

Original

105178

LA FORMA MULTICELULAR

CILINDRICA EN LOS GRANDES BLOQUES

MEMORIA EXPLICATIVA Y PLANOS

LA FORMA MULTICELULAR CILINDRICA

EN LOS GRANDES BLOQUES

M E M O R I A

1ª - APLICACION DEL SISTEMA.-OBRAS EN EL MAR

Lento ha sido el progreso, que en el transcurso de los años, se ha realizado, en las construcciones en el mar, y es en estas donde la impotencia del hombre se ha manifestado de una manera tan rotunda, que cuando se reflexione, que el sistema de construcción de espigones con bloques perdidos ha sido hasta hace muy poco, el único admitido, como posible y todavía, se sigue utilizando en las construcciones de la infraestructura de espigones.

Un paso en el progreso, marca el empleo del aire comprimido, que permite trabajar en el fondo del mar, dentro de ciertos límites, naturalmente, en circunstancias casi semejantes, al aire libre, pero es tan oneroso el sistema, que hay veces, que el primitivo y rudimentario de los bloques, con su monótona lentitud, le sustituye con ventaja económica.

Es con la aparición del hormigón armado, cuando se inicia un verdadero adelanto, como en todas las ramas de la Ingeniería que se ha hecho (si se nos permite la frase) más técnica, al encontrar un material tan moldeable y fácilmente adaptable a la variabilidad de los esfuerzos a que pueden estar sometidos los elementos resistentes en las construcciones.

La aparición del hormigón armado como decíamos, ha traído consigo la posibilidad de construir grandes bloques, de las dimensiones exigidas, para oponerse al empuje de las olas (que en ello estriba el problema mecánico para el Inge-



niero del Puerto) pero dicha posibilidad en si, no resolveria el problema, si no pudiera colocarse en su sitio el bloque asi construido, recurriéndose para ello, primeramente a esas gruas gigantes, titanes de coste elevadisimo, y después al bloque flotante cuya flotabilidad no era posible conseguirla hasta no encontrar la pared delgada y fuerte que el hormigón armado prácticamente resuelve.

Pero la pared plana, el bloque de célula prismático rectangular no resuelve el problema de manera definitiva. En primer lugar, por lo costosa que resulta la construcción de estas verdaderas clases flotantes, (bloques de 10 x 8 x 40) y porque la misma debilidad de la pared plana, descarta la posibilidad siquiera de concebir, la ejecución de un bloque, de poca altura ya que si verticalmente ha de flotar, y después fondearle ha de tener por lo menos tanta altura, como profundidad tenga el mar en donde se utilice.

Es esta misma debilidad de la pared plana, la que limita el cálculo de la resistencia de sus paredes para el solo momento de la navegación y fondeo, apresurándose después a rellenarlo de hormigón. Pero si nos atrevemos a suponer que este bloque hueco, se puede colocar acostado, y además dejarlo hueco, la idea del aplastamiento, acude a nuestra imaginación aún sin tener la menor noción de mecánica.

Es por lo que decíamos que la idea de la pared plana, limitaba el campo de las concepciones, es pantalla que nos impide ver más allá.

Pero si somos un poco observadores vemos que la naturaleza es contraria a las formas planas, ni las capas sucesivas de los terrenos sedimentarios, en la tierra, ni la superficie del lago tranquilo, que es la concepción plana, mas repetida puede parecer como tales, sino únicamente miradas desde la pequeñez de altura del hombre.

Es por el contrario la forma curva la que la naturaleza adopta allí donde quiera que haya que resistir esfuerzos. Es esférica la forma de la tierra que tiene que aguantar las enormísimas presiones interiores desarrolladas por su propio



peso, primero como masa fluida, después al irse poco a poco solidificando. Es curva la bóveda craneana, que encierra la parte mas sensible y debil del organismo humano, son de sección circular las arterias y venas que llevan la vida a las diversas partes del cuerpo, y por último esférica la célula principio y fin de la vida.

