

# Estudio de la influencia de la variación de los parámetros elásticos en las presiones estáticas en silos cilíndricos con tolva excéntrica

ANGEL COUTO YAÑEZ (\*), MANUEL GUAITA FERNÁNDEZ (\*\*), FRANCISCO AYUGA TÉLLEZ (\*\*\*)

**RESUMEN** En este artículo se realiza un estudio del factor  $k$  (relación entre presiones horizontales y verticales), además de la influencia en la variación de los parámetros del material ensilado: coeficiente de rozamiento grano pared y coeficiente de Poisson, con el ánimo de determinar su influencia en los empujes en silos cilíndricos con tolva excéntrica en conjunción con la excentricidad variable de la boca de salida.

Para ello hemos hecho un análisis en tres dimensiones con el programa de elementos finitos ANSYS 5.5, con licencia universitaria.

De dicho estudio podemos concluir, a modo de resumen, que el factor  $k$  no es constante en la pared del silo sufriendo variaciones en altura además de variaciones debidas a la excentricidad de la tolva, en cuanto al rozamiento grano pared concluimos que para grandes excentricidades y coeficientes de rozamiento grano-pared altos, las máximas presiones normales a la pared, en el lado opuesto al desplazamiento de la tolva, dejan de situarse en el punto de unión silo-tolva y pasan a zonas intermedias de la misma, por otra parte, del estudio del coeficiente de Poisson deducimos que al disminuir éste, ejerce mayor influencia en los empujes la variación de la excentricidad de la tolva, aumentando, por tanto, la sensibilidad a la excentricidad al disminuir el coeficiente de Poisson.

## STUDY OF THE INFLUENCE OF THE ELASTIC PARAMETERS VARIATION ON STATIC PRESSURES OF CYLINDRIC SILOS WITH ECCENTRIC HOPPER.

**ABSTRACT** *In this paper a study of  $k$  factor (relationship between horizontal to vertical pressures) in addition with the influence of the elastic parameters variation of the bulk solid have been developed. The parameters analysed are grain-wall friction coefficient and Poisson coefficient, aiming to determine its influence on pressures over cylindrical silos with eccentric hopper simultaneously with the variation of eccentricity of the exit outlet.*

*A 3-D analysis with ANSYS 5.5 programme (University licence) has been achieved.*

*From present study can be concluded, as a summary, that  $k$  factor it is not constant along the silo wall. It has been observed variations with height besides the hopper eccentricity variation. As for grain-wall friction it can be concluded that for greater eccentricities and greater grain-wall friction coefficients the maximum pressures normal to the wall on the opposite to eccentricity wall are not placed in the silo-hopper junction as usual, moving to an intermediate zone of the hopper. From the Poisson coefficient analysis can be concluded that a smaller value means a greater influence in pressures of the hopper eccentricity.*

**Palabras clave:** Método de los elementos finitos; Silo; Tolva excéntrica.

## 1. INTRODUCCIÓN

En este artículo se realiza un estudio del factor  $k$  (relación entre presiones horizontales y verticales), además de la influencia en la variación de los parámetros del material ensilado: coeficiente de rozamiento grano pared y coeficiente de

Poisson, con el ánimo de determinar su influencia en los empujes en silos cilíndricos con tolva excéntrica en conjunción con la excentricidad variable de la boca de salida.

En Europa las acciones en silos se recogen en la Norma Europea (Eurocódigo 1. Parte IV. Acciones en silos y depósitos) [7], sin proponer método alguno de cálculo cuando la boca de salida es excéntrica, limitándose a mencionar que la excentricidad de ésta no debe de ser mayor del 25% del diámetro y mencionando que en un futuro se intentará que cubra las grandes excentricidades. En este trabajo se pretende ir mas allá del Eurocódigo, analizando mediante el M.E.F., además de la influencia de la excentricidad de la boca de salida en los empujes, su interrelación con otros parámetros del material ensilado. Se usa para ello un silo cilíndrico.

(\*) Doctor Ingeniero Agrónomo. Profesor Asociado. Universidad Politécnica de Madrid. E.T.S.I. Agrónomos. Departamento de Construcción y Vías Rurales.

(\*\*) Doctor Ingeniero Agrónomo. Profesor Titular. Universidad de Santiago de Compostela. E.P.S. Campus de Lugo. Departamento de Ingeniería Agroforestal.

(\*\*\*) Doctor Ingeniero Agrónomo. Profesor Titular. Universidad Politécnica de Madrid. E.T.S.I. Agrónomos. Departamento de Construcción y Vías Rurales.

