



15 al 19 de Noviembre de 1993  
Montevideo - Uruguay

## PROYECTO DE ESTRUCTURA DE UNA SECADORA DE CEBADA.

PROF. ING. ALBERTO PONCE DELGADO

**SUMARIO.-** El proyecto de la estructura de una secadora de cebada que debe sufrir variaciones diarias de 60o. a 70o. C. de temperatura obliga a prever disposiciones estructurales habituales. Se resolvió la estructura de hormigón armado con una forma cilíndrica de 29,40 mts. de diámetro y 8 mts. de altura con paredes y pilares deslizantes sobre apoyos de neopreno. La losa de techo está soportada en su perímetro por 16 pilares que a su vez soportan 16 tensores de hormigón postensado que sostienen la zona central de la losa. Coronando los pilares y en el punto de sostén de los tensores postensados, se construyó una viga poligonal que absorbe la mayor parte de la componente horizontal transmitida por los tensores postensados.

### PROYECTO DE UNA SECADORA DE CEBADA

#### Estructura circular con techo plano colgante

##### 1) Planteo del Problema.

Se trataba de la construcción de una secadora de cebada de forma cilíndrica de 29,04 de diámetro y 8,4 mts. de altura.

En el ciclo de funcionamiento de la secadora se eleva la temperatura hasta 80 a 90o C. y luego se desciende hasta la temperatura exterior.

Por lo tanto es necesario prever variaciones de temperatura de hasta 80o C.

Esta gran variación de temperatura, unida al gran diámetro de la estructura, obliga a proyectar una estructura que permita los movimientos que ello provoca, sin crear grandes esfuerzos por unión a los vínculos de cada parte.

Por ejemplo el movimiento de la pared cilíndrica perimetral, -estando libre- teóricamente podría moverse.

$$R = 80 \times \frac{29,04}{2} \times 10^{-5} \times 100 = 1.2 \text{ cms}$$

Impedir esta dilatación crearía exagerados esfuerzos entre pared y fundación. Se proyectó entonces apoyar la estructura perimetral sobre neoprenos ubicados sobre las fundaciones. (Ver fig.1)

Se pensó entonces en proceder en forma similar para independizar los movimientos de paredes y techo.

Sobre la base de ese esquema estructural existen numerosas posibles soluciones.

Podemos clasificarlas en dos tipos fundamentales: con techo abovedado o con techo plano. (Ver fig.2).

La 2a. tiene la ventaja de que el volumen de aire a calentar en el ciclo de secado de la cebada es menor.

Frente a una solicitud en ese sentido se optó por la 2a. solución.

Quedaba entonces pensar en una solución de techo plano que salvara económicamente la luz de aproximadamente 30 mts.

Un techo con vigas y losa lleva a vigas de dimensiones importantes.

Se eligió hacer un techo plano colgante de pilares perimetrales y un anillo incluido en la losa. (Ver fig.3).

Para evitar grandes flexiones en los pilares se proyectó un anillo de compresión que uniendo las cabezas de los pilares tomara las componentes horizontales de la fuerza de los tensores.

El anillo de compresión en realidad se proyectó como un polígono de 16 lados, con lo cual se eliminaron las flexiones en el mismo, al descomponer cada componente horizontal de los tensores en dos fuerzas que unieran los puntos de aplicación de esas fuerzas en los pilares. (Ver figs.3 y 4).

El anillo central en donde se aplica la reacción de los tensores que sostiene la losa se materializó también como un refuerzo poligonal en la losa, con lo que se obtiene similar resultado que en el perímetro, creando dentro de la losa un refuerzo que trabaja a tracción.

Con esa disposición estructural se eliminaron casi totalmente las restricciones al movimiento que provocan las

grandes variaciones de temperatura.

La única restricción que requiere un análisis especial, - dado que la de los neoprenos es muy sencilla y dominable- es la de los tensores oblicuos contruidos en hormigón postensado, dado que están unidos a los pilares y al anillo poligonal superior, y al anillo poligonal central de la losa.

Consideremos entonces ese problema: frente a un aumento de temperatura para analizar el comportamiento de la losa debemos considerar dos zonas. La central (rayada) y la anular exterior. (Ver fig.4).

Los puntos A sufren un desplazamiento horizontal =

$$\Delta L_A = \gamma_A \cdot \Delta t \times 10^{-5}$$

Ese desplazamiento provoca esfuerzos en el tensor, anillo poligonal superior, pilares y losa (incluido en ella el anillo poligonal central): (Ver figura 5).

En este análisis debemos tener en cuenta el efecto de la diferencia de temperatura entre la cara inferior y superior de la losa.

