

NUEVO SISTEMA DE SILOS CON ESPECIAL APLICACION EN LAS INSTALACIONES PARA CONSTRUCCION DE GRANDES PRESAS. SU POSIBLE APLICACION AL SOSTENIMIENTO DE TIERRAS

Dr. Ing. C. C. P. R. DE LA VEGA Y DE LA VEGA

I. ANTECEDENTES.

La idea en que se basa este tipo de silos, patentado por Agroman Empresa Constructora, S. A., nació ante la necesidad de resolver un caso práctico de carácter algo excepcional.

Se trataba de los silos de áridos que tuvo que proyectar y ejecutar en el año 1949 para la instalación principal de las obras del Salto de Salime, destinada al hormigonado de presa, central y canal del aliviadero.

El volumen e importancia de estos trabajos requerían unos medios proporcionados, y así se fijó una capacidad útil total alrededor de 6.000 Tn. de áridos almacenados, equivalente a unos 2.900 m.³ de hormigón puestos en obra. Además, y como anejo inmediatamente adosado a ellos, había que disponer el silo auxiliar de cemento sobre las básculas automáticas en el que, lleno por completo, cupieron 1.200 Tn.

Por circunstancias propias del conjunto de la instalación y del lugar de emplazamiento, adoptamos como dimensiones adecuadas las de 25,60 m. de anchura, 23,60 m. de longitud y 16,70 m. de altura, reduciéndose esta última con un escalón de 2,65 m. en los dos compartimientos delanteros a fin de colocar dos básculas automáticas por cada dosificadora, una para finos inertes y otra para cemento.

El resultado obtenido con este nuevo tipo de silo ha sido tan satisfactorio, que posteriormente lo hemos empleado en las instalaciones para construir las presas de Aguilar de Campoo, Orellana, Legazpia, García de Sola y Tous, contándose con utilizarlo también para la de Aracena. Asimismo sirvió para formar el silo de carga de los productos de machaqueo en una cantera de Sierra Nevada, y actualmente se proyecta emplearlo para almacenar simientes.

II. SISTEMA DE PAREDES.

Dadas las dimensiones reseñadas anteriormente para el silo en las obras del Salto de Salime, el empleo de paredes de paramento continuo hubiese supuesto tener que contrarrestar con ellas grandes empujes, como son los que produce el árido accionando por un solo lado. Y esto no sólo en los muros de recinto o exteriores, sino también en los divisorios interiores en previsión de que un compartimiento se encontrase lleno y alguno de los adyacentes vacío. Ello exigiría paredes de gran espesor y perfil macizo con el consiguiente espacio perdido, o bien los debidos arriostramientos, tanto de atirantado como de acodalamiento, caso de recurrir a estructuras más delgadas como son las de hormigón armado.

Pero tanto una disposición como la otra, además de ser de ejecución lenta, son doblemente caras para un silo de carácter provisional. Primeramente por su construcción (excesivo volumen de fábrica o gran superficie de encofrados, y en todo caso una notable proporción de mano de obra especializada en partes sin posible reemplazo), y segundo porque resulta prácticamente imposible, o al menos muy costosa, la recuperación de los materiales que interese rescatar.

Tales consideraciones movieron al que esto escribe a la búsqueda de otra solución. Esta surgió al pensar que si se lograra hacer una pantalla muy diáfana, en forma de tabique con muchas ventanas, y de tal modo que el árido que saliese por cada una de ellas quedase retenido en su antepecho, se autotaponaría el hueco de la ventana correspondiente, y entonces el empuje que tendría que resistir este tabique sería muchísimo menor que el que habría de aguantar la pared de paramento continuo.

Conseguida la idea, su realización es sencilla. Todo consiste en hacer, por el procedimiento que

18

sea y con los materiales de que se disponga, una verdadera estantería. Su frente constituirá la pantalla muy diáfana, y los estantes serán los antepechos de las ventanas antes citadas.

Además, con esta forma o estructura de estan-

con claridad cómo desempeñan su cometido las paredes.

Ante todo, en el dibujo del frente se ve la escasa superficie que presentan a la acción del empuje del material ensilado. Es la compuesta sola-

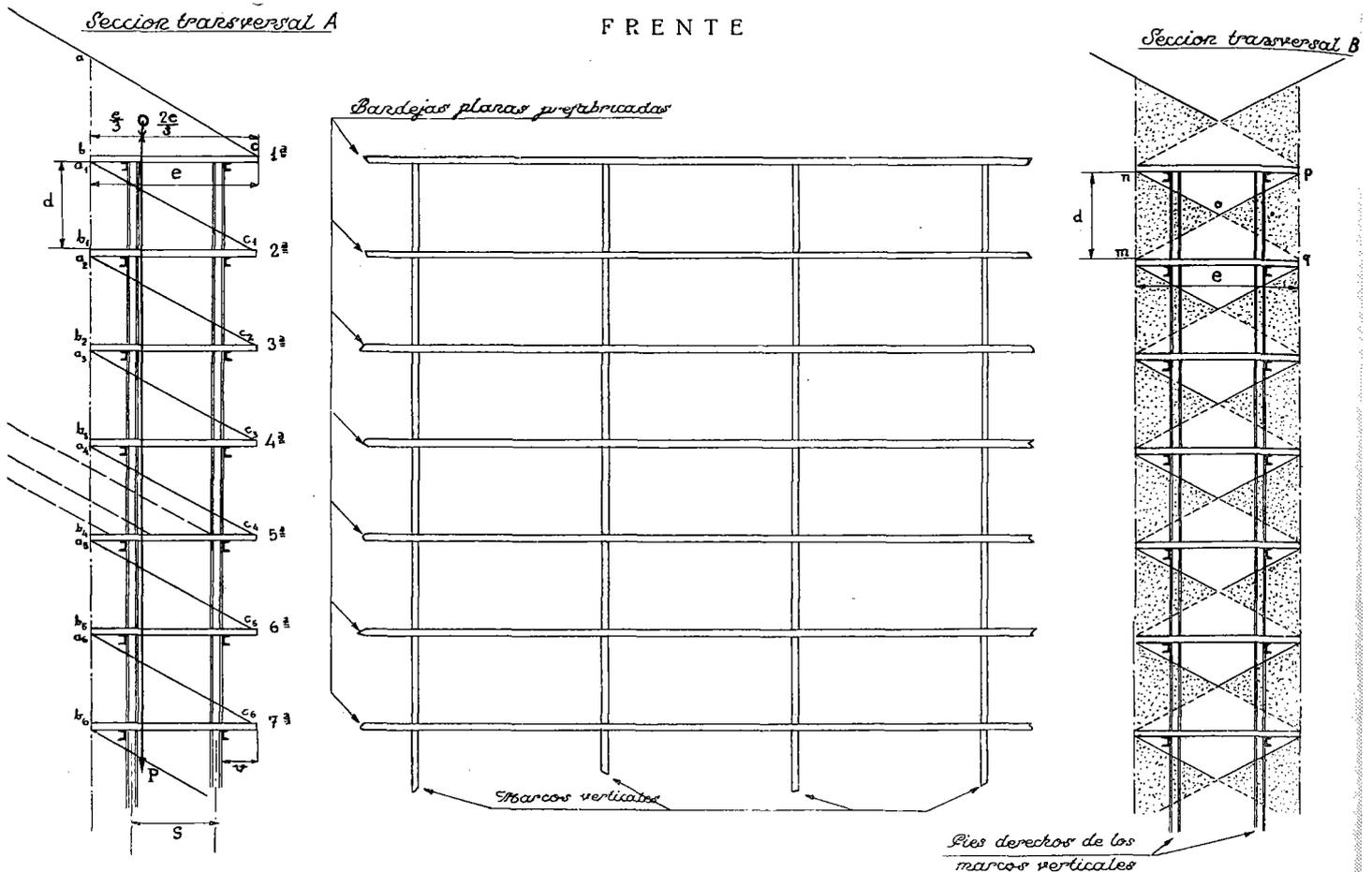


Figura 1.^a

tería, se logra una gran velocidad de ejecución respecto al caso de paredes macizas, ya que todos los elementos pueden ser prefabricados y de montaje rápido y fácil. Y, finalmente, resultará posible y sencillo recuperar esos elementos componentes, bien para sucesivos empleos en silos de otras obras, bien para destinarlos a otra clase de construcciones, o bien para su venta.

Pasemos a ver el detalle de cómo se verifica lo que llevamos dicho.

Los croquis de la figura 1.^a permiten apreciar

mente por los marcos verticales en la dimensión correspondiente a su espesor, y por los bordes de las bandejas horizontales.

En la sección transversal A, se representa el caso de carga por un solo lado de la pared, el de la izquierda. Cuando el material llegue a sobrepasar una bandeja, por ejemplo la 5.^a, y su altura siga aumentando, su talud irá ascendiendo y desplazándose paralelamente según las líneas de trazos en el espacio comprendido entre las bandejas 5.^a y 6.^a. Al llegar a esta última, todo el material que ha

Fig. 1.^a—Esquema explicativo del sistema de tabiques.
Sketch No. 1.—Scheme of the silo wall.

salido por el hueco comprendido entre ella y la 5.^a bandeja quedará detenido por ésta, y depositado sobre ella en forma de prisma triangular limitado por el talud $a_4 c_4$. Este mismo proceso se irá repitiendo siempre que se sobrepase una bandeja, y al final, cuando toda la pared esté en carga, quedará una serie de prismas triangulares: $a b c$ en la primera, $a_1 b_1 c_1$ en la segunda, ..., $a_n b_n c_n$ en la $n + 1$.

Se produce, por decirlo así, una autocontención del árido, cuya masa total queda descompuesta en rebanadas (una por cada prisma), que tienen la inclinación del talud natural.

Los prismas retenidos en las bandejas proporcionan un peso por metro lineal de pared

$$n \gamma \frac{e d}{2}$$

(γ = peso por m.³ del material ensilado), con excentricidad

$$\frac{2e}{3} - \frac{e}{2} = \frac{e}{6};$$

favorable para la estabilidad.

En la sección transversal B se considera la pared con carga simétrica. Que el llenado a uno y otro lado se realice simultáneamente o no, el resultado será el mismo. Sobre cada estante quedará finalmente un prisma, cuya sección recta $m n o p q$ estará ahora formada por dos trapecios rectangulares iguales adosados por sus bases menores.