Sustituyamos en el bloque la célula prismática por la cilíndrica y observaremos que esa diferencia, si nó es notable en la apariencia, es mucho más honda, mas trascendente, cuando detalladamente se analice, puesto que nos lleva a una verdadera revolución económica, en cuantas aplicaciones iremos presentando.

EL BLOQUE.-- Se compone de una serie de tubos de poca altura, unos 3 metros puestos unos al lado de otros, y sumergido en una masa de hormigón que los une exteriormente, y limita su forma exterior, a la de un bloque rectangular, fig. 1ª; una sección por un plano horizontal tiene la forma de la fig. 2ª vemos repartidas las circunferencias secciones, de distinta manera en el sentido de las dimensiones que llamaremos A. y H. del cajón que son la anchura y altura del bloque, cuando esté en su sitio ó sea fondeado.



Esa repartición de secciones está hecha, para sacar el mayor número de huecos posibles de un diámetro dado que si lo llamamos d , será cuando los centros, de tres circunferencias, estén en los vértices de un triángulo equilátero, cuyos lados sean $d + \epsilon$ siendo ϵ el espesor de hormigón que separa dos circunferencias y que se descompondrá a su vez en $2e + f$ en la que e será el espesor del tubo. El triángulo equilátero se orienta de forma que uno de sus lados sea paralelo a la dimensión A del bloque, en esa forma esta dimensión será:

$$A = \overline{d + \epsilon} + 1/2 d + C_A \quad (2)$$

C_A es a su vez la mitad de los espesores que demos a las paredes del cajón.

Observaremos que la mediana paralela a la otra dimensión H será la proyección del otro lado $d + \epsilon$ y como el ángulo en el vértice vale 60° dicha mediana será:

$$(d + \epsilon) \cos \frac{1}{2} 60^\circ = (d + \epsilon) \times 0,866$$

si le sumamos dos medios radios ó sea un diámetro

$$(d + \epsilon) 0,866 + d$$

será el espacio que paralelamente a la dimensión H. ocupen los tubos, y llamando como anterior C_H el doble del espesor de las paredes del tubo en este sentido de la H. la longitud del cajón se expresará por

$$H = \frac{(d + \epsilon) \times 0,866 + d}{2} + C_H$$

La otra dimensión que la hemos fijado en 3 metros juntamente con la posibilidad de poder colocar el bloque con los tubos acostados, permite una economía considerable, primero en la construcción del bloque, segundo en los medios de lanzamiento.

El bloque se construye en la orilla sobre una plataforma de entramado metálico que vá sobre ruedas, apoyadas en carriles.

Una vez construido es remolcado hasta la cabeza de la rampa de lanzamiento, única para todos, que con pendiente del 15 % penetra en el mar hasta obtener una cota de agua superior a 3 metros. Calculado el cajón para flotar, al llegar al sitio previsto lo hará, y desde allí con un remolcador, se conducirá a su emplazamiento, una vez llegado a las proximidades, se hace penetrar una pequeña cantidad de agua, en la fila de los tubos, que han de formar el asiento del bloque, este cambiará de posición y se situará con los tubos horizontales. El llenarlo poco a poco de agua y colocarlo en su sitio, es operación sencillísima para un bloque de estas dimensiones, cuando realmente no ha sido la mayor dificultad en bloques 30 veces mayores.



SU RESISTENCIA.- Estudiemos la del tubo que és el elemento del bloque y después la del conjunto.

Seguimos paso a paso, el estudio de las formas tubulares que en su tratado, "Cálculo de estructuras" tan magistralmente trata el distinguido Ingeniero de Caminos, Sr. Zafra, cuyas, son literalmente las conclusiones definitivas.

Consideremos un tubo de sección circular completamente

cerrado, sumergido en el mar y colocado verticalmente. Está sometido a los esfuerzos siguientes.

Una carga $H\delta$, constante en la misma sección horizontal, su efecto es, como en toda superficie velaria con presión normal, una compresión uniforme en todos los puntos, una flexión nula y dos acciones sobre un plano diametral iguales cada una a $h \times r$ tons-mal y por ser tangenciales, tratándose de un círculo son paralelas.

