

EDIFICIOS PARA UNA PLANTA INDUSTRIAL

Eduardo PINTO *

RESUMEN

Se describen los aspectos arquitectónicos, de diseño estructural y constructivo de una planta industrial compuesta de silos para el almacenaje de granos y molino. En la construcción se empleó moldaje deslizante para los silos y un moldaje modulado en el molino que permitió dejar el hormigón a la vista.

INTRODUCCION

La Compañía Molinos y Fideos "Carozzi" - con sede en la ciudad de Quilpué - decidió levantar una segunda fábrica en Nos, a 20 km al sur de Santiago.

Para ello contó con la colaboración de los Arquitectos señores Luis Mitrovic y Emilio Duhart y de los Ingenieros estructurales señores César Barros y Raúl Poblete.

El programa a desarrollar comprendió: cuatro unidades de tolvas receptoras de granos; una batería de 16 silos de almacenaje con una capacidad aproximada de 1.000 m³ cada uno; un edificio de molino (4.322 m² edificados); una fábrica (8.000 m² edificados); urbanización y otros (paso bajo línea férrea, pavimentación de calzadas de circulación interna, población para empleados y obreros, portería, áreas verdes, etc.)

El proyecto debía contemplar la posibilidad de futuras ampliaciones a fin de satisfacer las demandas del mercado creciente

* Ingeniero civil. Empresa Constructora Ignacio Hurtado.

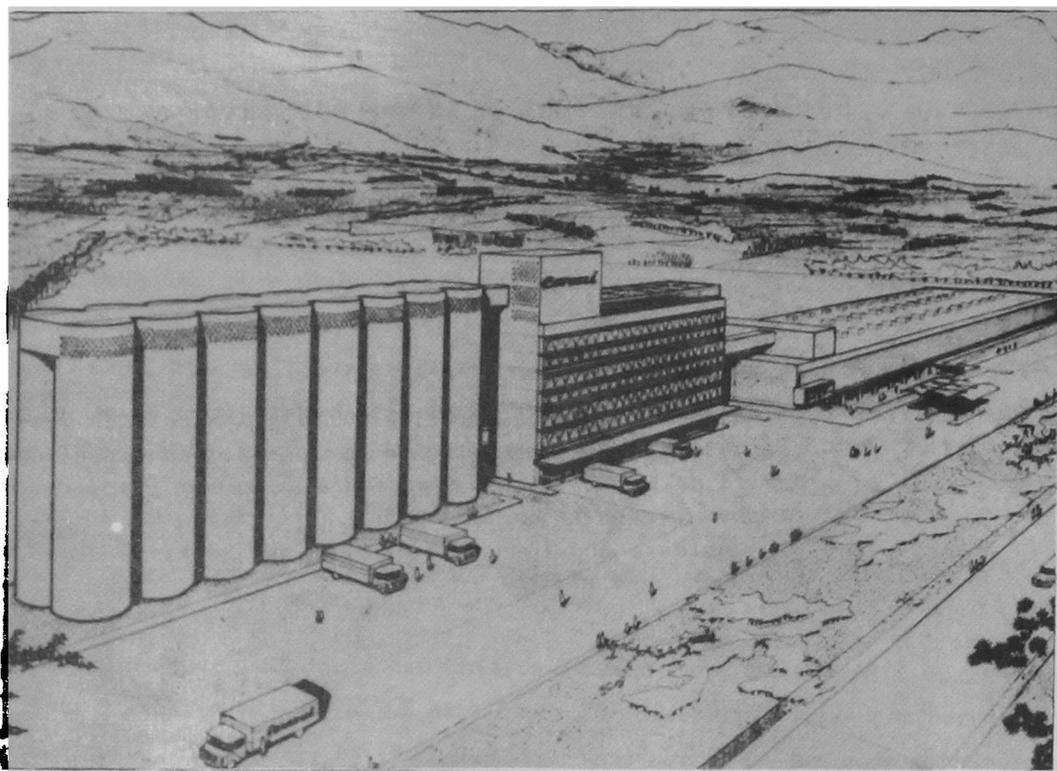


FIG. 1. Perspectiva general del proyecto (fachada poniente).

