

Si usted no puede visualizar correctamente este mensaje, [presione aquí](#)



Boletín técnico de INDISA S.A.

Medellín, 24 de octubre de 2008

No.
64

SILOS METÁLICOS (1 DE 2)



Autor: Ing. Alonso Vélez Covo

Ingeniero Especialista de INDISA S.A.

El silo metálico cilíndrico es un componente de uso frecuente en las plantas de producción. Este artículo aporta conceptos básicos para su diseño estructural.

Aparentemente los silos se muestran como estructuras simples, pero la realidad es que su diseño exige aplicar conocimientos tanto de cálculos respecto al límite plástico, como de conceptos avanzados de estabilidad elástica, para obtener diseños óptimos sin sobrepeso innecesario, que suele ocurrir, pues pasar de un espesor de 4.5mm a otro de 6mm, o de 9mm a 12mm, implica un incremento en el costo del 33% y no parece muy diferente en términos constructivos.

CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO

TERMINOLOGÍA:

- **TECHO:** Tope del silo.
- **BARRIL:** Sección cilíndrica.
- **TOLVA:** Parte inferior cónica.
- **FALDÓN (SKIRT):** Prolongación del barril para apoyo del silo.
- **ANILLO DE SOPORTE:** Para silos sin faldón, es el elemento estructural donde se apoya el silo a otra estructura que lo soporta. Este anillo se construye de forma integral, en la intersección del barril con la tolva.
- **REFUERZOS CIRCUNFERENCIALES:** Palatinas de canto o perfiles rolados, que se sueldan al barril en todo su perímetro.
- **REFUERZOS VERTICALES:** Palatinas de canto o perfiles rolados, que se sueldan al barril paralelos al eje del barril.

GEOMÉTRICAS: El diseño del silo lo determina obviamente la capacidad de almacenamiento requerida, esto se puede lograr en teoría, con infinito número de combinaciones de diámetro y altura. Se tienen entonces las siguientes implicaciones:

- Los silos esbeltos aprovechan mejor el área disponible, que puede ser determinante cuando se tiene un conjunto de silos reunidos en una misma zona y el espacio es limitado o el valor del terreno es elevado.
- Los silos esbeltos aprovechan mejor su volumen, pero son más susceptibles a las fuerzas sísmicas, con la tendencia a requerir espesores mayores, respecto a los silos chatos.
- El cargue de los silos esbeltos es más exigente, requiriendo elevadores mas altos y consumos de energía mayores.
- Para silos de capacidad de hasta 200 toneladas, la alternativa esbelta puede ser una solución más económica que la chata, pues se puede construir en el taller con muy buen control de calidad y transportar por partes de manera más fácil y rápida, en cambio el silo chato requiere mucho más trabajo de campo para su ensamble, lo que implica mayores costos y tiempo.
- Se aprecia entonces que la determinación de las medidas del silo dependen de muchas variables y no hay regla fija.

MATERIAL ALMACENADO: Los parámetros requeridos para el diseño son:

- **RANGO DE DENSIDAD A GRANEL (BULK):** Los valores mínimos se usan para determinar la capacidad volumétrica y los valores máximos para los cálculos estructurales.
- **RANGO DEL ÁNGULO DE REPOSO DEL MATERIAL:** Los valores máximos se usan para determinar la capacidad volumétrica y los mínimos para los cálculos estructurales.
- **ANGULO EFECTIVO DE FRICCIÓN INTERNA:** Se utiliza para determinar correctamente, tanto la geometría de la tolva como el tamaño de la descarga, para asegurar la rata de descarga, que no se presenten puentes del material y asegurar flujo másico en el silo, para el aprovechamiento pleno del almacenamiento. Si esto se omite, entonces puede ocurrir el fenómeno de agujero de rata (Flow pipe), dándose zonas del silo estacionarias de material acumulado, reduciéndose la capacidad efectiva de almacenamiento y propiciando posibilidades de avalanchas, con cargas de impacto posiblemente destructivas.
- **RANGO DE LA RELACIÓN DE PRESIÓN LATERAL:** En los silos, la presión lateral que ejerce el material almacenado sobre las paredes, aumenta hacia la parte inferior del mismo, pero siendo una fracción (35% a 65%) de la presión vertical, debido a la fricción interna del material almacenado. Para los cálculos de esfuerzos en la lámina del barril se utiliza el valor mayor de esta relación y para los cálculos de esfuerzos en la tolva se utiliza el menor. Se advierte que el aumento de la presión lateral no es lineal y progresivo como ocurre en tanques con líquidos, sino que es asintótico alcanzando un valor límite, lo que indica que esto no es un factor muy adverso para el silo esbelto. La **figura 1** muestra la variación de presión lateral típica para un silo esbelto de 200 toneladas para cemento (Barril de 4m D x 17m H). A los 13 m se alcanza el valor límite de la presión lateral de 3.7 psi, que se mantiene hasta la intersección del barril con la tolva. Si se considera la presión hidrostática que ejercería un líquido de igual densidad, esta sería de 33.8 psi, en el sitio de intersección de la tolva con el barril. Esto demuestra que la fricción interna del material restringe fuertemente el incremento de la presión lateral sobre las paredes del silo.

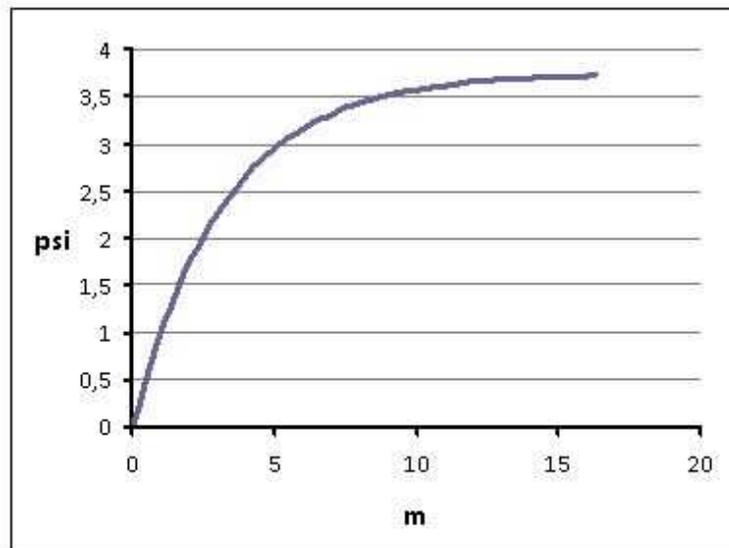


Figura 1.

Variación de la presión lateral con la altura en el barril (psi vs. m)

- **RANGO DE FRICCIÓN DEL MATERIAL CON LAS PAREDES DEL SILO:** La combinación de la presión lateral con la fricción del material contra la pared, induce una caga vertical sobre la lamina del barril, que aumenta progresivamente hacia abajo, generando esfuerzos de compresión longitudinales. Para el cálculo estructural del barril se usan los valores superiores y para los cálculos estructurales de la tolva los inferiores.
- **FACTOR DINÁMICO POR DESCARGA:** Durante la descarga del silo ocurren movimientos del material dentro del silo, de manera muy compleja y no totalmente entendida. La experiencia ha determinado un factor multiplicador (De 1.3 a 1.45) como un aumento efectivo en las presiones laterales y de 1.1 para las fuerzas longitudinales en el barril. De igual forma las cargas en la tolva se aumentan por estos efectos.
- **GRANULOMETRÍA:** Materiales con un rango amplio de granulometría propicia la segregación, lo que puede conducir a comportamientos complejos del material dentro del silo, generando cargas asimétricas y requiriendo factores de diseño mayores.
- **ABRASIÓN Y CORROSIÓN (HUMEDAD) DEL MATERIAL ALMACENADO:** Esta característica determina cuanto material metálico adicional debe considerarse como margen de desgaste, e influye en la selección del material del silo. La abrasión actúa de manera más intensa en la intersección del barril con la tolva, donde se deben aplicar recursos de diseño adecuados.
- **EXPLOSIVIDAD:** Si el material por almacenar es explosivo hay que implantar

las medidas de seguridad pertinentes, tales como conexiones a tierra y la instalación de compuertas anti-explósión.