Cuando los compartimientos se vayan vaciando irán cayendo las partes de estos prismas correspondientes a los triángulos punteados. Por consiguiente, el espacio muerto o desaprovechado para el almacenamiento, por causa de la pared, está representado en sección por los pares de triángulos tales como los $n o p$ y $m o q$, cuya área total es:

$$\frac{e d}{2};$$

Si llamamos $\epsilon = 0,1 d$ al espesor de las bandejas, podemos valorar esa pérdida de espacio debido a una pared divisoria mediante la relación:

$$\frac{0,5 e d + e \epsilon}{d + \epsilon} = \frac{0,6 e d}{1,1 d} = 0,54 e;$$

III. VENTAJAS DE NUESTRO SISTEMA.

Vamos a enumerar las condiciones favorables del ensilado que se logran con nuestro sistema de paredes, y resaltar las ventajas que cada una proporciona.

Son las siguientes:

a) El resultado que se consigue con los distintos pisos de bandejas es análogo al de un fraccionamiento o descomposición del empuje total, correlativo con el fraccionamiento o descomposición, antes señalado, de la masa ensilada en rebanadas inclinadas. Estas ejercen su empuje individual aisladamente, sin que pueda sumarse al de las otras, y cada uno de ellos queda contrarrestado por elementos independientes con autonomía de equilibrio, como son los prismas que hay sobre los estantes.

Se ve que sucede así observando la sección A de la figura 1.^a. En los puntos $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$, de cada uno de los prismas formados en las distintas bandejas, el empuje es nulo por pertenecer dichos puntos al talud libre de esos prismas. Luego los empujes parciales en los espacios $a_1 b_1, a_2 b_2, a_3 b_3, \dots, a_n b_n$, no pueden sumar sus efectos.

Es decir, que la ley de variación del empuje sobre el plano definido por los bordes interiores de las bandejas, considerado como paramento de un muro de contención, no estará representada por un solo triángulo con altura igual a la de la pared, sino por una serie de triángulos en forma de dientes de sierra.

Precisamente a esto es a lo que se debe que no sea necesario aumentar el ancho de las bandejas según la profundidad a que estén colocadas. Así ha quedado comprobado experimentalmente en los silos construídos. La dimensión $b_i c_i$ era la misma en todos los prismas, ligeramente mayor que la correspondiente al talud natural para detener el material que rodaba en su caída al ensilarse.

Este hecho, característico de nuestro sistema, permite una idea de la gran reducción que se consigue en el empuje total. Y esta reducción llegará a ser aún bastante mayor de lo que a primera vista pudiera parecer si tenemos en cuenta que, debido a la pequeña dimensión horizontal que ofrecen los marcos verticales a la acción del empuje (véase frente de la figura 1.^a), cuando éste excede de un determinado valor no actuará sobre ellos con toda su intensidad. Ocurrirá lo mismo que con el efecto bóveda en las obras de fábrica de luz relativamente reducida bajo terraplenes de gran altura: no insiste

sobre ellas el peso de toda la tierra que tienen encima.

Claro que esto que acabamos de decir es aplicable para el caso de marcos verticales de una sola pieza, porque si se forman con dos pies derechos de perfiles metálicos, tal y como se representa en la sección A de la figura 1.^a, entonces el empuje resultante es prácticamente nulo, puesto que los pies derechos quedan envueltos por el material que forma los prismas.

Y todavía disponemos de un artificio para disminuir más el empuje sobre la pared. Chaflanar los bordes interiores $a_1 b$, $a_2 b_1$, ..., de las bandejas, con inclinación igual a la del talud de los prismas.

Que los prismas actúan independientemente, y con autonomía de equilibrio, se comprende fácilmente si suponemos que una de las bandejas se corre hacia el interior del silo. Al quedar su borde exterior por dentro de la línea del talud natural, dejará salir un chorro continuo del material ensilado, pero el resto de los prismas quedará sobre las demás bandejas sin experimentar movimiento alguno.

Únicamente los que están por encima de la bandeja corrida se verterán en parte hacia el interior cuando les llegue el turno, según va disminuyendo la altura de relleno en el silo.

b) Cuando la carga actúa por un solo lado de la pared, si bien el empuje queda grandemente reducido respecto al que se tendría con un muro de paramento continuo, siempre se producirá un momento solicitante.

Pero al tener la resultante P de los pesos de los prismas depositados en las bandejas, la excentricidad $\frac{e}{6}$ en sentido favorable, dicha resultante obra como un peso que estabiliza en cuanto al aspecto estático, y que alivia las tensiones en lo que se refiere al elástico.

Podríamos decir que esta clase de pared soslaya el empuje cuanto es posible, porque toda la parte de material adyacente que habría de transmitírsele, queda en libertad para buscar su equilibrio propio y natural convirtiéndose en masa que contiene y estabiliza.

Las variaciones en el ancho e de las bandejas y en la separación s de los pies derechos de los marcos verticales (véase sección A, fig. 1.^a), permiten modificar, aislada o colectivamente, la magnitud de los esfuerzos a que están sometidos los pies derechos.

c) En el caso de una pared divisoria existirá con frecuencia carga por ambas caras con altura distinta a uno y otro lado. Los pesos de los prismas sobre los estantes de la parte superior, en la que la carga es por una sola cara, darán una resultante con excentricidad estabilizadora. Cuando la altura de carga se haya igualado tal como en la

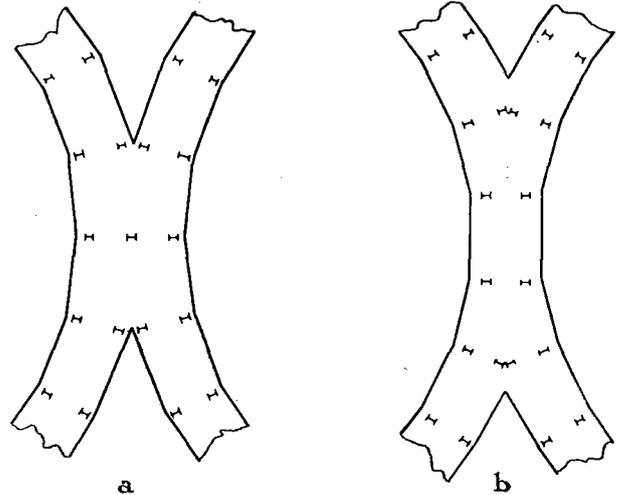


Figura 2.^a

sección B de la figura 1.^a, todos los prismas retenidos en las bandejas son simétricos y la resultante de sus pesos queda centrada.

Es algo así como si la pared se autoadaptase a los diferentes regímenes de carga, y que tal facultad le permitiese sacar en cada uno de ellos el mayor provecho y beneficio para sus condiciones de estabilidad.

d) Es fácil y rápido colocar tomas del material ensilado en cualquier punto de las paredes exteriores, aun estando los silos en carga.

Supongamos que se quiere establecer la toma entre los estantes 5.^o y 6.^o (sección A, fig. 1.^a). Se coloca una canal con su pico de tolva sobre el talud $a_5 b_5$, de modo que su boca de entrada quede en contacto con la cara inferior de la 5.^a bandeja. Se retira la parte de ella que impide el paso a la canal, y el material pasará a ésta, donde quedará detenido, pero dispuesto ya a deslizarse continua y libremente en cuanto se abra la compuerta del pico de tolva.

Este mismo proceder sirve para comunicar dos compartimientos contiguos y traspasar material de uno a otro lado.

e) Con las paredes de este sistema pueden construirse indistintamente silos de planta rectangular

o circular. La única diferencia es que con esta última los marcos verticales habrán de colocarse en dirección radial, y las bandejas se dividirán en secciones trapeziales en lugar de ser rectangulares.

Si se trata de una batería de silos circulares,

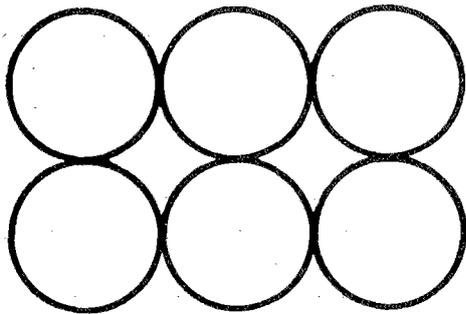


Figura 3.^a

pueden adosarse unos a otros según las disposiciones de las figuras 2.^a, *a*, y 2.^a, *b*. Es preferible la 2.^a, *b*, que requiere menos superficie de bandejas, menos pies derechos y menos cimentación. Permite además establecer comunicaciones entre los silos en la forma que ya hemos visto, aprovechando la parte común más estrecha.

Cuando los silos circulares se agrupan en la forma que indica la figura 3.^a puede almacenarse el material tanto en los recintos circulares como en los huecos que quedan entre ellos, sin que por esto sea preciso refuerzo de ninguna clase, ya que para la pared es indiferente estar cargada por uno u otro lado.

f) Puede lograrse una gran rapidez en la construcción de los silos.

Con bandejas prefabricadas, y armando los marcos verticales simultáneamente con la ejecución de la cimentación e infraestructura, inmediatamente de terminada ésta puede empezar el montaje de las paredes.