Para la realización material de la primera etapa (tolvas, 8 silos y molino) el propietario solicitó propuestas privadas por suma alzada a un número reducido de empresas constructoras previamente seleccionadas. Después de un minucioso estudio, el contrato fue otorgado a la Empresa Ignacio Hurtado Echenique por un valor cercano a los E° 500.000.

Las obras se iniciaron a fines de 1960.

INFORMACIONES GENERALES

Silos:

Cota de fundación	- 5 m
Cota de coronación	+ 30 m
Diámetro interior de cada uno	7 m
Espesor de pared	0,15 m
Volumen de hormigón	2.000 m ³

Calidad del hormigón	225 kg/cm ² (Clase D)
Cantidad de acero	174 t
Calidad del acero	Revirado
Moldaje corriente	1.850 m ²
Moldaje cepillado	1.670 m ²
Moldaje deslizante	En el fuste de los silos

Molino:

Largo	52 m
Ancho	12,50 m
Cota de fundación	- 6 m
Cota de coronación	+ 33 m
Número de pisos	2 subterráneos 1 planta baja (5,50 m) 3 pisos de 5,50 m 3 pisos de 3,50 m
Volumen de hormigón	2.400 m ³
Calidad del hormigón	160 kg/cm ² (clase B)
Cantidad de acero	276 t
Calidad del acero	A 37-24 H
Moldaje corriente	840 m ²
Moldaje cepillado	4.400 m ²
Moldaje en planchas	11.120 m ²

Tolvas, túnel y pasarela:

Volumen de hormigón	170 m ³
Cantidad de acero	20 t
Calidad del acero	A 37-24 H
Moldaje total	1.500 m ²

PROYECTO ARQUITECTONICO

A continuación se indican los propósitos y características del proyecto, según nos ha sido expresado por los arquitectos de la obra.

El proyecto del Edificio Molino se realizó tomando en cuenta, primordialmente, el proceso industrial. El complejo funcionamiento de la maquina-

ria - entrelazado horizontalmente en cada piso y en sentido vertical entre los diferentes niveles - exigió un sinnúmero de pies forzados rígidos que hubo que respetar estrictamente.

El problema particular del proyecto consistió, por lo tanto, en alojar un proceso industrial de tal manera que el edificio mismo no fuera estorbo, sino más bien un apoyo; en crear las condiciones ambientales más favorables para su desarrollo y en traducir, por último, todos estos requisitos plásticamente.

Otra característica singular del problema fue la necesidad de considerar una futura duplicación de la capacidad productora del molino. Ello obligó a crear las condiciones necesarias para construir un edificio gemelo - adosado a la fachada oriente - que formará una unidad funcional con el anterior.

Estructuralmente el edificio exigía que su fachada poniente fuese un plano indeformable a los movimientos sísmicos longitudinales, lo que traía como consecuencia la necesidad de colocar un muro de concreto armado con perforaciones reducidas para ventanas. Por otra parte el requerimiento de