No hay pues componente transversal en ningún punto del tubo, ni por consiguiente empujes.

La circunferencia es la línea funicular del sistema de cargas uniformes, normales.

Ahora bien, tratándose de presiones interiores tal sistema es permanente de forma cualquiera que sea el valor de la carga. Si la presión obra exteriormente como es nuestro caso, hay una cierta carga crítica que análogamente a la del pandeo en las piezas rectas, determina las inestabilidad de forma, el paso del régimen elástico al plástico.

Esta carga crítica tiene por expresión para un espesor e y un coeficiente de elasticidad E



$$p = \frac{3EI}{r^3} = \frac{E}{4} \times \frac{e^3}{r^3} \text{ tons/m}^2$$

con un coeficiente de seguridad 4 y el valor usual mínimo de E , 150.000 Kgs/cm² ó 1.500.000 tons/m²

$$e^3 = 16p \times \frac{r^3}{E}$$

pero la expresión p expresada en metros de profundidad de agua es h y tomando $r = 0,35$ metros

$$e^3 = 16h \frac{0,35^3}{E} = 0,000000437 \dots e = 0,00769 \sqrt[3]{h}$$

y para h igual a 10, 20..... 100 m. $e = 0,018, 0,020, \dots$
0,036 metros.

Refiriéndonos a un tubo con paredes de hormigón, se admi

te un coeficiente de trabajo a la compresión usual de 40 Kgs. cm² ó 400 tons/m² el espesor así determinado sería para el radio r = 0,35 metros

$$e' = \frac{S h r}{400} = 0,000875 h$$

si hacemos h = 10, 20, 100, e' = 0,00875, 0,0175, ... 0,0875 m

Si el radio del tubo fuese r = 1 metros ó sea d = 2 m. la limitación de espesores por el pandeo sería.

$$e = 0,0326 \cdot \sqrt{h}$$

que nos daría para h = 10, 20, 100 m. e = 0,075, 0,098, ... 0,151 m. y la que exigiría la limitación del coeficiente usual de trabajo

$$e' = \frac{S h r}{400} = 0,0025 h$$

dando h valores de 10, 20, 100 m. e' = 0,025, 0,050, 0,25 m.



Consecuencia:- Es tan privilegiada la forma tubular, que puede decirse que ni por el pandeo, ni por el coeficiente de trabajo, hay verdadera limitación de los espesores de los tubos para la compresión simple que es el trabajo de los tubos situados en las condiciones anteriormente expuestas.

Una comparación con la forma prismática rectangular nos va a manifestar el contraste.

Considremos un prisma cuadrangular que tenga las mismas dimensiones lineales que el tubo de r = 1 m. ó sea un lado igual al diámetro 2 m. La colocación semejante. Para una altura de agua h = 20 m. la pared lateral está sometida a un momento flector máximo que en el caso de empotramiento en los apoyos:

$$M = \frac{1}{12} p l^2 = \frac{20 \times 2^2}{12} = 6,66 \text{ tons/m ó } 6.666 \text{ Kgs/m}$$

Una losa armada para resistir tal momento de flexión y admitiendo los coeficientes de trabajo para el hormigón y el acero dulce de las barras de 40 y 1000 Kgs/cm² respectivamente necesita un canto útil

$$h' = 0,390 \sqrt{11} = 0,390 \sqrt{6.666} = 32 \text{ cm (C. Kersten, pág, 222)}$$

Vemos pues que los espesores de las paredes del prisma y del tubo están entre si como los números $32/5 = 6,04$ es decir 6 veces mayor.