Un buen ejemplo de esto se aprecia en la foto número 1, en la que se ve una fase del montaje del silo de la instalación núm. 1 de las obras del Pantano de Tous. Aparece ya en su posición definitiva la estructura de una de las paredes, la cual sirve ahora de ayuda para izar la de la pared de enfrente.

g) En explotaciones o industrias de carácter temporal, una vez terminados los trabajos se recuperarán íntegramente todos los elementos que lo merezcan y quieran conservarse. El desmontaje es

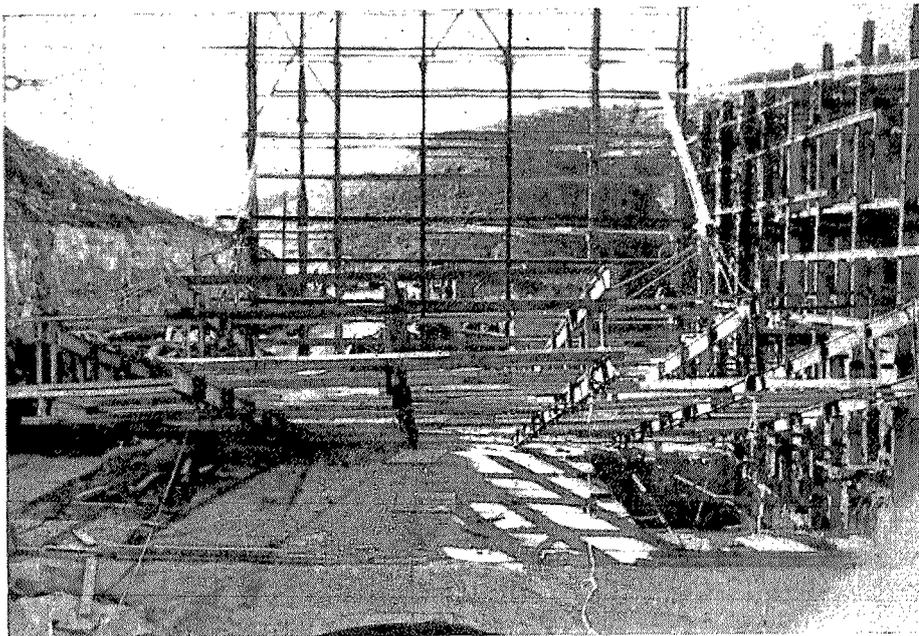


Foto 1.

Foto 1. — Silo de áridos de la instalación núm. 1, en las obras del pantano de Tous. Las estructuras prefabricadas se montan inmediatamente después de hormigonar la galería inferior. Se utiliza la ya montada para levantar la de la pared de enfrente.

Photograph No. 1. — Gravel silo at installation No. 1 of the construction works at Tous dam. The prefabricated structures are assembled immediately following placement of concrete forming the bottom gallery. The assembled wall is used for raising the wall seen in the foreground.

sencillo, rápido y económico, sin más demolición que la precisa para dejar libres de sus anclajes los pies derechos de los marcos verticales.

Si la índole de la explotación o industria fuese tal que los silos hubieran de tener varios empleos y en lugares distintos, cabe estudiar un despiece en secciones y una disposición tal de éstas que permitan un fácil transporte y una cómoda manipulación en montajes y desmontajes, así como la ampliación o reducción del silo para adaptarse a las necesidades de cada empleo y condiciones de cada nuevo lugar.

h) Queda eliminado el peligro de las sobrepresiones que se producen, que pueden ser ocasionales como las debidas a desprendimientos de materiales ensilados que se apelmazan, o la que siempre tiene lugar, en mayor o menor proporción, durante el vaciado de los silos.

En cuanto a esta última, según los experimentos de Takhtamishev, la mayor sobrepresión lateral ocurre con el movimiento que él llama de tipo dinámico, en el que el material se asemeja en su fluencia a un líquido a causa de que el coeficiente de rozamiento con las paredes es bastante reducido. En consecuencia, si este coeficiente de rozamiento fuese mayor, disminuiría el efecto del movimiento dinámico y la sobrepresión lateral sería menor. El movimiento se iría aproximando cada vez más al tipo llamado no dinámico, caracterizado por la formación de una chimenea estrecha que llega desde la boca de salida hasta la superficie superior sin que el material se despegue de las paredes. Para conseguir que siempre se efectúe el vaciado con este tipo de movimiento no dinámico, Marcel y André Reimbert preconizan el uso de un tubo metálico perforado colocado encima de la boca de salida y en toda la altura del silo, asegurando así la evacuación sucesiva del material de una manera ordenada.

En nuestro sistema de paredes la sobrepresión de vaciado será mínima, puesto que el paramento puede decirse que está formado por el mismo material ensilado; es decir, que el coeficiente de rozamiento será el del material consigo mismo.

Sea cual sea la magnitud de las sobrepresiones que puedan ocurrir, los grandes huecos entre estantes proporcionan otros tantos respiraderos para eludir esas sobrepresiones, y aun cuando se tapen por razones de aislamiento con el exterior, como el cierre puede ser muy ligero (tablas solapadas o tabique de pandereite), siempre jugarán el papel de

puntos débiles que ofrecerán una salida antes de que padezca la estructura de la pared.

IV. CAMPO DE APLICACIÓN.

Como el fundamento de nuestro sistema de paredes estriba en que el material ensilado adquiera al depositarse un talud natural, suficiente para que quede retenido en bandejas de anchura admisible en la práctica, puede aplicarse a la construcción de silos para materiales sólidos de cualquier tamaño, incluso pulverulentos, que cumplan con el requisito anterior. Tales son los siguientes: áridos, clinker, cemento, carbón, minerales, legumbres, cereales, etcétera.

Para aquellos que requieren protección contra los agentes exteriores pueden cerrarse, según se indicó anteriormente, los huecos entre estantes. Un buen cierre, económico, de rápida ejecución, y resultado completamente satisfactorio, como se ha probado en los silos de cemento de las distintas obras antes mencionadas, es el tabique de pandereite con enfoscados únicamente al exterior.

Vimos en la sección B de la figura 1.^a, que al vaciarse los compartimientos quedarán siempre sobre las bandejas los núcleos triangulares *m o q* de los prismas. Si se trata de inertes esto carece de importancia, ya que al final pueden rastrillarse para hacerlos caer y emplearlos. Pero cuando se ensilan materiales que se alteran o inutilizan a causa de una permanencia prolongada dentro del silo, como son el cemento y los cereales, conviene formar previamente los núcleos de los prismas con un inerte de escaso valor que puede ser la arena seca. Así lo hemos hecho en uno de los silos de cemento construido según nuestro sistema.

Proporcionando debidamente las luces *v* y *s* de los tramos laterales en voladizo y del central de las bandejas (sección A, fig. 1.^a), se conseguirá relacionar el momento flector en ambos apoyos y el máximo del tramo central. Así se facilita el empleo de cualquier clase de materiales corrientes en construcción para hacer las bandejas, y se podrán aprovechar sus cualidades en el mayor grado.

El arriostramiento que suponen los estantes asegura la estabilidad del conjunto, y proporciona una adecuada subdivisión de sus pies derechos en tramos debidamente apoyados, para que su resistencia intrínseca no se vea disminuída por efectos de pandeo.

Respecto a la estabilidad estática con carga por

un solo lado, citaremos el hecho de que, excepto en los silos de Salime, las paredes han quedado sueltas, sin referencias entre ellas, lo que permite resolver con gran facilidad y sencillez las esquinas, así como los encuentros y cruzamientos de paredes rectas en los silos multicelulares, puesto que las de distinta alineación pueden quedar desligadas e independientes unas de otras.

Todo esto hace que sea sencillo y rápido dividir en dos compartimientos un silo ya construido y en carga. Basta vaciarlo hasta descubrir la zona de fondo en que ha de arrancar la pared divisoria para presentar y recibir los marcos verticales, e ir colocando después los estantes que a medida que se ponen pueden irse llenando las dos celdas.

Esta división *a posteriori* hubo de hacerse en el silo de arena de las obras del Salto de Salime para, además de la arena de pizarra procedente de la cantera general, almacenar también la obtenida por molienda de una arenisca traída de las inmediaciones del Puerto del Palo. La operación se hizo con gran rapidez y sin que fuese preciso interrumpir el hormigonado con la arena de pizarra.

V. BREVE DESCRIPCIÓN DE ALGUNOS DE LOS SILOS CONSTRUÍDOS CON ARREGLO A NUESTRO SISTEMA.

El primero ha sido el ya varias veces citado de la obra del Salto de Salime, y del que en la figura 4.^a se representan la sección longitudinal del conjunto y dos semisecciones transversales.

Hay cinco compartimientos que reseñados de atrás hacia adelante son: el de gravilla, de 2.150 Tn. de capacidad; el de arena, de 850 Tn.; el de grava, de 2.200 Tn.; el de finos inertes, de 800 Tn.; el auxiliar de cemento sobre las básculas, en el que han cabido 1.200 Tn. llenándolo todo por completo hasta la cubierta.

El tabique de panderete que aísla del exterior este último compartimiento está en el plano vertical determinado por los bordes de afuera de las bandejas, y el que lo separa del de finos inertes queda colocado en el centro de los estantes.

Las bandejas son losas prefabricadas de hormigón en masa de 0,10 m. de espesor, o sea sin armadura alguna. Se apoyan sobre perfiles U del número 10 que corren horizontalmente entre los marcos verticales.

Los pies derechos se forman con dos I que tienen las almas en un mismo plano y separadas 0,95

metros entre ejes. Están unidos cada 2,20 m. de altura por barras horizontales de perfil U.

Por tener que colocar encima de los silos algunas máquinas y por otras razones que omitimos en gracia a la brevedad, se juzgó conveniente que estos arriostramientos horizontales de barras en U atravesasen los silos de arena y de finos para enlazar, uno con otro, los marcos gemelos que forman las dos paredes que limitan cada uno de esos compartimientos.

La pared delantera del silo de cemento, y las laterales del conjunto, quedan independientes y sin unirse a ninguna otra.

Los entramados de cada par de marcos gemelos, así como los marcos sencillos, se arman aparte en el suelo y se colocan una vez terminada la fábrica en que habrán de apoyarse.

El personal especializado que se empleó en la construcción fué el siguiente: un montador metálgico y dos soldadores para confección y montaje de marcos, dos mamposteros para colocación de las losas de estantes, y el resto fueron peones.

Se ve que, efectivamente, es fácil recuperar la totalidad del hierro empleado sin que apenas se necesite obra de demolición. En cuanto al hormigón en masa de las bandejas, como éstas tienen un ancho d 1,50 m., un espesor de 0,10 m. y están colocadas cada 1,10 m. de altura, resulta un espesor equivalente a

$$\frac{1,50 \times 0,10}{1,10} = 0,136 \text{ m.}^3$$

de hormigón por metro cuadrado de pared.

De las fotografías números 2 y 3 que se acompañan, la primera representa los compartimientos de cemento y finos inertes recién terminados los tabiques de panderete que los cierran y aíslan del exterior. En la segunda, tomada durante el montaje de una de las canales para el ensilado de la piedra por gravedad, se ve la gran boca superior de entrada al departamento de grava. Contigua, y más al fondo, se aprecia la boca más estrecha de entrada al depósito de finos.

