

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



Boletín técnico de INDISA S.A.

Medellín, 21 de noviembre de 2008

No.
65

SILOS METÁLICOS (2 DE 2)

[Ver la primera parte](#)



Autor: Ing. Alonso Vélez Covo

Ingeniero Especialista de INDISA S.A.

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

En el anterior boletín se explicó la terminología, la determinación de las medidas del silo y algunos parámetros requeridos para el diseño, que continúan en este boletín.

CONSTRUCCIÓN Y MATERIAL DEL SILO:

- La selección del material para silos metálicos depende de las características del material almacenado obviamente, pero usualmente se utilizan aceros estructurales al carbón e inoxidables. También se utilizan recubrimientos de pinturas especialmente cuando lo almacenando no permite contaminación por oxido.

- El sobre-espesor en las laminas del silo, dependen de la agresividad tanto de la abrasión como de la corrosión.
- La calidad constructiva del silo es determinante. Dado que los silos son estructuras de pared delgada, cualquier imperfección constructiva propicia la formación de un bucle de pandeo local. Se clasifican las siguientes calidades constructivas, relacionadas con las desviaciones de fabricación permitidas:
 - **Calidad normal:** Silos con capacidad entre 10 y 100 toneladas.
 - **Calidad alta:** Todos los que no están en las otras clasificaciones.
 - **Calidad ultra alta:** Silos soportados en faldones con capacidades superiores a 5000 toneladas. Silos sustentados discretamente (En 4,6,8 puntos) mediante anillos de soporte, con capacidades mayores de 1000 toneladas. Silos con capacidades mayores de 200 toneladas con descarga excéntricas y/o llenado excéntrico.
 - **Nota:** Para el silo de cemento de 200 toneladas se requiere una calidad constructiva alta en el tercio inferior del barril y del faldón, si la calidad constructiva fuera normal, su capacidad estructural disminuye en 23% y es inseguro. Para un silo de 5 m de diámetro con calidad constructiva ultra alta, respecto a otro de alta, la capacidad de carga se aumenta en un 22%, lo que indica que en igual proporción se pueden disminuir los espesores, lográndose economías en peso.

Comentarios:

- Se concluye pues, que la definición de la calidad constructiva tiene implicaciones importantes que no pueden omitirse en el proceso del diseño estructural del silo.
- En los planos estructurales deben incluirse las desviaciones constructivas permitidas y las medidas de galgas de verificación, indicando como se usan.
- El diseñador debe interactuar con el constructor para convenir las calidades constructivas, que sean posibles tanto en el taller como en los trabajos de campo, para realizar diseños realistas acordes con las habilidades y prácticas constructivas disponibles.
- El control de la calidad y la interventoría en la construcción de silos de alta y ultra alta calidad son indispensables.

CONSIDERACIONES ESTRUCTURALES

- Los silos se verifican respecto a pandeo local por inestabilidad elástica debida a los esfuerzos de compresión longitudinales y los de cortante, que también pueden inducir el pandeo local. Se deben verificar los sitios de máximo esfuerzo longitudinal, de máximo esfuerzo de cizalladura y en donde ambos son de importancia.
- Se debe verificar el máximo esfuerzo efectivo de Von Mises respecto a la cedencia del material. El barril y el faldón no se diseñan a resistencia última, sino respectó a estabilidad elástica o elasto-plástica sin permitir deformaciones, siempre dentro del rango elástico.
- Los anillos de soporte se pueden diseñar respecto a carga última cuando se trata de secciones compactas, pero hay que hacer también los chequeos de estabilidad elástica. Los anillos puede ser de sección abierta como de sección cerrada del tipo tubular, como se muestra en la **figura No 2**. Los tubulares soportan mejor las cargas torsionales que son inherentes a este tipo de situaciones, pero no son convenientes en situaciones que propicien la corrosión.