NOTA: Para un diseño óptimo del silo, es preciso disponer de información completa sobre la reología del material y sus propiedades físico-químicas y no siempre está disponible. Esto advierte a los ingenieros de proceso, la importancia de reunir esta información de fuentes confiables y de realizar las pruebas de laboratorio que están homologadas para determinar dichos parámetros.

OTRAS CONSIDERACIONES:

- Cuando se llenan silos con materiales fluidizables tales como el cemento portland, se debe hacer un cálculo de presiones hidrostáticas con el 80% de la densidad a granel, lo que eleva sustancialmente los esfuerzos de membrana circunferenciales, tanto en el barril como en la tolva.
- El modo de llenado del silo puede tener implicaciones estructurales, como por ejemplo, si hay cargas de impacto por caída apreciable del material impactando sobre la tolva.
- Lo más conveniente es la simetría, que el silo se llene centrado y que la descarga también lo sea. Cuando el llenado del silo es cercano al borde o cuando la descarga es excéntrica, se inducen cargas adicionales en las paredes del silo. Además se reduce la capacidad efectiva de almacenamiento.

En el próximo boletín se continuará analizando la construcción y el material del silo, algunas consideraciones estructurales, faldón Vs. estructura de apoyo.

NOVEDADES

GRAN INVITACIÓN



Del 19 al 21 de noviembre
Medellín - Colombia
Plaza Mayor - Palacio de Exposiciones

**GRUPO
METALMECÁNICO #1**

Para el Grupo Metalmecánico # 1 es un gran honor participar en la cuarta Feria Internacional Minera 2008.

En el pabellón amarillo (stands No. 292A y 293A), encontrarán información acerca de nuestros productos y servicios, entre ellos están: la industria de Diseño, Fabricación, Montaje, Maquinado, Suministro de materiales, Maquinaria y herramienta, Fundición, Tratamientos térmicos, Moldes mecanizados, Cilindros hidráulicos y neumáticos, Rotograbados nacional e internacional.

Sería de gran agrado para nosotros poder contar con su presencia en tan importante evento para cada una de las empresas que forman el Grupo Metalmecánico # 1.

Los esperamos



Gracias por visitar nuestros stands el pasado 29 de septiembre al 3 de octubre en la Feria Internacional de Bogotá



Stand Cámara de Comercio Italiana

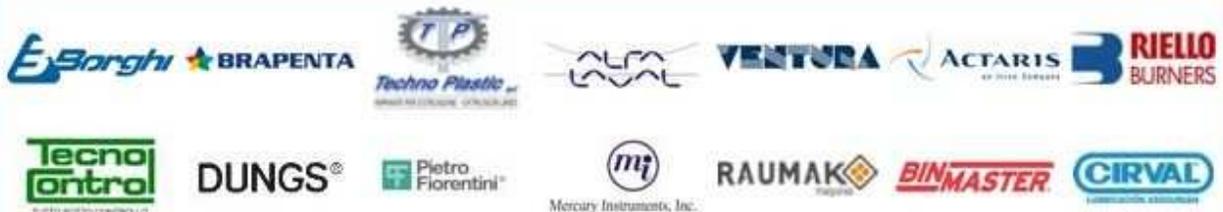


Pabellón 6 stand 414, 416, 418

Stand Colombiaplast - Expoempaque



Pabellón 4 stand 511



Si usted no recibe esta publicación directamente de INDISA S.A. o si desea recomendarnos a alguien para que la reciba, [presione aquí](#)

Para consultar las ediciones anteriores del boletín INDISA On line, puede entrar a <http://indisaonline.8m.com/>. En esta página se encuentran todos los boletines en formato de página web, para que usted pueda grabarlos en su computador e imprimirlos.



Tel: (574) 2605533
Medellín-Colombia
mercadeo@indisa.com.co
<http://www.indisa.com.co/>