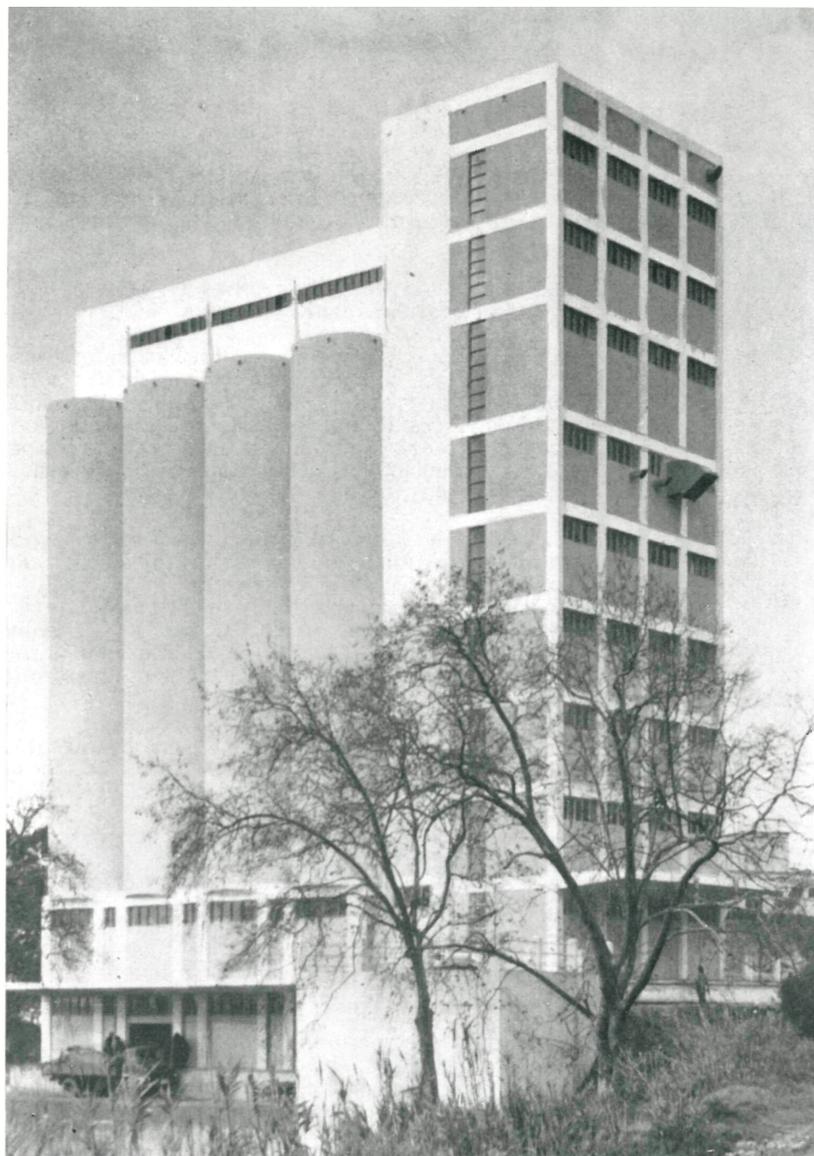


582 - 10

Sobrepresiones de vaciado, accidentes y reparación en silos

MARCEL y ANDRE REIMBERT
ingenieros



sinopsis

En el número 78 de INFORMES DE LA CONSTRUCCION se publicó un artículo, del autor que figura en primer lugar en este trabajo, en el cual se estudiaba el régimen turbulento que aparece en las corrientes de vaciado de los silos destinados al almacenamiento de cereales. En el presente artículo, continuación del anterior, se proponen los procedimientos prácticos para el cálculo estable y resistente de las estructuras de los silos. La base de estos cálculos, parte del principio de introducir un tubo perforado en el seno de la masa ensilada. Este tubo tiene por objeto reducir las sobrepresiones de vaciado y, por tanto, se puede hallar un coeficiente para determinar la verdadera presión de vaciado y, con ello, el espesor y armaduras del silo, corrientemente celular y cilíndrico. Otro de los aspectos tratados son los accidentes y reparaciones de los agrietamientos que se producen en los silos por causa de las sobrepresiones que aparecen en el período de vaciado. Las recomendaciones y conclusiones a que se llega racionalmente pueden hacerse extensibles, tanto a los silos de hormigón armado como a los metálicos

preámbulo

En el número 78 de INFORMES DE LA CONSTRUCCION se publicó un trabajo de Marcel Reimbert, titulado "Sobrepresión de vaciado en los silos", en el cual se estudiaba el estado turbulento de las corrientes de vaciado que se originan durante el período de descarga.