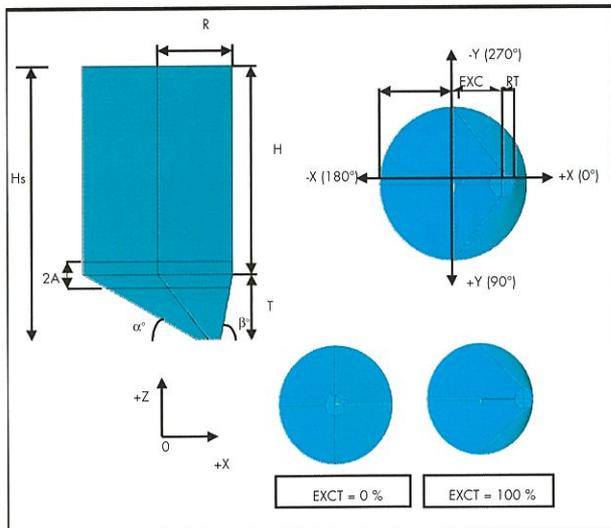


FIGURA 1. Geometría del modelo.

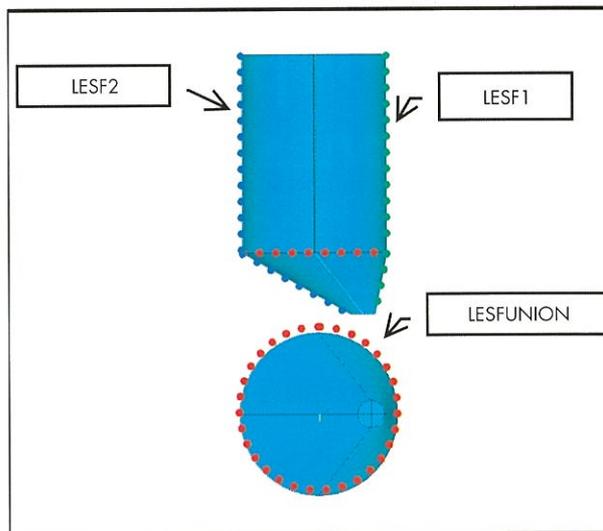


FIGURA 2. Linearización de esfuerzos en el silo.

En éste trabajo se ha desarrollado un modelo de silo en tres dimensiones, usando el programa ANSYS 5.5, basado en el método de los elementos finitos.

## 2. GENERACIÓN DEL MODELO

Para el análisis de los empujes estáticos en silos cilíndricos con tolvas excéntricas, pared rígida y comportamiento elasto-plástico del material almacenado y sin pérdida de generalidad en los resultados se ha simulado un silo con las siguientes dimensiones:

- Altura del silo:  $H_s = 10,5 \text{ m.}$
- Altura de la tolva:  $T = 2,5 \text{ m.}$
- Altura del cilindro:  $H = 8 \text{ m.}$
- Radio del silo:  $R = 3 \text{ m.}$
- Ancho de la franja de unión silo tolva, con malla más fina para disminuir la el % de energía del error de mallado:  $2A = 1 \text{ m.}$

- Radio de la boca de salida:  $R_t = 0.5 \text{ m.}$
- Excentricidad de la tolva (%):  $EXCT = \text{variable (0\% - 100\%)}$
- Angulo que forman las generatrices de la tolva situadas en el plano XZ, con la horizontal.  $\alpha, \beta = \text{variable (según excentricidad de la tolva.)}$

Ver figuras 1 y 2.

En la simulación del rozamiento se emplea el rozamiento **SUPERFICIE A SUPERFICIE**. Para simular el mismo, tras la generación y mallado de los volúmenes que representan el material almacenado, seleccionamos las áreas del contorno del cilindro (áreas de rozamiento del grano con la pared) y generamos una áreas paralelas a una distancia de una décima de milímetro, las cuales simularán la pared del silo. Esta separación se cubre con los elementos de rozamiento, de forma que no existe discontinuidad de materiales. Ver figura 3.

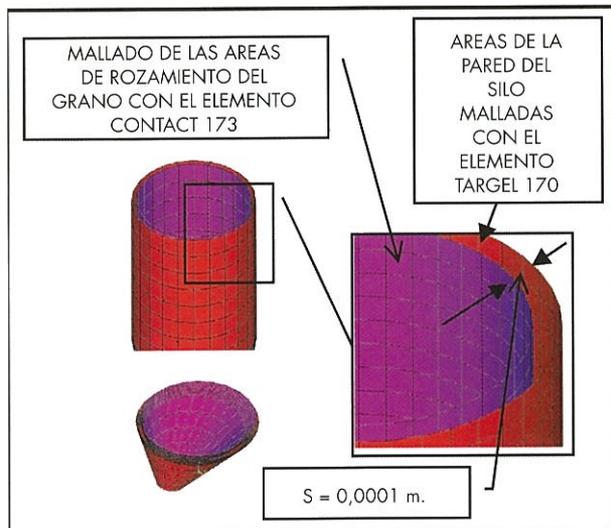


FIGURA 3. Mallado del Rozamiento.

