

CAPÍTULO 3: ACCIONES SOBRE EL SILO

3.1 ELECCIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

Un punto muy a tener en cuenta durante el cálculo de las presiones en el silo son las propiedades de los materiales. Para algunas propiedades³ se dan dos valores, uno mínimo y otro máximo. Combinando los valores extremos de las propiedades se consiguen diferentes casos de carga:

- Máxima presión normal a la pared vertical
- Máxima fuerza axial en la pared vertical
- Máxima resultante de tensiones en la tolva

Se repetirán los cálculos para cada uno de estos casos de carga pues a priori no se sabe cuál puede ser más perjudicial para el silo.

La siguiente tabla muestra la combinación de propiedades que hay que utilizar para obtener cada caso de carga. Esta tabla ha sido sacada de [Rotter, 2001]⁴:

Caso de carga	Finalidad	Propiedad que debemos tomar (max o min)		
		Coeficiente de rozamiento μ	Coeficiente de empuje lateral λ	Ángulo efectivo de rozamiento interno ϕ_i
BN	Máxima presión normal a la pared vertical	Min	Max	Min
BF	Máxima presión de rozamiento sobre la pared vertical	Max	Max	Min
HF&HE	Máxima carga vertical en la tolva	Min	Min	Max
HF	Máximas presiones en la tolva durante el llenado	Max	Min	Min
HE	Máximas presiones en la tolva durante el vaciado	Min	Max	Max

Tabla 3. 1 Elección de los coeficientes del material

Con respecto al peso específico del cemento utilizaremos el valor más grande para todos los casos de carga, $\gamma = 16 \text{ KN/m}^3$.

3.2 PRESIONES DE LLENADO

Los cálculos que se desarrollan en este apartado nos proporcionan de forma sencilla los valores de la presión de rozamiento sobre la pared, la presión horizontal o la vertical, a cualquier profundidad.

Los valores de dichas presiones están recogidos en ENV 1991-4, aunque en este proyecto se han considerado algunas modificaciones al mismo recogidas en [Rotter, 2001].

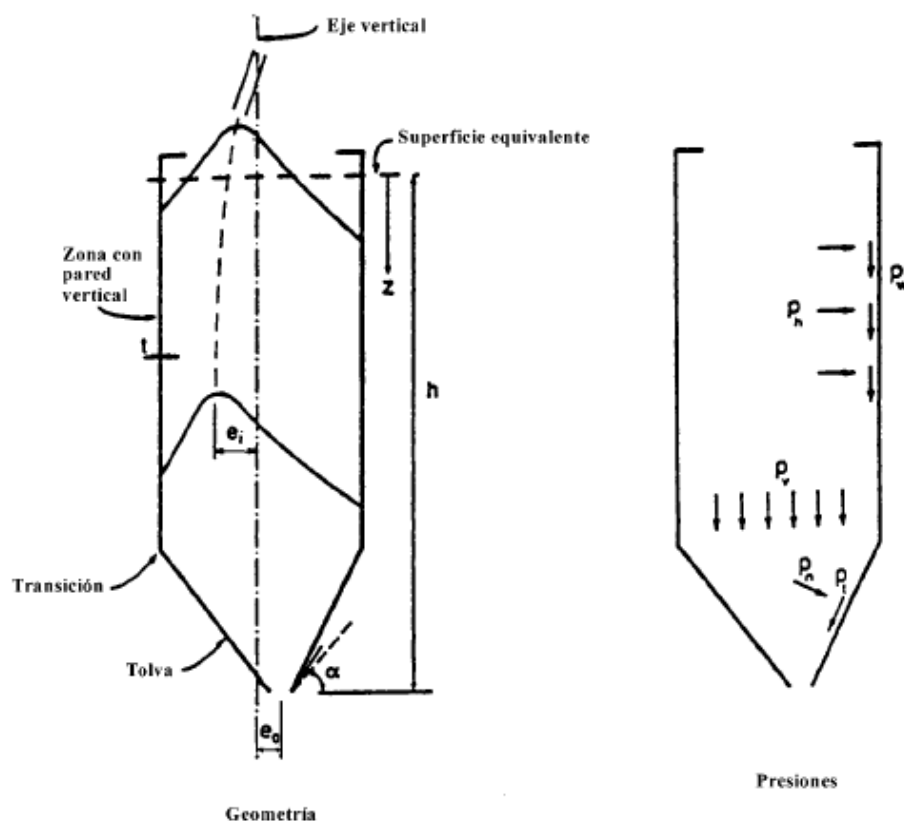


Ilustración 3. 1 Presiones de llenado

3.2.1 PRESIONES DE LLENADO EN LA PARED VERTICAL

Según [Rotter, 2001] podemos definir dos tipos diferentes de cargas de llenado en la pared vertical de un silo. En primer lugar las presiones fijas que son aquellas que actúan en toda la pared del silo. En segundo, y último lugar tenemos las presiones libres que son aquellas que están aplicadas en el lugar del silo en que van a ser más dañinas.

En el Eurocódigo se le da un tratamiento simplificado a estas cargas libres, pues se tiene en cuenta lo complicado que puede llegar a resultar un análisis concienzudo.

➤ PRESIONES FIJAS (FÓRMULAS DE JANSSEN)

Estas presiones fijas coinciden con la visión de las presiones de llenado de Janssen en silos. Tras el llenado, los valores de la presión horizontal, la presión de rozamiento sobre la pared y la presión vertical, a una cierta altura z , son:

- Presión horizontal: $p_{hf} = p_{ho} \times (1 - e^{-z/z_0})$.
- Presión de fricción: $p_{wf} = \mu \times p_{ho} = \mu \times p_{ho} \times (1 - e^{-z/z_0})$.
- Presión vertical: $p_{vf} = p_{vo} \times (1 - e^{-z/z_0})$.