El procedimiento más sencillo para evitar las referidas sobrepresiones consiste en colocar un tubo metálico, perforado y vertical, en el interior del silo y en correspondencia con el orificio de descarga, que se extienda hasta la parte superior del silo. La sección y las perforaciones se han calculado en función de varios parámetros, tales como: características del silo, sección horizontal, altura, forma y dimensiones del orificio de vaciado, gasto horario de descarga y características físicas y mecánicas del producto ensilado.



Tubo antidinámico.

Puesto que estos tubos anulan los efectos de las sobrepresiones debidas al vaciado—fase dinámica, por oposición a la fase estática correspondiente al estado de reposo de la masa ensilada—, se les ha llamado antidinámicos o columnas de depresión.

La colocación de dichos tubos en silos con estructura seriamente expuesta a la rotura sirve para evitar su ruina.

Debe notarse que los silos deteriorados citados en los ejemplos de este trabajo podrían haberse comportado normalmente si se hubiesen tenido en cuenta, en los cálculos, los efectos de la sobrepresión de vaciado y aumentando, en consecuencia, los esfuerzos estáticos mediante la aplicación de un coeficiente dinámico conveniente, o bien colocando en su lugar tubos antidinámicos, lo cual evitaría el empleo de dichos coeficientes, y con ello se disminuiría el espesor de las paredes, obteniendo así una notable economía de obra.

A pesar de diversas investigaciones, la ley de determinación del coeficiente mayorante dinámico, en función de las formas de las células de los silos y de las características físicas y mecánicas del producto ensilado, no se conoce todavía, ni tampoco el gasto de vaciado, ni la posición exacta del orificio de vaciado. Todos los investigadores que se han dedicado a la solución de este problema, relativamente difícil, no han tenido en cuenta este último elemento, que resulta capital, puesto que influye en los coeficientes mayorantes dinámicos y variables de la periferia del silo considerado.

Esta variación del coeficiente mayorante dinámico es tanto más peligrosa cuanto más se acentúa la asimetría de los esfuerzos en los silos de vaciado excéntrico, como, por ejemplo: en la ovalización de los silos cilíndricos.

Al anunciarse una adjudicación o concurso para la realización de un silo debería precisarse, durante el examen de los Pliegos, la forma en que los constructores han de respetar en sus cálculos el coeficiente de seguridad normal, que en la mayoría de los casos resulta inferior a 2. En gran parte de estos concursos se considera solamente el precio propuesto, otorgando la obra a la proposición más baja y favorable, sin precisar si el precio más bajo no es una consecuencia directa de un coeficiente de seguridad disminuido por el hecho de desprestigiar, consciente o inconscientemente, los esfuerzos de sobrepresión de vaciado.

Algunos constructores, con el único fin de que aparezcan en sus cálculos ciertos coeficientes mayorantes de vaciado, aunque sólo sea con objeto de satisfacer las normas de las compañías de seguros, adoptan coeficientes netamente insuficientes para los esfuerzos estáticos con un aumento del 10 al 15 por 100, lo cual no es exacto y falsea la adjudicación. Si bien la ley de determinación del coeficiente mayorante no se conoce suficientemente en su expresión matemática, no cabe duda que las experiencias realizadas ponen de manifiesto que los incrementos de presión son bastante superiores al 10 ó 15 por 100 con respecto a las presiones estáticas. Tratándose de silos para cereales, por ejemplo, y para gastos normales de 20 a 30 t/hr, el coeficiente mayorante no debería descender por debajo de 1,7 a 2. Este valor se aumentará, evidentemente, para gastos más elevados.

Se podría objetar que hay en servicio un crecido número de silos construidos sin tener en cuenta los efectos de sobrepresiones de vaciado, si bien estos razonamientos no tienen en cuenta los numerosos y variados accidentes sobrevenidos. El coeficiente mayorante que debe emplearse en el cálculo de un silo es del orden de 2, mientras que el coeficiente medio de seguridad de las construcciones es del orden de 2,5, por lo que la construcción realizada se beneficiará de un coeficiente de seguridad del orden de:

$$\frac{2,5}{2} = 1,25,$$

que resulta insuficiente, ya que la construcción se haya en un estado precario de equilibrio límite.

Sin embargo, en una construcción que se comporta aparentemente de forma normal, esta disminución del coeficiente de seguridad corresponde a una disminución notable de la calidad intrínseca de la construcción.

Es de lamentar que los constructores optimistas descarten a los simplemente realistas y serios dentro de una competición aparentemente honesta, pero poco estudiada a la hora de su resolución o juicio final.