El segundo silo construido de este tipo es bastante más reducido. Se ha levantado en las obras que ejecutó AGROMAN en Sierra Nevada para la Compañía Sevillana de Electricidad.

Las paredes, de 8 m. de altura, son todas independientes, con marcos semejantes a las anteriores y bandejas o estantes de madera. Encima de ellas se ha colocado un trómel clasificador de 1,30 m. de

diámetro y 6,75 m. de longitud (foto núm. 4). La altura máxima que alcanzan los áridos ensilados es de 10 m., y pueden extraerse por salidas dispuestas en el fondo o por tomas laterales.

En el silo de Orellana, las dimensiones generales del espacio que se consigue para almacenamiento de áridos son: 19,50 m. de anchura, 34,00 m. de longitud y 20,00 de altura. Las paredes del departamento central, que es el de gravilla, guardan

una separación entre ejes de 5,20 m., y sobre ellas se monta una plataforma para apoyar dos cribas vibrantes de 1,20 x 3,50 m. En la foto núm. 5 aparece su pared trasera que le separa del de la arena. Se aprecian perfectamente y con toda claridad los prismas formados sobre las distintas bandejas de esta pared, y también el perfil de los que quedan en las de la pared exterior de la izquierda normal a la anterior. En la foto núm. 6 se repre-

SECCION LONGITUDINAL

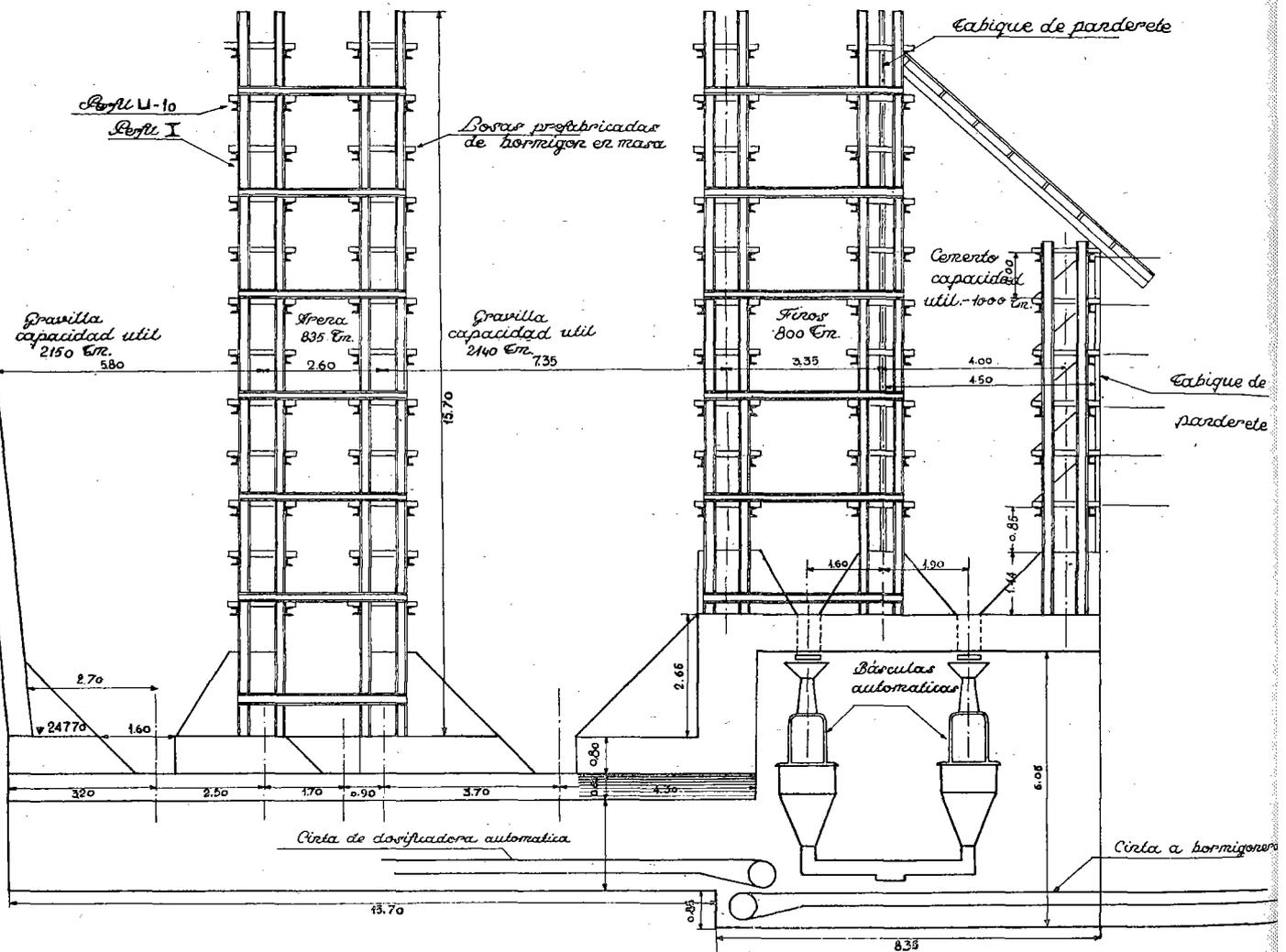


Figura 4.^a

Fig. 4.^a — Silos de áridos de las obras del Salto de Salime. Sketch No. 4. — Agregate silos of the Salime dam works.

senta la pared delantera del mismo departamento de gravilla, encontrándose el de grava a medio llenar.

La foto núm. 7 pone de manifiesto el efecto que se produce en un encuentro de paredes. A la izquierda está la grava, a la derecha la gravilla, y se distinguen netamente los vacíos en forma de V debidos a la presencia de la pared divisoria con carga por ambos lados.

Posteriormente se ha levantado el silo de áridos de la instalación núm. 1 para construcción de la presa de Tous, del que ya hicimos mención y cuyo conjunto se ve en la foto núm. 8.

El de la instalación núm. 2 de la misma obra tiene una cabida total para 22.000 m.³ de áridos, de los que 11.000 constituyen su capacidad útil, puesto que pueden tomarse directamente sin necesidad de empujarlos para acercarlos a las salidas