Siendo:

$$p_{ho} = \frac{\gamma}{\mu} \times \frac{A}{U} = \frac{\gamma}{\mu} \times \frac{r}{2}$$

$$p_{vo} = \frac{\gamma}{\lambda \mu} \times \frac{A}{U} = \frac{\gamma}{\lambda \mu} \times \frac{r}{2}$$

$$z_0 = \frac{1}{\lambda \mu} \times \frac{A}{U} = \frac{1}{\lambda \mu} \times \frac{r}{2}$$

Donde:

A es el área de la sección transversal de la pared vertical

U es el perímetro de la sección transversal de la pared vertical

r es el radio de silo z es la distancia medida a partir de la superficie equivalente del sólido ensilado

γ es el peso específico

μ es el coeficiente de rozamiento de la pared vertical

λ es el coeficiente de empuje lateral

Para los cálculos de la tolva, tomaremos la tensión vertical del sólido en el punto de la transición, y viene como:

$$p_{vft} = p_{vo} \times (1 - e^{-z_t/z_0}).$$

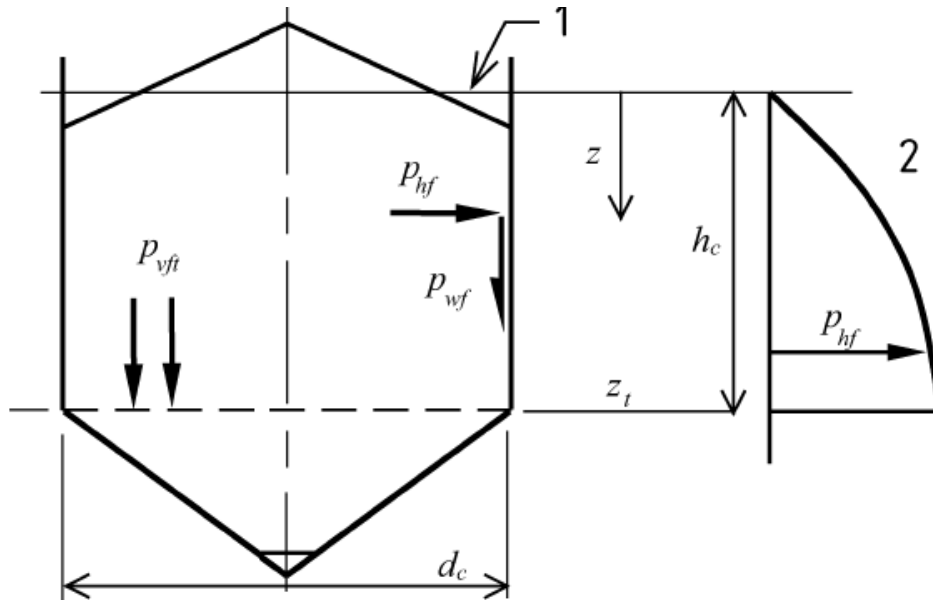


Ilustración 3. 2 Presiones y diagramas

➤ PRESIONES LOCALES

Las presiones locales se aplican en una franja de espesor s en la pared vertical y en el caso de silos de pared delgada como los analizados en este PFC varían senoidalmente alrededor de la misma, desde un valor de presión p_{pf} hacia adentro hasta el mismo valor hacia afuera pero en la cara opuesta del silo (ver figura a continuación):

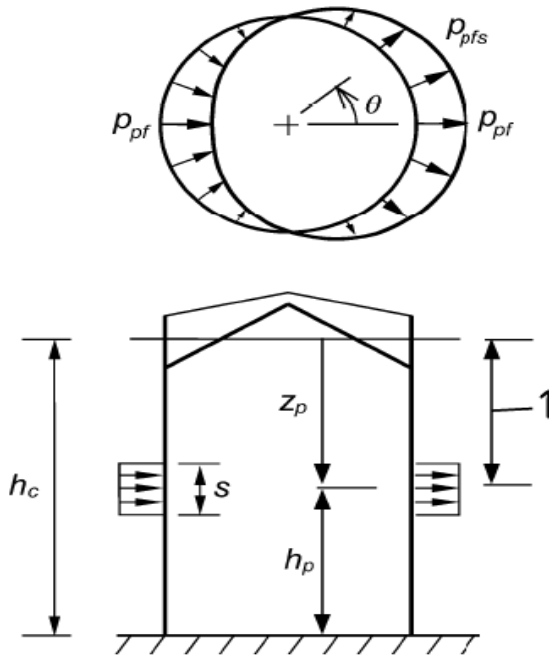


Ilustración 3. 3 Presiones locales

El valor de la presión local en el llenado es:

$$p_{pf} = 0,2 \times \beta \times p_{hf}$$

La distribución de presiones alrededor del silo viene dado por:

$$p_{pfs} = p_{pf} \times \cos \theta$$

En una franja de espesor $s = 0,4 * r$

Situado en el centro de una profundidad dada por: $z_p = \min(z_0; 0,5 * h_c)$

Siendo:

$$\beta = 1 + \frac{e_i}{2 * r}$$

e_i es la excentricidad de llenado, que debe ser inferior a $0,5 * r$

z_0 es la profundidad de referencia de Janssen

h_c es la altura del cuerpo del silo

La presión local es equivalente a una fuerza aplicada a una profundidad z_p sobre una superficie:

$$P_{pf} = \pi * s * r * p_{pf}$$

3.2.2 PRESIONES DE LLENADO EN LA TOLVA

Para definir estas presiones nos vamos a apoyar en las definiciones que se dan en [Rotter, 2001], que poco o nada tienen que ver con las que aparecen en el Eurocódigo. Estas expresiones son conocidas como la Teoría de Walker (1966).

Tenemos:

- Presión normal a la tolva: $p_{nf} = F_f * p_{vf}$
- Presión de rozamiento: $p_{tf} = \mu_h * p_{nf}$
- Presión vertical a altura x por encima del vértice de la tolva

$$p_{vf} = \frac{\gamma * h_h}{n - 1} * \left\{ \left(\frac{x}{h_h} \right) - \left(\frac{x}{h_h} \right)^n \right\} + p_{vft} * \left(\frac{x}{h_h} \right)^n$$

Donde:

$$n = 2 * (F_f * \mu * \cot\beta + F_f - 1)$$

$$F_f = \frac{1 + \mu * a * \cot\beta}{1 + \mu * \cot\beta}$$

Siendo:

h_h es la altura de la tolva

x es la coordenada vertical tomada desde el vértice de la tolva hacia arriba

β es el ángulo de inclinación de la tolva

a es una constante empírica que toma valores entre 0 y 1, y que para llenado suele tomar el valor 0.8. El valor del parámetro a sirve para ajustar empíricamente los resultados entre las presiones de llenado de Walker y el caso en que $F_f = 1$, muy usado en el pasado y para nada del lado de la seguridad.

