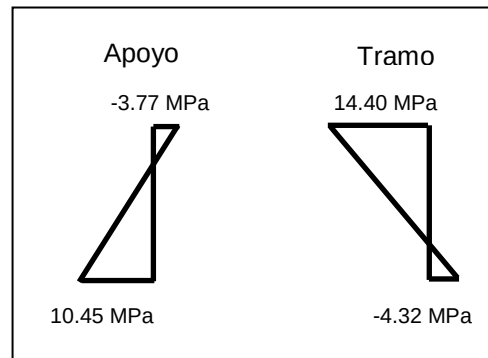
Etap 1

Sección	Borde Superior	Borde Inferior
Apoyo	-4.22	10.86
Tramo	1.31	7.90
Apoyo	-4.22	10.86



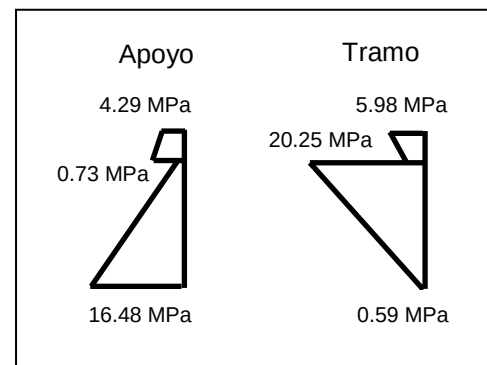
Etap 2

Sección	Borde Superior	Borde Inferior
Apoyo	-3.77	10.45
Tramo	14.40	-4.32
Apoyo	-3.77	10.45



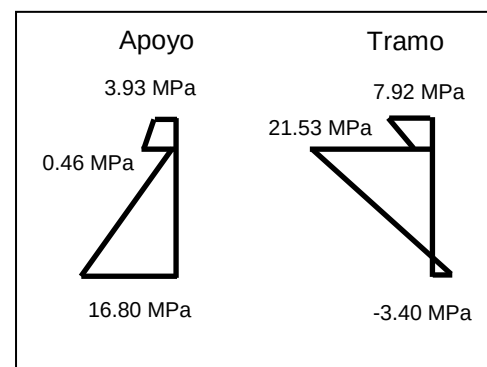
Etap 11

Sección	Borde Superior	Borde Intermedio	Borde Inferior
Apoyo	4.29	0.73	16.48
Tramo	5.98	20.25	0.59
Apoyo	4.28	0.74	16.42



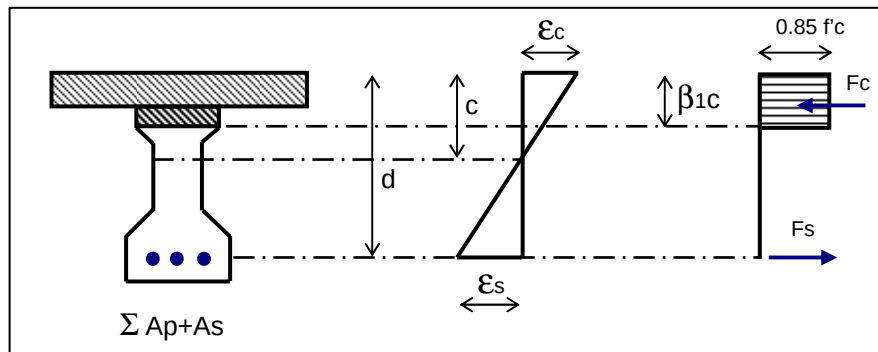
Etap 12

Sección	Borde Superior	Borde Intermedio	Borde Inferior
Apoyo	3.93	0.48	16.88
Tramo	7.92	21.53	-3.40
Apoyo	3.92	0.46	16.80



2.4.3.2.- Resistencia a flexión

Se analizó la seguridad a rotura por flexión en la sección central de las vigas, y para ello el programa calculó la posición de eje neutro y aplicó los lineamientos del ACI para la obtención de la capacidad portante a flexión sobre la base de la compatibilidad de deformaciones. Fue posible, entonces, obtener la capacidad portante a flexión y verificar que la misma fuera superior a los valores generados por la envolvente de solicitaciones.-



d: distancia desde la fibra comprimida extrema hasta el baricentro de las armaduras, en mm.

c: penetración del eje neutro de deformaciones.