Por nuestra parte, y teniendo en cuenta la incertidumbre respecto a la estimación exacta de los esfuerzos de sobrepresiones de vaciado en los silos para cereales, con objeto de mantener rigurosamente el coeficiente de seguridad en la construcción, nos permitimos preconizar la colocación en cada una de las células de un



tubo antidinámico que elimine totalmente los fenómenos de turbulencia de las corrientes establecidas durante el vaciado.

A nuestro juicio, éste es el único medio simple y eficaz para llegar a la seguridad total del comportamiento regular de la construcción proyectada ante el efecto de los esfuerzos estáticos. En efecto, son varios los que han preconizado el vaciado de los silos partiendo de la parte superior del material ensilado, ya mecánicamente o por procedimientos neumáticos, con lo que se consigue que las capas inferiores se hallen libres de perturbaciones dentro de su equilibrio estático. Este procedimiento, sin embargo, resulta prohibitivo, debido a su elevado coste, puesto que las máquinas encargadas de realizar este trabajo han de funcionar ininterrumpidamente durante el período de vaciado, mientras que si éste se realiza por simple gravedad no cuesta nada.

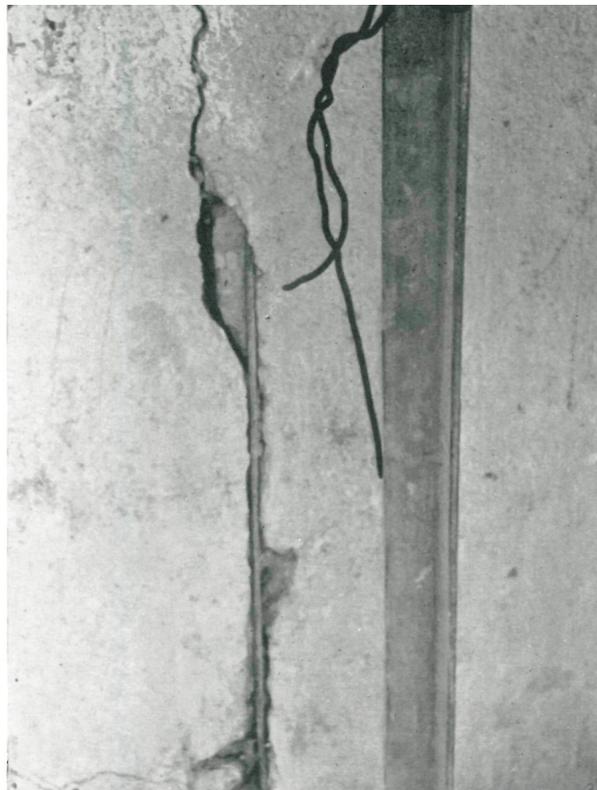
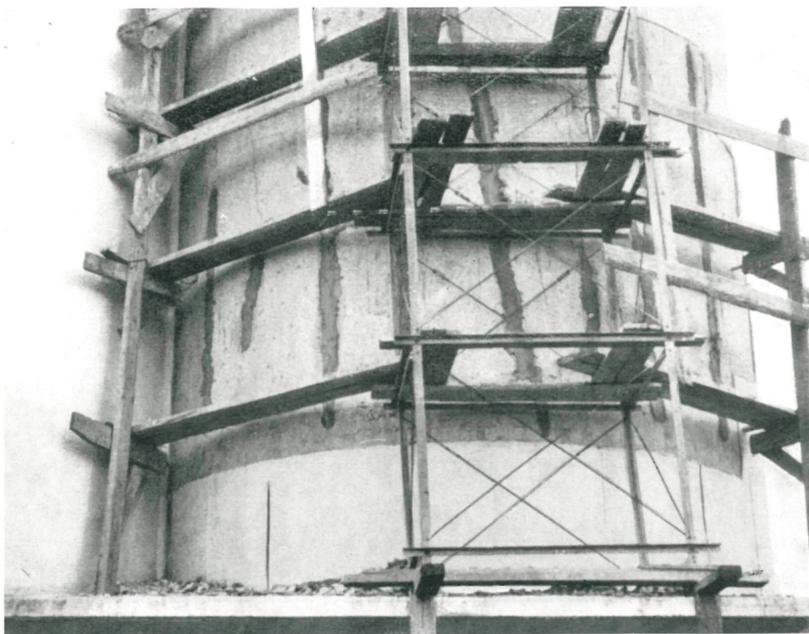
Reparación de dos células de hormigón armado, en Hamburgo (Alemania).

Desconchado de un paramento exterior.

Fisuración de una célula de hormigón armado.

