

EFECTO DEL VIENTO EN SILOS

La intención de esta nota técnica es ayudar al usuario a conocer las fuerzas que intervienen en un silo cuando la fuerza del viento influye de manera significativa, para ello, es necesario realizar los cálculos pertinentes para poder cuantificarlas y de esta manera tomar las medidas oportunas para que no afecten a la integridad del sistema de pesaje. Los siguientes cálculos son aproximaciones y no puede substituir un estudio de seguridad a realizar por un técnico cualificado.

En primer lugar, se debe estudiar las fuerzas que actúan en un silo, para así, conocer su efecto a la hora de realizar el cálculo de la capacidad de las células de carga y de los accesorios de montaje para determinar si es necesario añadir elementos adicionales de retención.

A continuación se muestra un silo de 4 apoyos y las fuerzas que en él actúan:

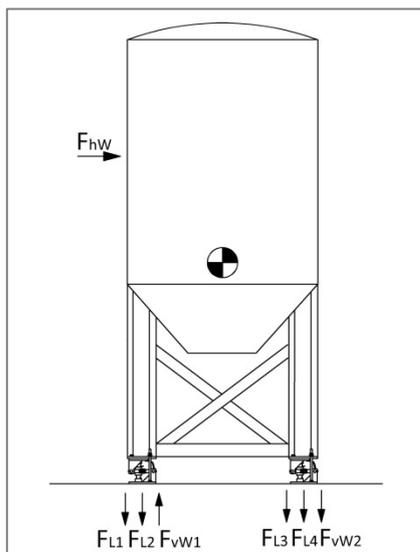


Fig. 1: Fuerzas que actúan sobre el silo

- F_{hw} : Fuerza que aporta la componente horizontal del viento en el silo
- F_{L1} : Fuerza que ejerce el peso del producto sobre la célula
- F_{L2} : Fuerza que ejerce el peso de la estructura sobre la célula
- F_{vw1} : Fuerza vertical del viento (de levantamiento)
- F_{L3} : Fuerza que ejerce el peso del producto sobre la célula
- F_{L4} : Fuerza que ejerce el peso de la estructura sobre la célula
- F_{vw2} : Fuerza vertical del viento (contra la célula)

Para calcular las fuerzas que actúan sobre el silo, se debe descomponer estas fuerzas según su componente vertical y horizontal, de esta manera se obtiene el resultado de carga máxima que debe aguantar las células y los accesorios.

La fuerza horizontal del viento será la misma independientemente de si el silo está lleno o está vacío, pero no ocurre lo mismo con la fuerza vertical aplicada sobre las células de carga y los accesorios de montaje, por este motivo se realizarán los cálculos basándose en dos situaciones: cuando el silo está lleno y cuando el silo está vacío

A continuación se muestra la escala anemométrica de Beaufort, ésta es una medida empírica de la intensidad del viento, basada principalmente en el estado del mar, de sus olas y la fuerza del viento.

Beaufort	Viento	Velocidad en m/s	Velocidad en km/h	Efectos en tierra
0	Calma	<0,5	0-1	Calma, el humo asciende verticalmente
1	Ventolina	0,6-1	2-5	El humo indica la dirección del viento
2	Flojito (Brisa muy débil)	2-3	6-11	Se mueven las hojas de los árboles, empiezan a moverse molinos
3	Flojo (Brisa ligera)	4-5	12-19	Se agitan las hojas, ondulan las banderas
4	Bonancible (Brisa moderada)	6-8	20-28	Se levanta polvo y papeles, se agitan las copas de los árboles
5	Fresquito (Brisa fresca)	9-11	29-38	Pequeños movimientos de los árboles, superficie de los lagos ondulada
6	Fresco (Brisa fuerte)	12-14	39-49	Se mueven las ramas de los árboles, dificultad para mantener abierto el paraguas
7	Frescachón (Viento fuerte)	15-17	50-61	Se mueven los arboles grandes, dificultad para andar contra el viento
8	Temporal (Viento duro)	18-20	62-74	Se quiebran las copas de los árboles, circulación de personas dificultosa
9	Temporal Fuerte (Muy duro)	21-24	75-88	Daños en árboles, imposible andar contra el viento
10	Temporal Duro (Temporal)	25-28	89-102	Árboles arrancados, daños en la estructura de las construcciones
11	Temporal muy duro (Borrasca)	29-34	103-117	Destrucción en todas partes, lluvias muy intensas, inundaciones muy altas
12	Temporal huracanado (Huracán)	>34	>118	Voladura de autos, árboles, casas, techos y personas. Puede generar un huracán o un tifón