ϵ_s : deformación en el acero de pretensado.

ϵ_c : deformación en el hormigón.

β_1 : constante igual 0.80 para hormigón H-35 según ACI.

La condición a verificar es $M_u + M_{sp} \leq \phi M_n$, o sea que el momento requerido (suma de los momentos producidos por las acciones de diseño debidamente factoreadas más el momento debido a la hiperestaticidad bajo la acción del pretensado sin factorear) no debe superar al valor del momento de diseño.-

Conociendo la cuantía de acero activo, la cuantía de acero pasivo y los diagramas tensión-deformación de ambos aceros, se obtiene el valor del momento de diseño de la sección $\phi M_n = 17900 \text{ kNm}$, valor que supera al del momento requerido, que resultó $M_u + M_{sp} = 14340 \text{ kNm}$.-

De manera complementaria, se debió verificar el encuadramiento de las armaduras dentro de valores reglamentarios de cuantías máximas y mínimas.-

Para la cuantía mínima se verificó en todas las secciones que la cantidad de armadura tesa y no tesa fuera la suficiente como para desarrollar una resistencia de un valor mínimo 20% superior al valor del momento que produce la fisuración de dicha sección. De acuerdo a lo requerido por el código, se proporcionó además una armadura adherente mínima en la zona traccionada precomprimida.-

Para la cuantía máxima no existe un límite definido, pero la misma está acotada en forma indirecta en base a la clasificación de las secciones (limitadas por tracción, de transición y limitadas por compresión) que especifican los distintos

factores de diseño ϕ apropiados, utilizando como parámetro de referencia la deformación efectiva en la armadura de tracción.-

2.4.3.3.- Resistencia a corte

Se obtuvo la capacidad portante a corte por medio del programa y se verificó que este valor superara el del corte último debido a la envolvente de solicitaciones.-

El programa calculó la capacidad a corte en cada punto de la viga y aplicó los lineamientos del ACI a los efectos de la verificación. Siguiendo estos, se puede calcular la capacidad al corte de secciones fisuradas por tensiones principales de tracción en el alma o en secciones en las que la fisuración involucra a las fibras extremas.-

En nuestro caso, resultó que la resistencia nominal al corte proporcionado por el hormigón más la resistencia nominal proporcionada por la armadura de corte arrojó una resistencia de diseño $\phi V_n = 3240$ kN superior al valor de corte último $V_u = 2600$ kN debido a la envolvente de las solicitaciones en la sección mas comprometida.-

2.4.3.4.- Deformaciones diferidas

Se calcularon las deformaciones instante a instante teniendo en cuenta la rigidez a flexión efectiva en cada momento.-

En nuestro caso resultó una deformación de 6 mm en el centro de tramo en la viga premoldeada después de la puesta en carga de toda la estructura bajo su peso propio y las cargas de pretensado. (Ver Tab. 2 - Cap. 3).-

Si a estos valores finales se le adicionan las deformaciones producidas por las cargas permanentes (7 mm) y las deformaciones causadas por una fracción de la sobrecarga (4 mm), se obtiene una deformación instantánea total de 17mm que a tiempo infinito (teniendo en cuenta el comportamiento reológico del hormigón) se incrementa a 48 mm. La deformación resultante es de 1/500 de la luz, valor admisible según los requerimientos reglamentarios.-

2.4.3.5.- Efectos reológicos

Usualmente, en el cálculo de las estructuras se aplican las cargas sobre la estructura completa, ignorando el proceso constructivo e ignorando también que las cargas, y muy particularmente el peso propio, se aplican en sistemas estructurales cuya geometría va cambiando a lo largo del proceso constructivo. En la mayor parte de los casos, el error resultante de la aplicación de esta hipótesis no es significativo.-

