

LIMITACIONES DEL EUROCÓDIGO 1, PARTE 4, EN LA DETERMINACIÓN DE LAS ACCIONES DE MATERIALES AGRÍCOLAS ENSILADOS

(EUROCODE 1, PART 4, LIMITATIONS IN CALCULATION OF AGRICULTURAL SILAGED MATERIALS ACTIONS)

Francisco Ayuga Téllez¹, Pedro José Aguado Rodríguez¹, Manuel Guaita Fernández¹, Julia M^a Morán del Pozo², Andrés Juan Valdés² y Ángel Couto Yáñez²

⁽¹⁾ Dr Ingeniero Agrónomo, ⁽²⁾ Ingeniero Agrónomo

Fecha de recepción: 28-VI-00

ESPAÑA

760-14

RESUMEN

El nuevo Eurocódigo 1, parte 4, supone un gran avance en los métodos de cálculo de acciones del material ensilado en Europa y en España. Sin embargo, presenta aún limitaciones que deben corregirse, para lo cual resulta imprescindible incorporar los hallazgos realizados por los diferentes equipos de investigación que en todo el mundo trabajan para una mejor comprensión del comportamiento de los materiales ensilados y de las estructuras que los contienen.

SUMMARY

New Eurocode 1, part 4, supposes a great advance in the calculation methods of actions of silaged materials in Europe and Spain. Nevertheless, it still displays limitations that must be corrected, for which is essential to incorporate the findings made by the different research groups, which work for a better understanding of the behavior of silaged materials and their influence on the silo structure.

1. Introducción

A pesar de que el almacenamiento de productos agrícolas se realiza desde hace cientos de años, los primeros silos de gran tamaño no se construyeron hasta mediados del siglo XIX. Desde entonces se han construido miles de silos de diversas proporciones para el almacenamiento de una amplia variedad de materiales.

Muchos han sido los estudios experimentales realizados con objeto de establecer un procedimiento de cálculo de las acciones de estos materiales sobre las estructuras que los contienen. Dichos estudios han dado lugar a numerosas

normas en diferentes países en las últimas décadas. A pesar de todo ello, aún hoy en día persisten los accidentes.

En España no existe una normativa específica respecto al cálculo de acciones del material ensilado. Solamente existe una referencia en la norma NBE-AE 88 dentro del capítulo IX "Empujes del terreno", donde aparece la fórmula de Janssen, desarrollada en 1895 con este propósito.

Recientemente y basándose en el trabajo realizado por el Comité Técnico del CEN, CEN/TC250/SC1, desde 1990, se ha publicado la Norma Experimental UNE-ENV 1991-4:1997, correspondiente a la parte 4 del Eurocód-

go 1, donde se describen los principios generales y acciones para el diseño de silos y depósitos. Sin embargo, esta norma presenta aún algunas limitaciones.

2. Campo de aplicación del Eurocódigo 1, parte 4

Dentro de las limitaciones de esta parte del Eurocódigo, en primer lugar cabe mencionar las reflejadas en dicha norma, y que definen su campo de aplicación. Éstas son:

- La forma de la sección transversal de los silos se limita a las mostradas en la Figura 1.
- El llenado produce unos efectos de inercia y unas cargas de impacto despreciables.
- El diámetro máximo de las partículas del material almacenado no será mayor de $0,3 d_c$ (se trata de una errata, es $0,03$).
- El material almacenado está suelto (con baja cohesión).
- La excentricidad e_i del material almacenado debida al llenado es menor de $0,25 d_c$.
- La excentricidad e_o del centro de salida es menor de $0,25 d_c$; y ninguna parte de la salida está a una distancia mayor de $0,3 d_c$ del plano central de un silo con flujo plano, o de la línea central en los demás silos.
- Cuando se empleen mecanismos de vaciado, el flujo de material será suave y centrado, dentro de los límites de excentricidad indicados arriba.
- La transición se encontrará en un único plano horizontal.
- Se aplicarán las siguientes limitaciones geométricas:

$$\begin{aligned} h/d_c &< 10 \text{ m} \\ h &< 100 \text{ m} \\ d_c &< 50 \text{ m} \end{aligned}$$

- Cada silo se proyectará para un rango definido de propiedades de materiales granulares.
- Las normas de proyecto de depósitos se aplicarán únicamente a depósitos que almacenen líquidos a presión atmosférica normal.

Estas limitaciones excluyen un buen número de los silos que se proyectan en la actualidad y en muchos casos no están justificadas. Por ejemplo, en España se usan silos de sección trapezoidal u octogonal, no contempladas y que podrían perfectamente estar incluidas. Las harinas de trigo y los piensos son materiales cohesivos que se almacenan frecuentemente en silos. El cálculo de las acciones

puede hacerse simplificadaamente sin grandes diferencias con lo reflejado en la norma y, simplemente, deben adoptarse precauciones respecto a la formación de bóvedas en el vaciado. Las excentricidades de vaciado superan con mucha frecuencia las reflejadas en el Eurocódigo.