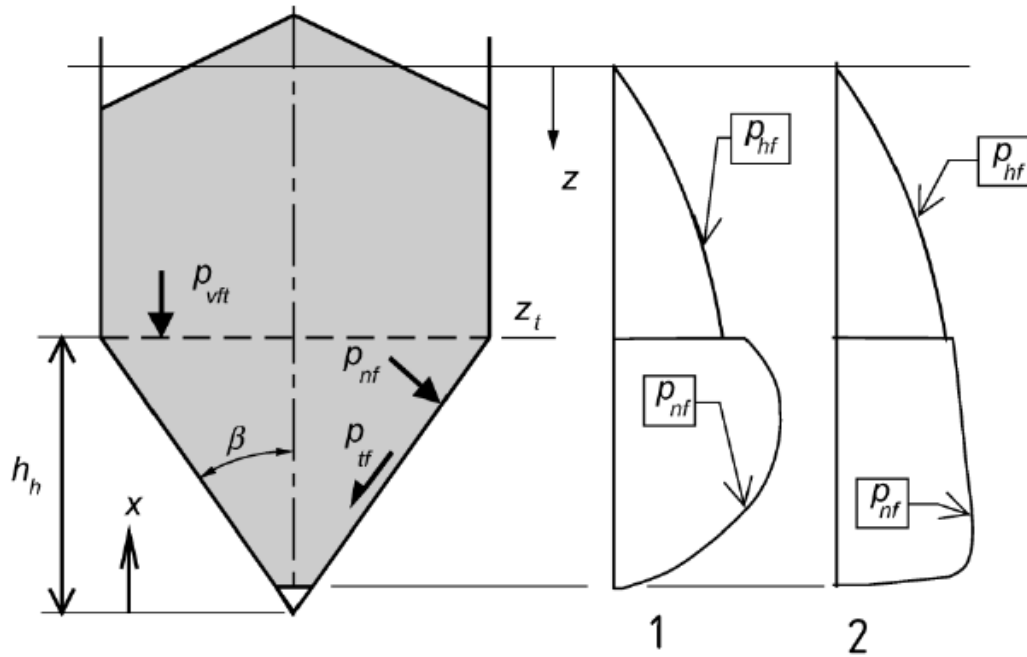


Ilustración 3. 4 Presiones en la tolva y diagramas

Leyenda

1 Aplanada

2 Aguda

3.2.3 RESULTADOS DE PRESIONES DE LLENADO

En este apartado vamos a ver la solución que hemos obtenido de la presiones de llenado en el silo desarrollado.

Tenemos que tener en cuenta que los espesores mostrados son los resultados de un proceso iterativo.

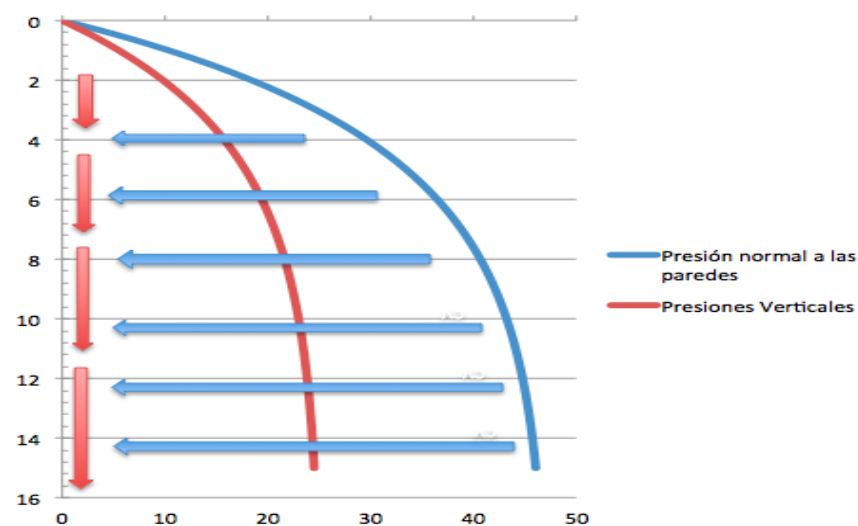
➤ *Presiones de llenado en el cuerpo*

Z es la variable en altura y hemos dado como diferencial de altura 0,5m. Además las virolas son placas de 2m de altura.

Las presiones obtenidas son:

h(m)	z(m)	t (mm)	Phf(KN/m2)	pf(KN/m2)	Pwf(KN/m2)	Pvf(KN/m2)	Fpf(KN)
15	0	6	0	0	0	0	0
14,5	0,5	6	5,476942724	1,095388545	2,913733529	12,17098383	8,603161514
14	1	6	10,31795113	2,063590227	5,489150004	22,9287803	16,20739974
13,5	1,5	6	14,59686432	2,919372864	7,765531817	32,43747626	22,92870085
13	2	6	18,37894782	3,675789564	9,777600239	40,84210626	28,86958372
12,5	2,5	6	21,72188912	4,344377824	11,55604501	48,27086471	34,12066364
12	3	6	24,67667754	4,935335508	13,12799245	54,8370612	38,76203444
11,5	3,5	6	27,28838198	5,457676395	14,51741921	60,64084883	42,86449017
11	4	6	29,59683831	5,919367662	15,74551798	65,7707518	46,4906049
10,5	4,5	8	31,63725704	6,327451409	16,83102075	70,30501565	49,69568716
10	5	8	33,44076034	6,688152068	17,7904845	74,31280075	52,52862351
9,5	5,5	8	35,03485673	7,006971346	18,63854378	77,85523717	55,03262426
9	6	8	36,4438607	7,288772139	19,38813389	80,9863571	57,24588251
8,5	6,5	10	37,68926354	7,537852708	20,0506882	83,75391898	59,20215673
8	7	10	38,79006119	7,758012237	20,63631255	86,20013597	60,93128563
7,5	7,5	10	39,76304391	7,952608782	21,15393936	88,3623198	62,45964332
7	8	10	40,62305246	8,124610491	21,61146391	90,2734499	63,81054158
6,5	8,5	12	41,38320439	8,276640878	22,01586474	91,96267642	65,00458545
6	9	12	42,05509418	8,411018837	22,37331011	93,45576485	66,05998747
5,5	9,5	12	42,64897005	8,529794011	22,68925207	94,77548901	66,9928455
5	10	12	43,17389029	8,634778059	22,96850964	95,94197843	67,81738829
4,5	10,5	15	43,63786142	8,727572285	23,21534228	96,97302539	68,54619243
4	11	15	44,04796031	8,809592063	23,43351489	97,88435625	69,19037426
3,5	11,5	15	44,41044214	8,882088427	23,62635522	98,68987141	69,75975938
3	12	15	44,73083576	8,946167153	23,79680463	99,40185725	70,26303251
2,5	12,5	19	45,01402811	9,002805622	23,94746295	100,0311736	70,70787001
2	13	19	45,26433865	9,052867731	24,08062816	100,5874192	71,10105689
1,5	13,5	19	45,48558534	9,097117069	24,1983314	101,0790785	71,44859038
1	14	19	45,68114282	9,136228564	24,30236798	101,5136507	71,75577134
0,5	14,5	22	45,85399388	9,170798777	24,39432475	101,8977642	72,02728516
0	15	22	46,00677501	9,201355001	24,4756043	102,2372778	72,26727319