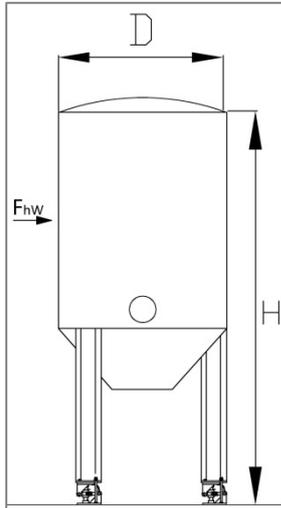
En este enlace se pueden encontrar los mapas de vientos medios en España y los de su comunidad autónoma: http://atlaseolico.idae.es/index.php?pag=descarga_mapas

SILO DE 3 APOYOS

Estudio de la fuerza horizontal en silo de 3 apoyos

CÁLCULO DE LA FUERZA HORIZONTAL DEL VIENTO

En primer lugar se calculará la fuerza horizontal que ejercerá el viento sobre el silo:



$$F_{hW} = C_w \cdot 0,5 \cdot \rho_L \cdot v^2 \cdot A$$

Siendo,

F_{hW} = Fuerza horizontal del viento (N)

C_w = Factor de carga del viento sobre un cilindro circular = 0,8

ρ_L = Densidad del aire (kg/m^3) = 1,25 (kg/m^3)

v = Velocidad del viento (m/s)

A = Superficie de área proyectada del silo (m^2)

$$A = H \cdot D$$

Siendo,

A = Altura del silo (m)

D = Diámetro del silo (m)

Tomando estos valores de C_w y de ρ_L se obtiene:

$$F_{hW} = 0,5 \cdot v^2 \cdot A$$

Fig. 2: Fuerza horizontal del viento

EFFECTO DE LA FUERZA HORIZONTAL RESULTANTE EN EL ACCESORIO

Se calculará la componente de la fuerza horizontal del viento sobre cada accesorio:

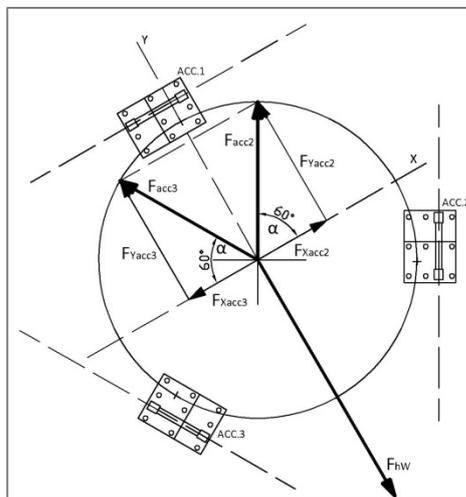


Fig. 3: Vista en planta del silo y fuerzas horizontales

Se disponen los accesorios con el brazo de retención en dirección tangencial al contorno del silo y a 120° entre ellos.

Consideramos que los accesorios únicamente soportan fuerzas en el brazo de retención. De este modo solamente dos accesorios (F_{acc2} y F_{acc3}) contribuyen a soportar la fuerza horizontal del viento (F_{hW}). Aplicamos **equilibrio de fuerzas**:

$$\sum F_X = 0$$

$$\sum F_X = F_{acc2} \cdot \cos\alpha - F_{acc3} \cdot \cos\alpha = 0$$

$$F_{acc2} = F_{acc3}$$

$$\sum F_Y = 0$$

$$\sum F_Y = F_{acc1} \cdot \text{sen}\alpha + F_{acc2} \cdot \text{sen}\alpha - F_{hW} = 0$$

Siendo:

$$\alpha = 60^\circ$$

$$F_{acc2} = F_{acc3} = F_{acc}$$

$$F_{hW} = 2 \cdot F_{acc} \cdot \text{sen}60^\circ$$

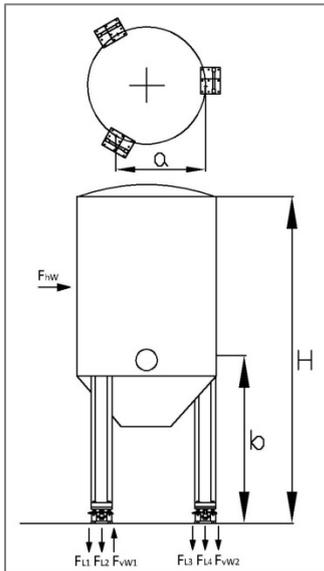
$$F_{acc} = 0,58 \cdot F_{hW}$$

Se debe asegurar que en un silo de 3 apoyos cada accesorio de montaje aguante como mínimo la fuerza del viento multiplicada por 0,58.