3. Situaciones de proyecto en el Eurocódigo 1, parte 4

Según el Eurocódigo, se considerarán las situaciones de proyecto seleccionadas y se identificarán las hipótesis críticas. Para cada hipótesis crítica de carga se determinarán los valores de proyecto de los efectos de las acciones combinadas.

Las reglas de combinación dependen de la comprobación considerada, y se identifican de acuerdo a la ENV 1991-1 "Bases del Proyecto", y, como particularización para silos y depósitos, por el anexo A de la ENV 1991-4, donde se da información adicional sobre los coeficientes parciales de seguridad para las acciones (γ) y los factores ψ que permiten obtener su valor representativo.

Las presiones se han de considerar con el máximo llenado posible, teniendo en cuenta, si fuese necesario, las acciones debidas a explosiones, al impacto de vehículos, acciones sísmicas y situaciones de fuego. Asimismo, contempla las explosiones de polvo, la fisuración, y el efecto de fatiga (silos de más de un ciclo de llenado diario).

Sin embargo, no especifica cómo se deben determinar dichas acciones, las cuales presentan características particulares para silos y depósitos y, por lo tanto, no son de aplicación los procedimientos generales para su cálculo. Muchos de estos problemas están siendo estudiados por diferentes investigadores en el mundo. En todos los casos se están empleando métodos numéricos (el método de los elementos finitos y el de los elementos discretos concretamente) y, sin embargo, en el Eurocódigo no se hace referencia a la posibilidad de su empleo, ni por supuesto se dictan condiciones para ello. En nuestra opinión ésta es una laguna muy importante del Eurocódigo, puesto que ya en la actualidad y mucho más en los próximos años, las empresas fabricantes, las consultoras de proyecto e incluso los ingenieros particulares, harán uso prioritariamente del cálculo numérico, por lo que esta normativa resultará de poca utilidad tal como está concebida.

No se considera el efecto de las acciones sísmicas que afectan al comportamiento del material ensilado aunque en el anexo C del Eurocódigo, se han recogido algunas recomendaciones. A grandes rasgos, cabría distinguir dos situaciones, los silos cortos apoyados sobre el suelo y los silos elevados (Rotter y Hull, 1985) en los primeros el material crea presiones sobre las paredes, lo que puede