Supongamos ahora el tubo colocado horizontalmente. Un tubo cuyas paredes tienen un peso unitario p flota en un liquido de densidad δ cuando

$$\delta \pi r^2 + 2 \pi r p = 0, \text{ , } p = -0,5 r \delta$$

El signo menos pone en evidencia que la presión hidrostática es exterior. En tal caso el binomio $p r^2 + 0,5 \delta r^2$ es nulo y por consiguiente nulas las flexiones producidas por su propio peso p y carga hidrostática δ , supuesto el tubo apoyado en su generatriz inferior que tiene por representación la ecuación

$$EM = \Psi (p + 0,5 r \delta) x r^2 \text{ (Zafra, pág, 200, Tomo II)}$$

Si el tubo aflora, el nivel del liquido y no hay carga alguna sobre la generatriz superior el trabajo de las paredes se reduce al producido por los esfuerzos normales variable desde la presión $N = - \delta r^2$ en la sección diametral horizontal, hasta anularse en la sección vertical. Los esfuerzos tangenciales, son, como los momentos flectores, nulos en todas partes.

Si el tubo flota entre dos aguas con una carga de h metros sobre la generatriz superior, se suma al régimen antes definido, el de un esfuerzo normal uniforme en todo el tubo $N = - \delta h r$.

Estos regímenes de compresión neta, que son de la misma cuantía que los considerados anteriormente para el tubo vertical hemos visto ya que no exigen espesores apreciables en las paredes de los tubos.

Si el tubo descansa sobre el fondo tocando este en una zona de poco ancho el valor del momento de flexión es $M = \Psi = \chi(p r^2 - 0,5 \delta r^2)$,



de cuyas variaciones en todo el perimetro del tubo, puede uno darse cuenta al observar la fig. 3ª, donde se vé que el máximo, que corresponde al punto de apoyo el valor numérico Ψ llega a alcanzar la cifra de 1,5 que nos indica lo poco conveniente, que és la situación del tubo, supuesto apoyado en el fondo. Así y todo como el referido binomio tiene muy poco valor absoluto, puesto que p peso por metro lineal de desarrollo de tubo tendrá por ejemplo para $e = 10$ cm. $r = 1$ m.

$$p = 2200 \times 0,10 \times 1 = 220 \text{ Kgs/m.l.}$$

Entonces el valor de M será,

$$M = 1,5 (220 - 0,500) = 329, 25 \text{ Kgs/m.}$$

siempre pequeño y nunca comparable con los que despues hemos de obtener.

Bien porque se asiente el tubo sobre terreno permeable, con lo cual pueden desarrollarse las reacciones verticales (sub-presiones) que equilibren el peso $2\pi r p - \delta r^3$ entonces la presión Ψ tiene su máximo en el punto de apoyo y un valor absoluto de 0,441 la repartición de momentos flectores está indicada en la fig. nº 4.

Cuando el terreno es impermeable y bastante compacto se puede asimilar su efecto al de una cama de 180° que anula la deformación del semi-tubo inferior, el máximo que tiene lugar en los extremos de un diámetro horizontal se reduce notablemente pues vale $0,109 p$, la ley de repartición de momentos puede examinarse en la fig. 5.

Pero el tubo suelto, en las aplicaciones que ha de tener, nunca se posará horizontalmente de una manera definitiva, esta posición la adquirirá con caracter meramente accidental cuando se le conduzca flotando ó entre dos aguas, posición como hemos visto antes favorabilisima, para lo que a esfuerzos transversales se refiere.

Su posición será la de un tubo embebido en una masa de hormigón de la que el cajón multicelular cilindrico es su forma representativa.



El problema mecánico que ya se nos presenta aquí, es el clásico de una galería enterrada, pero en el cual cesa la indeterminación producida por el desconocimiento del estado de equilibrio de la masa superior, en que al entrar en juego una componente vertical (peso) y otra horizontal (empuje) dependiente de la cohesión de las tierras se establece la hipótesis de anulación de los empujes horizontales por ser pequeños en el orden de relatividad con respecto a las verticales.