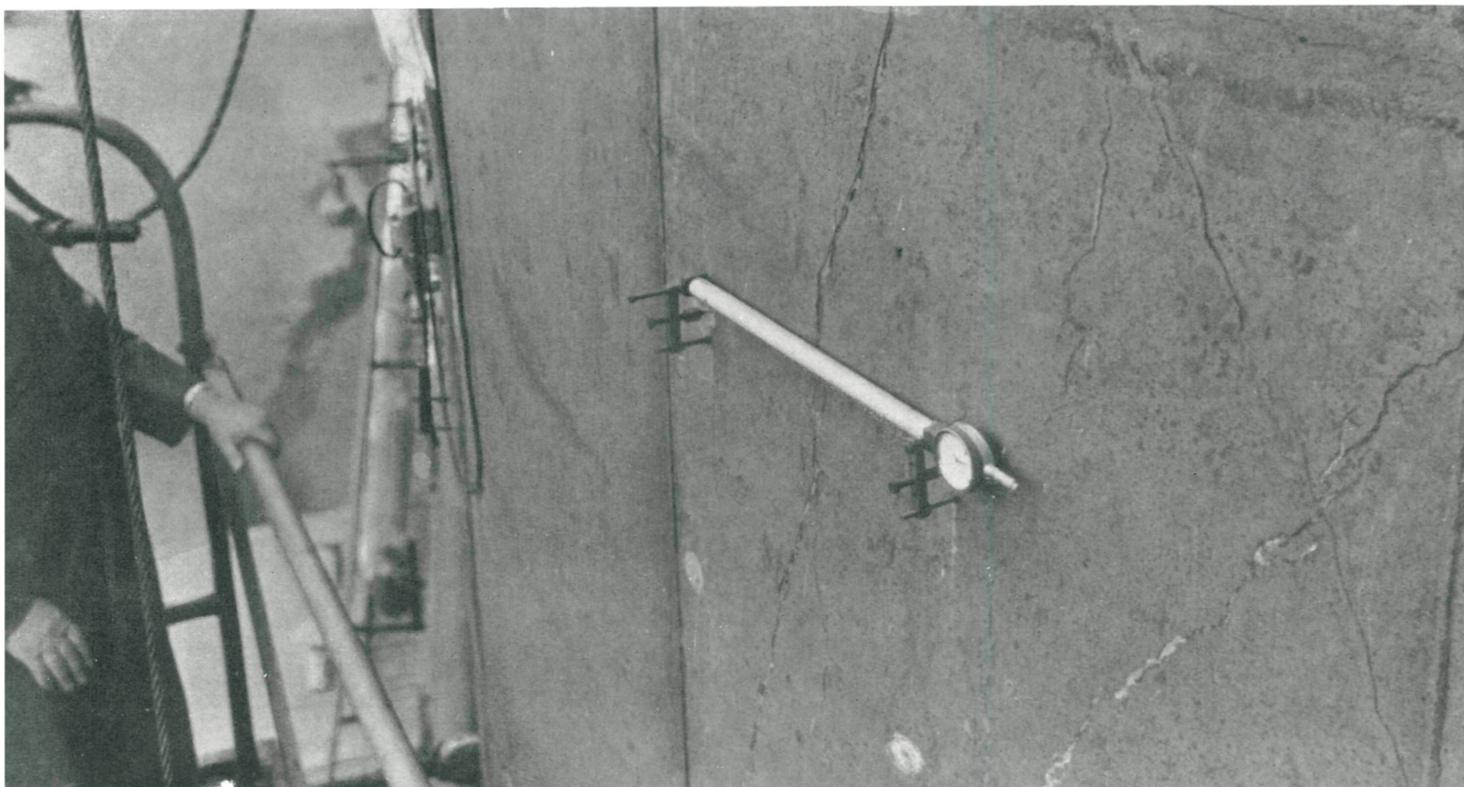
79

Reparación y relleno de grietas.
Grieta profunda y armadura desprendida del hormigón.
Midiendo la luz de las grietas.



Los tubos antidinámicos aseguran este vaciado y constituyen una economía, pues su reducido coste es de la menor importancia, si se tiene en cuenta la economía que resulta de la reducción de espesores en las paredes.

Es de resaltar que los expertos alemanes que acaban de preparar un nuevo texto de normas para el cálculo de silos (DIN núm. 1055), exigen se tome en consideración un coeficiente mayorante de 2. Esta imposición ha sido formulada como consecuencia de una serie de experiencias, observaciones y accidentes. Se puede asegurar que estas normas han sido estudiadas con delicado interés, por lo que nosotros estamos en absoluto acuerdo con los ingenieros y teorizantes alemanes. Insistimos, por tanto, que el comentario oficial de estas normas pone de manifiesto que los calculistas podrán despreocuparse de los efectos de la sobrepresión de vaciado siempre que los silos estén equipados con dispositivos antidinámicos.