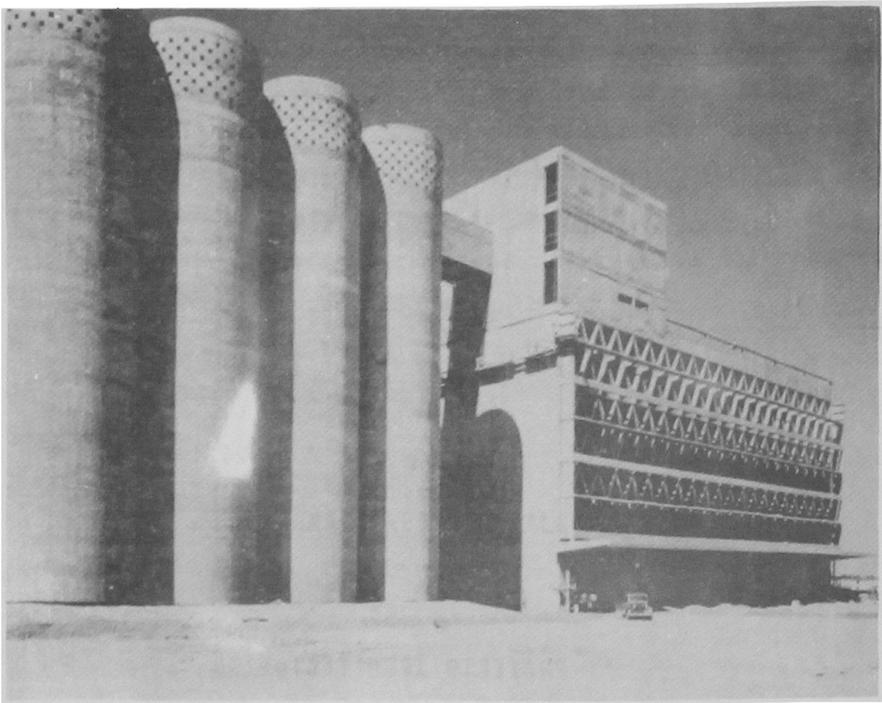


FIG. 2. Fachada poniente del conjunto.

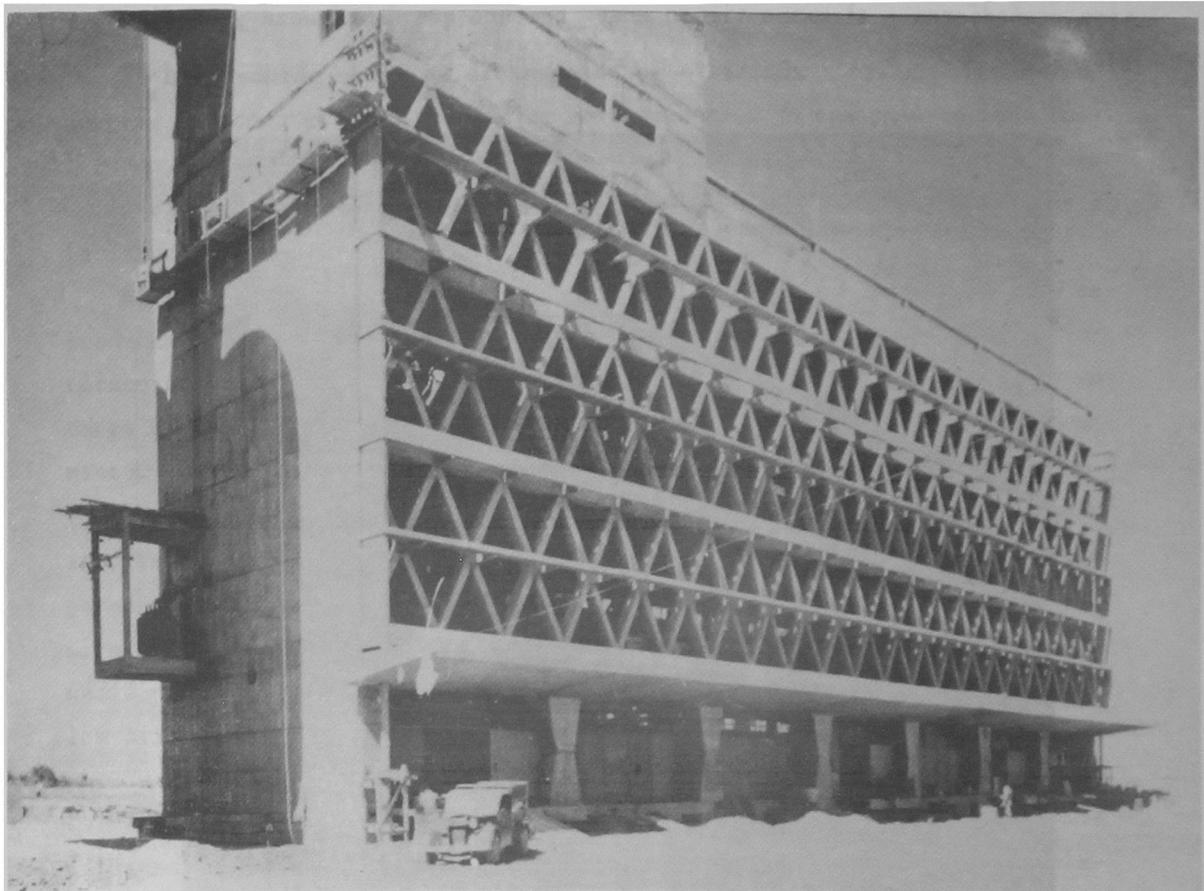


FIG. 3. Fachada poniente del molino.

la mayor iluminación posible para el trabajo y la creación de un núcleo central mal iluminado una vez construída la segunda etapa del molino, desestimaban aquella solución.