Estudio de la fuerza vertical en silo de 3 apoyos

CÁLCULO DE LA FUERZA VERTICAL DEL VIENTO

Para un silo de 3 apoyos, se consideran las fuerzas que intervienen de la siguiente manera:



$$F_{vW} = F_{hW} \cdot \frac{b}{a}$$

Siendo,

D = Diámetro del Silo (m)

H = Altura del Silo (m)

F_{L1} = Fuerza que ejerce el peso del producto sobre la célula (N)

F_{L2} = Fuerza que ejerce el peso de la estructura sobre la célula (N)

F_{vW1} = Fuerza vertical del viento (de levantamiento): |F_{vW1}| (N)

F_{L3} = Fuerza que ejerce el peso del producto sobre la célula (N)

F_{L4} = Fuerza que ejerce el peso de la estructura sobre la célula (N)

F_{vW2} = Fuerza vertical del viento (contra la célula): |F_{vW2}| (N)

F_{hW} = 0,5 · v² · A

b = Distancia vertical entre el punto de acción de la fuerza del viento y el plano de las células de carga (m). Siendo: $b = \frac{H}{2}$

a = Distancia horizontal entre células (m). Siendo: $a_{\text{silo 3 apoyos}} = 0,75 \cdot D$

$$F_{vW} = 0,5 \cdot v^2 \cdot A \cdot \frac{H}{2 \cdot 0,75 \cdot D}$$

Fig. 4: Fuerzas verticales

EFFECTO DE LA FUERZA VERTICAL EN BARLOVENTO

Se calcula la fuerza resultante vertical que recibirán las patas del silo situadas en barlovento, cuando el silo esté vacío, ya que esta será la situación más crítica que tendrá que soportar el accesorio de montaje:

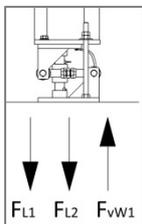


Fig. 5: Barlovento

$$F_{\text{Levantamiento}} = F_{L1} + F_{L2} - F_{vW1}$$

Siendo,

F_{L1} = Fuerza que ejerce el peso del producto. En silo vacío F_{L1} = 0 (N)

F_{L2} = Fuerza que ejerce el peso de la estructura = $\left(\frac{\text{Peso de la estructura}}{\text{Número de apoyos}} \right) \cdot 9,8$ (N)

F_{vW1} = Fuerza de levantamiento del viento = $0,5 \cdot v^2 \cdot A \cdot \frac{H}{2 \cdot 0,75 \cdot D}$ (N)

$$F_{\text{Levantamiento}} = 0 + \left(\frac{\text{Peso de la estructura}}{\text{Número de apoyos}} \right) \cdot 9,8 - 0,5 \cdot v^2 \cdot A \cdot \frac{H}{2 \cdot 0,75 \cdot D} \text{ (N)}$$

Si $F_{\text{Levantamiento}}$ es negativa indica que cuando el silo esté vacío, recibirá una fuerza de levantamiento en las patas de barlovento igual a $F_{\text{Levantamiento}}$. Se debe escoger un accesorio de montaje que aguante como mínimo esta fuerza de levantamiento, de lo contrario, se debe proveer al sistema de medidas adicionales de retención.

EFFECTO DE LA FUERZA VERTICAL EN SOTAVENTO

Se calcula la fuerza máxima que recibirán las patas situadas en sotavento cuando el silo esté lleno, está será la situación más crítica que tendrá que soportar las células de carga:

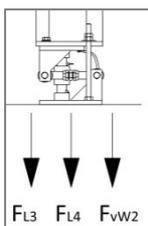


Fig. 6: Sotavento

$$F_{\text{Contra la célula}} = F_{L3} + F_{L4} + F_{vW2}$$

Siendo,

F_{L3} = Fuerza que ejerce el peso del producto = $\left(\frac{\text{Peso del producto}}{\text{Número de apoyos}} \right) \cdot 9,8$ (N)