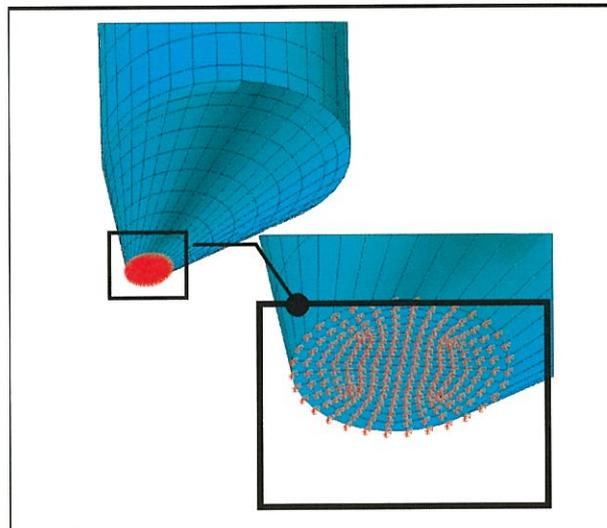


FIGURA 4. Coacción de los nodos de la boca de salida.

En cuanto a las condiciones de contorno, seleccionamos los nodos del fondo del silo y los coaccionamos en las tres direcciones del espacio. Ver figura 4.

Para el estudio de empujes en los silos con tolvas con distintas excentricidades, se generan tres linearizaciones del esfuerzo (LESF1, LESF2 y LESFUNION), ver figura 2. Para cada una de ellas se obtienen los resultados de presiones horizontales y verticales.

### 3. ANÁLISIS DEL FACTOR K, RELACIÓN ENTRE PRESIONES HORIZONTALES Y VERTICALES

El factor k viene dada por el cociente entre las presiones horizontales y verticales:

$$k = Ph/Pv$$

Es interesante analizar ésta ecuación, pues nos da una idea de la transferencia de carga a las paredes.

Partiendo de la ecuación de Janssen<sup>[9]</sup> tal y como propugna el Eurocódigo<sup>[7]</sup>, la discusión fundamental radica en los valores que debe tomar la relación entre las presiones horizontales y verticales. Al margen de esta discusión la otra simplificación radica en considerarla constante a lo largo de todo el silo. Sólo los hermanos Reimbert<sup>[12]</sup> parten para la deducción de sus ecuaciones de la no constancia del factor k.

#### 3.1. RESULTADOS

En la figura 6 podemos ver las curvas de variación del factor k en LESF1 y LESF2 al variar la excentricidad de la boca de salida. Si analizamos su valor en el punto de unión silo-tolva, del mismo lado al desplazamiento de la boca de salida (LESF1), comprobaremos que éste va en aumento hasta una excentricidad del 60%, y después disminuye, hasta situarse, para una excentricidad del 100%, en un valor coincidente con el valor propuesto por el Eurocódigo, éste hecho se debe a que en la unión silo-tolva en LESF1 la presión horizontal va en aumento hasta una excentricidad del 60% y a partir de ahí, para mayores excentricidades disminuye en este punto al redistribuirse los máximos de Ph en la unión silo tolva, pero en los laterales próximos a LESF1.

Observando las curvas de variación del factor k con la excentricidad del lado opuesto al desplazamiento de la boca de salida (LESF2) podemos ver que las oscilaciones de la curva son menores que en LESF1. Por otra parte, la tendencia del valor k, tanto en la pared del cilindro como en la de la tolva, es a disminuir al aumentar la excentricidad de la tolva.

También se observa, de este lado, que los valores son menores que los propuestos por el Eurocódigo, excepto en una zona de la tolva próxima a la boca de salida en tolva centrada.

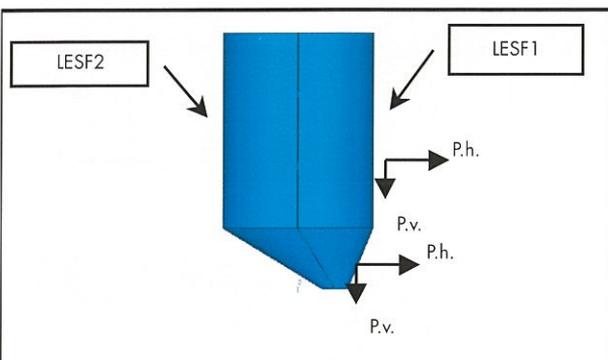


FIGURA 5. Presiones horizontales y verticales en la pared del cilindro y de la tolva.

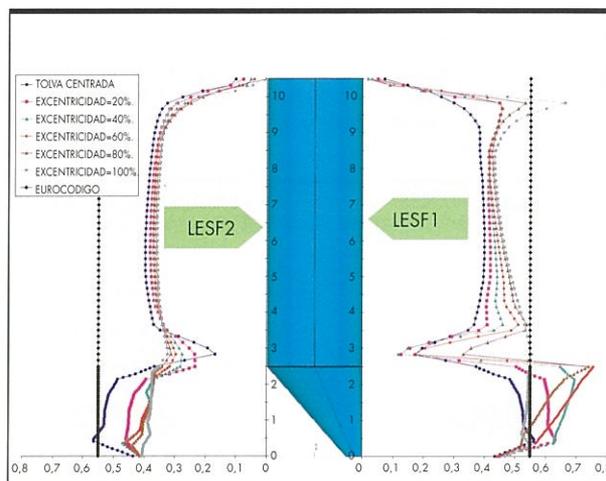


FIGURA 6. Relación entre presiones horizontales y verticales (PH/PV).