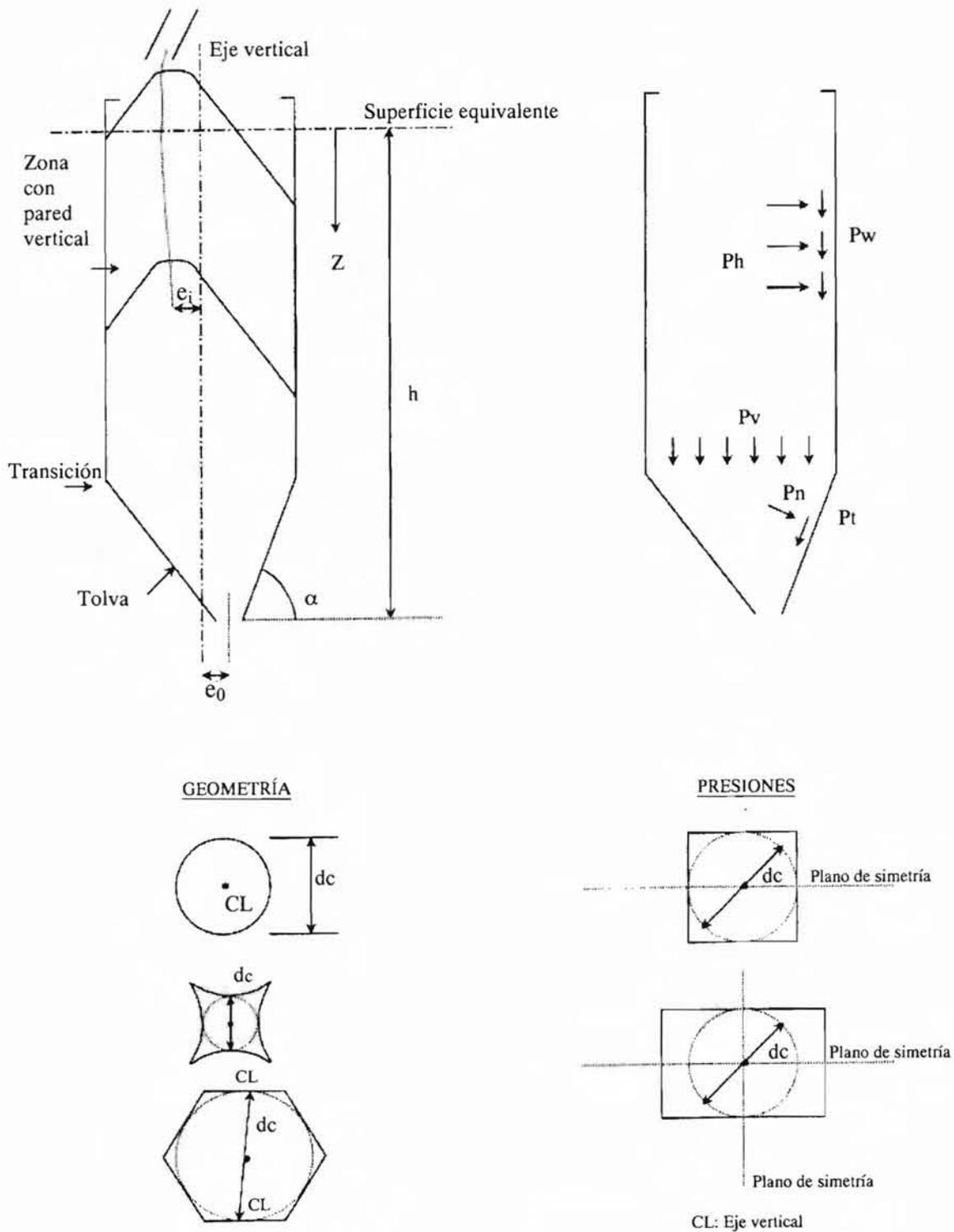


Figura 1.- Forma de las secciones transversales.

causar abolladura o pandeo, además de un momento y fuerzas resultantes en la base; mientras que, en los segundos (silos elevados), el material responde conjuntamente con la pared, afectando sólo al dimensionamiento de los soportes y la cimentación. Por otra parte, la resistencia al corte de estos materiales hace que no se comporten igual que los líquidos.

También las cargas térmicas presentan un comportamiento propio en estas estructuras. Ya algunos autores y normas, como la estadounidense (ACI 313-77 1983), establecen que en los silos se debe considerar la diferencia de temperatura entre el aire exterior y el material ensilado. Por otra parte, es un hecho probado que las contracciones y dilataciones de la pared provocan sobrepresiones (Bartali y Hatfield, 1990).

Mencionar, por tanto, el hecho, que a pesar de ser muy conocido no ha sido incluido en la norma europea, de que en los silos y, en especial, en los de chapa metálica, el efecto de las altas temperaturas puede aumentar de forma importante las cargas que se producen. La consideración de algún método que calcule, o al menos pondere, el efecto de las temperaturas sobre el silo es necesario; destacaremos dos acciones:

1.- Por un lado, el efecto de la temperatura ambiental sobre las paredes del silo provoca una importante presión añadida dependiente del material de construcción: su orden de magnitud recomienda su inclusión en el Eurocódigo (de forma, especialmente importante, en silos metálicos). El procedimiento de cálculo es simple (Theimer, citado por Safarian & Harris [1985] propone un método sencillo), y no hacen falta muchos más datos, los cuales podrían ser incluidos dentro de la propia Norma.

2.- Por otro lado existe un incremento de la presión ejercida sobre las paredes del silo, producido por el efecto de la temperatura en el material almacenado y en los gases contenidos en el espacio de cabeza. Existen estudios (Jiang & Jofriet [1987]) que demuestran la relevancia de este efecto y que proponen métodos de cálculo que permiten su cuantificación. Estos métodos requieren de cálculos matemáticos complejos (a través del Método de los Elementos Finitos) y gran cantidad de datos (precipitaciones, velocidad del viento, horas de luz, insolación, etc.), además de estar propuestos solamente para forrajes. Pese a los problemas que presenta la determinación de esta presión adicional, la importancia de su cuantía aconseja su inclusión en el cálculo.

Se puede observar, también, que no existen referencias a las acciones de viento, las cuales pueden tener importancia dependiendo de la geometría estructural del silo. Es conocido que, en silos metálicos, se debe considerar el efecto de abolladura de la chapa (Briassoulis y Pecknold, 1986).

No se mencionan las acciones a tener en cuenta en el estudio del pandeo de la pared de los silos metálicos. La consideración, o no, de la presión interior, junto con las fuerzas de rozamiento sobre la pared tiene una influencia directa sobre el modo de pandeo de la misma.

En el Eurocódigo no se considera la posibilidad de saturación de agua en materiales, tipo forraje, con gran contenido de humedad en la parte inferior del silo, como hace la norma canadiense (CFBC 1990). El CFBC (Canadian Farm Building Code) calcula una altura saturada (H_s) utilizando la expresión " $H_s=160-2M-D$ " donde M es el contenido de humedad del ensilado en % sobre materia húmeda y D el diámetro del silo en metros. En esta altura saturada (y siempre según la norma canadiense) se produce una presión hidrostática " $\gamma \cdot H_s$ " que se añade a la originada por

el propio material ensilado, incrementando esta presión de manera muy importante. Según la norma canadiense esta presión hidrostática sólo debe tenerse en cuenta cuando el contenido de humedad del forraje $M > 80 - 0,5(H_b + D)$; donde H_b es la altura de la pared del silo.