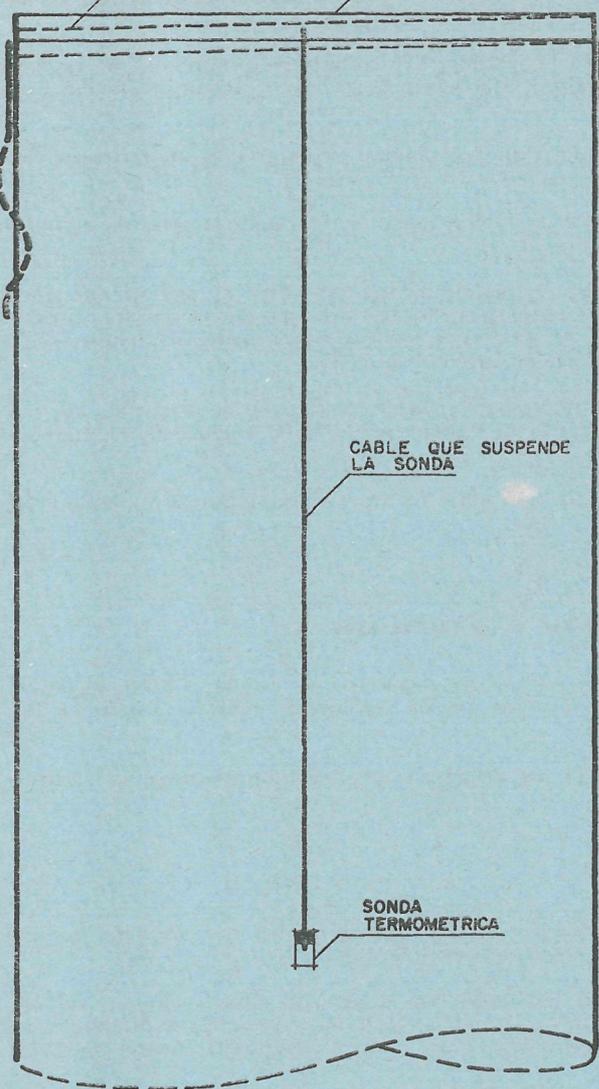


SICION DEL SOPORTE
SPUES DE LA DEFORMACION

SOPORTE DE SUSPENSION

Sonda termométrica.

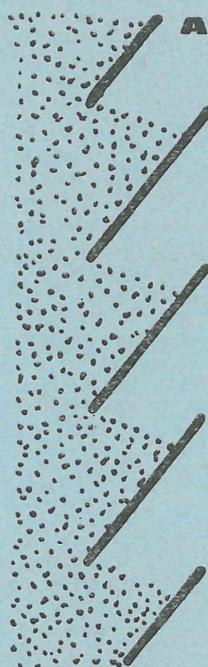
FORMACION
LA PARED



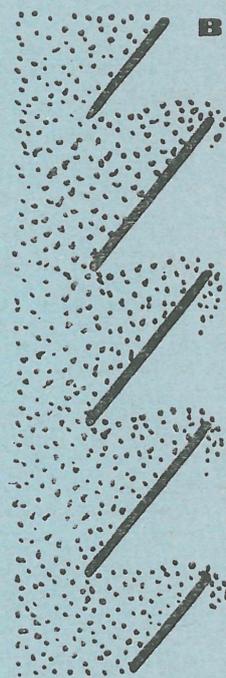
CABLE QUE SUSPENDE
LA SONDA

SONDA
TERMOMETRICA

Comportamiento de granos entre láminas
de silos metálicos.



Equilibrio natural
del grano.



Durante el vaciado.

Accidentes y refeción de silos para cereales

Los silos tradicionales de hormigón armado, cuando no han sido calculados consecuentemente y su coeficiente de seguridad ha sido reducido peligrosamente, se hallan expuestos a los efectos de sobrepresión de vaciado y a deformaciones que provocan la fisuración, con frecuencia profunda, como consecuencia de un alargamiento importante de los aceros utilizados en las armaduras de las paredes.

Esta fisuración se presenta general y progresivamente durante el período de vaciados sucesivos, mientras que durante el almacenamiento no aparece; esto equivale a decir que las paredes eran suficientes para resistir únicamente a los esfuerzos estáticos. Los ejemplos citados corresponden a silos que presentan esta característica.

Reparación de silos accidentados

Para la reparación de estos silos se han adoptado las medidas siguientes:

1.º Colocación de un tubo antidinámico en cada una de las células, pero tapando su orificio inferior con unos trapos que pueden retirarse fácilmente por medio de cuerdas que pasan por el orificio de vaciado de la célula y en el momento de aparecer la operación 7.ª que después se indica.

2.º Llenar completamente la célula con los cereales que han de almacenarse y sin considerar el estado de fisuración.