Si observamos el punto de unión silo tolva en LESF2, podemos comprobar que el factor k disminuye al aumentar la excentricidad, que en este punto la presión horizontal disminuye con la excentricidad, mientras que la vertical sufre un descenso mucho menos acusado.

### 4. INFLUENCIA DEL ROZAMIENTO GRANO PARED

Este parámetro fue ya considerado en los primeros métodos de cálculo de silos desarrollados a finales del siglo pasado (JANSSEN 1895, AIRY 1897)<sup>[4,9]</sup>, es trascendente a la hora de determinar la transferencia de cargas del material ensilado a la parte inferior del silo, y las compresiones que se producen en la pared como consecuencia del rozamiento del grano con la misma. Su determinación se puede hacer mediante ensayos de corte del grano contra el material de la pared.

El rozamiento grano-pared es un parámetro que influye en los empujes, disminuyendo la presión normal a la pared del silo a medida que aumenta dicho coeficiente.

En este apartado se realiza el estudio de la variación de los empujes en la pared del silo al variar el coeficiente de rozamiento grano-pared en conjunción con la variación de la excentricidad de la tolva. Para ello se han obtenido los empujes estáticos en un silo cilíndrico con tolva, variando la excentricidad de la tolva y estudiando para cada excentricidad los empujes obtenidos al variar el coeficiente de rozamiento grano-pared.

Para su estudio se ha tenido en cuenta que el rango de valores propuesto por el Eurocódigo para dicho coeficiente en los productos agrícolas es el siguiente: Trigo: 0,30-0,40; Cebada: 0,35-0,45; Trigo: 0,30-0,40.

#### 4.1. RESULTADOS

En las figuras 7 a 9 se muestran las curvas de los empujes normales a la pared en LESF1 y LESF2 variando el coeficiente de rozamiento grano-pared para distintas excentricidades. Como era de esperar, los empujes perpendiculares a la pared del silo, para la misma excentricidad, disminuyen al aumentar el coeficiente de rozamiento grano-pared.

Del mismo lado al desplazamiento de la boca de salida (LESF1), para los tres valores del coeficiente de rozamiento considerados se puede observar que la tendencia de las curvas es similar, disminuyendo los empujes al aumentar la excentricidad.

Del lado opuesto al desplazamiento de la tolva, es decir en LESF2, las presiones normales a la pared aumentan al aumentar la excentricidad de la tolva, sin embargo, mientras que para  $\mu = 0.25$  las máximas presiones se sitúan en el punto de unión silo tolva, observándose una disminución muy

acusada entre los 2,5 m. y los 2 m. de altura en todas las excentricidades analizadas, para  $\mu = 0.4$  ese descenso inicial en la tolva es mucho menos acusado a medida que aumenta la excentricidad, llegando, para  $\mu = 0.5$  y para excentricidades del 80% y 100% a cambiar la tendencia de la curva, produciéndose los mayores empujes en zonas intermedias de la tolva. De ésta observación deducimos que para grandes excentricidades (> 60%) y coeficientes de rozamiento grano-pared altos ( $\mu > 0.4$ ) las máximas presiones normales a la pared en LESF2 dejan de situarse en el punto de unión silo-tolva, pasando a zonas intermedias de la tolva.

En la tabla 1. se muestran las diferencias en los empujes en el punto de unión silo tolva de LESF1 y LESF2, de haber considerado  $\mu = 0.25$  ó  $\mu = 0.4$ , y en la tabla 2 las diferencias de considerar  $\mu = 0.25$  ó  $\mu = 0.5$  (se consideran en ambas tablas los empujes para  $\mu = 0.25$  como el 100%).

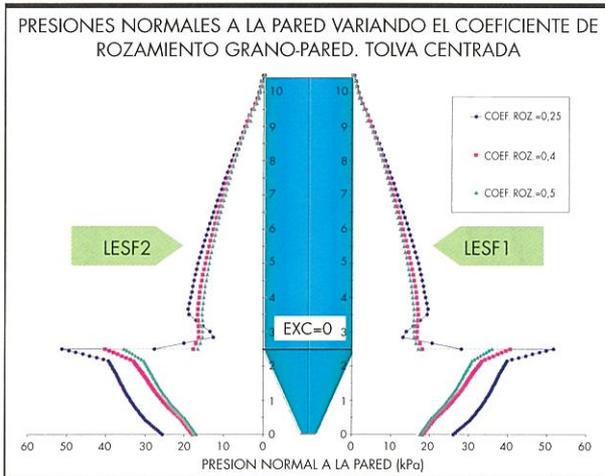


FIGURA 7.

### 5. INFLUENCIA DEL COEFICIENTE DE POISSON

En este apartado analizaremos la variación de los empujes sobre la pared del silo al variar el coeficiente de Poisson junto con la excentricidad de la tolva.

Para ello, se han obtenido los empujes estáticos para un silo cilíndrico con tolva variando la excentricidad de la misma y para cada excentricidad, ensayado con diferentes coeficientes de Poisson.

