

PROCEDIMIENTOS

Symaga calcula los silos siguiendo las prescripciones de dos normativas:

NORMATIVA	DENSIDAD DEL GRANO	ÁNGULO DE REPOSO
ANSI-ASAE EP 433 2003	834 Kg/m ³	27°
EUROCODE EN 1991-4	918 Kg/m ³	34°

Se considera que las presiones horizontales (normales) las soportan las virolas y las verticales (de rozamiento) los refuerzos.
Se puede calcular con otras densidades.
Las resistencias se calculan según Eurocódigo.

CÁLCULO DE CARGAS

Se analizan 4 cargas para el cálculo del silo:

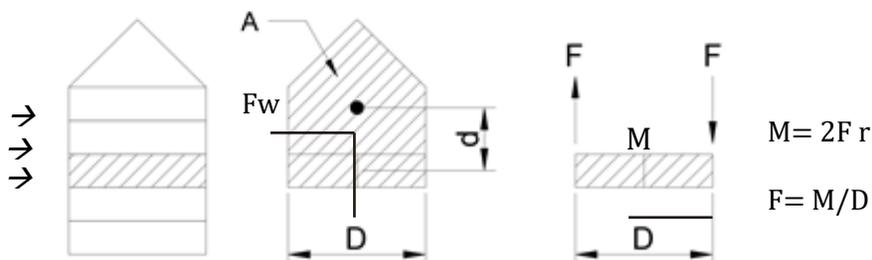
1 GRANO

Siguiendo las ecuaciones dadas por las normativas ANSI EP 433 2003 y EUROCODIGO EN 1991-4 para el cálculo de las presiones de grano en el interior del silo se obtienen las fuerzas a las que están sometidas las virolas y refuerzos del silo.
Básicamente las presiones de grano se calculan partiendo de la fórmula de Janssen y a partir de los coeficientes correspondientes de cada normativa, con este procedimiento se obtienen las cargas horizontales y verticales que soportan las paredes del silo.

2 VIENTO

La carga de viento viene dada por el cliente. De lo contrario Symaga considera 100 Kg/m² y un coeficiente de exposición de 0.8.
Esta presión de viento sobre las paredes del silo se traduce en una fuerza que produce un momento de vuelco en la base de la estructura. Se considera que esta fuerza es absorbida por los refuerzos verticales de éste.
Sólo se considera la carga a compresión en los refuerzos dado que el efecto es más desfavorable para estos.

$$P \ 100 \text{ Kg/m}^2 \times A \ 10 \text{ m}^2 = F100 \text{ Kg} \quad W \rightarrow F_w = W \times A \rightarrow M = F \times d \rightarrow F = M/D$$



3 NIEVE

La carga de nieve viene dada por el cliente. De lo contrario Symaga considera 80 Kg/m².
Esta carga actúa sobre el techo y se transfiere directamente hacia los refuerzos de manera equitativa.

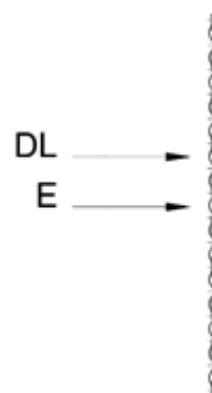
4 SISMO

El coeficiente sísmico viene dado por el cliente. De lo contrario Symaga considera un coeficiente sísmico 0.
Se considera la carga sísmica como una fuerza horizontal proporcional al peso del silo. Esta carga se considera en hipótesis adicionales que combinan el efecto del sismo y de las cargas habituales.
La aceleración sísmica es el dato que da la norma respecto a la zona (ubicación).
El coeficiente sísmico es la aceleración por los diferentes coeficientes de mayoración o minoración. Es por lo que multiplicamos la masa para obtener la fuerza sísmica.
Cuando nos dan un zona UBC, utilizamos esta norma para calcular el CS2. $F_s = M \times C_s$

CÁLCULO DE VIOLAS

La resistencia de las violas es el mínimo de 3 criterios:

CRITERIO	DESCRIPCIÓN	NORMATIVA DE CÁLCULO
Sección neta	Resistencia elástica del acero de la virola	UNE-EN 1993-1-1:2013
Cortadura	Resistencia del tonillo en la unión de la junta	UNE-EN 1993-1-8:2013
Aplastamiento	Resistencia de los agujeros en junta a ser deformados por los tonillos cuando entran en carga	



Este valor se compara con los valores de las fuerzas que actúan sobre la virola:
Fuerzas horizontal debidas al grano (DL)

CÁLCULO DE REFUERZOS

Los refuerzos se calculan comparando la resistencia de su sección neta con los esfuerzos ejercidos sobre ellos y combinados de acuerdo a la normativa.

El cálculo de áreas efectivas de perfiles conformados en frío se realiza según la norma UNE-EN 1993-1-3:2012. De acuerdo a esta norma al perfil del refuerzo se le asigna a una clase con la que se reduce su límite elástico:

1. Plástica
2. Compacta
3. Semicompacta
4. Esbelta : La más desfavorable

Sobre el refuerzo actúan todas las cargas, de modo que es necesario analizar las combinaciones 1, 3 y 4 descritas anteriormente.

RESUMEN DE CARGAS

CARGA	ABREVIATURA	DESCRIPCIÓN
Cargas permanentes	$D_L(1)$	Cargas permanente del silo. Se consideran el peso del silo y el peso de un redler de 150 Kg/m sobre el ancho de influencia del silo
Cargas permanentes	$D_L(2)$	Cargas permanente del silo. Se consideran el peso del silo, del grano y el peso de un redler de 150 Kg/m sobre el ancho de influencia del silo
Viento	W	Carga de viento
Nieve	S_N	Carga de nieve
Sismo	E	Carga de sismo

COMBINACIONES

De acuerdo a la normativa se analizan las siguientes situaciones de carga:

ESTADO	SITUACIÓN SILO	SISMO	COMBINACIÓN
1	Silo vacío	No	$1.35D_L(1) + 1.5W + 1.5 S_N$
2		Si	$D_L(1) + 0.3W + E$
3	Silo lleno	No	$1.35D_L(2) + 1.5W + 1.5 S_N$
4		Si	$D_L(2) + 0.3W + E$

El estado 2 no se considera dado que: $DL(1) < DL(2)$

CÁLCULO DE TECHOS

Los techos se calculan mediante el software de elementos finitos Diamonds considerando las cargas analizadas.