Tampoco aparece ninguna indicación sobre combinaciones de acciones en silos multicelulares, las cuales aparecen como consecuencia de los diferentes niveles de llenado de celdas e inter-celdas.

Por otro lado, el Eurocódigo no hace referencia a las particularidades en el dimensionamiento de la cimentación de los silos. En estas estructuras hemos de tener en cuenta, al contrario que en otro tipo de estructuras:

1. La sobrecarga debida al material debe considerarse siempre en su totalidad.
2. Las cargas debidas al material representan un porcentaje muy elevado con respecto a la carga total.
3. Las cargas cambian repetidamente y son distintas en llenado y vaciado.
4. En silos multicelulares con cimentación por losa, la resultante de las cargas cambiará según el llenado de las celdas.

4. Procedimiento de cálculo en condiciones de llenado

El Eurocódigo utiliza para las cargas de llenado de silos el método de Janssen de 1895, aunque con la particularidad de que la relación entre presiones horizontales y verticales, k , no se determina a partir de los ángulos de rozamiento interno y de rozamiento grano-pared como proponía Janssen. Se propugna en la norma la determinación directa de esta constante mediante ensayo del material.

$$p_w(z) = \gamma \frac{A}{U} C_z(z)$$

$$p_{hr}(z) = \frac{\gamma \cdot A}{\mu \cdot U} C_z(z)$$

$$p_v(z) = \frac{\gamma \cdot A}{K_s \cdot \mu \cdot U} C_z(z)$$

con los parámetros:

$$C_z(z) = 1 - e^{-z/z_0}$$

$$z_0 = \frac{A}{K_s \cdot \mu \cdot U}$$

donde :

z : profundidad considerada del silo.
 A : sección del silo.

U: perímetro del silo.
 γ : peso específico del material almacenado.
 μ : coeficiente de rozamiento del material y la pared.
 K_s : relación entre presiones horizontales y verticales.
 p_{wr} : presión de rozamiento con la pared durante el llenado.
 p_{hr} : presión horizontal durante el llenado.
 p_v : presión vertical.

Para el cálculo de la pared vertical se añade a la presión horizontal de Janssen una carga local actuando en cualquier parte del silo, y que es función de la excentricidad relativa de la boca de llenado.

$$p_p = 0,2 \cdot \beta \cdot p_{hr}$$

$$b = 1 + 4 \cdot \frac{e_i}{d_c}$$

donde:

p_p : presión local.
 e_i : excentricidad de la boca de llenado.
 d_c : diámetro del círculo inscrito en la sección del silo.

El hecho de que la presión local se pueda aplicar en cualquier parte de la pared, y sea sobre una pequeña superficie, complica en gran medida el dimensionamiento de las paredes. Por lo tanto, puede ser indicado utilizar, en este caso, la ayuda de los ordenadores, contando incluso con métodos numéricos, como es el Método de los Elementos Finitos, Método de los Elementos Discretos, etc. Sin embargo, no parece ser éste el espíritu de la norma, la cual no hace referencia en ningún momento a estas técnicas, que se llevan aplicando al cálculo de silos, al menos a nivel de investigación, desde los años sesenta.

En silos de hormigón, silos con rigidizadores y silos de sección transversal no circular, la presión local se considerará actuando sobre dos superficies cuadradas opuestas de lado s igual a: $s = 0,2 \cdot d_c$

No obstante, propone una aproximación simplificada, consistente en aplicar la presión local a la altura media del silo y utilizar el incremento porcentual obtenido en esa altura, para aumentar la presión en la misma medida y en cualquier otro punto de la pared del silo.

Para silos circulares de pared delgada, se complica aún más el cálculo, ya que se considera la presión en todo el perímetro del silo y una altura $0,2 \cdot d_c$ haciendo variar la presión de la forma:

$$p_{ps} = p_p \cdot \cos \theta$$

La simplificación consiste en aplicar la presión local en la posición más alta a elegir entre: z_o , medido a partir de la superficie equivalente y la mitad de la altura de las paredes verticales.

Una forma de aplicar estas simplificaciones en el caso de que no se utilicen métodos numéricos (por ejemplo, el Método de los Elementos Finitos, que facilita en gran medida este tipo de cálculos) sería tener en cuenta que dicha presión local es un vector libre, es decir que puede estar aplicada en cualquier zona de la pared del silo, por lo que se puede considerar actuando en el punto de p_{hr} máxima (cubriendo, de este modo, la hipótesis más desfavorable), lo cual equivale a incrementar p_{hr} en un porcentaje constante ($0,2 \cdot \beta$) a lo largo de toda la pared del silo. Pero esta simplificación puede provocar paredes muy gruesas que pueden no resultar económicas.