Debido a las rigideces relativas de tensor, losa y anillo superior y pilar supondremos que los extremos del tensor no giran, hipótesis que a posteriori verificaríamos que nos pone del lado de la seguridad.

Compatibilizando esfuerzos y desplazamientos obtenemos un sistema de 5 ecuaciones con 5 incógnitas.

La ecuación (1) representa la relación entre la fuerza de postensado que se usa en dar compresión al tensor P1 y la que se emplea en absorber el resto de los esfuerzos que provienen de sostener la losa:

$$P1 = F \text{ post} - P1' \quad (1)$$

La ecuación (2) relaciona la flecha de la losa producida por esfuerzos del tensor, (P1' y V1') y la reacción del piso de la losa:

$$\delta = \left( -P'_1 \sin\beta - V'_1 \cos\beta + \text{Reacción. Losa} \right) \quad (2)$$

La ecuación (3) calcula el desplazamiento en el sentido del tensor de su extremo inferior:

$$\frac{P'_1 \cdot l_T}{E \Omega_1} - \frac{l_{ap} \cdot P1'}{2 \sin\theta \cos\beta \cdot E \cdot \Omega_{ap}} - \Delta_1 = 0 \quad (3)$$

La ecuación (4) relaciona el desplazamiento lateral del tensor y el cortante provocado correspondiente con los demás desplazamientos del punto inferior del tensor:

$$\frac{\delta}{\cos\beta} + \Delta l \cdot \text{tg}\beta + f'r/\cos\beta = \frac{v}{12} \frac{l^3}{EI} \quad (4)$$

$f'r$  = flecha en puntos A debidos a temperatura

La ecuación (5) establece la correspondencia de desplazamientos verticales por temperatura y por esfuerzos de los puntos de sostén de los tensores en la losa:

$$\Delta LA - f'r \times \text{tg}\beta = \delta \cdot \text{tg}\beta + \Delta l / \cos\beta \quad (5)$$

Los coeficientes a aplicar en nuestro caso son:

$$\Delta LA = 0.44 \text{ cms} \quad \text{sen}\beta = 0.5894 \quad \cos\beta = 0.8078 \quad \text{tg}\beta = 0.7296$$

$$f'r = 3.6 \text{ cms} \quad F \text{ post} = 75 \text{ T} \quad \text{sen}\theta = 0.195 \quad \cos\theta = 0.981$$

$$I = \frac{0.25 \times 0.09}{12} = 0.001875 \quad \Omega_1 = 0.25 \times 0.3 = 0.075 \text{ m}^2$$

$$l_T = 9.57 \text{ m} \quad l_{ap} = 5.54 \text{ m} \quad \Omega_{ap} = 0.325 \text{ m}^2$$

$$E = 1.500.000 \text{ T/m}^2 \quad r = 6.267 \text{ m} \quad R = 13.79 \text{ m} \quad r/R = 0.454$$

Con lo que quedan las ecuaciones:

$$P_1 + P'_1 = 75 \text{ Tons} \quad (1)$$

$$\delta + 0.02664 P'_1 + 0.0365 V_1 = 0.714 \quad (2)$$

$$8,507 \times 10^{-5} P_1 - 1.8498 \times 10^{-4} P'_1 - \Delta_1 = 0 \quad (3)$$

$$1.2379 \delta + 0.7296 \Delta_1 - 7.7908 \times 10^{-2} V_1 = -0.04457 \quad (4)$$

$$0.7296 \delta + 1.2379 \Delta_1 = 0.02187 \quad (5)$$

y los valores de su resolución son:

$$P_1 = 50.77 \text{ T} \quad \delta = 0.0303 \text{ m}$$

$$P'_1 = 24.23 \text{ T} \quad \Delta_1 = -0.00016 \text{ m} \quad V_1 = 1.05 \text{ T}$$

El desplazamiento  $\Delta_1$  es  $\approx 0$  lo que nos dice que no se lograría el descimbrado al tensar pero que los puntales quedarían sin carga, todo lo cual se confirmó posteriormente en la obra.

Cuando no tenemos en cuenta la variación de temperatura las ecuaciones quedan:

$$P_1 + P'_1 = 75 \text{ Tons} \quad (1)$$

$$\delta + 0,02664 P_1 + 0,0365 V_1 = 0.714 \quad (2)$$

$$8,507 \times 10^{-5} P_1 - 1.8498 \times 10^{-4} P'_1 - \Delta_1 = 0 \quad (3)$$

$$1.2379 \delta + 0.7296 \Delta_1 - 7.7908 \times 10^{-2} V_1 = 0 \quad (4)$$

$$0.7296 \delta + 1.2379 \Delta_1 = 0$$

y su solución es:

$$P_1 = 48.17 \text{ T} \quad P_1 = 26.73 \text{ T} \quad \delta = 0.0014 \text{ m}$$

$$\Delta_1 = -0.00084 \text{ m} \quad V_1 = 0.0015 \text{ T}$$

En particular la peor sollicitación del tensor es bajo efecto de la variación de temperatura:

$$P = 50,8 \text{ T} \quad M = 5 \text{ Tm}$$

que verificado por los ábacos del cuaderno DIN 220 se obtiene un resultado satisfactorio.