Tabla 3. 2 Presiones de llenado en el cuerpo del silo



Gráfica 3. 1 Diagramas de las presiones de llenado

➤ *Presiones de llenado en la tolva*

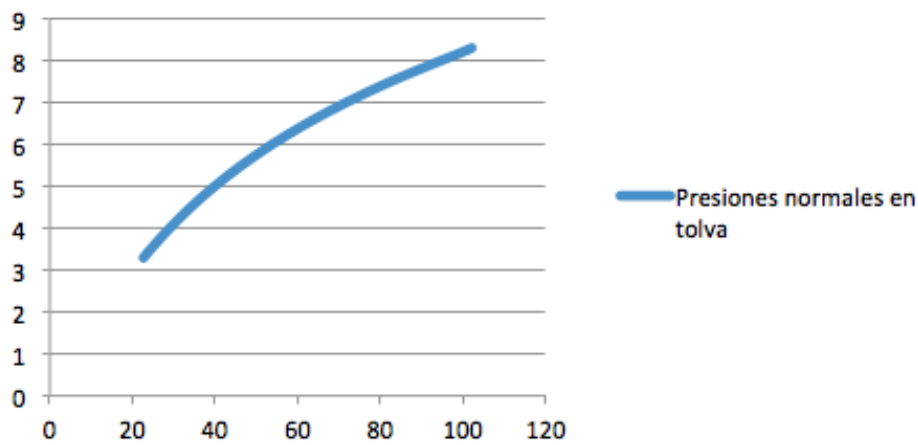
X es la variable en altura y al igual que el cuerpo del cilindro, damos un diferencial de 0,5m. La tolva va construida como una única pieza y tiene un espesor de 8mm.

Tenemos que tener en cuenta que x es 0 en el vértice del cono y como nosotros tenemos una apertura de 2m, la tolva comienza cuando $x=3,3\text{m}$

x(m)		pvf	pnf(KN/m2)	ptf(KN/m2)
8,3		102,2372778	102,2372778	54,39023179
8		94,23325557	94,23325557	50,13209197
7,5		82,11375721	82,11375721	43,68451883
7		71,39344028	71,39344028	37,98131023
6,5		61,93105525	61,93105525	32,94732139
6		53,59073265	53,59073265	28,51026977
5,5		46,24216889	46,24216889	24,60083385
5		39,76083418	39,76083418	21,15276378
4,5		34,02820764	34,02820764	18,10300646
4		28,93204592	28,93204592	15,39184843
3,5		24,36669451	24,36669451	12,96308148
3,3		22,66682905	22,66682905	12,05875306

Tabla 3. 3 Presiones de llenado en la tolva

Presiones normales en tolva



Gráfica 3. 2 Diagramas de presiones en la tolva

3.3 PRESIONES DE VACIADO

Las presiones que ocurren durante el vaciado del silo están aún sin comprender en su totalidad y no podemos obtener unos resultados completamente exactos. Lo que sabemos, es que las presiones normales a la pared vertical pueden incrementarse considerablemente si el silo pertenece a flujo másico, incluso también para flujo mixto, y esta amplificación de las presiones suele localizarse cerca de la transición.

3.3.1 PRESIONES DE VACIADO EN LA PARED VERTICAL

Al igual que ocurría con las presiones de llenado podemos definir dos tipos de cargas de descarga en la pared vertical de un silo, y vienen definidas en el Eurocódigo [ENV 1991-4, 1995]. En primer lugar las presiones fijas que son aquellas que actúan en toda la pared del silo. En segundo, y último lugar tenemos las presiones libres que son aquellas que están aplicadas en el lugar del silo en que van a ser más dañinas.

➤ *PRESIONES FIJAS*

Las expresiones de las presiones de vaciado vienen dadas por las ecuaciones de Janssen para el llenado amplificadas por unos coeficientes:

- Presiones normales: $p_{he} = C_h * p_{hf}$
- Presiones de fricción: $p_{we} = C_w * p_{wf}$

Donde p_{hf} y p_{wf} son las presiones de llenado de Janssen.

Para silos con descarga en la parte superior: $C_h = C_w = 1$

Para silos con descarga en la parte inferior tenemos que:

$$C_h = C_0$$

$$C_w = 1,1$$

Siendo C_0 coeficiente de mayoración según las propiedades del material. (En nuestro caso, el cemento tienen un coeficiente de 1,4).

Para silos cortos y de esbeltez media se realiza unas reducciones.

➤ *PRESIONES LOCALES*

Al igual que ocurría con las presiones locales de llenado, las presiones locales de vaciado se aplican en un espesor s de la pared vertical y varían senoidalmente alrededor de la circunferencia. Sus valores son:

$$p_{pe} = 0,2 \times \beta \times p_{he}$$

Siendo
$$\beta = 1 + e_{\max} / d_c$$

Donde:

$e_{\max}$ es la excentricidad relevante, y queda definida como el máximo valor entre la excentricidad de llenado y la excentricidad de vaciado.