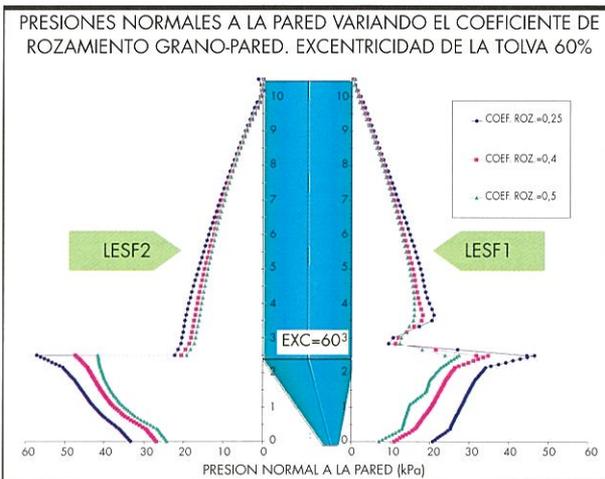


FIGURA 8.

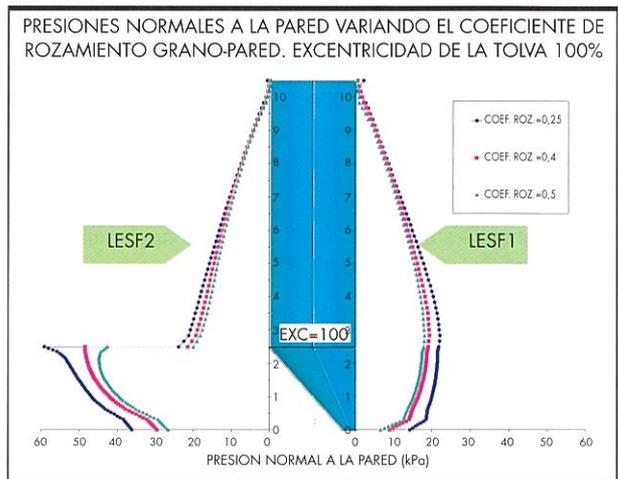


FIGURA 9.

**TABLA 1.** Variación en % de la presión normal a la pared de la tolva, en el punto de unión silo tolva entre considerar  $\mu = 0.25$  y  $\mu = 0.4$ .

EXCENTRICIDAD	0 %	20 %	40 %	60 %	80 %	100 %
Diferencias en LESF1 entre $\mu=0.25$ y $\mu=0.4$	-21,41%	-29,54%	-27,73%	-25,26%	-20,03%	-12,49%
Diferencias en LESF2 entre $\mu=0.25$ y $\mu=0.4$	-21,41%	-13,94%	-16,05%	-17,16%	-17,57%	-18,01%

**TABLA 2.** Variación en % de la presión normal a la pared de la tolva, en el punto de unión silo tolva entre considerar  $\mu = 0.25$  y  $\mu = 0.5$ .

EXCENTRICIDAD	0 %	20 %	40 %	60 %	80 %	100 %
Diferencias en LESF1 entre $\mu=0.25$ y $\mu=0.5$	-30,44%	-37,05%	-42,68%	-41,39%	-31,51%	-18,66%
Diferencias en LESF2 entre $\mu=0.25$ y $\mu=0.5$	-30,44%	-22,82%	-25,04%	-26,8%	-28,72%	-27,83%

El coeficiente de Poisson ( $\nu$ ) es un parámetro del material ensilado que no se usa en los cálculos convencionales de silos, sin embargo en cualquier análisis basado en el M.E.F. resulta imprescindible junto con el módulo de elasticidad.

En un ensayo sin deformación lateral,  $\nu$  es constante y toma un valor de:

$$\nu = \frac{\kappa}{1-\kappa}$$

Siendo  $\kappa$  la relación entre presiones horizontales y verticales.

Para este estudio concreto, si tomamos como referencia los ensayos experimentales realizados por P. Aguado (1997)<sup>[2]</sup> para su tesis doctoral, ( $\nu$  varía para granos agrícolas entre 0,28 y 0,32) y por otra parte, dado que es un parámetro que se encuentra en función de  $\kappa$ , y los valores propuestos para  $\kappa$  en el Eurocódigo 1. Parte IV. Acciones en silos y depósitos<sup>[7]</sup>, se encuentran entre 0,45 y 0,63 lo cual nos da un rango de valores de  $\nu$  entre 0,31 y 0,39, hemos elegido para nuestro análisis unos valores de  $\nu$  entre 0,2 y 0,4 para cubrir un rango amplio de posibilidades.

### 5.1. RESULTADOS OBTENIDOS

En las figuras 10, 11 y 12 se muestran las curvas de presiones normales a la pared del silo en LESF1 y LESF2 para cada excentricidad al variar el coeficiente de Poisson.