En las fotos adjuntas, nos. 6 a 9 se aprecian distintos aspectos de la secadora durante la construcción y detalles correspondientes. Además de la secadora se construyeron 2 estructuras similares para los germinadores con un radio de 24 metros.

Aspectos generales de toda la construcción se aprecia en la foto No.10.



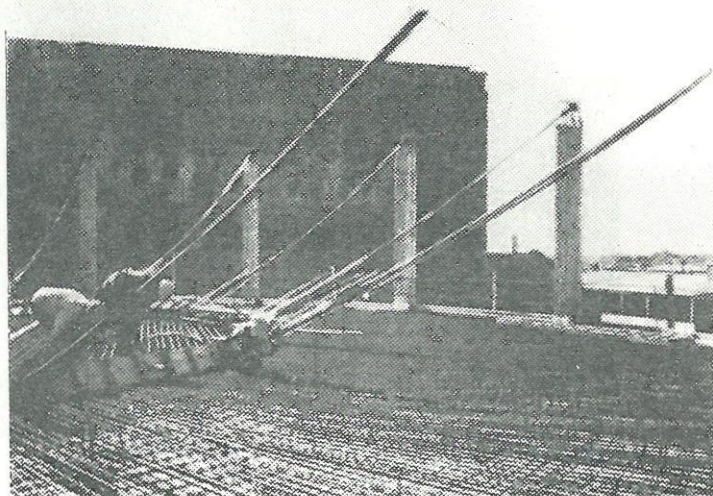
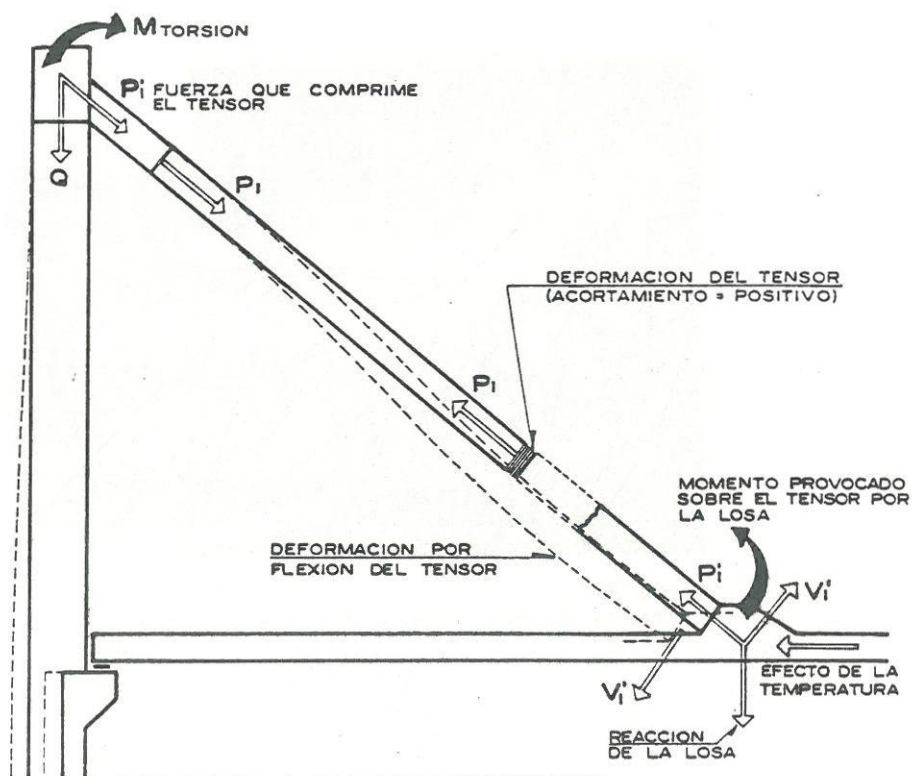


Foto No.6. Colocación de armadura de losa, de anillo central y fijación de anclajes pasivos de los cables.