SEMISECCIONES TRANSVERSALES

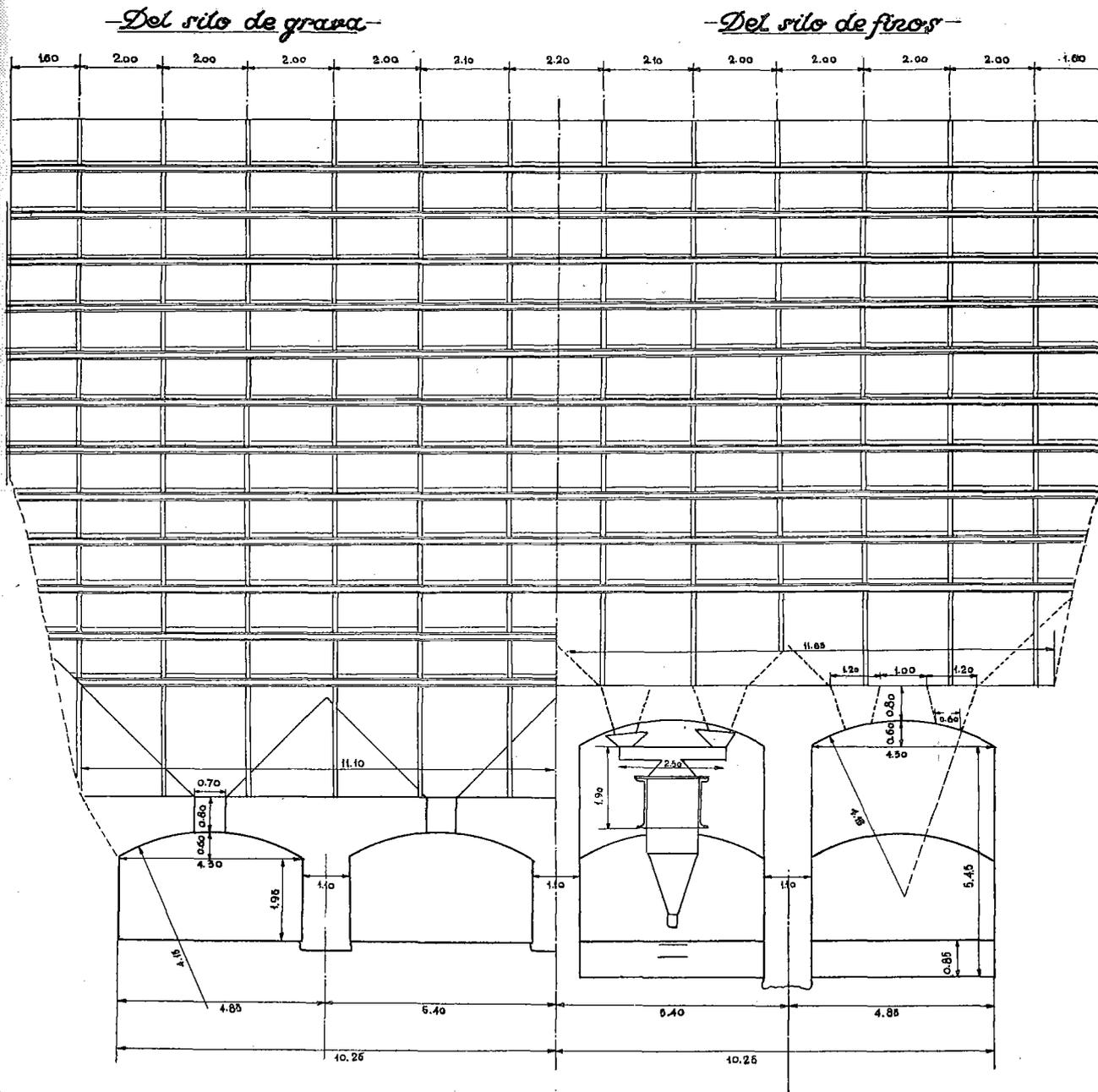
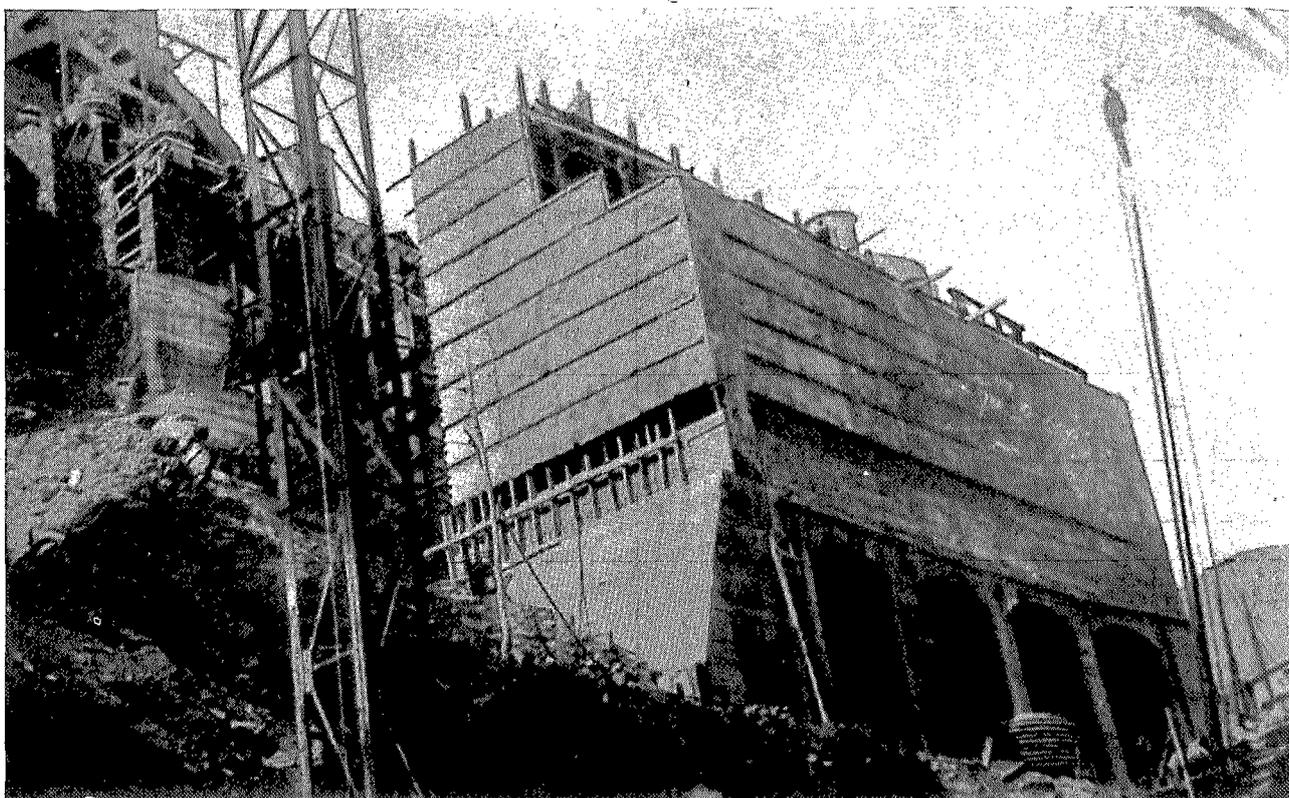
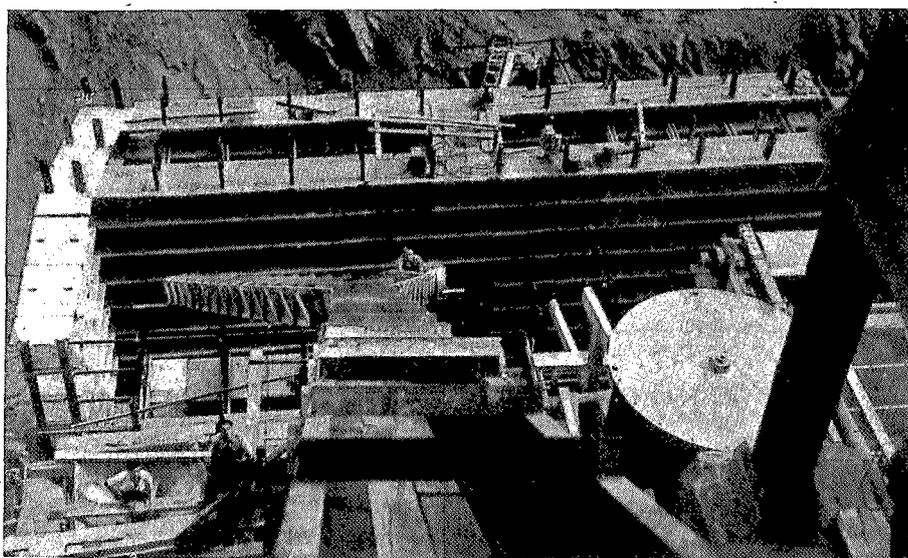


Figura 4.^a



↑
Foto 2.



← Foto 3.

Foto 2.—Silos de Salime. Los compartimientos para cemento y finos inertes están ya cerrados con tabiques de panderete. Se ven las bocas de entrada a las galerías donde se instalan las dosificadoras automáticas de áridos y las básculas, también automáticas, para finos inertes y cemento.

Photograph No. 2.—Silos at Salime. The compartments for cement and inert fines have been enclosed by thin brick panels. The photograph shows the entrances to the galleries where the automatic gravel batchers and scales are installed, as well as the automatic scales for inert fines and cement.

Foto 3.—Silos de Salime. Interior del compartimiento de la grava, con las bandejas colocadas. En primer término aparece la canal de la izquierda, subdividida después en dos, para ensilado del árido por gravedad.

Photograph No. 3.—Silos at Salime. Interior of the gravel compartment with shelves in place. In left foreground is the chute, divided near the bottom, for loading the silo by gravity.

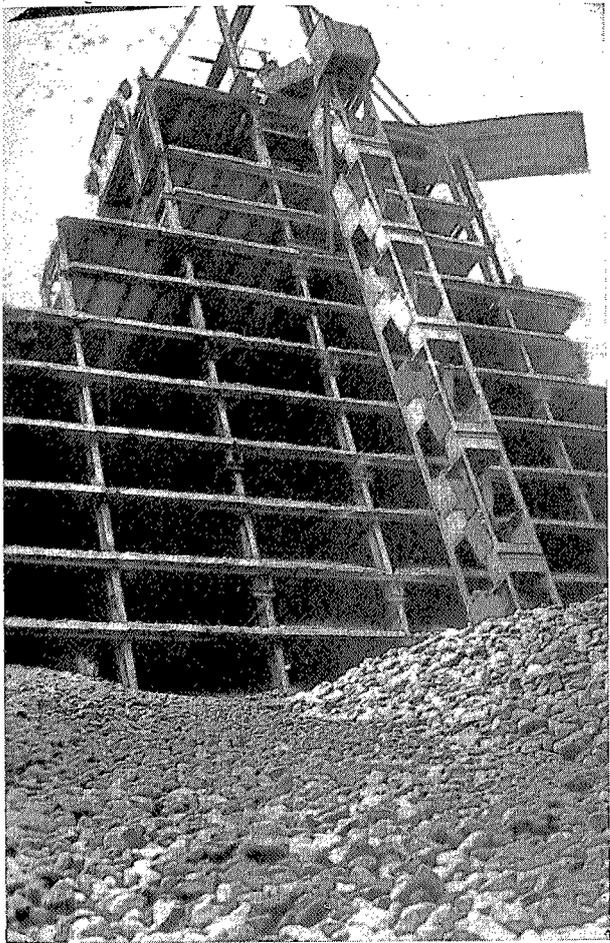


Foto 6.

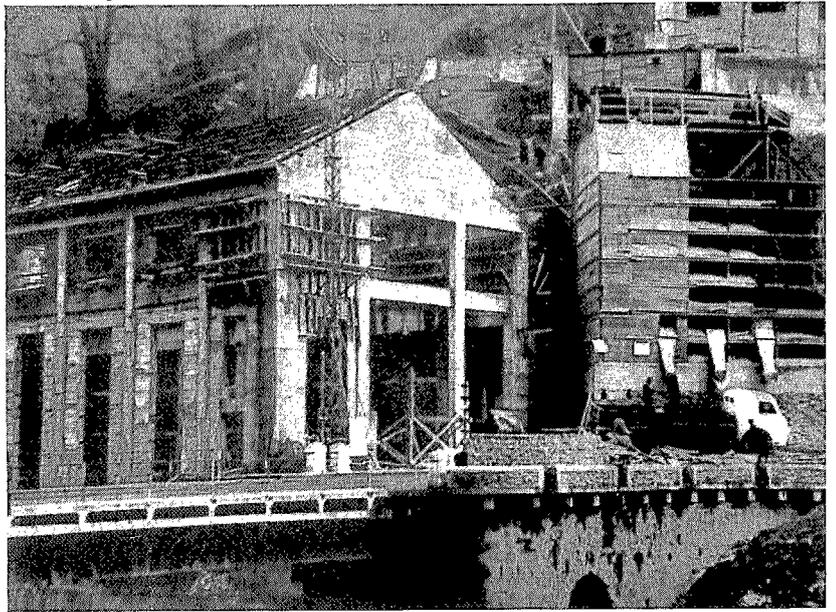


Foto 4.

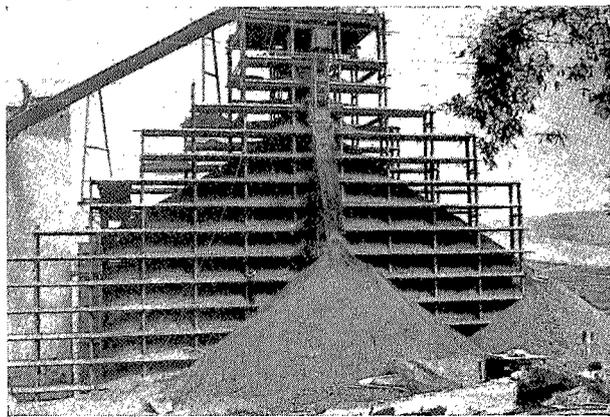


Foto 5.