Con tal supuesto la simetría de acción y sus reacciones respecto al plano diametral horizontal es completa, y basta estudiar un semi-tubo como arco empotrado pero libremente deformable en el sentido de dicho plano. La reacción H es nula y la V vale $p \times r$, llegándose a la conclusión que el momento de flexión tiene por expresión

$$M = \frac{1}{4} 0,25 pr^2 \text{ (Zafra, pág. 220, Tomo II)}$$

correspondiendo los máximos negativos a los extremos del diámetro horizontal y los positivos al vertical.

Conocido este momento de flexión vamos a determinar que límite de p es el que puede soportar un tubo en estas condiciones.

Supongamos fijado el espesor del tubo y este sea 7 cm. el del caso que expondremos después, el valor máximo de M obtenido por la ecuación anterior ha de satisfacer a su vez la

$$7 = h' = 0,390 \sqrt{M} \text{ (Hersten, pág. 223)}$$

puesto que para el efecto de flexión una zona de 1 metro de desarrollo lineal de tubo se comporta como una losa plana, su ponemos $\sigma_c = 1.000 \text{ Kgs/cm}^2$ y $\sigma_t = 40 \text{ Kgs/cm}^2$, tendremos pues

$$\frac{h'^2}{0,792} = 0,25 pr^2$$

de la que sacamos

$$p = \frac{72}{0,25 \times 0,39^2} \times \frac{1}{r^2} = 1269 \times \frac{1}{r^2}$$

La que nos hace ver que para un espesor determinado de tubo las presiones que pueden soportar, varían como las inver



sas de los cuadrados de los radios.

Si damos los valores $r = 1, 0,50, 0,40, 0,35 \dots 0,20$ y $0,10$ m. obtenemos para p los 1289, 5156, 8056, 10518... 32225, 128900 Kgs.

El valor de p aquí obtenido, es en el supuesto de que el tubo esté en el aire ó bien estando sumergido, no deje penetrar el agua en el interior, pero como precisamente, es al mar al que siempre le obligamos a prestar su concurso al dejar penetrar el agua en su interior o mejor dicho al llenar de agua los tubos, se establece el equilibrio de la masa, el tubo no podrá deformarse sino por una fuerza de p' que será la diferencia entre p peso absoluto de la masa y p_1 sub-presión siempre igual a $H \times S$.

Si consideramos el primer metro de bloque sumergido su peso por m^2 aun estando llenos de agua los tubos es inferior a una tonelada carga de agua, luego serán cantidades negativas las que habrá que sumar al peso que ya tenga el bloque en el plano de la línea de agua.

La limitación de esta presión, hasta la máxima que es admitida para coeficiente de trabajo usual del hormigón 40 Kg/cm^2 nos lleva a la conclusión siguiente. La altura del bloque que puede llegar a alcanzar la cifra de $40 \times 10 = 400$ metros y como dada la forma de construirse aquellos, nada nos limita la dimensión H . se puede considerar resuelto el problema de construir viaductos sobre el mar, en profundidades de 400 metros.

La importancia de todo esto se manifiesta en que no es la profundidad del mar la que limita la posibilidad de construir el espigón o el muelle.

FLEXION LONGITUDINAL.- Puede producirse esta flexión por dos causas:

- 1ª - Por estar sustentado el tubo del mismo modo que una viga por dos o mas apoyos transversales.
- 2ª - Por haber influido en su interior que provoque presiones desiguales en las distintas secciones del tubo.



Este primer caso de flexión longitudinal, puede presentarse cuando se lleve un tubo flotando a una cierta velocidad originando al navegar una ola de longitud igual a su eslora y puede llegar a colocarse de modo que su punto medio coincida con la cresta, con lo que trabajara a flexión en forma parecida a una viga apoyada en su punto medio.