El problema se obvió adoptando un tratamiento estructural para la fachada poniente que consistió en un enrejado de hormigón armado, en diagonal, compuesto de triángulos indeformables. La solución elegida conjugaba la indeformabilidad con la transparencia.

Este sistema estructural - uniforme a lo largo de los tres pisos de máquinas - permite dominar desde la carretera longitudinal sur todo el complejo de maquinarias interno. Este hecho, unido a la ubicación de la nueva Planta, hacen del molino una propaganda permanente para la industria.

El edificio se proyectó íntegramente en hormigón armado a la vista, usando moldajes con entablados machihembrados al exterior y en planchas, al interior. Ambos fueron distribuídos en forma adecuada al proceso construc-

tivo y añadieron - al mismo tiempo - una textura que da riqueza y escala al volumen.



FIG. 4. Pasarela entre molino y silos.

PROYECTO ESTRUCTURAL

Es interesante analizar la situación que se presenta a menudo en los conjuntos de celdas de ensilaje de granos cuando estas celdas son cilíndricas. Para ello los ingenieros calculistas de la obra tuvieron presentes las consideraciones que siguen.

En una celda de silo, el peso del material contenido origina un empuje sobre las paredes cuyo efecto se analiza proyectándolo en sus componentes horizontal y vertical. En el caso de una celda de forma cilíndrica, la componente horizontal solicita a la pared con una presión radial que - en cada sección horizontal - tiene un valor constante en todo el contorno. No obstante, cuando las bocas de alimentación y de extracción están ubicadas

excéntricamente, la presión es variable y la sollicitación debe estudiarse como tal.

Es bien sabido que - si dicha celda está aislada - esa presión radial no origina momentos flectores, sino sólo esfuerzos de tracción en cada anillo considerado. Solamente cerca de su unión con la tolva de fondo aparecen momentos de flexión originados por las limitaciones que ese fondo impone a la libre deformación de los anillos.

Si hay - por el contrario - dos o más celdas en contacto entre sí, se producen momentos flectores en la zona de unión como consecuencia de la interacción mutua. Estos momentos varían según las condiciones momentáneas de carga de las diversas celdas, las que nunca se llenan o vacían simultáneamente.

Puesto que la exigencia de la flexión - conjuntamente con la tracción inevitable - obliga a aumentar en forma significativa las armaduras en las paredes de hormigón armado, no cabe duda que la celda aislada es más económica que la que integra un grupo. Además es más sencilla de ejecutar por medio de moldajes deslizantes, procedimiento que resulta obligado cuando los silos son de altura apreciable.

Cabe entonces preguntarse por qué en muchos casos - como en éste de la Planta de Nos - se prefiere agrupar las celdas en filas de dos o tres unidades de ancho y dos o más de largo, si con ello se encarece notablemente su costo.

No es difícil darse cuenta que otras razones entran en juego y que las consideraciones anteriores son excesivamente simplistas como para obtener, sólo de ellas, una conclusión valedera. Menos aún cuando se considera la sollicitación sísmica, especialmente importante en silos de gran altura.

Entre aquellas razones adicionales, pueden citarse las siguientes:

a) El agrupamiento de celdas conduce a una solución de fundación en conjunto, solución ventajosa por la seguridad contra el volcamiento originado por esfuerzos horizontales. Además, el mayor monolitismo de las fundaciones ayuda a tomar en mejor forma las acciones irregulares que se generan durante el sismo al existir celdas cargadas y vacías. Este último fenómeno reviste caracteres especiales en el caso de terrenos de fundación de consistencia regular.

b) El mecanismo de recolección de granos (cinta transportadora) puede ser uno sólo para 2 o 3 filas de celdas.

c) Se aprovechan las interceldas para almacenaje (espacios que se forman entre 3 o 4 celdas contiguas).

d) Ocupación de menor espacio dentro del terreno, condición que, natural-

mente, cobra importancia sólo cuando éste es caro o limitado.

e) Menor superficie exterior expuesta a la intemperie y, por lo tanto, menores variaciones de temperatura del material contenido.

f) Obtención de una base rígida para el piso superior de operación. Solicitaciones menores y más claras en la losa de tapa la cual - en caso de sismos - no queda sujeta a la función de repartir esfuerzos totales entre celdas cargadas y vacías. Esto último sucede en el caso de celdas aisladas pero unidas superiormente por la citada losa.