No puede decirse lo mismo en un caso como el que se presenta, en el que la estructura final es el resultado de una serie de operaciones no tradicionales: empleo de vigas premoldeadas pretensadas en banco, cambio de la geometría de dichas vigas por colado in situ de una placa superior, monolitización de las vigas con sus apoyos incorporándolas a un sistema aporticado y el posterior tesado adicional de las vigas ya aporticadas en sucesivas etapas de la construcción, hace necesario un

control de la evolución de las solicitaciones, estados tensionales y deformaciones a lo largo del proceso constructivo (e incluso después de construido el edificio).-

En este análisis no pueden ser ignorados dos fenómenos propios del comportamiento reológico del hormigón: la fluencia lenta y la contracción de fragüe.-

La retracción de fragüe tiene particular importancia en la interacción entre la viga premoldeada y la placa colada a posteriori sobre ella (la losa del entrepiso al que queda incorporada). La retracción de fragüe de la losa produce una compresión de la fibra superior de la viga, la que, a su vez, al oponerse al fenómeno crea tensiones de tracción en la losa.-

A su vez, las deformaciones por fluencia lenta de la viga cambian su ley de variación en el tiempo al cambiar la geometría de la viga y la del sistema estructural al que está incorporada.-

La variación de las solicitaciones en función del tiempo, cuando se altera la configuración geométrica de la estructura en un determinado momento respondería a las siguientes ecuaciones:

$$M_{(t)} = M_1 \cdot e^{-\Phi(t)} + M_2 \cdot (1 - e^{-\Phi(t-t_1)}) \quad F_{(t)} = F_1 \cdot e^{-\Phi(t)} + F_2 \cdot (1 - e^{-\Phi(t-t_1)})$$

En las que:

t: tiempo en el que se analiza la solicitación ($> t_1$).-

t_1 : tiempo en el que se produce el cambio de configuración.-

M_1 : Momento Flexor correspondiente a la configuración geométrica anterior a t_1 .-

M_2 : Momento Flexor correspondiente a la configuración geométrica posterior a t_1 .-

F_1 : Fuerzas axiales correspondiente a la configuración geométrica anterior a t_1 .-

F_2 : Fuerzas axiales correspondiente a la configuración geométrica posterior a t_1 .-

$\phi(t)$: Coeficiente de fluencia en el instante t .-

$M_{(t)}$: Momento Flexor resultante en el instante t .-

$F_{(t)}$: Fuerza axial resultante en el instante t .-

3.- La construcción

3.1- Características

Como se expresó anteriormente, las vigas premoldeadas se construyeron a 300 Km de distancia de la obra y fueron transportadas hasta la misma y colocadas en su posición definitiva simplemente apoyadas en una primera etapa y se vincularon luego hiperestáticamente a la estructura mediante el empotramiento a los tabiques extremos de apoyo.-

3.2- Fabricación y montaje de las vigas premoldeadas

Las vigas premoldeadas se construyeron dejando previstos pases en concordancia con las transversales, a fin de posibilitar el enhebrado de las armaduras correspondientes; también se dejaron previstas armaduras en espera,

tanto para las columnas que apeaban como para generar el empotramiento en los tabiques extremos. (Ver Fig. 7 y Fig. 8).-