El momento de flexión en la sección media viene dada por la fórmula aproximada

$$M = \frac{1}{30} P.L \quad (\text{Hütte, pág. 817 Tomo II})$$

P = Desplazamiento

L = Longitud del tubo (Eslora)

Si el tubo tiene $d = 1$, $e = 0.10$, $L = 10$ m., siendo de hormigón su peso ~~xxxxxx~~ es $1^3 \times 3,14 \times 2200 \times 0,10 \times 10 = 690,8$ Kgs,

Sumergido desplaza

$$10 \cdot \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3,14 \times 1,20^2}{4} = 1,131 \text{ tons}$$

El desplazamiento efectivo, $1,131 - 0,691 = 0,440$ tons



$$M = \frac{440 \times 10}{30} = 146,5 \text{ Kg/m.}$$

El módulo resistente

$$W = \frac{\pi}{32} \frac{D^4 - d^4}{D} = 87,8 \text{ cm}^3$$

Correspondiendo una fatiga unitaria.

$$\sigma = \frac{146,6}{87,8} = 1,6 \text{ Kgs/cm}^2$$

valor insignificante.

Supuesto el segundo caso de flexión observaremos que las tapas de los tubos, que como sabemos coartan la deformación a lo largo del meridiano, origina momentos de flexión cuya determinación en último término nos llevaria, practicamente a reducir, la presión que experimentaria el tubo, supuesto vertical en su fondo en tan poca escala que nos dispensa de efec

tuarlo . La aplicación de la formula no ofrece dificultad por otra parte (veasé Peña y Boef - Mecanica Elástica, pág,156) SU ESTABILIDAD.- El bloque considerado como elemento de un espigón está en circunstancias distintas desde el punto de vista de estabilidad, que el que forma parte de un muelle.

En el primer caso puede estar sumergido en aguas profundas ó en aquellas cuya profundidad sea igual o menor que la de la ola máxima local nos permitimos llamar asi al ola de mayor altura conocida en un paraje determinado o de mayor potencia registrada.

La primera clasificación entraña mucha importancia en efecto, sabemos que una ola cuya altura sea menor que la profundidad del mar en que se desarrolla no produce ninguna reacción sobre una pared vertical en la que incide.

"El obstáculo es encontrado por la ola en su nivel medio, al bajar ó al subir, cada ola de reacción toma la misma forma que la de acción, pues si es encontrada en la cresta o bien en el seno interfiere, tanto en un caso como en otro, la ola sube o baja, con respecto a su nivel medio, a una altura de $1,97 h$ siendo h la altura de la ola, la ola oscila a lo largo del obstáculo sin romper, asi se explica como el mar está relativamente tranquilo, junto a los acantilados cortados a pico (Cordenoy, Tomo I, pág,707 ed. 1900)

"La pared dice (M. Benezit, pág.79, tomo I) no recibe ningún choque, está sometida unicamente a las presiones hidrostáticas rítmicas que produce la subida y descenso de la ola. Esta traslación de la masa de agua produce efectos de sobrecarga al pié del muro cuando aquel está a profundidad inferior, al limite de propagación de acción de la ola (7 ó 9 m. por debajo de su seno en Oran y 9 m. en Cherburgo).

Luego un espigón formado por bloques, colocados los unos al lado de los otros no tiene que temer nada si está sumergido en un fondo de altura superior al la mayor ola conocida en la localidad y definitivamente a la de mayor efecto conocido.

Pero si la ola encuentra un fondo de menor altura



que la que lleva, el movimiento oscilatorio de las moléculas está interrumpido, roto el equilibrio, la masa de agua se traslada, y cualquier obstáculo que encuentre después en su camino tiene que recibir todo el empuje de esa masa.