Sí parece más sencillo el método simplificado propuesto para silos en los que d_c sea menor de 5 m, donde se eliminan las presiones locales. Sin embargo, muchos silos y, en especial, aquéllos cuyo diseño es más crítico, por ser de gran tamaño, no se ajustan a esta limitación de diámetro.

El correcto cálculo teniendo en cuenta las presiones locales no puede hacerse con procedimientos convencionales. Se hace necesario el empleo de programas de cálculo basados en el método de los elementos finitos. Pero esto va en contra de lo que hemos indicado anteriormente, de que la norma no considera esta posibilidad. Se sitúa de esta forma al proyectista en un callejón sin salida para los casos en que la presión local no se pueda simplificar, que son muchos. Muy probablemente se recurrirá a procedimientos numéricos, para los cuales no hay indicaciones en la norma y esto puede provocar incluso errores de cálculo.

La Norma, hace referencia a una fuerza "Fp" originada por la presión local "p_p" en silos de acero no rigidizados, pero no se aclara cuál es el punto de aplicación de la misma, ni cuáles son los efectos en los que debe de tenerse en cuenta.

Una posible interpretación es aplicarla en el mismo punto de aplicación de la presión local, es decir en la posición más alta a elegir entre: z_o , medido a partir de la superficie equivalente o la mitad de la altura de las paredes verticales. Esta fuerza deberá tenerse en cuenta, tanto en el dimensionamiento general, como en los efectos locales que puede provocar en la chapa. Algunos investigadores (Brown and Rotter, 1998) han descrito la influencia de esta carga en el pandeo, sin embargo, no se dan soluciones al dimensionamiento debido a que las investigaciones en este tema se encuentran poco desarrolladas.

5. Procedimiento de cálculo en condiciones de vaciado

Para el cálculo de los silos en la situación de vaciado, la norma europea propone usar los valores de llenado de la siguiente manera:

$$P_{we} = C_w \cdot P_{wr}; P_{he} = C_h \cdot P_{hr}$$

C_w : coeficiente de mayoración para rozamiento.
 C_h : coeficiente de mayoración para presión horizontal.
 p_{we} : presión de rozamiento con la pared durante el vaciado.
 p_{he} : presión horizontal durante el vaciado.

Para silos esbeltos los coeficientes de mayoración serán:

$$C_w = 1,1; C_h = C_0$$

los valores de C_0 se exponen en la tabla 1, junto con las principales propiedades de los materiales más comunes.

En esta tabla se observa también un error de nomenclatura, pues se denomina densidad a lo que en realidad es peso específico. Este error no es achacable a la traducción, pues existe también en el original en inglés.

Es clara la necesidad de un coeficiente de mayoración en el caso de vaciado, sin embargo parece demostrado que su valor no se mantiene constante a lo largo de toda la pared del silo, así como tampoco se mantiene constante la relación entre presiones horizontales y verticales para condiciones de llenado y vaciado, variando también según la altura a la que se considere y al hacerlo las características del material. Todas estas circunstancias han sido ampliamente estudiadas por diferentes grupos de investigación, entre los que se encuentra también el nuestro (Aguado, 1997). En la Figura 2 se puede observar cómo existen notables diferencias en las presiones horizontales de vaciado en la tolva entre los valores indicados por el Eurocódigo y los obtenidos por el método de los elementos finitos. Los resultados de los métodos numéricos serán generalmente más precisos que los obtenidos por los métodos convencionales, pero en esa misma figura se puede apreciar la necesidad de que se den indicaciones en la norma para evitar errores como considerar mallado uniforme, que conduce a resultados menos ajustados a la realidad.

Además de esta carga habrá que considerar una carga local debida a la excentricidad del llenado o del vaciado (la que sea mayor) de la misma forma en que se hace para el caso del llenado.

$$p_p = 0,2 \cdot \beta \cdot p_{he}$$

6. Propiedades de los materiales

En el apartado de características de los materiales cabe destacar el especial tratamiento que se hace de la relación K , entre presiones horizontales y verticales, y del coeficiente μ de rozamiento entre el grano y la pared del silo.

Se reconoce que la variabilidad inherente de los materiales almacenados y las simplificaciones de modelos de carga producen diferencias entre los valores de la presión calculados y reales. Por esta razón, K y μ son mayorados o minorados con el fin de obtener la combinación más desfavorable dependiendo de la presión que estemos calculando. Por la tanto, las combinaciones de K y μ según la presión serán:

Para el cálculo de las presiones horizontales:

$$(p_h): K_s = 1,15 K_{s,m}; \mu = 0,9_{\mu m}$$

Para el cálculo de las presiones verticales:

$$(p_v): K_s = 0,9 K_{s,m}; \mu = 0,9_{\mu m}$$

Para el cálculo de las presiones de rozamiento:

$$(p_w): K_s = 1,15 K_{s,m}; \mu = 1,15_{\mu m}$$

TABLA 1
Características de los materiales ensilados

Material	Densidad y kN/m^3	Relación de presiones $K_{s,m}$	Coeficiente de rozamiento μ_m acero	Coeficiente de rozamiento μ_m hormigón	Coeficiente de mayoración de la carga C_0
Cebada	8,5	0,55	0,35	0,45	1,35
Cemento	16	0,50	0,40	0,50	1,40
Clínker cemento	18	0,45	0,45	0,55	1,40
Arena seca	16	0,45	0,40	0,50	1,40
Harina	7	0,40	0,30	0,40	1,45
Cenizas volantes	14	0,45	0,45	0,55	1,45
Maíz	8,5	0,50	0,30	0,40	1,40
Azúcar	9,5	0,50	0,45	0,55	1,40
Trigo	9	0,55	0,30	0,40	1,30
Carbón	10	0,50	0,45	0,55	1,45

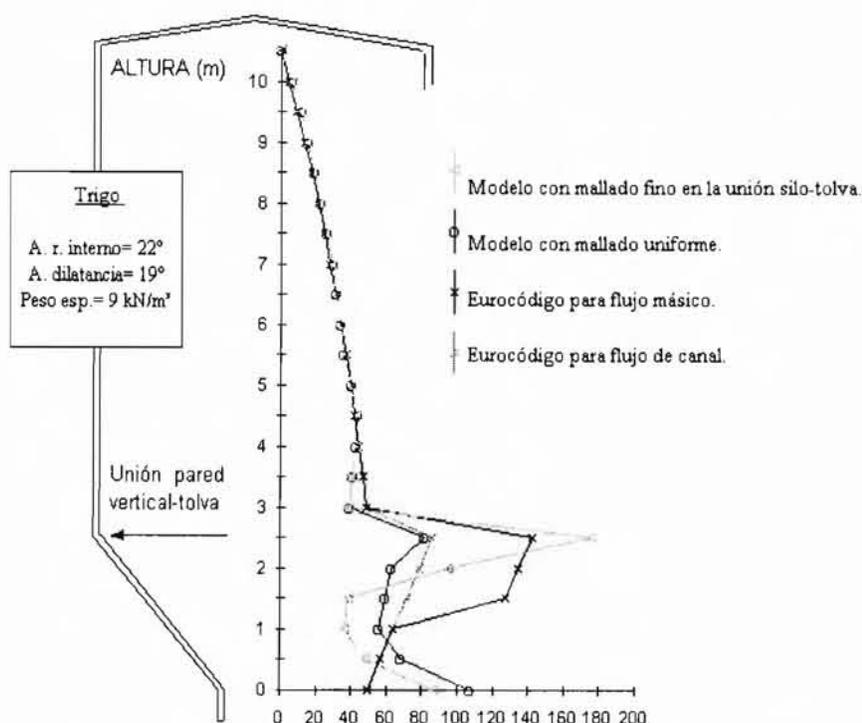


Figura 2.- Comparación de las presiones horizontales en condiciones de vaciado a través del Eurocódigo y el Método de los Elementos Finitos con distintos tipos de mallado (Aguado, 1997).

Además, se proponen métodos de ensayo para obtener las distintas propiedades mecánicas del material, resaltando la importancia de tomar una muestra representativa, y las variaciones que pueden existir dependiendo de la composición, grado de humedad, temperatura, etc. del material ensayado.

Los métodos de ensayo propuestos parecen adecuados al fin que se persigue, sin embargo, los aparatos propuestos son poco comunes, pudiéndose llegar a utilizar aparatos habitualmente empleados en laboratorios de geotecnia, con los que se pueden obtener los mismos parámetros con un grado suficiente de aproximación. Por ejemplo, en el ensayo de corte directo es mucho más común la caja de corte cuadrada que la circular, que es la que indica la norma y los resultados, con una y con otra, apenas difieren (Ayuga, García-Vaquero, Aguado y Guaita, 1997).

Por otra parte, en el Eurocódigo 1-4 no se consideran parámetros de gran influencia en las presiones sobre las paredes: éstos son el coeficiente de Poisson, el ángulo de dilatación y el módulo de elasticidad (Aguado, Ayuga y Guaita, 1997) (Figura 3). Estos parámetros no son necesarios si se emplean los métodos tradicionales de cálculo, pero si se revisa la norma en el sentido que proponemos en este artículo, introduciendo limitacio-

nes y criterios para el cálculo con modelos de elementos finitos y elementos discretos, será necesario dar también instrucciones relativas a su determinación. Repetidamente ha sido demostrada su importancia en el cálculo de las acciones del material ensilado (Zhang, Britton y Xu, 1994).

Dentro de las limitaciones que presenta el estudio de los materiales en el Eurocódigo, además cabría resaltar la no consideración de algunos materiales de importancia y que requieren un tratamiento especial, como es el caso de silos de forraje (ya mencionado anteriormente).