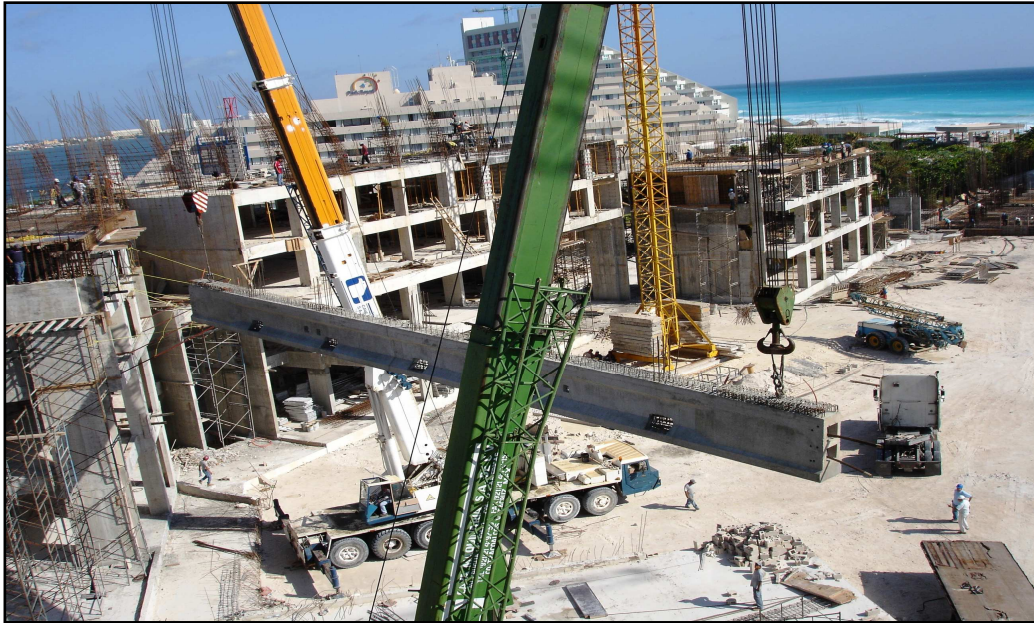


Fig. 7. Montaje de las vigas premoldeadas (I).

Colocadas las vigas en su posición se procedía al colado de las vigas transversales de apeo, las vigas secundarias y la losa, operación en la que las vigas pretensadas pasaron a integrarse monólicamente con la estructura.-

Una vez fraguados estos elementos, se procedía a efectuar el tesado e inyección de los distintos cables de postesado y a completar los siguientes niveles en el orden de las etapas descritas anteriormente.-



Fig. 8. Montaje de las vigas premoldeadas (II).

3.3- Detalles constructivos

Se comentan, a continuación, algunos de los detalles constructivos que fueron introducidos en el diseño:

a.- En capítulos anteriores se comenta que resultó imprescindible dejar sin hormigonar los sectores de losa contiguos a los extremos de las vigas premoldeadas para evitar que gran parte de las fuerzas de postesado se perdieran originando tracciones en la losa y dejando de cumplir su función principal. Estos sectores se hormigonaban luego de finalizada la puesta en carga de toda la estructura, después del postesado de todos los cables y de la construcción definitiva de todos los niveles apeados. (Ver Fig. 9).-

b.- Para controlar el apoyo de las vigas en la etapa constructiva se colocaron placas metálicas para ese fin, dejando las necesarias distancias a los bordes para asegurar la correcta introducción de las cargas, tanto en las vigas de apoyo adosadas a los tabiques extremos como en las vigas postesadas. (Ver Fig. 10).-

c.- Por razones de programación de obra fue necesario recibir algunas vigas con anticipación a su montaje. Debido a la agresividad del clima, se implementó un sistema especial de protección de los elementos metálicos (acero duro de postesado) a fin de evitar su eventual deterioro durante el tiempo de espera hasta su colocación.-