3.º Descargar por el orificio normal de vaciado de la célula unos 3 m³, aproximadamente, de la materia ensilada.

4.º Cerrar el orificio de vaciado de la célula. En este estado los esfuerzos dinámicos de vaciado se han manifestado y las fisuras aumentan hasta el máximo, a la vez que se desarrolla una fluencia plástica en las armaduras de las paredes.

5.º Ensanchar con un puntero las fisuras de manera que se puedan rellenar con un mortero rico en cemento.

6.º Dejar un período de dos a tres semanas para el fraguado del mortero, manteniendo la célula llena sin vaciar cantidad alguna.

7.º Retirar los trapos que obstruían la base del tubo antidinámico. Al abrir el orificio de la célula para su vaciado, éste se realiza a través del tubo antidinámico, produciendo una decompresión progresiva en las paredes que, en lo sucesivo, trabajan como si se tratase de tabiques de hormigón postensado, comprimiendo el mortero de relleno de las grietas que ya no podrán reproducirse.

8.º Enfoscar o pintar nuevamente aquellos paramentos exteriores en los que se aprecian las huellas de las fisuras tapadas con mortero y de color diferente al que presentaba el hormigón original de las paredes.

Esta serie de procesos ha sido satisfactoria en todos los silos en que se ha empleado hasta la fecha para su reparación.

Accidentes acaecidos en los silos metálicos

Las sobrepresiones de vaciado provocan, en este caso, ya sea desgarros de la chapa de la pared, cuando ésta es excesivamente delgada, o bien roturas de las costuras de soldadura, cuando la calidad de ésta es inferior.

El grano ensilado escapa, en estos casos, a través de los desgarros y el accidente toma un aspecto espectacular y peligroso.

Otros accidentes

Citaremos como ejemplo la deformación de una pared en las proximidades del soporte de sondas termométricas, y del caso de deformación de un conducto de ventilación.

Las sondas termométricas se suspenden en la masa ensilada con ayuda de cables, que, a su vez, se anclan en la parte superior de la célula. El objeto de estas sondas es el de vigilar la evolución térmica del grano ensilado y la de prevenir el riesgo de calentamiento que comprometería la buena calidad del grano.

Sin embargo, estos cables de suspensión se hallan solicitados en toda su longitud por el rozamiento del grano durante el vaciado, rozamiento que se hace máximo y puede ocasionar la rotura frecuentemente. En estas condiciones el accidente es menos grave, puesto que el cable escapa por el orificio de vaciado o bien se queda en el fondo de la célula.

Otras veces, este accidente es más grave. Por ejemplo, puede suceder que se rompa la unión del cable o el soporte de éste.

Los conductos de ventilación son necesarios, con objeto de permitir el paso a un flujo de aire para el acondicionamiento de la masa ensilada y asegurar la buena conservación de la misma.

Existen distintos tipos de conductos horizontales que descansan sobre el fondo del silo, así como otros tipos verticales unidos a las paredes o mantenidos en el centro de la célula. Todos estos conductos son elementos extraños en el interior de la masa ensilada y directamente sometidos a toda presión ejercida sobre la misma.