F_{L4} = Fuerza que ejerce el peso de la estructura = $\left(\frac{\text{Peso de la estructura}}{\text{Número de apoyos}} \right) \cdot 9,8$ (N)

F_{vW2} = Fuerza del viento contra la célula = $0,5 \cdot v^2 \cdot A \cdot \frac{H}{2 \cdot 0,75 \cdot D}$ (N)

$$F_{\text{Contra la célula}} = \left(\frac{\text{Peso del producto}}{\text{Número de apoyos}} + \frac{\text{Peso de la estructura}}{\text{Número de apoyos}} \right) \cdot 9,8 + 0,5 \cdot v^2 \cdot A \cdot \frac{H}{2 \cdot 0,75 \cdot D} \text{ (N)}$$

Éste resultado indica la $F_{\text{Contra la célula}}$ que recibirán las patas de sotavento cuando el silo esté lleno. Se debe escoger una célula de carga que aguante, como mínimo, esta $F_{\text{Contra la célula}}$.

Ejemplo en silo de 3 apoyos

Se dispone de un silo de 64 m³ de capacidad y de 40 t. El peso de la estructura es de 5 t, con una altura de 9 m y 3 m de diámetro. Va a estar sometido a rachas de vientos de hasta 40 m/s.

Estudio de fuerza horizontal en silo de 3 apoyos

CÁLCULO DE LA FUERZA HORIZONTAL DEL VIENTO

$$F_{hW} = 0,5 \cdot v^2 \cdot A$$

$$F_{hW} = 0,5 \cdot 40^2 \cdot (9 \cdot 3)$$

$$F_{hW} = 21.600 \text{ N, o su equivalente en peso } 2,2 \text{ t}$$

EFFECTO DE LA FUERZA HORIZONTAL RESULTANTE EN EL ACCESORIO

$$F_{acc} = 0,58 \cdot F_{hW}$$

$$F_{acc} = 0,58 \cdot 21.600 \text{ N}$$

$$F_{acc} = 12.600 \text{ N, o su equivalente en peso } 1,3 \text{ t}$$

Los accesorios necesarios para esta instalación deben aguantar fuerzas horizontales de al menos 1,3 t.

Estudio de fuerza vertical en silo de 3 apoyos

SELECCIÓN DE LA CÉLULA

$$\text{Capacidad Célula} = \frac{\text{Factor de seguridad} \cdot \text{Peso Bruto}}{\text{Número de apoyos}}$$

$$\text{Capacidad Célula} = \frac{1,3 \cdot 45.000}{3}$$

$$\text{Capacidad Célula} = 20 \text{ t}$$

CÁLCULO DE LA FUERZA VERTICAL DEL VIENTO

$$F_{vW} = 0,5 \cdot v^2 \cdot A \cdot \frac{H}{2 \cdot 0,75 \cdot D}$$

$$F_{vW} = 0,5 \cdot 40^2 \cdot (9 \cdot 3) \cdot \frac{9}{2 \cdot 0,75 \cdot 3}$$

$$F_{vW} = 43.200 \text{ N, o su equivalente en peso } 4,4 \text{ t}$$

EFFECTO DE LA FUERZA VERTICAL EN BARLOVENTO (Silo vacío)

$$F_{\text{Levantamiento}} = 0 + \frac{\text{Peso de la estructura}}{\text{Número de apoyos}} - 0,5 \cdot v^2 \cdot A \cdot \frac{H}{2 \cdot 0,75 \cdot D}$$

$$F_{\text{Levantamiento}} = \left(0 + \frac{5.000}{3}\right) \cdot 9,8 - 0,5 \cdot 40^2 \cdot 9 \cdot 3 \cdot \frac{9}{2 \cdot 0,75 \cdot 3} = -27.000 \text{ N}$$

Fuerza de levantamiento con el silo vacío = -27.000 N, o su equivalente en peso -2,8 t

Éste resultado negativo indica que cuando el silo esté vacío, recibirá una fuerza resultante de levantamiento en las patas de barlovento de 2,8 t. Se debe escoger un accesorio de montaje que aguante como mínimo esta fuerza de levantamiento, de lo contrario, se debe proveer al sistema de medidas adicionales de retención.