Foto 4.—Silo de Sierra Nevada. El departamento de arena se ha cerrado con tabla. Además de las tomas laterales para camiones, existen otros de fondo para vagonetas.

Photograph No. 4.—Silo at Sierra Nevada. The sand compartment is enclosed with wood planks. In addition to the silo chutes for trucks, there are bottom chutes for rail cars.

Foto 5.—Silo de Orellana. Pared de separación de la gravilla y la arena. Se aprecian los prismas formados sobre las bandejas de esta pared y sobre las de la lateral izquierda.

Photograph No. 5.—Silo at Orillana. Wall between the fine gravel and sand. The prisms formed on the shelves of the separating wall, and the lateral left wall are shown.

Foto 6.—Silo de Orellana. Pared de separación de la gravilla y la grava con el compartimiento de esta última a medio llenar.

Photograph No. 6.—Silo at Orillana. Separating wall between the fine gravel and the coarse gravel bins, with coarse gravel compartment half filled.

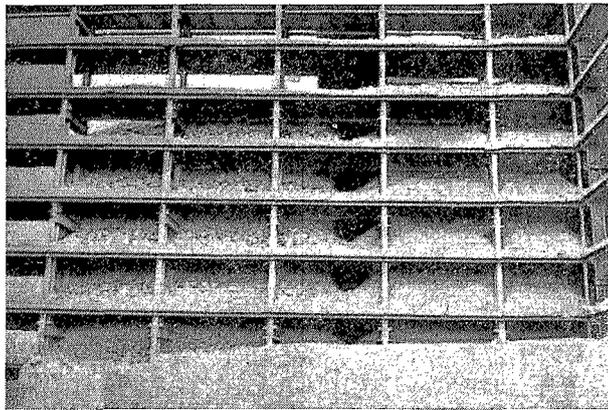


Foto 7.

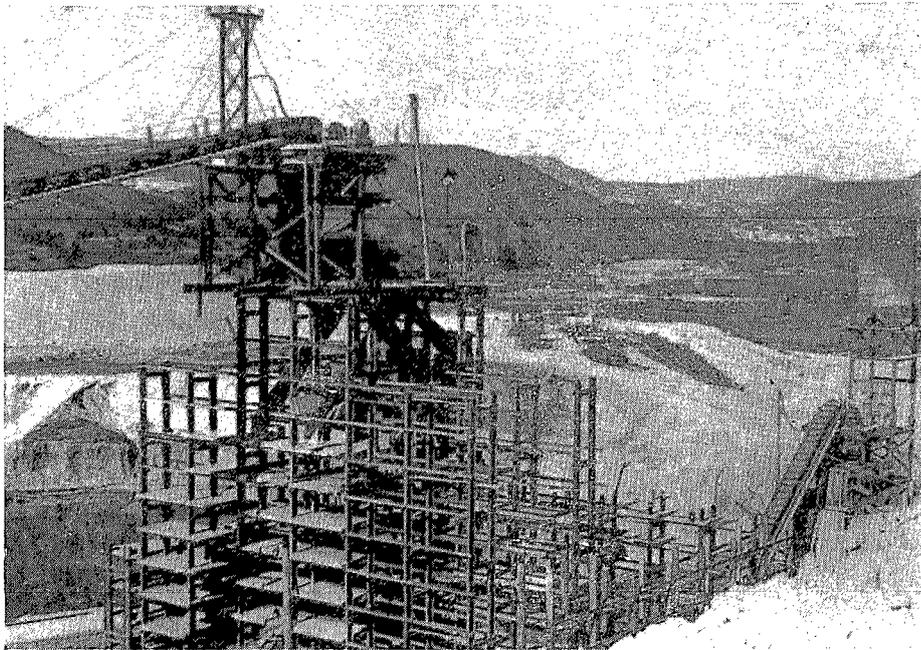


Foto 8.

Foto 7.—Silo de Orellana. Pared lateral izquierda. Se ponen de manifiesto los prismas formados en la pared separadora de la grava (izquierda) y la gravilla (derecha). Quedan los vacíos en forma de V, tal y como se indicó en la sección B de la figura 1.^a, que representa el caso de carga por ambos lados de la pared.

Photograph No. 7.—Silo at Orillana. Left lateral wall. The prisms in the wall separating the coarse and the fine gravel (left and right bins respectively) are clearly shown. The open spaces remain in the form of a Vee, as indicated in section B of Fig. 1 which shows a case where loading is from both sides of the wall.

Foto 8.—Silo de la instalación número 1 de Tous. Vista de conjunto de las estructuras una vez terminado su montaje. Las bandejas, colocadas en parte, son de madera.

Photograph No. 8.—Silo at installation No. 1, Tous. View of the group of structures after assembly. The shelves, only part of which have been placed are made of wood.

de fondo. La única pared en el exterior sirve para contener el montón de grava por la parte del frente; tiene 7 m. de altura y es semejante a las ya descritas, según muestra la foto núm. 9.

Las paredes de la galería inferior para extrac-

tuidos por dos perfiles en U, se sujetan con pernos a los dados de cimentación y se unen con tornillos al dintel. Con esta disposición se consigue además simplificar las paredes, porque las bandejas pueden estar colgadas de los extremos de los pescantes del

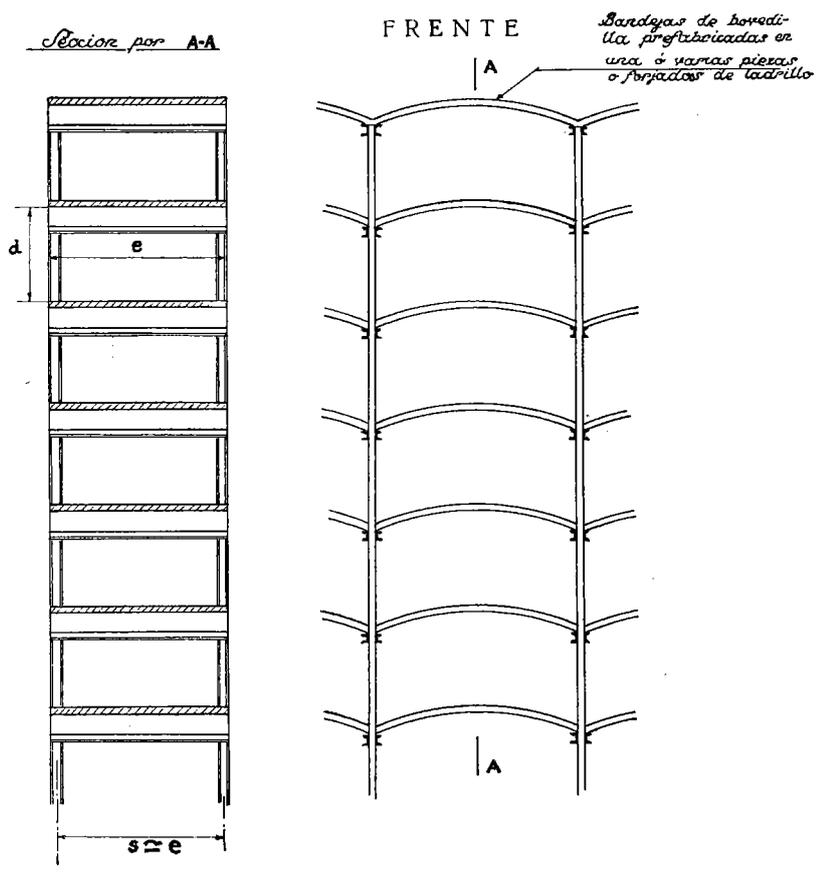


Figura 5.^a

ción de los áridos constituyen un ejemplo de la adaptación de nuestro sistema a las circunstancias de cada caso, y de cómo esta flexibilidad permite las variantes que se estimen oportunas para la mejor disposición del conjunto y la mayor economía de los materiales.

La foto núm. 10 nos proporciona una vista de la estructura de la galería, y representa claramente cómo es el marco que se repite a todo lo largo de ella. El dintel se prolonga en pescante a ambos lados, buscando con ello que el momento flector en los voladizos mitigue el central, sobre todo en los casos de máxima carga. Los pies derechos, consti-

tuídos por dos perfiles en U, se sujetan con pernos a los dados de cimentación y se unen con tornillos al dintel mediante un hierro redondo, ahorrándonos así los pies derechos correspondientes.

Todavía es posible una mayor economía al sustituir también por hierro redondo el perfil U en que apoyan las bandejas. A tal fin, éstas son ahora ligeramente curvas, con la flecha proporcionada al trabajo de tracción a que se quieran someter los redondos.

Las bandejas son de madera, y el techo se forma con chapa metálica curvada dispuesta de modo que trabaje a tracción.

En la foto núm. 11 vemos ya la galería completamente terminada y con los silos en carga. So-

bre las bandejas se han formado los prismas de áridos que testimonian por sí mismos su equilibrio bajo una gran altura de carga.

La recuperación de todos los elementos de esta galería es fácil y rápida.

Para cerrar esta serie de descripciones, vamos

Con esta clase de tabique se completa lo iniciado en la galería de Tous últimamente descrita. Allí suprimíamos solamente un pie derecho y lo sustituíamos por un redondo colgante; aquí hacemos eso mismo con los dos pies derechos de cada marco.