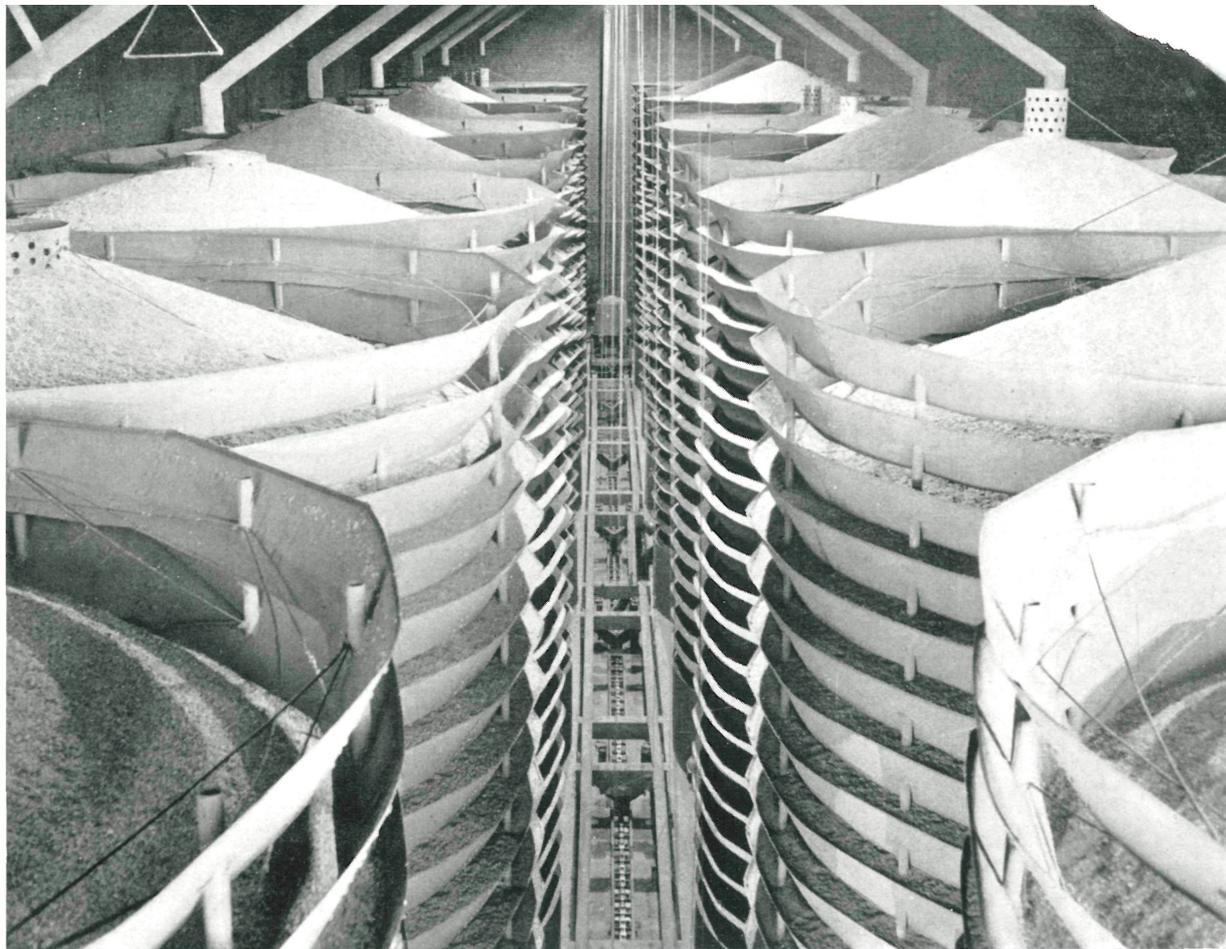
Los casos de rotura de estos conductos, así como su arranque, son muy numerosos.

Reparación de silos metálicos

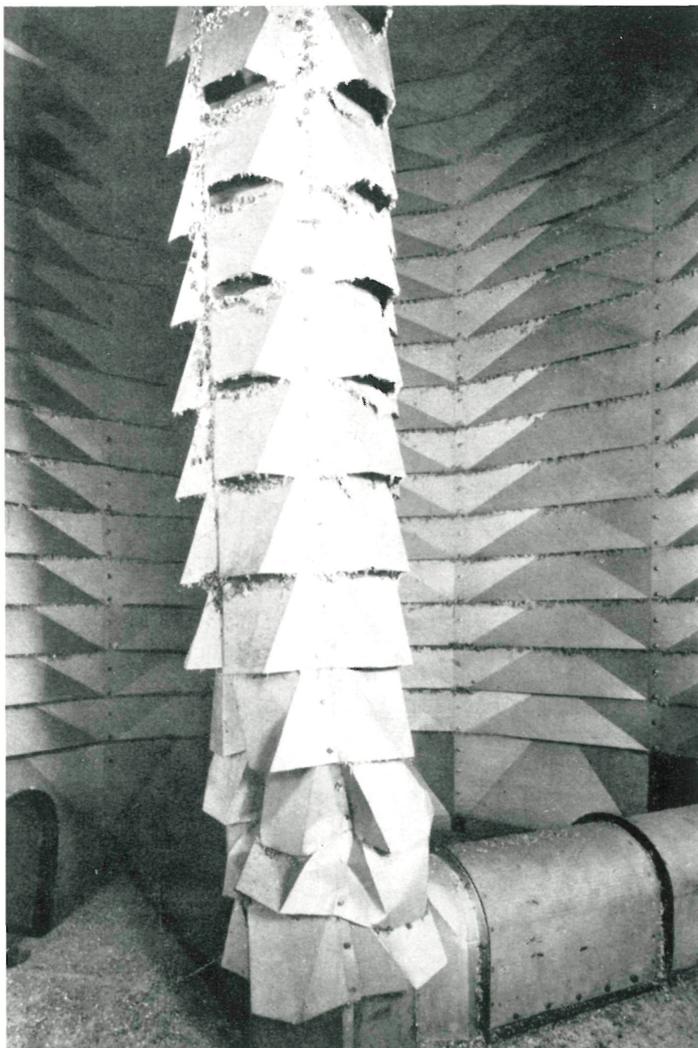
Las reparaciones de los silos metálicos son generalmente más fáciles que las de los silos de hormigón armado.