EFFECTO DE LA FUERZA VERTICAL EN SOTAVENTO (Silo lleno)

$$F_{\text{Contra la célula}} = \frac{\text{Peso del producto}}{\text{Número de apoyos}} + \frac{\text{Peso de la estructura}}{\text{Número de apoyos}} + 0,5 \cdot v^2 \cdot A \cdot \frac{H}{2 \cdot 0,75 \cdot D}$$

$$F_{\text{Contra la célula}} = \left(\frac{40.000}{3} + \frac{5.000}{3}\right) \cdot 9,8 + 0,5 \cdot 40^2 \cdot 9 \cdot 3 \cdot \frac{9}{2 \cdot 0,75 \cdot 3} = 191.000 \text{ N}$$

Fuerza contra la célula con el silo lleno = 191.000 N, o su equivalente en peso 20 t

Éste resultado indica que cuando el silo esté lleno, recibirá una fuerza resultante en las patas de sotavento de 20 t. Se debe escoger una célula de carga que aguante, como mínimo, esta fuerza contra la célula.

Conclusiones en silo de 3 apoyos

1) Validación de la célula de carga

Una vez conocida la fuerza resultante que recibirá cada apoyo cuando el silo esté lleno, se debe comprobar que el valor de la capacidad calculada para cada apoyo del silo es correcto. En este ejemplo, los dos resultados indican que la célula de carga debe ser de 20 t; de no coincidir los resultados, se debe escoger la célula de carga de mayor capacidad, ya que este es el caso más crítico. Es muy importante realizar esta comprobación una vez realizados los cálculos.

2) Validación del accesorio de montaje

Con los resultados obtenidos seleccionamos el accesorio con los siguientes parámetros:

Capacidad	15...50 t
Máximo desplazamiento transversal al brazo de retención	± 4 mm
Máxima fuerza admisible en la dirección del brazo retención	47 kN
Máxima fuerza admisible de levantamiento	76 kN
Máximo desplazamiento vertical admisible	3 mm
Material: Acero cincado	

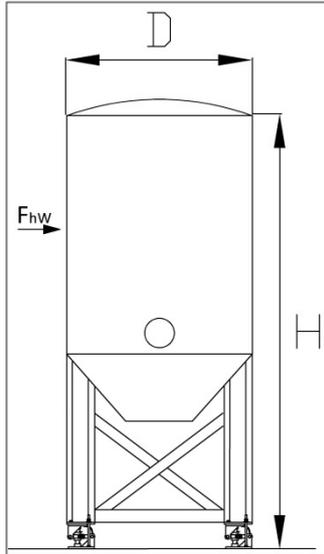
- a) **Máxima fuerza admisible en la dirección del brazo de retención:** se refiere a la fuerza máxima que aguatará el accesorio en su componente horizontal. En el ejemplo, el accesorio seleccionado puede aguatar hasta 47 kN de fuerza horizontal. En el sistema del ejemplo se necesita soportar al menos 12,6 kN. Este accesorio satisfaría las necesidades para este componente de fuerza sin necesidad de añadir elementos adicionales de retención.
- b) **Máxima fuerza admisible de levantamiento:** se refiere a la fuerza máxima que aguatará el accesorio en su componente vertical. Según las características, este accesorio puede soportar 76 kN de fuerza de levantamiento. En el sistema del ejemplo se necesita soportar al menos 27 kN. Este accesorio satisfaría las necesidades para este componente de fuerza sin necesidad de añadir elementos adicionales de retención.

SILO DE 4 APOYOS

Estudio de fuerza horizontal en silo de 4 apoyos

CÁLCULO DE LA FUERZA HORIZONTAL DEL VIENTO

En primer lugar se calculará la fuerza horizontal que ejercerá el viento sobre el silo:



$$F_{hw} = C_w \cdot 0,5 \cdot \rho_L \cdot v^2 \cdot A$$

Siendo,

F_{hw} = Fuerza horizontal del viento (N)

C_w = Factor de carga del viento sobre un cilindro circular = 0,8

ρ_L = Densidad del aire (kg/m^3) = 1,25 (kg/m^3)

v = Velocidad del viento (m/s)

A = Superficie de área proyectada del silo (m^2)

$$A = H \cdot D$$

Siendo,

A = Altura del silo (m)

D = Diámetro del silo (m)