Su efecto es producir una presión sobre el obstáculo, reconocen todos los tratadistas que esta no ha rebasado nunca de 33 tons m^2 , esta presión de una magnitud formidable, pues viene acompañada con todo el aparato de la tempestad, como tal presión estática, tenemos que reconocer que no nos asombra; cualquier elemento constructivo está trabajando normalmente con presiones muchísimo mayores: las viguetas de un piso: el cargadero de un dintel; sabemos que trabajan a 10 Kgs mm^2 igual a 1,000 tons/ m^2 casi 30 veces superior. Demos pues al bloque la masa suficiente para que dicha presión no pueda arrastrarlo ni volcarlo, tomándonos un cierto coeficiente de seguridad y habremos resuelto el problema. Pero llevemos las cosas a su punto, no incurriendo en exageraciones. No podemos admitir que si la pared se pone como obstáculo a la traslación sea toda ella y en toda su altura, la que reciba las máxima presión. Estudios se han hecho perfectamente detallados, en lo que se refiere a este reparto de presiones que además han sido comprobadas experimentalmente en todo lo que debe de admitirse para que nosotros podamos aplicarlo. Es el Tte. Gaillard, el que después de más de cien experiencias, ha encontrado una curva que copiamos a escala en la fig. 6ª que representa los esfuerzos de una ola que se rompe en una profundidad igual a su altura. El eje de las X representa las alturas el de las Y las presiones, tomando como unidad la máxima, que como en la curva puede verse, está situada a una altura sobre la superficie de equilibrio de 1/10 de h altura total de la ola, a su vez la superficie de equilibrio está en la cuarta parte de la altura total, y la cresta a las 3/4 partes de aquella (Véase Dardemoy, pág. 79, tomo I).



Ahora bien la potencia real de la ola según el mismo Gaillard se puede expresar por libras pies para cada pié de longitud medida en la cresta por la fórmula $6\sqrt{3} h^3$ siendo h la altura total de la ola esta misma fórmula en Kgs, y por m^2 es

$$P = 345 h^2$$

Observaremos que esta fórmula dá para una altura de ola igual a 10 m. una presión de 34,5 tons/m² que es muy aproximada a la máxima observada 33 tons/m² y correspondiendo tambien a dicha altura.

Al representar pues en la fig. 6 como ordenada máxima la unidad esa presión será 345 h², las presiones a las distintas alturas que corresponden a los puntos 1,2,3,...10 ó sean las ordenadas medias de las zonas que resultan de dividir en 10 partes iguales la altura total, y que tienen por valores 0,73 0,91, 0,98, 1,00, 0,97, 0,90, 0,75, 0,62, 0,56, 0,19, las que sumadas dan 7,52 P, pero como hemos dicho que E es igual a 345 h² el valor de la resultante de estas presiones será pues

$$E = 7,52 \times 345 h^2 = 2594 h^2$$

El punto de aplicación de esta resultante está determinado gráficamente en la fig. 6 mediante el funicular A.B.C....J. y que vemos viene próximamente a la mitad de la altura h.



Si suponemos un bloque de altura h igual a la de la ola de un espesor e el equilibrio exige que en el momento de aquella resultante y el del peso del bloque con relación a la arista opuesta del mismo sean iguales, ó bien el del peso sea 11 veces mayor tomando este coeficiente de seguridad; representaremos por

h' = altura de las supreestructuras
t = peso del m³ de material de aquellas

La ecuación de equilibrio será para una faja de 1 m. de longitud del bloque

$$\frac{e}{2} e(h' + h(t-1)) = m 2594 h^2 \frac{h + h'}{2}$$

ded donde deducimos

$$e = \frac{\sqrt{2594 \times h^2 (h + h')}}{h't + h(t-1)} \sqrt{11}$$

Si admitimos un coeficiente de seguridad N = 1,5, para t = 2200Kgs y una altura común de supreestructura de h' = 4 m. tendremos para

$$h = 3.. \quad e = 4,29 \text{ m.}$$

Para $h = 4$ m. $e = 6,34$ m.

Para $h = 5$ m. $e = 7,56$ m.

Para $h = 10$ m. $e = 16,09$ m.

Observaremos que para que todas las condiciones que la hipótesis anteriormente establecida se realicen, hace falta que la cresta de la ola se mueva paralelamente al paramento del muro, adquiriendo la intensidad de las 34 tons/m² en todo lo que coje el bloque que este no tenga rozamiento alguno con el fondo, que toda la masa de agua a sotavento no ponga resistencia alguna al vuelco, que las olas anteriores no hayan producido movimiento alguno en la masa líquida, para que aquella se produzca en todo su efecto. Son condiciones que han de sumarse y que con arreglo al cálculo no serán todavía bastantes para volcar el bloque si a este se le dan las dimensiones requeridas.