La distribución de presiones alrededor del silo viene dado por:

$$p_{pes} = p_{pe} \times \cos \theta$$

La presión local es equivalente a una fuerza aplicada a una profundidad z_p sobre una superficie:

$$P_{pe} = \pi * s * r * p_{pe}$$

3.3.2 PRESIONES DE VACIADO EN LA TOLVA

Las expresiones que se detallan a continuación para las presiones de descarga en la tolva son sólo válidas para el caso en el que flujo sea en masa. Pueden usarse en el caso en que el flujo sea en embudo (funnel flow) si el ángulo que define la pendiente del canal de flujo cumple lo siguiente:

$$\beta_0 \geq 0,5 * \beta_h$$

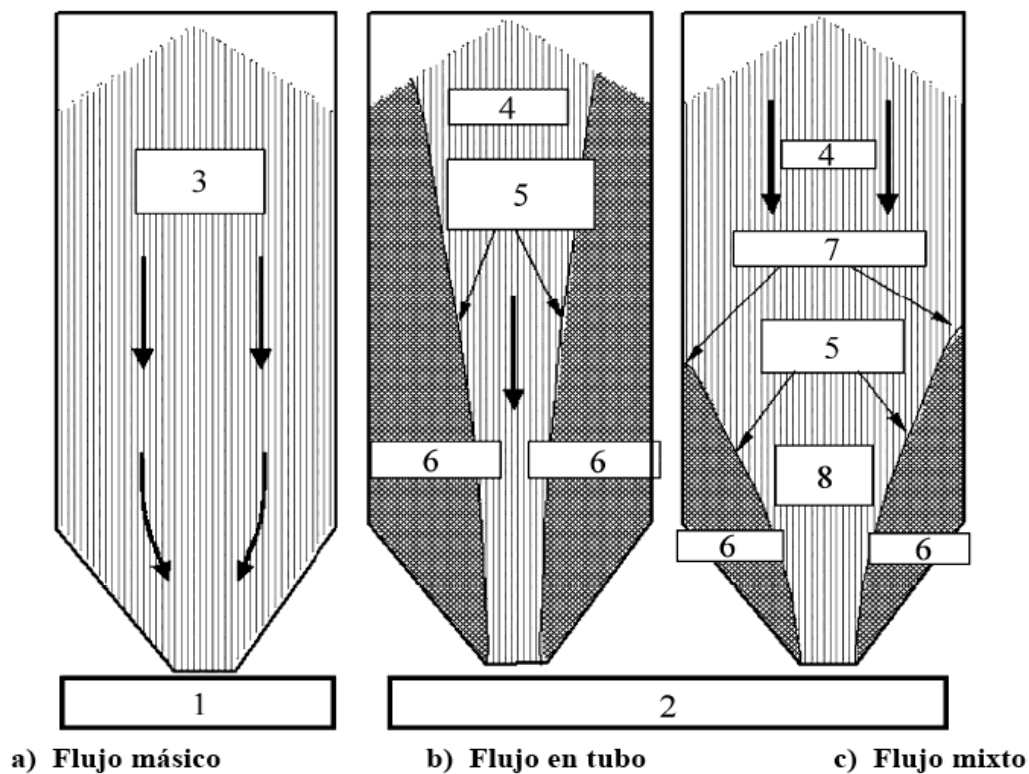


Ilustración 3. 5 Flujos

Leyenda

- 1 Flujo másico
- 2 Flujo en embudo
- 3 Todos los sólidos en movimiento
- 4 Sólidos fluyendo
- 5 Límites del canal del flujo
- 6 Material estacionario
- 7 Transición efectiva
- 8 Tolva efectiva

Las expresiones de las presiones vienen dadas por:

- Presión normal a la tolva: $p_{ne} = F_e * p_{ve}$
- Presión de rozamiento: $p_{te} = \mu_h * p_{ne}$
- Presión vertical a altura x por encima del vértice de la tolva

$$p_{vft} = \frac{\gamma * h_h}{n-1} * \left\{ \left(\frac{x}{h_h} \right) - \left(\frac{x}{h_h} \right)^n \right\} + p_{vft} * \left(\frac{x}{h_h} \right)^n$$

Donde:

$$n = 2 * (F_e * \mu * \cot \beta + F_e - 1)$$

$$F_e = \frac{1 + \sin \phi_i * \cos \varepsilon}{1 - \sin \phi_i * \cos(2\beta + \varepsilon)}$$

$$\varepsilon = \tan^{-1} \mu_h + \sin^{-1} \left\{ \frac{1}{\sin \phi_i} * \sqrt{\frac{\mu_h^2}{1 + \mu_h^2}} \right\}$$

Siendo:

h_h es la altura de la tolva

x es la coordenada vertical tomada desde el vértice de la tolva hacia arriba

β es el ángulo de inclinación de la tolva

ϕ_i es el ángulo efectivo de fricción interna del material almacenado

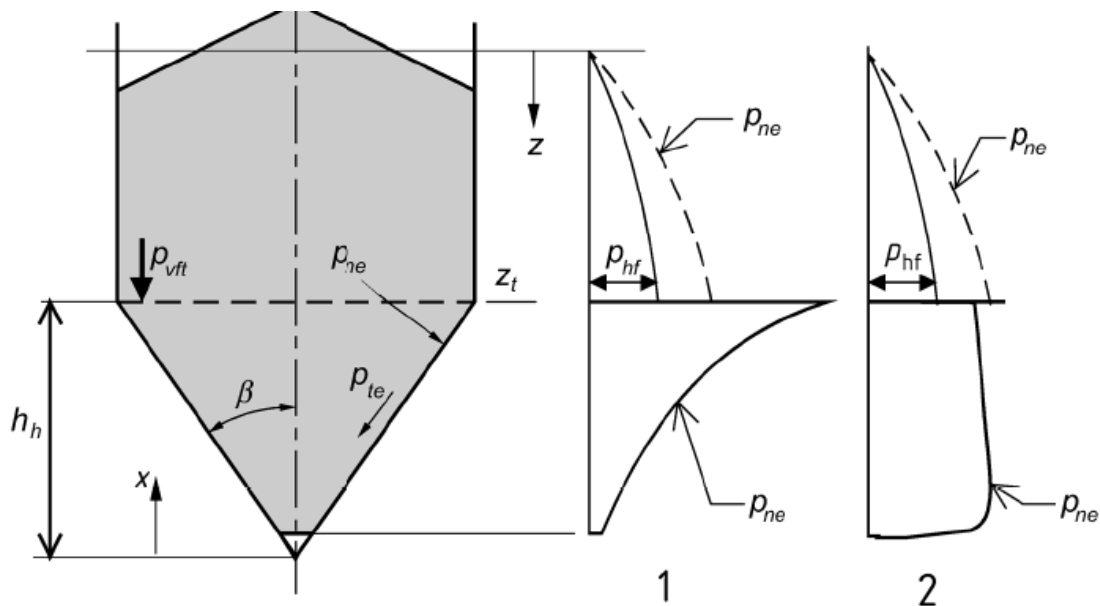


Ilustración 3. 6 Presiones y diagramas de vaciado

Leyenda

1 Aguda

2 Aplanada

3.3.3 RESULTADOS PRESIONES DE VACIADO

➤ *PRESIONES DE VACIADO EN EL CUERPO*

h(m)	z(m)	t (mm)
15	0	6
14,5	0,5	6
14	1	6
13,5	1,5	6
13	2	6
12,5	2,5	6
12	3	6
11,5	3,5	6
11	4	6
10,5	4,5	8
10	5	8
9,5	5,5	8
9	6	8
8,5	6,5	10
8	7	10
7,5	7,5	10
7	8	10
6,5	8,5	12
6	9	12
5,5	9,5	12
5	10	12
4,5	10,5	15
4	11	15
3,5	11,5	15
3	12	15
2,5	12,5	19
2	13	19
1,5	13,5	19
1	14	19
0,5	14,5	22
0	15	22

Phe(KN/m2)	Pwe(KN/m2)	ppe(KN/m2)	Fpe(KN)
0	0	0	0
7,667719814	3,205106882	1,533543963	12,04442612
14,44513159	6,038065004	2,889026318	22,69035964
20,43561005	8,542084999	4,087122009	32,1001812
25,73052695	10,75536026	5,146105389	40,41741721
30,41064477	12,71164951	6,082128953	47,76892909
34,54734856	14,4407917	6,909469711	54,26684821
38,20373477	15,96916113	7,640746953	60,01028624
41,43557364	17,32006978	8,287114727	65,08684687
44,29215986	18,51412282	8,858431973	69,57396202
46,81706448	19,56953295	9,363412895	73,54007291
49,04879942	20,50239816	9,809759884	77,04567396
51,02140497	21,32694728	10,20428099	80,14423552
52,76496896	22,05575702	10,55299379	82,88301942
54,30608566	22,69994381	10,86121713	85,30379988
55,66826147	23,2693333	11,13365229	87,44350064
56,87227344	23,7726103	11,37445469	89,33475821
57,93648615	24,21745121	11,58729723	91,00641963
58,87713186	24,61064112	11,77542637	92,48398245
59,70855808	24,95817728	11,94171162	93,78998371
60,44344641	25,2653606	12,08868928	94,9443436
61,09300599	25,5368765	12,2186012	95,96466941
61,66714444	25,77686638	12,33342889	96,86652397
62,17461899	25,98899074	12,4349238	97,66366313
62,62317007	26,17648509	12,52463401	98,36824552
63,01963935	26,34220925	12,60392787	98,99101801
63,37007411	26,48869098	12,67401482	99,54147965
63,67981948	26,61816454	12,7359639	100,0280265
63,95359995	26,73260478	12,79071999	100,4580799
64,19559144	26,83375722	12,83911829	100,8381992
64,40948501	26,92316473	12,881897	101,1741825

➤ *PRESIONES DE VACIADO EN LA TOLVA*

x(m)		pve(KN/m2)	pne(KN/m2)	pte(KN/m2)
8,3		102,2372778	154,3782895	65,45639473
8		88,5364425	133,6900282	56,68457195
7,5		69,73656138	105,3022077	44,64813606
7		55,1364354	83,25601746	35,3005514
6,5		43,88690545	66,26922723	28,09815234
6		35,26628838	53,25209546	22,57888847
5,5		28,66884635	43,28995799	18,35494219
5		23,59350234	35,62618854	15,10550394
4,5		19,63281671	29,64555324	12,56971457
4		16,46224163	24,85798487	10,53978558
3,5		13,82967335	20,88280676	8,854310066
3,3		12,88290765	19,45319056	8,248152797

Tabla 3. 4 Presiones de vaciado en la tolva

3.4 ACCIÓN EXTERNA: VIENTO

Para calcular los esfuerzos que tenemos debido al viento, vamos a seguir la normativa del Código Técnico de la Edificación, el cual nos dice:

1. La distribución y el valor de las presiones que ejerce el viento sobre un edificio y las fuerzas resultantes dependen de la forma y de las dimensiones de la construcción, de las características y de la permeabilidad de su superficie, así como de la dirección, de la intensidad y del racheo del viento.
2. Las disposiciones de este Documento Básico no son aplicables a los edificios situados en altitudes superiores a 2.000 m. En estos casos, las presiones del viento se deben establecer a partir de datos empíricos disponibles.

La acción de viento, en general una fuerza perpendicular a la superficie de cada punto expuesto, o presión estática, qe puede expresarse como:

$$q_e = q_b * c_e * c_p$$

siendo:

q_b la presión dinámica del viento. De forma simplificada, como valor en cualquier punto del territorio español, puede adoptarse 0,5 kN/m². Pueden obtenerse valores más precisos en función del emplazamiento geográfico de la obra.

c_e el coeficiente de exposición, variable con la altura del punto considerado, en función del grado de aspereza del entorno donde se encuentra ubicada la construcción. En edificios urbanos de hasta 8 plantas puede tomarse un valor constante, independiente de la altura, de 2,0.

c_p el coeficiente eólico o de presión, dependiente de la forma y orientación de la superficie respecto al viento, y en su caso, de la situación del punto respecto a los bordes de esa superficie; un valor negativo indica succión.

Presión Dinámica q_b

El valor básico de la presión dinámica del viento puede obtenerse con la expresión:

$$q_b = 0,5 * \delta * v_b^2$$

siendo

δ la densidad del aire y v_b el valor básico de la velocidad del viento.