7. Conclusiones

El nuevo Eurocódigo 1, parte 4, supone un gran avance en los métodos de cálculo de acciones del material ensilado en Europa y en España. Sin embargo, presenta aún limitaciones que deben corregirse, para lo cual resulta imprescindible incorporar los hallazgos realizados por los diferentes equipos de investigación que en todo el mundo trabajan para una mejor comprensión del comportamiento de los materiales ensilados y de las estructuras que los contienen. Entre las distintas limitaciones destacaremos:

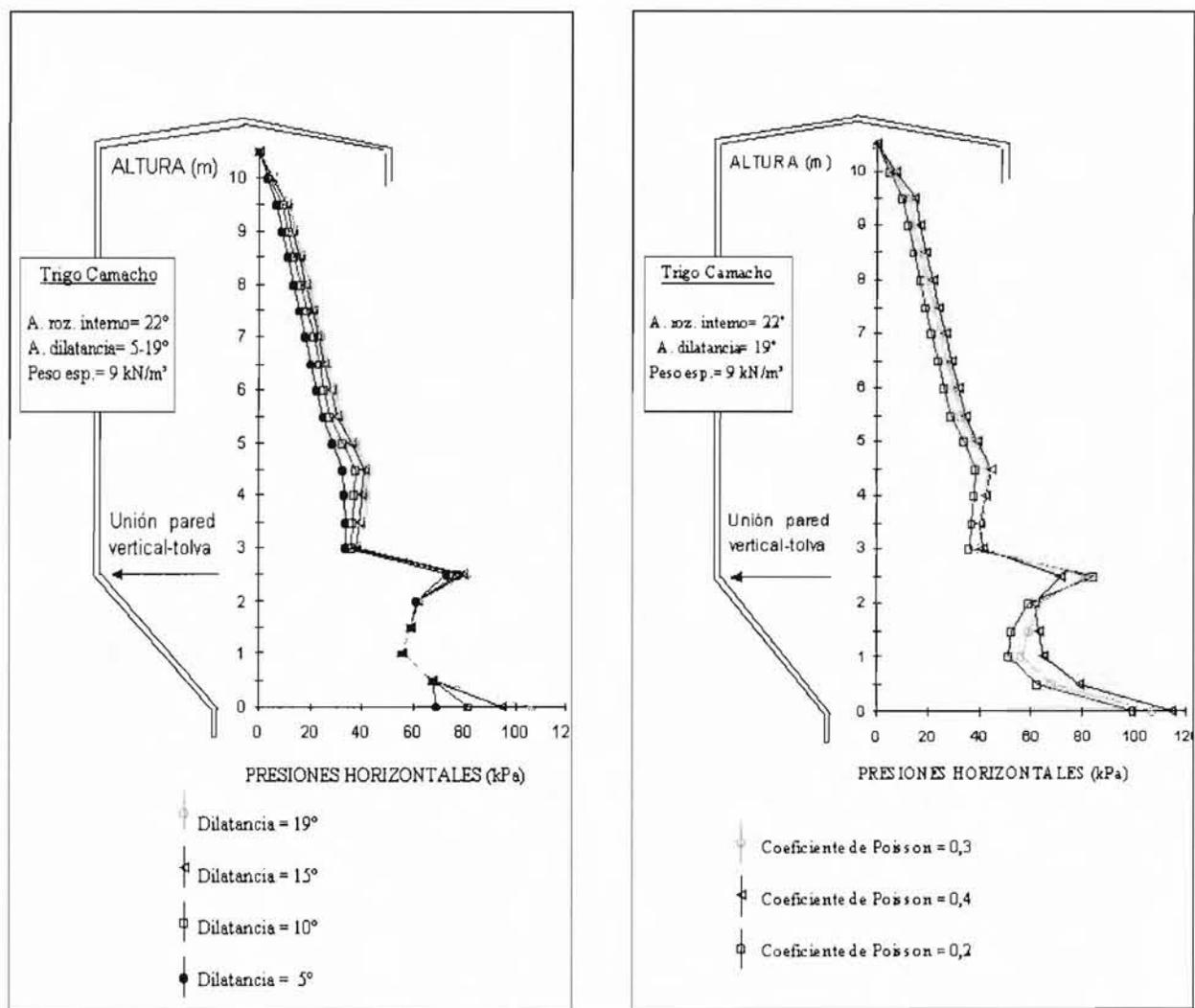


Figura 3.- Efecto del ángulo de dilatación y el coeficiente de Poisson sobre las presiones horizontales (Aguado, 1997).

- Existen imprecisiones en la redacción del documento actual.
- No se considera la posibilidad de emplear métodos numéricos de cálculo y, por tanto, no se dan indicaciones al respecto.
- No se considera el efecto que la temperatura ambiental produce en las paredes del silo.
- No se considera el efecto de la temperatura en el material almacenado y en los gases contenidos en el espacio de cabeza.
- No existen referencias a las acciones del viento.
- No se mencionan las acciones a tener en cuenta en el estudio del pandeo.
- No se considera el comportamiento de materiales tipo forraje.
- No existe descripción para la combinación de acciones en silos multicelulares.
- No se hace referencia a ciertas particularidades en el dimensionamiento de la cimentación de los silos.