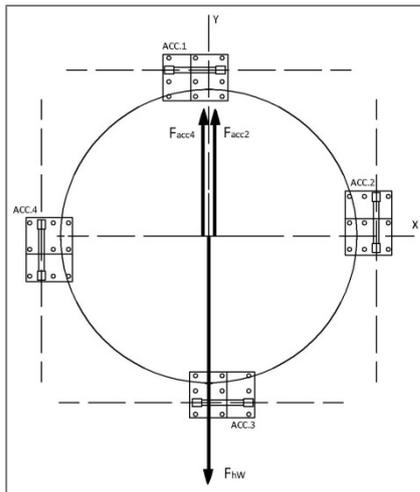
Tomando estos valores de C_w y de ρ_L se obtiene:

$$F_{hw} = 0,5 \cdot v^2 \cdot A$$

Fig. 7: Fuerza horizontal del viento

EFFECTO DE LA FUERZA HORIZONTAL RESULTANTE EN EL ACCESORIO

Se calculará la componente de la fuerza horizontal del viento sobre cada accesorio:



Se disponen los accesorios con el brazo de retención en dirección tangencial al contorno del silo y a 90° entre ellos. Consideramos que los accesorios únicamente soportan fuerzas en sentido tangencial al silo. De este modo solamente dos accesorios (F_{acc2} y F_{acc4}) contribuyen a soportar la fuerza horizontal del viento (F_{hw}).

Aplicamos **equilibrio de fuerzas**:

$$\Sigma F_x = 0$$

$$\Sigma F_y = 0$$

$$\Sigma F_y = F_{acc2} + F_{acc4} - F_{hw} = 0$$

Siendo:

$$F_{acc2} = F_{acc4} = F_{acc}$$

$$F_{hw} = 2 \cdot F_{acc}$$

$$F_{acc} = 0,5 \cdot F_{hw}$$

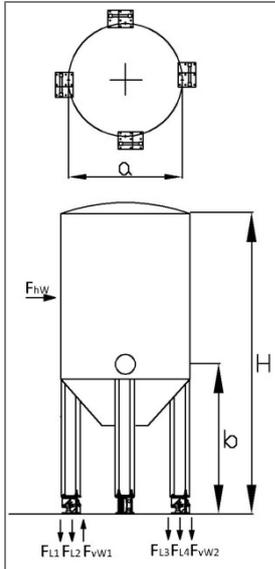
Fig. 8: Vista en planta del silo y fuerzas horizontales

Se debe asegurar que para un silo de 4 patas, cada accesorio de montaje aguante como mínimo la fuerza del viento multiplicada por 0,5.

Estudio de la fuerza vertical en silo de 4 apoyos

CÁLCULO DE LA FUERZA VERTICAL DEL VIENTO

Para un silo de 4 apoyos, se consideran las fuerzas que intervienen de la siguiente manera:



$$F_{vw} = F_{hw} \cdot \frac{b}{a}$$

Siendo,

D = Diámetro del Silo (m)

H = Altura del Silo (m)

F_{L1} = Fuerza que ejerce el peso del producto sobre la célula (N)

F_{L2} = Fuerza que ejerce el peso de la estructura sobre la célula (N)

F_{VW1} = Fuerza vertical del viento (de levantamiento): |F_{VW1}| (N)

F_{L3} = Fuerza que ejerce el peso del producto sobre la célula (N)

F_{L4} = Fuerza que ejerce el peso de la estructura sobre la célula (N)

F_{VW2} = Fuerza vertical del viento (contra la célula): |F_{VW2}| (N)

F_{hw} = 0,5 \cdot v^2 \cdot A}

b = Distancia vertical entre el punto de acción de la fuerza del viento y el plano de las células de carga (m). Siendo: $b = \frac{H}{2}$

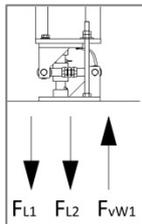
a = Distancia horizontal entre células (m). Siendo: $a_{\text{silo 4 apoyos}} = D$

$$F_{vw} = 0,5 \cdot v^2 \cdot A \cdot \frac{H}{2 \cdot D}$$

Fig. 9: Fuerzas verticales

EFFECTO DE LA FUERZA VERTICAL EN BARLOVENTO

Se calcula la fuerza resultante vertical que recibirán las patas del silo situadas en barlovento, cuando el silo esté vacío, ya que esta será la situación más crítica que tendrá que soportar el accesorio de montaje:



$$F_{\text{Levantamiento}} = F_{L1} + F_{L2} - F_{VW1}$$

Siendo,

F_{L1} = Fuerza que ejerce el peso del producto. En silo vacío F_{L1} = 0 (N)

F_{L2} = Fuerza que ejerce el peso de la estructura = $\left(\frac{\text{Peso de la estructura}}{\text{Número de apoyos}} \right) \cdot 9,8$ (N)