El valor básico de la velocidad del viento corresponde al valor característico de la velocidad media del viento a lo largo de un período de 10 minutos, tomada en una zona plana y desprotegida frente al viento (grado de aspereza del entorno) a una altura de 10 m sobre el suelo. El valor característico de la velocidad del viento mencionada queda definido como aquel valor cuya probabilidad anual de ser sobrepasado es de 0,02 (período de retorno de 50 años).

La densidad del aire depende, entre otros factores, de la altitud, de la temperatura ambiental y de la fracción de agua en suspensión. En general puede adoptarse el valor de 1,25 kg/m³. En emplazamientos muy cercanos al mar, en donde sea muy probable la acción de rocío, la densidad puede ser mayor.

El valor básico de la velocidad del viento en cada localidad puede obtenerse del mapa de la figura. El de la presión dinámica es, respectivamente de 0,42 kN/m², 0,45 kN/m² y 0,52 kN/m² para las zonas A, B y C de dicho mapa.



Ilustración 3. 7 Coeficientes según la localización en España

En nuestro caso tomamos:

$$q_b = 0,5 \text{ KN/m}^2 \text{ En todo el territorio nacional.}$$

$$C_e = 2,2 \text{ Para Sevilla.}$$

$$C_0 = 0,8$$

$$\text{Tenemos entonces que: } q_e = 0,88 \text{ KN/m}^2$$

Además, para silos podemos aplicar la ecuación de Rotter que nos da la distribución de presiones en la pared vertical:

$$p_{nw}(\theta) = q_b * (a_0 + a_1 * \cos \theta + a_2 * \cos 2\theta + a_3 * \cos 3\theta + a_4 * \cos 4\theta + a_5 * \cos 5\theta) * f(x)$$

Donde:

$f(x)$ es la distribución vertical en la pared vertical. Se puede asumir igual a 1.

$a_0 - a_5$ son los coeficientes armónicos que describen la variación de la presión alrededor de la circunferencia.

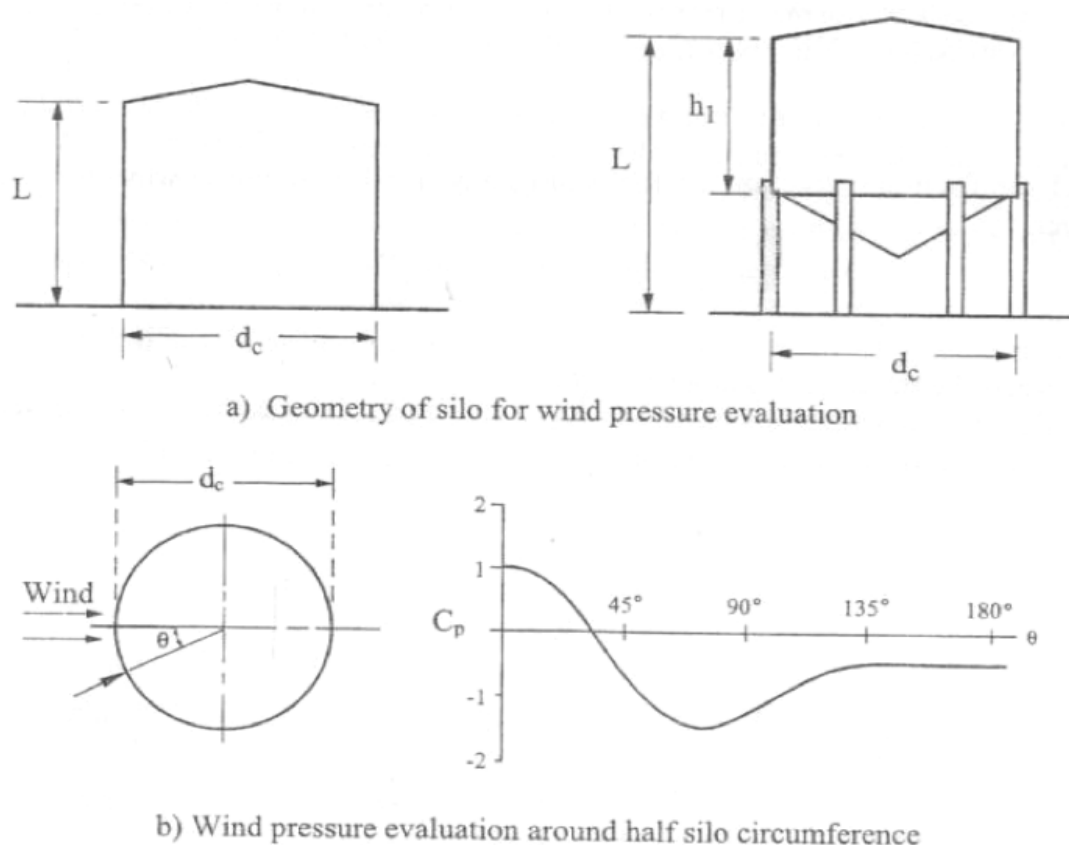


Ilustración 3.8 Distribución del viento para el silo

3.5 ACCIÓN EXTERNA: SOBRECARGA DE USO

Los valores de la sobrecarga de uso incluyen tanto los efectos derivados del uso normal, personas, mobiliario, enseres, mercancías habituales, contenido de los conductos, maquinaria y en su caso vehículos, así como las derivadas de la utilización poco habitual, como acumulación de personas, o de mobiliario con ocasión de un traslado.

Su valor se obtiene del CTE_DB-SE_AE8, buscando en la siguiente tabla:

Categoría de uso		Subcategorías de uso		Carga uniforme [kN/m ²]	Carga concentrada [kN]
A	Zonas residenciales	A1	Viviendas y zonas de habitaciones en, hospitales y hoteles	2	2
		A2	Trasteros	3	2
B	Zonas administrativas			2	2
C	Zonas de acceso al público (con la excepción de las superficies pertenecientes a las categorías A, B, y D)	C1	Zonas con mesas y sillas	3	4
		C2	Zonas con asientos fijos	4	4
		C3	Zonas sin obstáculos que impidan el libre movimiento de las personas como vestíbulos de edificios públicos, administrativos, hoteles; salas de exposición en museos; etc.	5	4
		C4	Zonas destinadas a gimnasio u actividades físicas	5	7
		C5	Zonas de aglomeración (salas de conciertos, estadios, etc)	5	4
D	Zonas comerciales	D1	Locales comerciales	5	4
		D2	Supermercados, hipermercados o grandes superficies	5	7
E	Zonas de tráfico y de aparcamiento para vehículos ligeros (peso total < 30 kN)			2	20 ⁽¹⁾
F	Cubiertas transitables accesibles sólo privadamente ⁽²⁾			1	2
G	Cubiertas accesibles únicamente para conservación ⁽³⁾	G1 ⁽⁷⁾	Cubiertas con inclinación inferior a 20°	1 ⁽⁴⁾⁽⁶⁾	2
			Cubiertas ligeras sobre correas (sin forjado) ⁽⁵⁾	0,4 ⁽⁴⁾	1
		G2	Cubiertas con inclinación superior a 40°	0	2