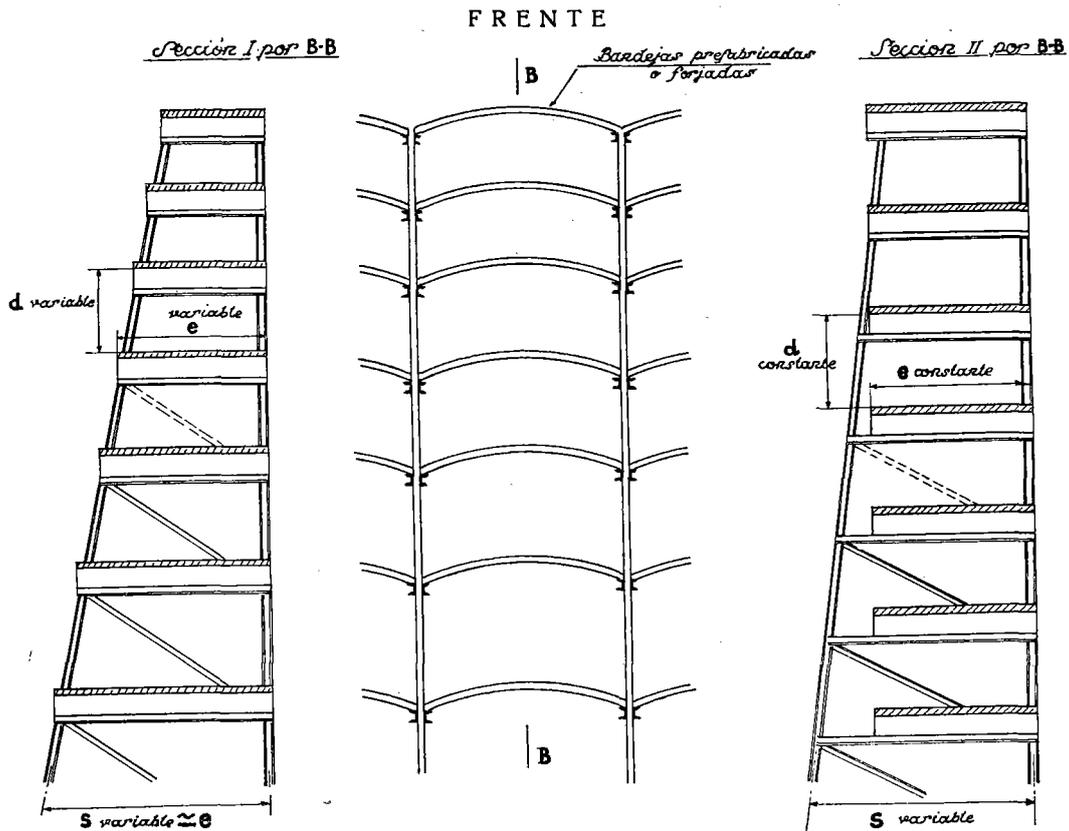


Figura 6.^a

a reseñar la variante empleada en el silo que hace el número nueve de los construídos, del cual aparece una vista parcial en la foto núm. 12.

Se trata de una instalación de cribado de revolución de áridos naturales. La estructura para apoyo de las cribas se coronan con la plataforma donde están colocadas, que sirve también como cubierta de los silos. Para evitar la cimentación de las paredes proyectamos colgarlas de la plataforma superior, tal y como se aprecia en la fotografía. En realidad lo que tenemos ahora es un tabique ligero, como una verdadera persiana abierta, constituido por una serie de tabloncillos horizontales sostenidos y colgados por medio de redondos de hierro.

De cuanto hemos dicho sobre su modo de funcionar se deduce el criterio y procedimiento que se ha de seguir en el cálculo de este tipo de paredes. De todos modos tenemos pensado ocuparnos de ello en otra ocasión.

VI. POSIBILIDADES EN LA CONSTRUCCIÓN DE LAS PAREDES.

Claro es que respecto a los silos que hemos reseñado son posibles numerosos cambios, lo mismo en la forma de marcos y bandejas que en la clase de material con que se hagan.

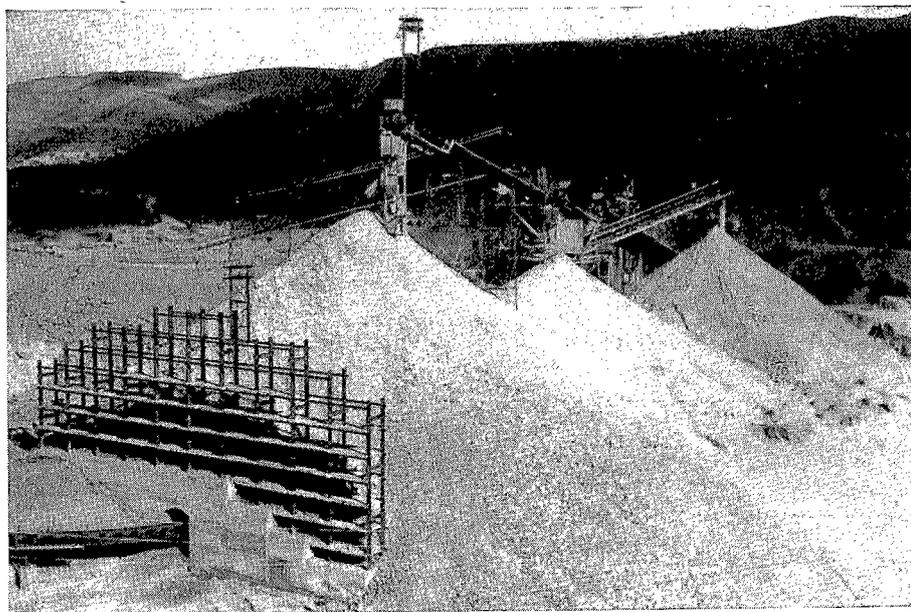


Foto 9

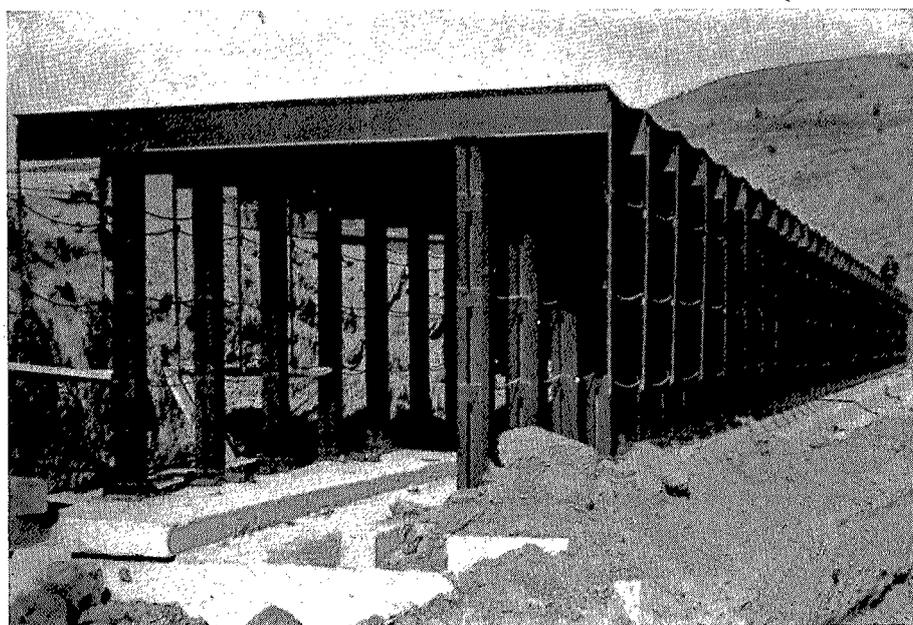


Foto 10.

Foto 9.—Silo de la instalación número 2 de Tous. Se ve la salida de la galería inferior, donde queda alojada la cinta transportadora para extracción y servicio de áridos a la torre de dosificación por peso con mandos eléctricos.

Photograph No. 9.—Silo at installation No. 2, Tous. Shows the bottom gallery which contains the electrically controlled belt conveyor for extraction and conveyance of gravel to the gravity batching tower.

Foto 10.—Silo de la instalación número 2 de Tous. Estructura de la galería inferior. Destacan perfectamente los hierros redondos verticales y horizontales que sirven para colgar y apoyar las bandejas.

Photograph No. 10.—Silo at installation No. 2, Tous. Arrangement of the lower gallery. The horizontal and vertical steel rods from which the shelves are hung and supported are shown clearly.

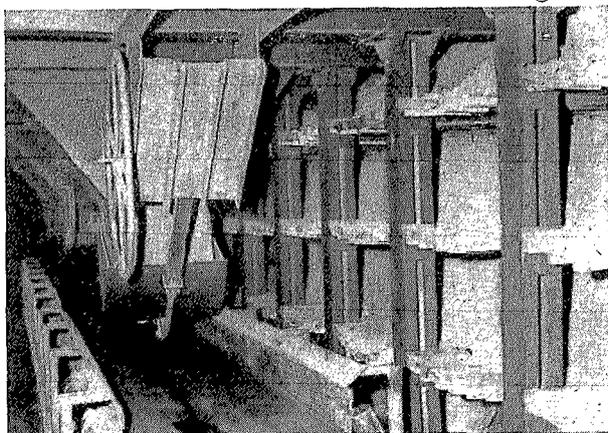


Foto 11.



Foto 12.

Foto 11. — Silo de la instalación número 2 de Tous. Interior de la galería con las paredes cerradas ya por los propios áridos almacenados. Se ven, además, los picos de tolva para cargar la cinta transportadora.
 Photograph No. 11. — Silo at installation No. 2, Tous. Interior of the gallery with walls enclosed by the stored gravel. The hopper outlets for loading the conveyer belt are also shown.

Foto 12. — Pared móvil de silo en forma de persiana, colgada del piso de cribas.
 Photograph No. 12. — Portable wall of the silo in form of a venetian blind hanging from the upper deck where the screens are to be placed.

En la figura 5.^a indicamos uno de ellos. Los marcos verticales son rectangulares con una separación S entre ejes de pies derechos prácticamente igual al ancho e de las bandejas, disposición que si bien proporciona el máximo de estabilidad estática y elástica cuando e viene fijada de antemano, puede ser un inconveniente para utilizar bandejas planas porque llegue a originarse en ellas un trabajo excesivo. Por eso se forman aquí los estantes con bovedillas, prefabricadas o no, que apoyan en perfiles U utilizados además para unir los pies derechos de los marcos.

La figura 6.^a representa el caso de marcos trapeciales que se triangularán hasta una determinada altura siempre que sea necesario. La dimensión e puede variar acoplándose a los distintos anchos, según se ve en la sección I por B B, y entonces variará también d como función que es de e . Pero también puede conservarse constantes e y d como se aprecia en la sección II por B B.

Con los estantes de bovedilla se producen en sus apoyos empujes en dirección normal a los marcos. Estos empujes se equilibran y anulan cuando el par de bovedillas contiguas están igualmente cargadas, pero quedarán descompensados y se transmitirán a los marcos extremos los originados por las últimas bovedillas cargadas. Como los marcos tienen escasa rigidez transversal no podrán contrarrestar estos esfuerzos normales a su plano.