Para los tres coeficientes de Poisson analizados, las presiones normales a la pared aumentan del lado opuesto al desplazamiento de la boca de salida (LESF2), al aumentar la excentricidad de la tolva, sin embargo, mientras que para  $\nu = 0,2$  las máximas presiones se sitúan en el punto de unión silo-tolva, observándose una disminución muy acusada entre los 2,5 m. y los 2 m. de altura en todas las excentricidades analizadas, para  $\nu = 0,3$  ese descenso inicial en la tolva es mucho menos acusado a medida que aumenta la excentricidad, llegado, para  $\nu = 0,4$  y para excentricidades entre el 40% y 100%, a cambiar la tendencia de la curva, produciéndose los mayores empujes en zonas intermedias de la tolva. De ésta observación deducimos que para excentricidades mayores del 40% y coeficientes de Poisson altos las máximas presiones normales a la pared en LESF2 dejan de situarse en el punto de unión silo-tolva, pasando a zonas intermedias de la tolva.

Por otra parte, también podemos observar que, en la pared del cilindro y en la pared de la tolva los empujes aumentan al aumentar el coeficiente de Poisson, mientras que en la unión silo-tolva y zonas próximas a ella el efecto es inverso, disminuyendo las presiones al aumentar el coeficiente de Poisson.

Dado este cambio en la tendencia de los empujes en distintas zonas de la pared del silo, y dada la importancia de éste parámetro, optamos por realizar un estudio de la variación de los mismos en la unión silo-tolva.

**Empujes en la unión silo-tolva.** En la figura 13 se muestran las curvas de empujes normales a la pared de la tolva en la unión silo-tolva. En ellas se puede ver la variación de los empujes en LESF1 y LESF2 al variar la excentricidad de la tolva para distintos coeficientes de Poisson. Según se desprende de las mismas, los empujes, para un mismo coeficiente de Poisson son mayores en LESF2 aumentando en este punto a medida que aumenta la excentricidad de la tolva, mientras que en LESF1 disminuyen con la excentricidad.

Ahora bien, si comparamos los empujes para una misma excentricidad y distintos coeficientes de Poisson, éstos disminuyen a medida que aumenta el coeficiente de Poisson, efecto inverso al observado en la pared del cilindro.

Por otra parte, para el mismo coeficiente de Poisson, las mayores diferencias en los empujes entre LESF1 y LESF2 se

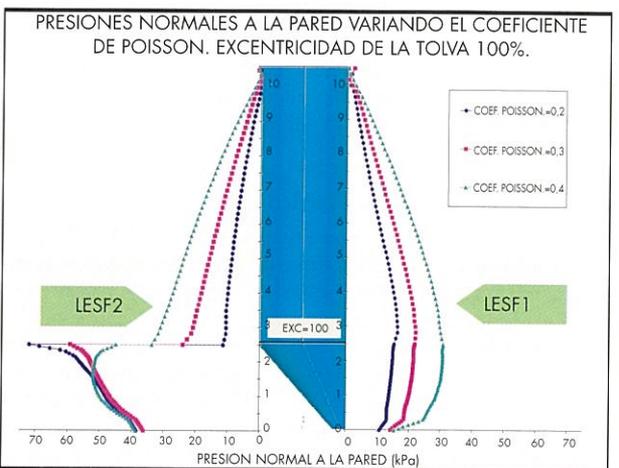
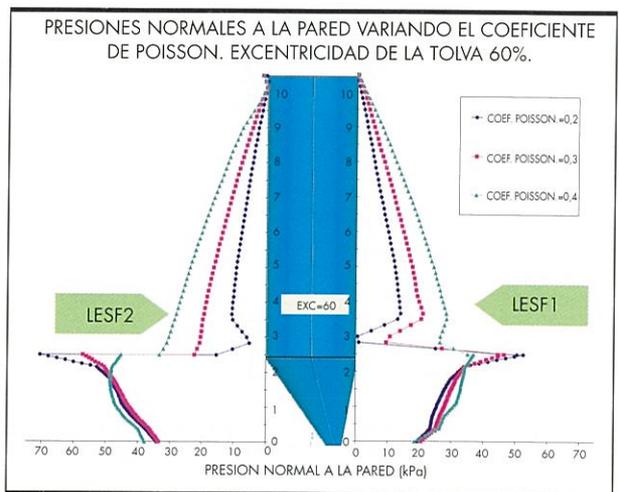
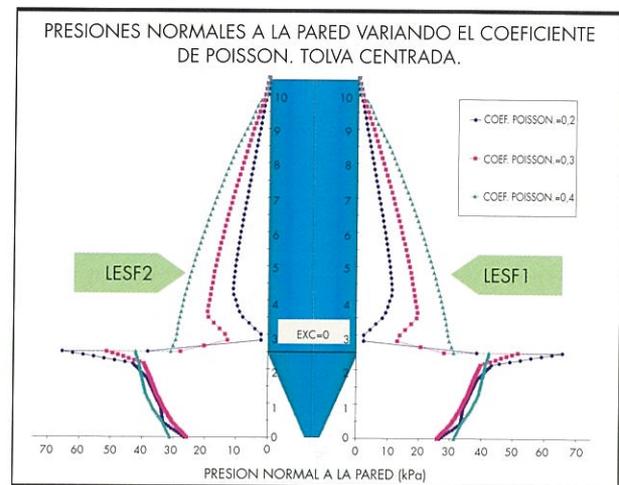