Tabla 3. 5 Valores de la sobre carga de uso

En nuestros cálculos vamos a tomar $5 \text{ KN}/\text{m}^2$ ya que vamos a incluir en esta carga, la SC y la carga de la nieve, ya que ésta tiene un valor en Sevilla de $0,4 \text{ KN}/\text{m}^2$, bastante pequeña.

3.6 ACCIÓN EXTERNA: SISMO

Para establecer las fuerzas que provoca el seísmo, las aceleraciones que tenemos en función de la situación y los coeficientes de seguridad que tenemos que establecer, acudimos a la “Norma de Construcción Sismorresistente (NCSR)”

En un primer lugar, debemos realizar una clasificación de la obra siendo:

1. De importancia moderada: Aquellas con probabilidad despreciable de que su destrucción pueda causar víctimas, interrumpir un servicio primario o producir daños económicos a terceros significativos.
2. De importancia normal: Aquellas que si tengan probabilidades de destrucción y ocasionar los daños mencionados anteriormente sin que se trate de un servicio imprescindible.
3. De importancia especial: Aquellas de servicios imprescindibles como: hospital, edificios de comunicaciones...

La aceleración sísmica de cálculo, a_c , se define como:

$$a_c = S * \rho * a_b$$

Donde:

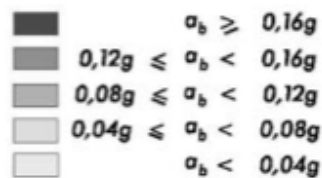
a_b es la aceleración sísmica básica y se establece por una mapa de peligrosidad en el territorio nacional.

ρ es el Coeficiente adicional de riesgo y depende del periodo de vida del proyecto y la importancia de la edificación, siendo 1 para importancia normal y 1,3 para especial.

S es el Coeficiente de amplificación y toma valor:



Ilustración 3. 9 Valores de la aceleración en España



Para $\rho * a_b \leq 0,1g \rightarrow S = \frac{c}{1,25}$

Para $0,1g \leq \rho * a_b \leq 0,4g \rightarrow S = \frac{c}{1,25} + 3,33 \left(\rho * \frac{a_b}{g} - 0,1 \right) \left(1 - \frac{c}{1,25} \right)$

Para $0,4g \leq \rho * a_b \rightarrow S = 1$

Siendo:

C es el coeficiente del terreno. Depende de las características del terreno

COEFICIENTES DEL TERRENO

TIPO DE TERRENO	COEFICIENTE C
I	1,0
II	1,3
III	1,6
IV	2,0

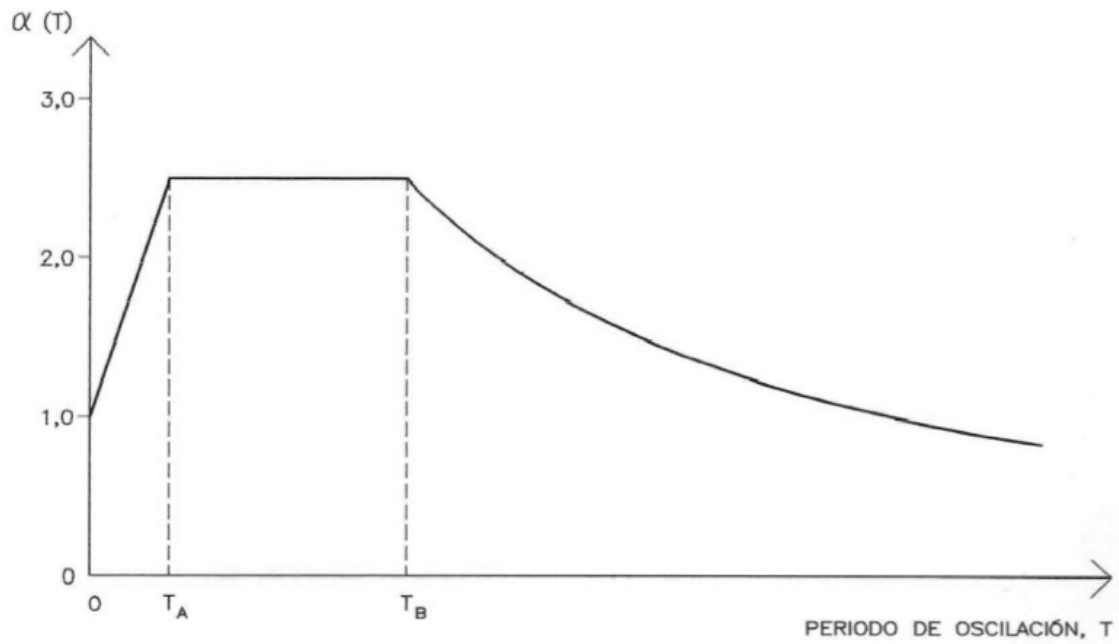
En nuestro caso tenemos que:

- $\rho = 1 \rightarrow$ Importancia normal
- $a_b = 0,07g \rightarrow$ Región de Sevilla
- $S = \frac{c}{1,25} = \frac{2}{1,25} = 1,6$
- $C = 2 \rightarrow$ Terreno tipo 4

Con estos datos obtenemos que la aceleración sísmica queda:

$$a_c = 0,112g$$

Además, la norma establece un espectro normalizado de respuesta elástica en la superficie libre del terreno, para aceleraciones horizontales, correspondiente a un oscilador lineal simple con un amortiguamiento de referencia del 5% respecto al crítico definido por:



Gráfica 3.3 Coeficiente de mayoración según el periodo de oscilación

Así que, por seguridad, multiplicaremos nuestra aceleración sísmica por el coeficiente $\alpha = 2,5$.