La importancia relativa de estas consideraciones sólo puede evaluarse correctamente - como acontece con frecuencia en proyectos de ingeniería - estudiando dos soluciones diferentes para el mismo caso: una con celdas aisladas y la otra con celdas agrupadas. Para ello deberán determinarse los costos de construcción, considerando iguales solicitaciones y coeficientes de seguridad, como también incluyendo el valor de los equipos mecánicos, toda vez que su eficiencia y funcionamiento sean equivalentes. Es evidente que las condiciones que determinan las ventajas o desventajas pueden variar de un caso a otro, dependiendo de los volúmenes a almacenar, de la altura que se adopte, de la solución de las bocas de descarga y de otros factores, entre los que cabe destacar especialmente el tipo de terreno de fundación que se dispone.

Sin pretender pronunciarnos por una solución determinada hacemos ver la conveniencia de un estudio acucioso que permita apreciar qué condiciones son de capital importancia y cuáles son secundarias o sin influencia sensible en los costos de construcción.

En el caso de la planta Carozzi, después de examinar las dos soluciones, los calculistas decidieron la disposición en celdas agrupadas.

CONSTRUCCION

Si diferenciamos las obras de construcción en obras civiles (puentes, caminos, puertos, etc.) y en obras de edificación, podemos asegurar que éstas, en general, no presentan problemas para el ingeniero. La planta de Nos constituyó una excepción.

En primer término habría que mencionar el moldaje deslizante empleado en el fuste de los silos. Para su aplicación la Empresa Constructora solicitó la cooperación de TASCOS LTDA. representante exclusiva de la AB BYGGFORBÄTTNING de Estocolmo, Suecia.

Se optó por construir cuatro celdas simultáneamente. Un doble anillo de madera machihembrada de no más de 1,50 m de altura moldeó los 15 cm de es-

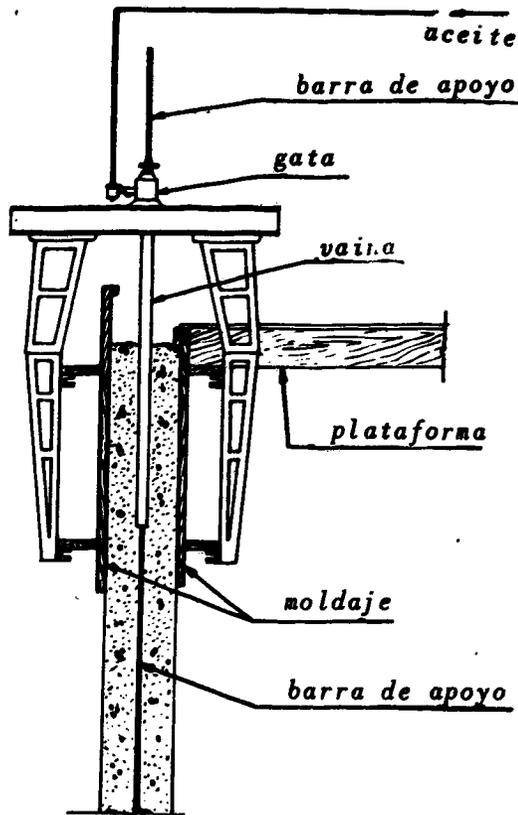


FIG. 5. Esquema de funcionamiento del molde deslizante..

pesor de pared de los silos. Los cuatro anillos se hicieron solidarios por medio de una plataforma común de operación.

El molde así constituido se deslizó accionado hidráulicamente apoyándose en barras verticales de acero introducidas en el hormigón. Se emplearon 11 gatas trepadoras por anillo, controladas desde un comando único. De este modo se liberó cada hora un trozo de silo de 0,15 m el cual estuvo 10 horas contenido dentro del molde. Los 26 m de altura se lograron en sólo 7 días de faena ininterrumpida.

Las barras de apoyo quedaron aisladas del hormigón mediante el empleo de vainas fijas a las gatas, lo que permitió recuperarlas posteriormente e inyectar los huecos con mortero.