FIGURA 12.

producen para una excentricidad de la tolva del 100%. Ahora bien, éstas diferencias entre uno y otro lado son mayores en los coeficientes de Poisson más bajos, así, para  $\nu = 0,2$  y

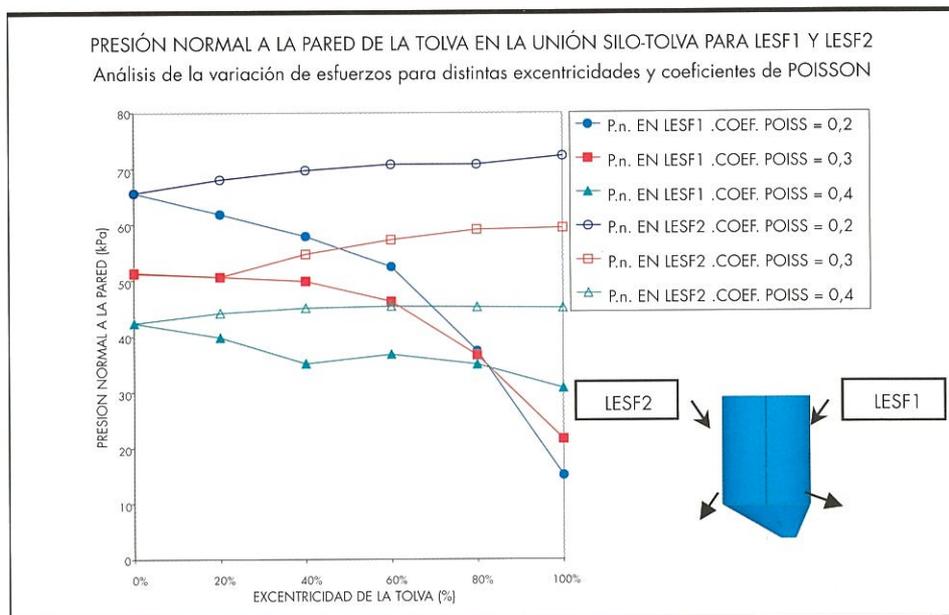


FIGURA 13.

excentricidad del 100% las diferencias en los empujes en la unión silo-tolva entre LESF1 y LESF2 son del 79,16%, mientras que para  $\nu = 0,3$  se reducen al 63,53% y para  $\nu = 0,4$  nos encontramos con una diferencia del 32,09%. Observamos por tanto que aunque con efecto inverso en los empujes, se sigue la misma tendencia que en la pared del cilindro y de la tolva, aumentando la sensibilidad a la excentricidad al disminuir el Coeficiente de Poisson.

## 6. CONCLUSIONES

### 6.1. CONCLUSIONES ACERCA DEL ANÁLISIS DEL FACTOR K

Según se desprende del análisis mediante el M.E.F. podemos concluir que :

- El factor k no es constante en la pared del silo sufriendo variaciones en altura además de variaciones debidas a la excentricidad de la tolva en ambas líneas de esfuerzo analizadas.
- Alcanza los mayores valores en la pared de la tolva.
- La adopción de la constancia del mismo recogida en el Eurocódigo sería únicamente de aplicación en la zona intermedia de la pared del cilindro.

### 6.2. CONCLUSIONES ACERCA DE LA INFLUENCIA DEL ROZAMIENTO GRANO-PARED

- Según el M.E.F., los empujes normales a la pared del silo, para una misma excentricidad, disminuyen al aumentar el coeficiente de rozamiento del material almacenado con las paredes.
- En el lado opuesto al desplazamiento de la boca de salida, las presiones normales a la pared aumentan al aumentar la excentricidad de la tolva, sin embargo, mientras que para  $\mu = 0,25$  las máximas presiones se sitúan en el punto de unión silo tolva, observándose una disminución muy acusada nada más comenzar a recorrer la tolva, en todas las excentricidades analizadas, para  $\mu = 0,4$  ese descenso inicial en la tolva es mucho menos acusado a medida que aumenta la excentricidad, llegando, para  $\mu = 0,5$  y para excentricidades del 80% y 100% a cambiar la tendencia de la curva, produciéndose los mayores empujes en zonas intermedias de la tolva. De ésta observación concluimos que para grandes excentricidades (> 60%) y coeficientes de

rozamiento grano-pared altos ( $\mu > 0,4$ ) las máximas presiones normales a la pared en el lado opuesto al desplazamiento de la tolva dejan de situarse en el punto de unión silo-tolva, pasando a zonas intermedias de la misma.