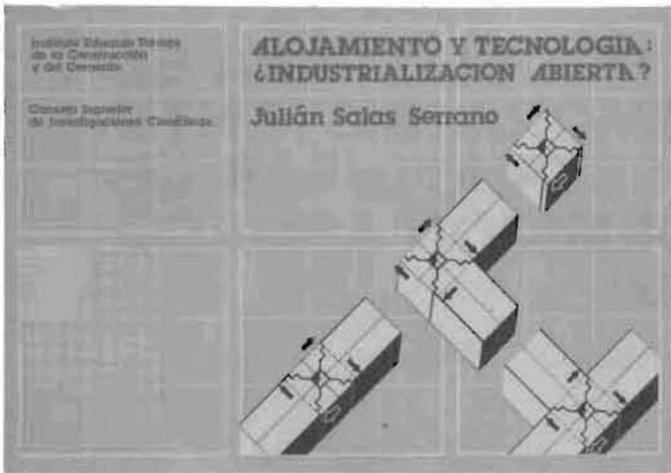
BIBLIOGRAFÍA

- (1) ACI 313-77. "Recommended practice for design and construction of concrete bins, silos, and bunkers". American Concrete Institute. Detroit. EE UU, 1983
- (2) Aguado, P. J., Ayuga F. y Guaita M. "Métodos de Cálculo de Sobrepresiones de Vaciado en Silos Agrícolas Mediante la Técnica de los Elementos Finitos" Actas del XIII Congreso Nacional de Ingeniería de Proyectos, I, 43-50. Sevilla, noviembre de 1997
- (3) Aguado, P. J. "Métodos avanzados de cálculo de presiones en silos agrícolas mediante la técnica de elementos finitos. El vaciado de silos y las paredes de chapa ondulada" Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, 1997.
- (4) Ayuga, F., García-Vaquero E., Aguado P. J., y Guaita M., "Determinación de las características de los materiales necesarias para el diseño de los silos agrícolas" Actas del XIII Congreso Nacional de Ingeniería de Proyectos, I, 29-36. Sevilla, noviembre de 1997.

- (5) Bartali, H. y Hatfield, F. J. "Forces in Cylindrical Grain Silos Caused by Decreasing Ambient Temperature" ACI Structural Journal, 87, 10-116, 1990.
- (6) Briassoulis, D. y Pecknold, D. A. "Behaviour of Empty Steel Grain Silos Under Wind Loading" Int. Journal of Engineering Structures, 8, 260-275, 1986.
- (7) Brown, C.J. y Nielsen, J. "Silos Fundamentals of Theory, behaviour and design" ed. London, E&FN SPON, 1998.
- (8) CFBC "Canadian Farm Building Code" National Research Council of Canada, Ottawa, Canada, 1990.
- (9) Jiang, S. y Jofriet, J. C. "Simulation of heat transfer in a tower silo by finite element method" ASAE. Baltimore, junio 28-julio 1, 1987.
- (10) Norma Europea Experimental UNE-ENV 1991-4:1997. "Acciones en Silos y Depósitos" AENOR. Madrid, 1998.
- (11) Rotter, J. M. y Hull, T. S. "Wall Loads in Squat Steel Silos During Earthquakes" Research Report No.R509 School of Civil and Mining Engineering. Universidad de Sydney, 1985.
- (12) Safarian, S. S., Harris, E. C. (1985) "Design and construction of silos and bunkers". Ed. Van Nostrand Reinhold Company.

* * *

Publicaciones del Instituto Eduardo Torroja-CSIC



**ALOJAMIENTO Y TECNOLOGIA:
¿INDUSTRIALIZACION ABIERTA?**
Julián Salas Serrano

**ALOJAMIENTO Y TECNOLOGIA:
¿INDUSTRIALIZACION ABIERTA?**
JULIAN SALAS, ING. IND. (I.E.T.c.c.)

Un volumen de 160 páginas, 109 figuras y 16 tablas. Tamaño 240 x 168 mm. Encuadernado en rústica.

SUMARIO:
Prólogo Prof. G. Ciribini.

Introducción

Capítulo 1.—La industrialización en las proclamas y manifiestos de arquitectura.

Capítulo 2.—¿Réquiem por la construcción industrializada?

Capítulo 3.—Algunos conceptos básicos.

Capítulo 4.—¿Proyecto tradicional, construcción industrializada?

Capítulo 5.—Componentes.

Capítulo 6.—La coordinación dimensional hoy.

Capítulo 7.—Flexibilidad, intercambiabilidad y catálogos.

Capítulo 8.—Industrialización, normativa y calidad.

Capítulo 9.—Reflexiones finales.

**publicación del
INSTITUTO EDUARDO TORROJA**