F_{VW1} = Fuerza de levantamiento del viento = $0,5 \cdot v^2 \cdot A \cdot \frac{H}{2 \cdot D}$ (N)

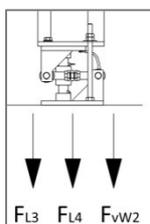
$$F_{\text{Levantamiento}} = 0 + \left(\frac{\text{Peso de la estructura}}{\text{Número de apoyos}} \right) \cdot 9,8 - 0,5 \cdot v^2 \cdot A \cdot \frac{H}{2 \cdot D} \text{ (N)}$$

Fig. 10: Barlovento

Si F_{Levantamiento} es negativa indica que cuando el silo esté vacío, recibirá una fuerza de levantamiento en las patas de barlovento igual a F_{Levantamiento}. Se debe escoger un accesorio de montaje que aguante como mínimo esta fuerza de levantamiento, de lo contrario, se debe proveer al sistema de medidas adicionales de retención.

EFFECTO DE LA FUERZA VERTICAL EN SOTAVENTO

Se calcula la fuerza máxima que recibirán las patas situadas en sotavento cuando el silo esté lleno, esta será la situación más crítica que tendrá que soportar las células de carga:



$$F_{\text{Contra la célula}} = F_{L3} + F_{L4} + F_{VW2}$$

Siendo,

F_{L3} = Fuerza que ejerce el peso del producto = $\left(\frac{\text{Peso del producto}}{\text{Número de apoyos}} \right) \cdot 9,8$ (N)

F_{L4} = Fuerza que ejerce el peso de la estructura = $\left(\frac{\text{Peso de la estructura}}{\text{Número de apoyos}} \right) \cdot 9,8$ (N)

F_{VW2} = Fuerza del viento contra la célula = $0,5 \cdot v^2 \cdot A \cdot \frac{H}{2 \cdot D}$ (N)

$$F_{\text{Contra la célula}} = \left(\frac{\text{Peso del producto}}{\text{Número de apoyos}} + \frac{\text{Peso de la estructura}}{\text{Número de apoyos}} \right) \cdot 9,8 + 0,5 \cdot v^2 \cdot A \cdot \frac{H}{2 \cdot D} \text{ (N)}$$

Fig. 11: Sotavento

Este resultado indica la F_{Contra la célula} que recibirán las patas de sotavento cuando el silo esté lleno. Se debe escoger una célula de carga que aguante, como mínimo, esta F_{Contra la célula}.

Ejemplo en Silo de 4 apoyos

Se dispone de un silo de 64 m³ de capacidad y de 40 t. El peso de la estructura es de 5 t, con una altura de 9 m y 3 m de diámetro. Va a estar sometido a rachas de vientos de hasta 40 m/s.

Estudio de la fuerza horizontal en Silo de 4 apoyos

CÁLCULO DE LA FUERZA HORIZONTAL DEL VIENTO

$$F_{hW} = 0,5 \cdot v^2 \cdot A$$

$$F_{hW} = 0,5 \cdot 40^2 \cdot (9 \cdot 3)$$

$$F_{hW} = 21.600 \text{ N, o su equivalente en peso } 2,2 \text{ t}$$

EFFECTO DE LA FUERZA HORIZONTAL RESULTANTE EN EL ACCESORIO

$$F_{acc} = 0,5 \cdot F_{hW}$$

$$F_{acc} = 0,5 \cdot 21.600 \text{ N,}$$

$$F_{acc} = 11.000 \text{ N o su equivalente en peso } 1,2 \text{ t}$$

Los accesorios necesarios para esta instalación deben aguantar fuerzas horizontales de al menos 1,2 t.

Estudio de fuerza vertical en Silo de 4 apoyos

SELECCIÓN DE LA CÉLULA

$$\text{Capacidad Célula} = \frac{\text{Factor de seguridad} \cdot \text{Peso Bruto}}{\text{Número de apoyos}}$$

$$\text{Capacidad Célula} = \frac{1,5 \cdot 45.000}{4}$$

$$\text{Capacidad Célula} = 17 \text{ t}$$

CÁLCULO DE LA FUERZA VERTICAL DEL VIENTO

$$F_{vW} = 0,5 \cdot v^2 \cdot A \cdot \frac{H}{2 \cdot D}$$

$$F_{vW} = 0,5 \cdot 40^2 \cdot (9 \cdot 3) \cdot \frac{9}{2 \cdot 3}$$

$$F_{vW} = 32.400 \text{ N, o su equivalente en peso } 3,4 \text{ t}$$

EFFECTO DE LA FUERZA VERTICAL EN BARLOVENTO (Silo vacío)