Debe comprobarse simplemente que las secciones de acero son capaces de equilibrar los efectos estáticos engendrados por la masa ensilada. Verificado este hecho, basta después proceder a la reparación de los desgarros de las chapas, reemplazando éstas por otras nuevas en el caso de que hayan sido fuerte-

Instalación de células metálicas.



Conducto de ventilación.



mente deterioradas o volviendo a soldar las costuras que hayan sufrido desgarros, y procediendo, inmediatamente después, a la colocación de un tubo antidinámico en cada una de las células del silo para que éste pueda continuar su funcionamiento inmediatamente después.

En el caso de rotura de cables o conductos de ventilación se puede operar exactamente de la misma forma indicada anteriormente.

Conclusión

Las sobrepresiones de vaciado de los silos pueden manifestarse peligrosamente y provocar roturas locales o generales, que siempre son graves.

Sus efectos son siempre inesperados y los accidentes que de ellas se derivan pueden llegar a ser mortales.

Podría descargarse la masa ensilada por su parte superior, lo cual sería un procedimiento oneroso y ridículo. Seguiremos, por tanto, un sistema más económico y racional, gracias a la colocación de los tubos perforados que constituyen el dispositivo antidinámico, sin gastos de conservación, pero de eficaz funcionamiento y probado en múltiples aplicaciones, que, además, es automático, ya que no necesita de manobra alguna de tipo particular.

Este sistema, que ha sido patentado, permite llegar a una seguridad absoluta.

Surpressions dues à la vidange, accidents et réparation dans les silos

Marcel et André Reimbert, ingénieur.

Dans le numéro 78 de INFORMES DE LA CONSTRUCCION a été publié un travail du même auteur, où étaient étudiés les phénomènes de turbulence qui se manifestent au cours de la mise en vidange des silos destinés au stockage de céréales.

Dans ce travail qui est la suite du précédent, sont proposés les procédés pratiques pour le calcul de stabilité et de résistance des structures des silos. La base de ces calculs part du principe d'introduire un tube perforé dans toute la masse ensilée. Ce tube a pour but de réduire les surpressions de vidange et, par conséquent, de trouver un coefficient pour déterminer la véritable pression de vidange et, ainsi, l'épaisseur et les armatures du silo, couramment cellulaire et cylindrique.

Un autre des aspects traités sont les accidents et les réparations des fissurations qui se manifestent dans les silos à cause des surpressions survenues lors de la vidange.

Les recommandations et les conclusions auxquelles on parvient rationnellement peuvent être appliquées, tant aux silos en béton armé qu'aux silos métalliques.

Overpressure, accidents and repair of silos

Marcel and André Reimbert, engineer.

No. 78 of INFORMES DE LA CONSTRUCCION published a paper by Mr. Reimbert, in which a study was made of the turbulences in the suction currents which are used in wheat storing silos.

The present paper, which is a continuation of the previous one, gives practical methods for calculating the strength of silo structures. These methods are based on the idea of introducing a perforated tube into the mass of material stored in the silo. The tube makes it possible to reduce the emptying overpressures. It is possible to find a coefficient to determine the true emptying pressure. This also enables the calculation of the thickness and amount of reinforcement of the silo structure, which is usually cellular and cylindrical in shape.

Another aspect discussed in this paper is that dealing with accidents and repairs of the cracks which arise due to overpressures during the process of emptying.

The conclusions and recommendations developed in this study are applicable both to reinforced concrete and metal silos.

Überdrücke beim Leeren von Silos, Unfälle und Reparaturen

Marcel und André Reimbert, Ingenieur.

In der Nummer 78 der Zeitschrift INFORMES DE LA CONSTRUCCION veröffentlichte man eine Arbeit desselben Authors, in der man die Wirbel untersuchte, die beim Entleeren von Getreidesilos auftreten.

In dieser Arbeit nun, der Fortsetzung der ersten, werden einige Verfahren zur Berechnung der Stabilität und des Widerstandes von Silos vorgeschlagen. Bei der Berechnung geht man davon aus, dass man ein durchlöcher-tes Rohr mitten in die im Silo befindliche Masse hineinführt. Dieses Rohr hat den Zweck, die Entleerungs-überdrücke zu vermindern. Auf diese Weise kann man einen Koeffizienten zur Bestimmung des eigentlichen Entleerungsdruckes finden und damit die Dicke und Bewehrung der zylinderförmigen Silos berechnen.

Ein weiterhin behandelter Gesichtspunkt bilden die Unfälle und die Reparatur von Rissbildungen, die durch die Überdrücke beim Entleeren entstehen.

Die Empfehlungen die zu diesem Thema gegeben werden, gelten sowohl für Spannbetonsilos als auch für Metallsilos.