### 6.3. CONCLUSIONES A CERCA DE LA INFLUENCIA DEL COEFICIENTE DE POISSON

Del análisis de la variación del coeficiente de Poisson en conjunción con la excentricidad de la boca de salida mediante el M.E.F., podemos concluir que:

- En la pared del cilindro y en la pared de la tolva los empujes aumentan al aumentar el coeficiente de Poisson, mientras que en la unión silo-tolva el efecto es inverso.
- Al aumentar la excentricidad de la tolva, los empujes disminuyen hacia el lado del desplazamiento de la boca de salida y aumentan hacia el lado opuesto, estableciéndose las máximas diferencias entre ambos lados para una excentricidad del 100% en todos los coeficientes de Poisson analizados. Ahora bien, estas diferencias de presión entre uno y otro lado son menores a medida que aumenta el coeficiente de Poisson, con lo cual podemos concluir que, al disminuir el coeficiente de Poisson ejerce mayor influencia en los empujes la variación de la excentricidad de la tolva, aumentando la sensibilidad a la excentricidad al disminuir el coeficiente de Poisson. Así, en la unión silo-tolva, para  $\nu = 0,2$  y excentricidad del 100% las diferencias en los empujes en la unión silo-tolva entre uno y otro lado son del 79,16%, mientras que para  $\nu = 0,3$  se reducen al 63,53% y para  $\nu = 0,4$  nos encontramos con una diferencia del 32,09%.
- En el lado opuesto al de desplazamiento de la boca de salida, cuando ésta se descentra, se sitúan las mayores presiones, aumentando las mismas al aumentar la excentricidad para un mismo coeficiente de Poisson, sin embargo, mientras que para  $\nu = 0,2$  las máximas presiones se sitúan en el punto de unión silo tolva, observándose una disminución muy acusada entre los 2,5 m. y los 2 m. de altura en todas las excentricidades analizadas, para  $\nu = 0,3$  ese descenso inicial en la tolva es mucho menos acusado a medida que aumenta la excentricidad, llegando, para  $\nu = 0,4$  y para excentricidades entre el 40% y 100%, a cambiar la tendencia de la curva, produciéndose los mayores empujes en

zonas intermedias de la tolva. De ésta observación deducimos que para excentricidades mayores del 40% y coeficientes de Poisson altos las máximas presiones normales a la pared en éste lado, dejan de situarse en el punto de unión silo-tolva, pasando a zonas intermedias de la tolva.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ACI 313-77 (1983) : Recommended practice for design and construction of concrete bins, silos, and bunkers for storing granular materials.
2. AGUADO, P. (1997). 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.
3. ANSYS User's Manuals or Revision 5.3 (1998). Vol. I, II, III, IV and V. Swanson Analysis Systems, Inc. Houston (USA).
4. AIRY, W. (1897) "The pressure of grain" Minutes of proceedings, Institution of Civil Engineers, London, V. 131, p.p. 347-358
5. AYUGA, F. (1995). Los Empujes del Material Almacenado en Silos. Informes de la Construcción. Vol. 46 N° 436. marzo/abril 1995.
6. DIN 1055 part 6 (1987): Design loads for buildings. Loads in silo bins.

7. ENV 1991-4. Eurocode 1 : Basis of design and actions on structures. Part 4 : Actions on silos and tanks.
8. GUAITA, M. (1995). Creación de modelos para la simulación de silos por el método de los elementos finitos y análisis de los empujes estáticos del material almacenado. Tesis doctoral.
9. JANSSEN H. A. (1895). Versuch über Getreidedruck in Silozellen [Experiments on grain loads in silo cells] . Zeitschrift des Verein Deutscher Ingenieure. 39, 1045-1049
10. JENIKE, A. W. y JOHANSON, J.R. ( 1977 ) "Construction of concrete silos" presented to Norwegian society of Chartered Engineers.
11. LADE, P.V. (1977) "Elasto-plastic stress strain theory for cohesionless soil with curved yield surfaces". Inter. Jour. of Solids and Structures. Vol. 13 pp. 1019-1035.
12. REIMBERT M. ( 1976 ) " Silos. Teoria y practica " Ed. Lavoisier
13. SAFARIAN, SARGIS S. y HARRIS, E. C. ( 1985 ). *Design and construction of silos and bunkers* . Ed Van nostrand reinhold company.
14. THEIMER, O. F., (1970) "Betrachtungen Über Druckverhältnisse in Silozellen" Deutsche Müller-Zeitung, Helf 4, Enero 1970.
15. AYUGA, F. et al, (2001) "Discharge and eccentricity of the hopper influence on the silo walls pressures" Journal of engineering mechanics, vol. 127, n° 10, Octubre 2000.

geo&soft<sup>®</sup>  
international

## EL SOFTWARE para la GEO-INGENIERÍA

- Representación de columnas estratigráficas y perfiles
  - Interpretación de sondeos
- Diseño de muros pantallas y muros de gravedad
  - Cálculo de cementaciones y asentamientos
    - Rodadura de bloques
- Estabilidad de taludes y frentes de roca
  - Contaminación de acuíferos
- Cálculos de secciones hidráulicas
- Interpretación de ensayos de bombeo
  - Tomografía eléctrica

**Solicite Catálogo-CD demo a:**

Ronda Guinardó, 40 entlo. 2ª • 08025 Barcelona

Telf.: 934 55 18 98 • Fax: 933 47 06 66

info.spanish@geoandsoft.com • www.geoandsoft.com