$$F_{\text{Levantamiento}} = 0 + \frac{\text{Peso de la estructura}}{\text{Número de apoyos}} - 0,5 \cdot v^2 \cdot A \cdot \frac{H}{2 \cdot D}$$

$$F_{\text{Levantamiento}} = \left(0 + \frac{5.000}{4}\right) \cdot 9,8 - 0,5 \cdot 40^2 \cdot 9 \cdot 3 \cdot \frac{9}{2 \cdot 3} = -20.150 \text{ N}$$

Fuerza Resultante con el silo vacío = -20.150, o su equivalente en peso -2,1 t

Éste resultado negativo indica que cuando el silo esté vacío, recibirá una fuerza resultante de levantamiento en las patas de barlovento de 2,1 t. Se debe escoger un accesorio de montaje que aguante como mínimo esta fuerza de levantamiento, de lo contrario, se debe proveer al sistema de medidas adicionales de retención.

EFFECTO DE LA FUERZA VERTICAL EN SOTAVENTO (Silo lleno)

$$F_{\text{Contra la célula}} = \frac{\text{Peso del producto}}{\text{Número de apoyos}} + \frac{\text{Peso de la estructura}}{\text{Número de apoyos}} + 0,5 \cdot v^2 \cdot A \cdot \frac{H}{2 \cdot D}$$

$$F_{\text{Contra la célula}} = \left(\frac{40.000}{4} + \frac{5.000}{4}\right) \cdot 9,8 + 0,5 \cdot 40^2 \cdot 9 \cdot 3 \cdot \frac{9}{2 \cdot 3} = 143.000 \text{ N}$$

Fuerza contra la célula con el silo lleno = 143.000 N, o su equivalente en peso 15 t

Éste resultado indica que cuando el silo esté lleno, recibirá una fuerza resultante en las patas de sotavento de 15 t. Se debe escoger una célula de carga que aguante, como mínimo, esta fuerza contra la célula.

Conclusiones en Silo de 4 apoyos

1) Validación de la célula de carga

Una vez conocida la fuerza resultante que recibirá cada apoyo cuando el silo esté lleno, se debe comprobar que el valor de la capacidad calculada para cada apoyo del silo es correcto. En este ejemplo, al realizar el cálculo de la capacidad de la célula, el resultado obtenido es de 17 t. La fuerza resultante que recibirá cada pata cuando el silo está lleno es de 15 t, al no coincidir los resultados, se escoge el valor de capacidad más alto. Es muy importante realizar esta comprobación una vez realizados los cálculos.

2) Validación del accesorio de montaje

Con los resultados obtenidos seleccionamos el accesorio con los siguientes parámetros:

Capacidad	15...50 t
Máximo desplazamiento transversal al brazo de retención	± 4 mm
Máxima fuerza admisible en la dirección del brazo retención	47 kN
Máxima fuerza admisible de levantamiento	76 kN
Máximo desplazamiento vertical admisible	3 mm
Material: Acero cincado	

- a) **Máxima fuerza admisible en la dirección del brazo de retención:** se refiere a la fuerza máxima que aguantará el accesorio en su componente horizontal. En el ejemplo, este accesorio aguanta 47 kN de fuerza horizontal. En el sistema del ejemplo se necesita soportar al menos 11 kN. Este accesorio satisfaría las necesidades para este componente de fuerza sin necesidad de añadir elementos adicionales de retención.
- b) **Máxima fuerza admisible de levantamiento:** se refiere a la fuerza máxima que aguantará el accesorio en su componente vertical. Según las características, este accesorio puede soportar 76 kN de fuerza de levantamiento. En el sistema del ejemplo se necesita soportar al menos 20,15 kN. Este accesorio satisfaría las necesidades para este componente de fuerza sin necesidad de añadir elementos adicionales de retención.

Desde Utilcell esperamos que esta nota técnica pueda serles de ayuda a la hora realizar el cálculo del viento en silos, solo a modo orientativo y sin que sirva como especificación contractual. Nos reservamos el derecho a variar el contenido de la presente nota técnica en cualquier momento sin previo aviso. Quedamos a su disposición para cualquier consulta adicional.