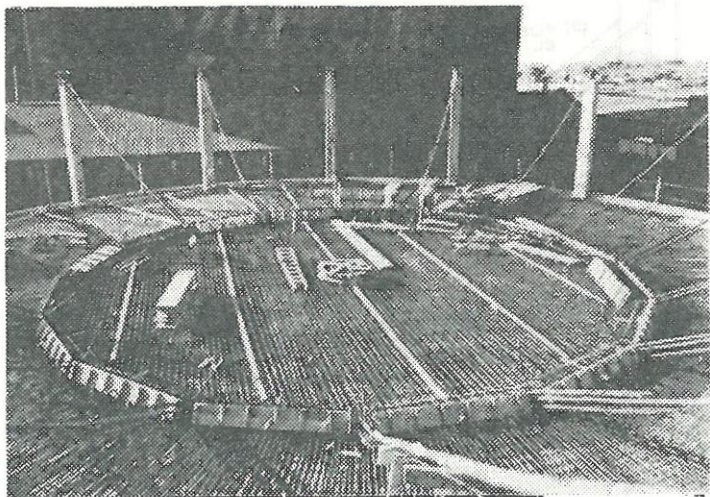


Foto N° 7.-  
Armadura de losa v anclajes de cables terminados.



Foto N° 8.-  
Colocación de encofrados de cables v anillo  
superior de compresión.

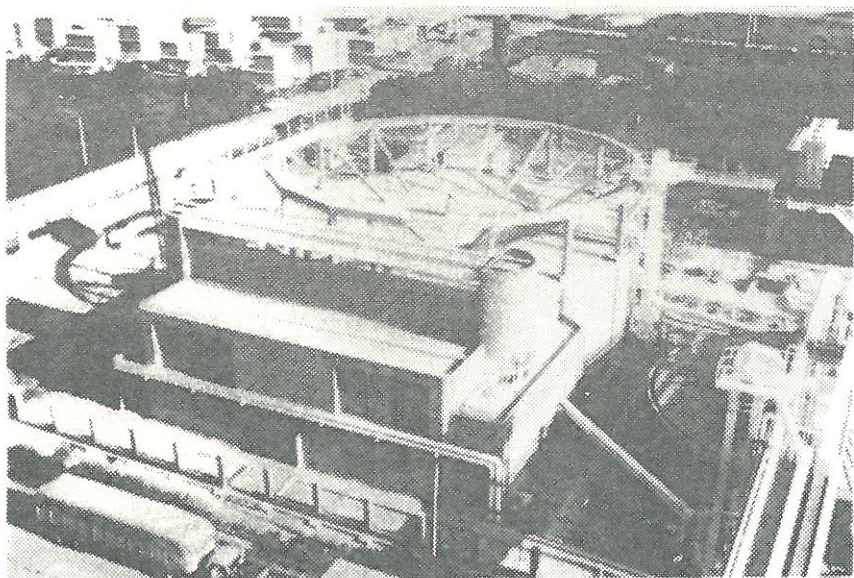


Foto N° 9.-  
Vista del remoedor y germinador una vez terminados.

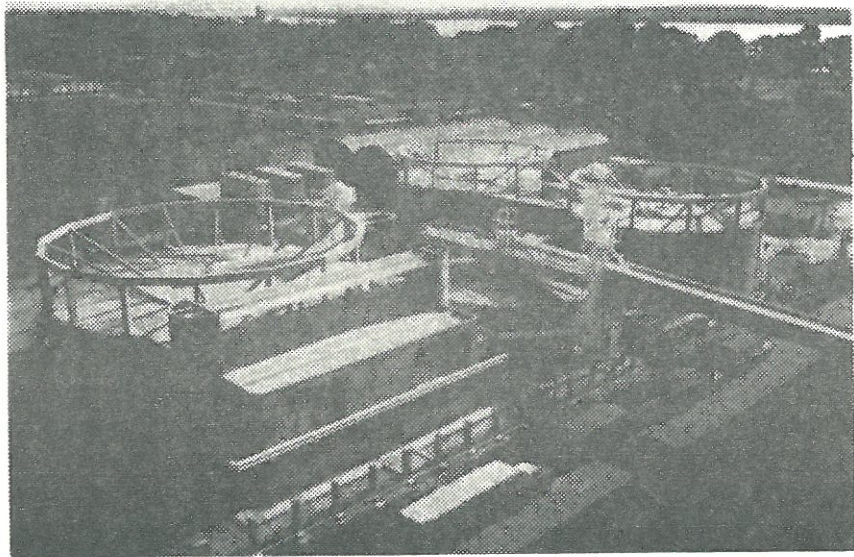


Foto N° 10.-  
Vista general de la obra. En primer plano la secadora,  
a continuación el remoedor, y 2 germinadores.