El hormigonado se hizo posible a través de una torre metálica de 40 m de altura colocada en un punto fijo exterior, desde el cual se abastecieron los 8 silos. Un tubo inclinado transportó el hormigón desde la torre hasta la plataforma de la intercelda correspondiente a los 4 silos en construcción. Desde allí se repartió en forma regular merced a dispositivos giratorios colocados en cada silo. El hormigón fue compactado por pisonos.

El proyecto contempló una sala de distribución de granos común a los

8 silos e iluminada por ventanillas cuadradas. Los muros cilíndricos de esta sala fueron moldeados por procedimientos habituales.

Exigieron especial dedicación los moldajes de las losas tapas de los silos y el moldaje de la pasarela que une la sala de operaciones con el quinto piso del molino. Ambos debieron calcularse cuidadosamente - tomando muy en cuenta las deformaciones - debido a la imposibilidad económica de montar andamios apoyados en la tierra. La pasarela sola pesa 65 t y salva 10 m de luz.

El moldaje texturado del molino presentó problemas interesantes de resolver constructivamente. Por una parte, satisfacer el proyecto arquitectónico en cuanto a estampado del hormigón; por otra, el estudio de una modulación que permitiera la secuencia de usos.

En general, las faenas de moldajes del molino se trabajaron en un turno y medio diario en tanto que los hormigones y enfierradura, en tres de 8 horas diarias.

La ejecución de la obra gruesa - fundida en esta ocasión con las termi-

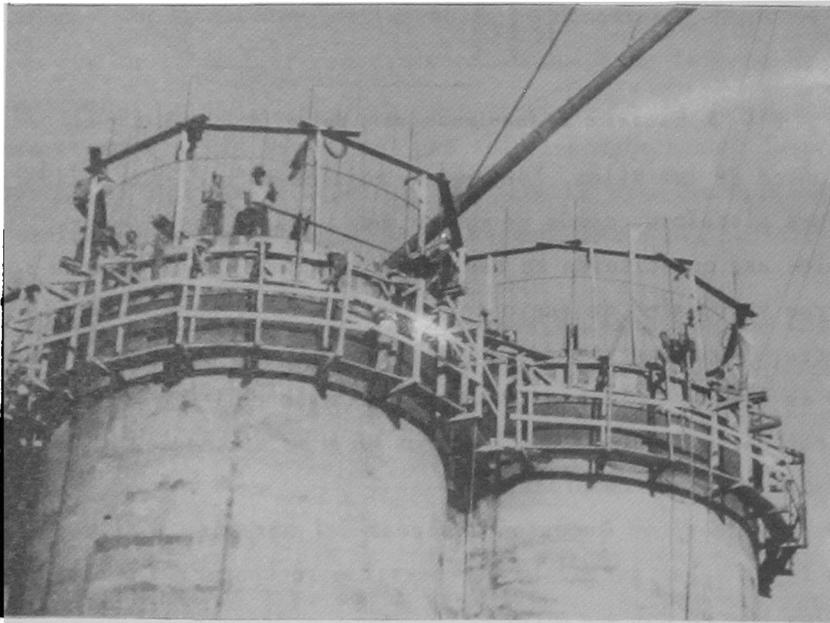


FIG. 6. Hormigonado de los silos.

naciones gracias al moldaje para hormigón a la vista - precisó de disposiciones y controles exhaustivos desde el punto de vista de la calidad de los hormigones.

La Empresa Constructora solicitó al IDIEM una asesoría especial que comprendía en líneas generales:

- a) análisis periódicos de las características de los áridos;
- b) determinación de dosificaciones para los diferentes tipos de hormigón y espesores de los elementos estructurales;
- c) control de las calidades resultantes por muestreo de cubos e interpretación estadística de estos resultados; y
- d) asesoría técnica en problemas generales referente a la obtención de las calidades exigidas para los hormigones.

Los hormigones especificados para silos fueron de clase D (resistencia cúbica 225 kg/cm^2 a los 28 días) y de clase B (160 kg/cm^2 a los 28 días), para el molino.

La organización así montada permitió no sólo cumplir con las exigencias de cálculo sino obtener resultados más que satisfactorios.

INDUSTRIAL PLANT BUILDINGS

SUMMARY:

An industrial plant, consisting of silos for grain storage and a mill-building, is described from the architectural, structural and constructional points of view. Slipforms were used for the silos construction.