La solución para esto se esquematiza en la figura 7.^a cuando se trata de una esquina. Consiste en aproximar los dos marcos extremos M de la pared T , para enfrentarlos con los pies derechos del último marco M' de la T' , y constituir entonces con el par de marcos M un entramado que absorba los empujes desequilibrados que provienen de T' . Un marco auxiliar M'' , que forma pareja con el M' de T' , sirve para formar otro entramado análogo al anterior para contrarrestar los empujes no anulados de la pared T .

Todos los marcos M , M' y M'' pueden ser trapeciales en lugar de rectangulares, e incluso ser solidarios todos ellos para llegar a formar una to-

re con la rigidez que requieran los empujes no equilibrados.

Visto ya de antes cómo se pasa del caso de esquina al de encuentro y cruzamiento de paredes, es fácil extender a estos dos últimos la solución anterior para contrarrestar empujes de bovedillas.

En cuanto a los materiales que se emplean, pueden ser los mismos para marcos y bandejas haciendo todo el silo metálico, de madera, de hormigón en masa o armado, de ladrillo o mampostería. Y puede emplearse también material distinto en marcos y estantes cambiando cualquiera de los ya citados.

Si se recurre al hormigón, puede optarse por las piezas prefabricadas o por las moldeadas *in situ*.

Cuando se utilice el ladrillo, los marcos se convertirán en tabiques o tabicones, bien en paños continuos o aligerados.

Por lo general, las fábricas de ladrillo, hormigón y mampostería son propias para obras de carácter definitivo. El hierro es adecuado tanto para los silos permanentes como para los transitorios, y la madera tendrá uso en casos de servicio temporal.

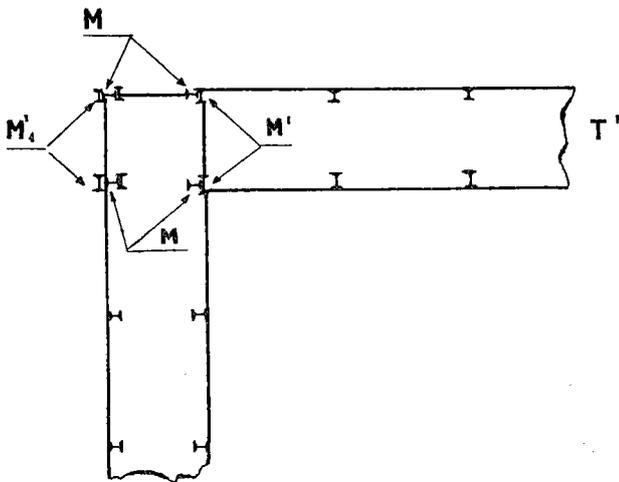


Figura 7.ª

En Salimé hicimos una pared enteramente de madera, con tablonés y tabla corriente, para el silo de una instalación auxiliar.

VII. APLICACIÓN AL SOSTENIMIENTO DE TIERRAS Y CONSOLIDACIÓN DE TALUDES.

Puesto que el sostenimiento de tierras no es sino un caso particular de ensilamiento, igualmente será utilizable nuestro sistema para la contención de rellenos en terraplén y de terrenos naturales

poco consistentes, casos en los que ofrece las importantes ventajas siguientes:

1.ª El hecho de que el coeficiente de rozamiento con la pared es el del material consigo mismo, elimina la indeterminación e inseguridad al fijar ese coeficiente para calcular el empuje. Podemos afirmar que éste tendrá la máxima componente vertical y la mínima horizontal que pueden darse en la prác-

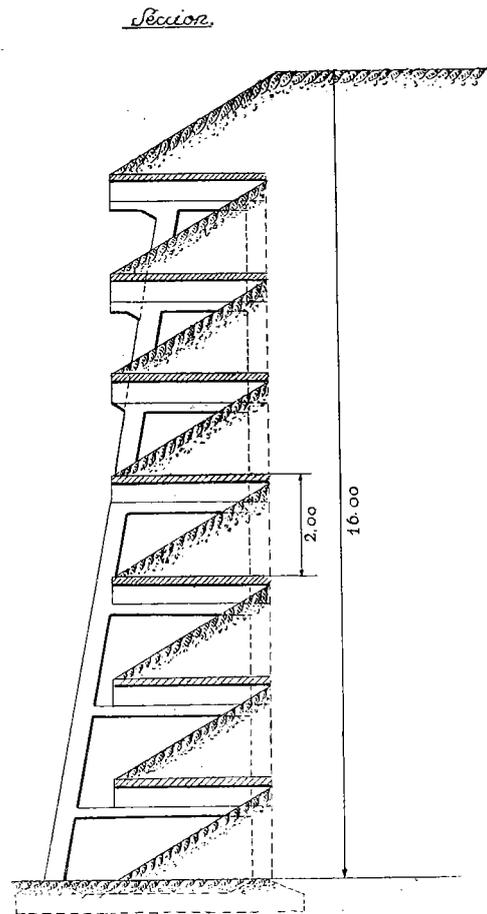


Figura 8.ª

tica, circunstancia que proporciona la certeza de haber conseguido la posibilidad más favorable en las condiciones de estabilidad.

2.ª Con gran frecuencia, una de las mayores dificultades, si no la mayor, en la contención de terrenos flojos, es la de asegurar un buen drenaje a lo largo de la pared y la evacuación de las aguas recogidas. Nuestro sistema da en este punto la máxima garantía de un modo natural, sin necesidad de gastos adicionales ni obras accesorias. Los grandes huecos que quedan en el frente constituyen el mejor drenaje que cabe en las proximidades del

paramento posterior, y son una salida siempre segura para las aguas.

3.^a Cuando se trata de contener un relleno en terraplén, o consolidar un talud de terreno natural, formados por tierras en las que el agua produzca entumecimientos, siempre será difícil evitar la ruina parcial o total de una pared de sosteni-

tierras que han vertido fuera de la pantalla. Estas podrían llevarse de nuevo al relleno o a vertedero, según convenga.

Si la obra hubiera de hacerse en paseos o jardines, puede aprovecharse para efectos decorativos la forma en arcadas de la pantalla en combinación con las posibilidades que ofrezca la fábrica elegida.

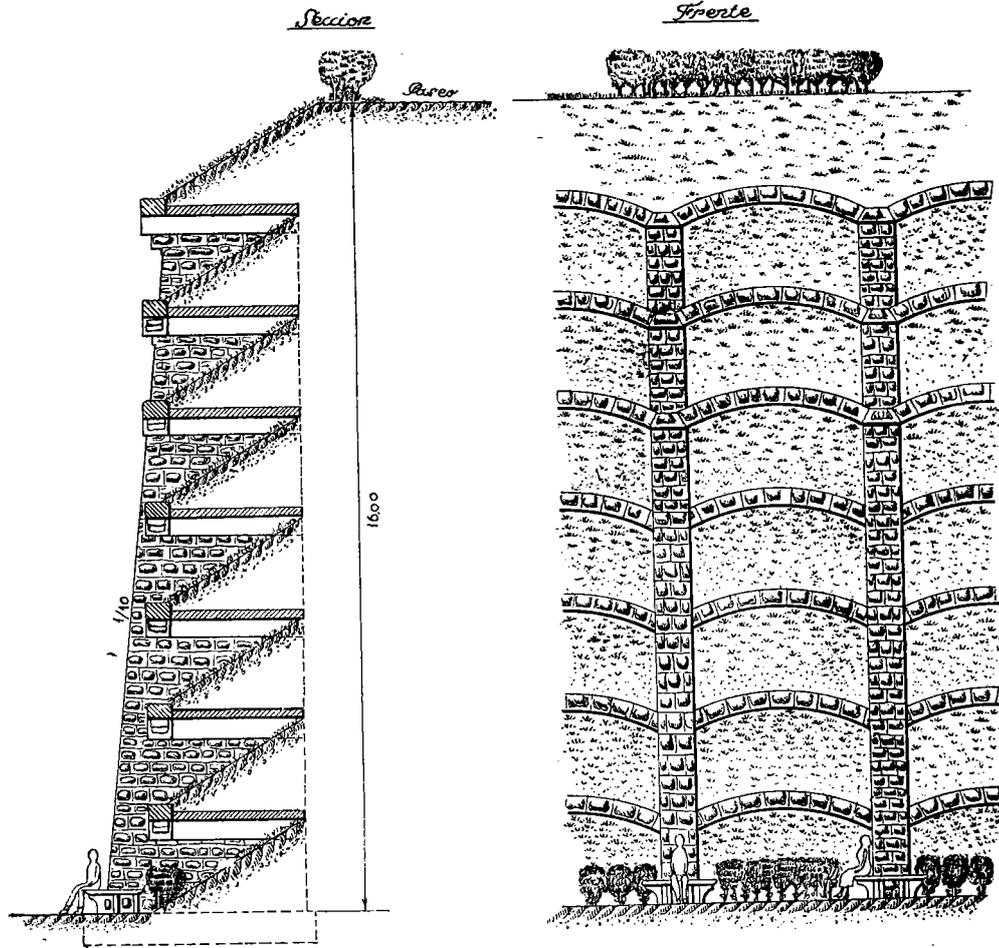


Figura 9.^a

miento con paramento continuo, por el gran incremento del empuje debido al henchimiento de la masa contenida. En cambio, cualquier tipo de pantalla diáfana como las aquí descritas, proporciona las máximas probabilidades de estabilidad y permanencia. Todos y cada uno de los grandes agujeros o ventanas de sus entrepaños son otras tantas válvulas de seguridad para el exceso de presión, porque ofrecen salidas de escape para la tierra henchida. La reparación que habría que efectuar consistiría en el arreglo de los taludes de los prismas que han quedado sobre los estantes, y en retirar las

También pueden hacerse plantaciones de flores en los taludes de los prismas inferiores y de césped en los del resto, y colocar bancos en el saliente de los contrafuertes que desempeñan el papel de los marcos verticales.

Valgan como ilustración de lo que acabamos de decir, los croquis de las figuras 8.^a y 9.^a.

Por último, nuestro sistema de paredes puede tener empleo también para entibación en trabajos de excavación a cielo abierto o subterráneo en terrenos sueltos y difíciles, así como para fortificación de carácter permanente en galerías de minas.