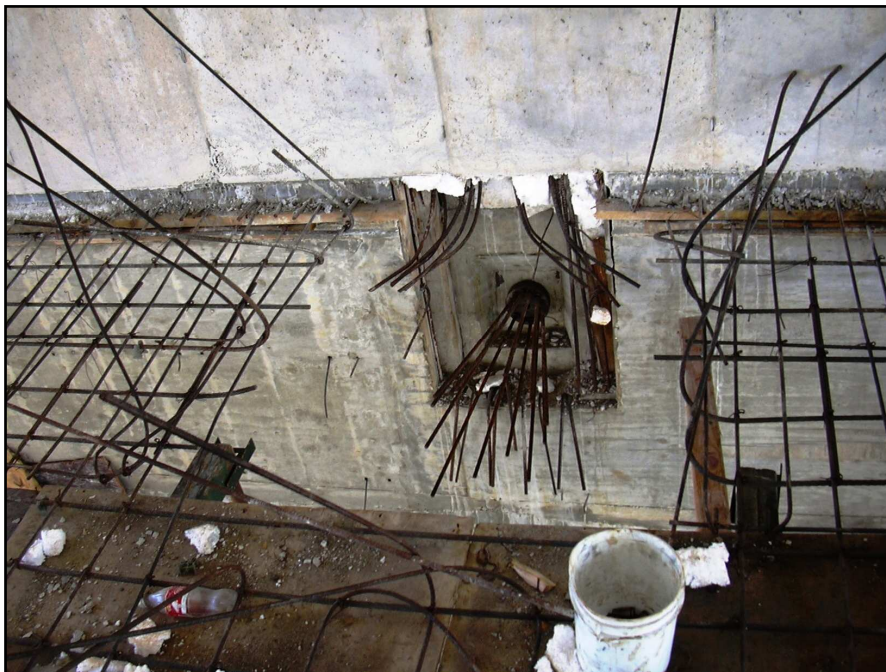


Fig. 9. Nichos para tesado y losa sin hormigonar en las vigas premoldeadas.



Fig. 10. Placa de apoyo de las vigas premoldeadas.

d.- A medida que la construcción avanzaba aparecieron otras particularidades, como la necesidad de dejar sin hormigonar los tramos extremos de las vigas de fachada para facilitar la entrada de los módulos sanitarios. Estos tramos debieron ser hormigonados en una etapa posterior, por lo que no se dispuso de la colaboración de la viga Vieerendel de fachada para soportar las cargas verticales iniciales y esta particularidad tuvo que ser considerada en el cálculo de las etapas intermedias. (Ver Fig. 11).-



Fig. 11. Vista frontal del edificio.

e.- Todas las losas y vigas en el nivel de apeo, donde se ubicaron los premoldeados, se completaron con hormigón de igual característica que las vigas premoldeadas (H-35); existía en obra, además, un laboratorio de control de calidad de los hormigones, lo que permitió tener control continuo de los mismos.-

3.4- Control de deformaciones

A continuación se muestra un reporte de variaciones verticales en el tramo central de la viga postesada, en comparación con los resultados calculados mediante el método de Branson, según ACI.-

Etapa	Variación medida	Def. total medida	Def. total calculada
Etapa 1	-15 mm	-15 mm	- 12 mm
Etapa 2	+22 mm	7 mm	9 mm
Etapa 3	-6 mm	1 mm	4 mm
Etapa 4	+6 mm	7 mm	9 mm
Etapa 5	-4 mm	3 mm	3 mm
Etapa 6	+4 mm	7 mm	8 mm
Etapa 7	-4 mm	3 mm	3 mm
Etapa 8	+4 mm	7 mm	7 mm
Etapa 9	-4 mm	3 mm	2 mm
Etapa 10	+4 mm	7 mm	6 mm

Tab. 2. Reporte de variaciones verticales y deformaciones calculadas.

Este estudio fue necesario para asegurar que no aparecieran deformaciones no esperadas y solicitaciones adicionales en los elementos estructurales y no estructurales sostenidos por las grandes vigas.-

4.- Conclusiones

En el presente trabajo se han presentado los aspectos más destacables de una obra de estas características.-

Pero lo más importante es destacar el avance producido en el arte de proyectar y construir estructuras mixtas, postesadas y de hormigón armado.-

Gracias a los medios modernos de diseño y cálculo se puede hoy estudiar en detalle lo que acontece en una estructura de altísima hiperestaticidad, aún en el caso en que algunos elementos tengan un comportamiento muy diferente del resto.-

Resulta ahora posible establecer con razonable certeza la evolución del conjunto de una construcción compleja como ésta, no sólo durante la construcción sino también a lo largo de su vida útil.-

Es condición necesaria e imprescindible una coherencia total entre el proyecto y su materialización, con estricto control de calidad en la etapa de construcción.-

Por último, cabe recalcar que para que los resultados de un análisis estructural tan complejo sean conducentes, es imprescindible que previo a su iniciación se hayan formulado en forma detallada las características de la estructura y la secuencia operativa de su construcción. Asimismo, se impone que un posterior control en obra verifique que la construcción de la estructura se ajuste a las hipótesis establecidas.-