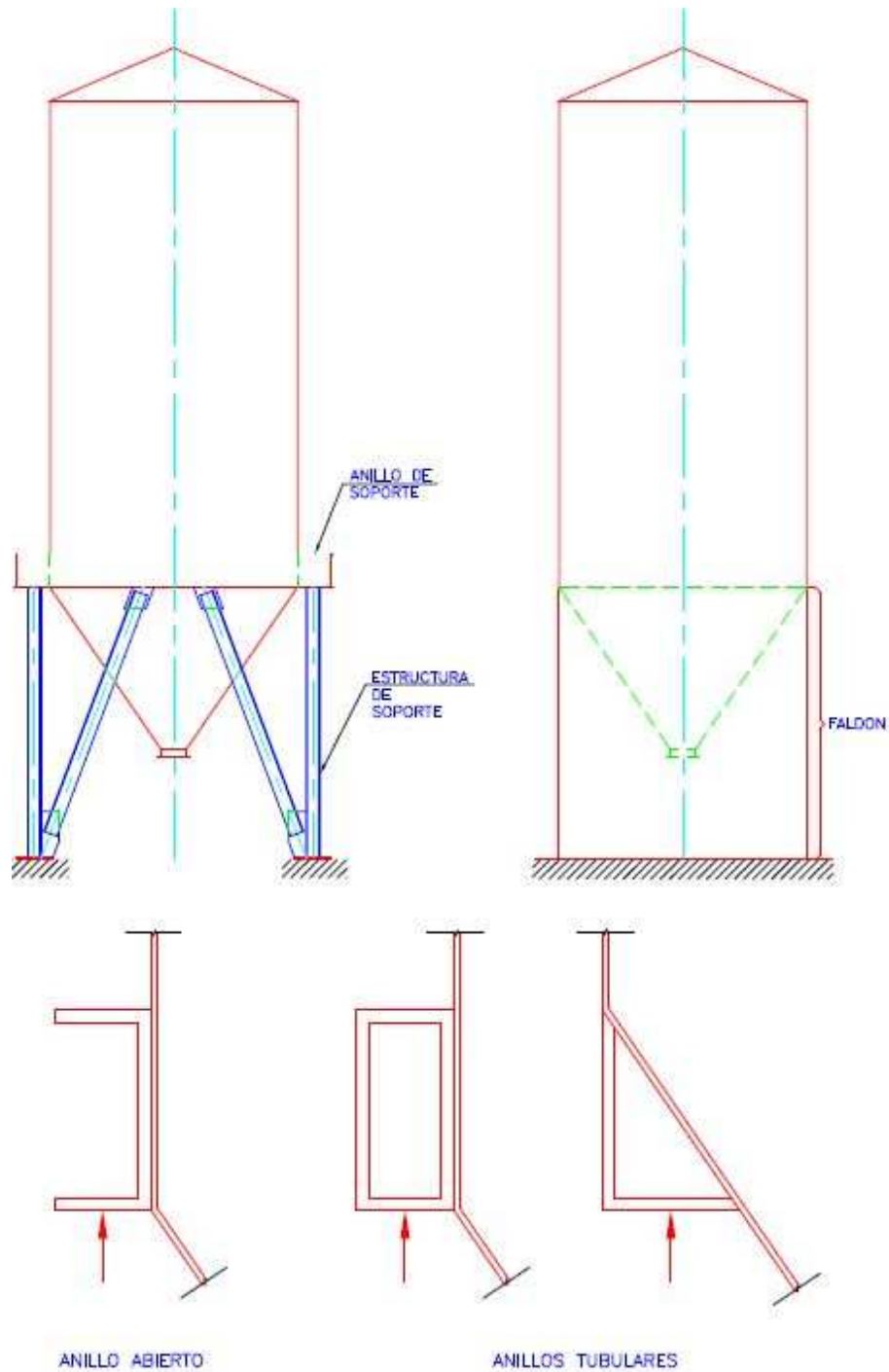


Figura No. 2

- Los silos también tienen que verificarse estando vacíos y sometidos a altas cargas de viento, pues la presión de estancamiento exterior puede producir pandeos en la lámina del barril.

- Para silos grandes de alta exigencia se requieren análisis estructurales mediante elementos finitos.
- Se requieren verificaciones de presión para silos con transportes neumáticos, que se superponen a las presiones debidas a la carga de material. Igualmente se debe analizar si el silo podría estar sometido a vacío, que es una situación desfavorable respecto a colapso por pandeo. La resistencia al vacío en tanques y silos es mínima comparada con la resistencia a presión positiva.
- Cuando se tiene un silo apoyado discretamente en una estructura independiente, es indispensable que se realice un análisis integral de la interfase estructura y silo, para determinar las reacciones reales que se presentaran en todos los eventos de carga. Si se piensa soportar un silo apoyado mediante un anillo sobre los ocho puntos de la estructura indicados en la **figura 3** y si las viguetas diagonales no son lo suficientemente rígidas, entonces los apoyos 1,2,3 y 4 quedaran sobrecargados y por lo tanto también el anillo en esos sitios. Se requiere entonces la coordinación entre el diseñador del silo con el de la estructura.

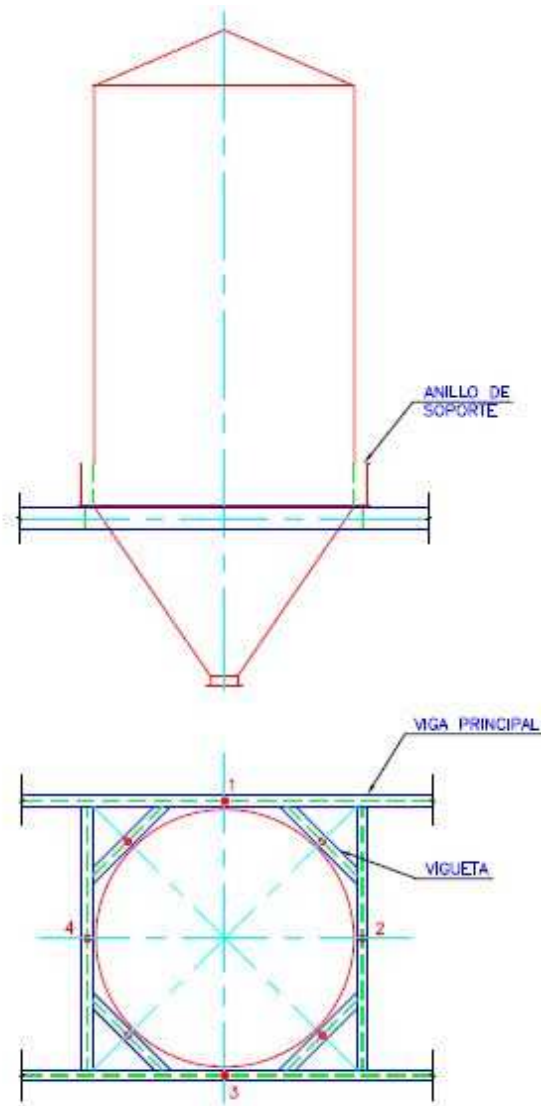


Figura No. 3

- La inclusión de refuerzos horizontales tiene marcada influencia en los esfuerzos críticos de cizalladura y no en los de compresión longitudinal, mientras que los refuerzos verticales aumentan significativamente también el crítico de compresión cuando la separación de estos es menor de 60° .
- Los silos se diseñan para las siguientes combinaciones de carga:
 - Llenado del silo.
 - Silo lleno al 80% mas sismo (Se incluye la componente sísmica vertical).

- Silo lleno al 80% mas ráfaga de viento.
 - Silo vacío mas ráfaga de viento.
 - Se incluyen los efectos dinámicos debido a la descarga del material.
 - Verificaciones contra presión y vacío.
 - Verificación contra explosión en caso de materiales explosivos.
- Dentro de los códigos aceptados para silos se tienen los siguientes:
 - "Structural Design of Steel Bins for Bulk Solids", Australian Institute of Steel Construction, 1983.
 - "Loads on Bulk Solids Containers", AS 3774-1996, Standards Association of Australia, 1996.
 - "Eurocode 1 Part 4 "Actions on Silos and Tanks", ENV 1991-4,CEN, Brussels, 1995.
 - "Eurocode 3 Part 1.6 "Supplementary Rules for the strength and stability of shell structures", ENV 1993-1-6, CEN, Brussels, 1999.
 - "Eurocode 3 Part 4.1 "Design of Steel Structures: Silos", ENV 1993-4-1,CEN, Brussels, 1999.
 - "Useful Information on the Design of Steel Bin and Silos", AISC, American Iron and Steel Institute, Washington D.C., 1989.

FALDÓN VS. ESTRUCTURA DE APOYO:

- Siempre que se pueda apoyar un silo mediante faldón es aconsejable, pues conduce a una construcción mas estética, económica y más fácil de mantener. Además favorece el diseño de la fundación porque se distribuyen mejor las cargas.
- Cuando se aplican faldones, las aberturas deben reforzarse adecuadamente y verificarse también contra pandeos locales. Además hay que proporcionar iluminación y en casos ventilación, si existe la posibilidad de acumulación de gases tóxicos o explosivos.
- Para el caso del silo de cemento de 200 toneladas, soportado con estructura y anillo de apoyo, se requieren 8.7 toneladas de construcción estructural costosa, mientras que con

faldón su peso es de 7.45 toneladas, con un trabajo de talles más simple. Esto significa que soportar con estructura en vez de faldón, genera un sobre costo en el equipo de 25 millones respecto a un total de 203 millones.

CASO PARTICULAR: Para el silo de cemento de 200 toneladas se analizaron tres opciones con metros de 3 m, 4 m y 5 m con los siguientes resultados:

- Silo de 3 m: Altura total: 28.1 m / Peso del silo con faldón: 29.9 toneladas / Área proyectada: 9 m².
- Silo de 4 m: Altura total: 18.5m / Peso del silo con faldón: 23.2 toneladas / Área proyectada: 16 m².
- Silo de 5 m: Altura total: 14.5 m / Peso del silo con faldón: 20.9 toneladas / Área proyectada: 25 m².

Comentarios:

- El silo mas esbelto resulta muy costoso, además le exige mucho al transporte neumático durante el llenado, aumentando el tiempo de esa operación.
- El silo de 5 m de diámetro requiere mucho trabajo de campo pues no se puede transportar en partes grandes y demanda la mayor área para su instalación.
- Aunque el silo de 4 m es 11% más pesado que el de 5 m, fue la mejor opción, porque se puede transportar en sectores cilíndricos completos para ensamble en campo mediante bridas de manera rápida y económica, además que es una condición del silo que sea transportable. Por otro lado requiere menos espacio para su instalación y su altura no es exagerada.

NOVEDADES

IV FERIA INTERNACIONAL MINERA
MEDELLÍN - COLOMBIA
19, 20 Y 21 DE NOVIEMBRE DE 2008

Gracias por visitarnos



GRUPO
METALMECÁNICO #1



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/>