Hemos de advertir que es de mayor eficacia el aumentar el peso t. del m³ del muro por el aumento de la ^{den}densidad de los materiales que es su anchura, es decir, que un bloque de densidad 2 para oponer la misma resistencia que otro de densidad 2,7 tendrán sus dimensiones lineales que guardan la relación $(2,7 - 1) : (2 - 1) = 1,7$



Su volumen sería por consiguiente $1,7^3 = 5$ veces mayor y su peso en el aire sería $5 \times 2 : 2,7 = 3,7$ veces más grande.

A partir de profundidades superiores a 10 m. la ola no rompe pues no se ha conocido ola, de superior altura, el bloque no está sujeto al empuje alguno no hay que pensar en los efectos de la ola y por consiguiente bastará darle a los tubos la necesaria resistencia para resistir las presiones usuales.

La presión máxima de 34 tons/m² no se ha tenido en cuenta en el cálculo de la resistencia de los muros porque precisamente los bloques que han de estar sujetos a estas presiones exige su densidad que sean completamente macizos, y aun todavía como decíamos anteriormente, puede aumentarse su den

sidad empleando en el relleno como material inerte mineral de hierro en vez de piedra partida en los tubos verticales con que se forman los bloques de la superestructura.

En los muelles en donde tampoco hay que tener en cuenta el empuje de la ola, habrá que atenerse a la sobrepresión producida por las cargas accidentales, estimando estas en 6 tons/m² y que la superestructura tenga 2,5 m. de altura no podrá exceder en total de la que puedan soportar la primera fila de tubos que emerge del mar en x/b.m.e. El tanteo de diámetro ha de hacerse pues con estas limitaciones.

Reasumiendo, un espigón organizado con el sistema de bloques multicelular comprenderá 3 trozos o alineaciones.

- 1ª - Alineación hasta profundidad de 4 a 5 m.
- 2ª - Alineación reforzada profundidad hasta 10 m.
- 3ª - Alineación para profundidad superior a 12 m.

Para la 1ª se organizará la infraestructura con bloques huecos en que la dimensión H sea apropiada al perfil del espigón.

La 2ª alineación se le dará el espesor que arroje el cálculo bien en un solo bloque de anchura e ó en dos de anchura 1/2 de e para no tener que variar la organización y dimensiones del bloque tipo.

La última alineación podrán limitarse los espesores al que se decida, atendiendo únicamente al perfil de la superestructura.

Es conveniente el tanteo hasta encontrar el tubo de diámetro apropiado y que pueda servir para estas tres alineaciones.

DETALLES DE CONSTRUCCION.- Optamos por el empleo de tubos centrifugados contruidos en instalación propia, que son los mas resistentes.

Sobre el truck ó plataforma con ruedas, cuya superficie está formada por una chapa de palastro, se construye el bloque una primera capa de jabón bastante fluido se extiende sobre dicha superficie para impedir se adhiera el hormigón, otra capa de alquitran será intermediaria para quedar adherida a aquel



Las tablas del encofrado que como sabemos es de construcción mixta con hierro y madera han de estar acepilladas en la cara que ha de estar en contacto con las paredes del blo que han de ajustar perfectamente por sus cantos para que el hormigón, que ha de ser colado no puede escurrir entre ellas; la superficie lisa del hormigón, favorece la impermeabilidad

Para asegurar durante la construcción la verticalidad de los tubos y su separación constante se sujetan a la mitad de la altura 1,5 m. con unos aros de forma que puede verse en la fig. 7ª y que se unen con otros por medio de pernos. Estos aros quedarán embebidos después en la masa de hormigón y servirán indudablemente para favorecer la rigidez del conjunto aumentando por consiguiente su resistencia a la flexión transversal.

Optamos por el hormigón colado innumerables ventajas lo abonan Kersten lo define como aquel que tiene la cantidad de agua necesaria para que la pasta pueda escurrir a lo largo de canales inclinadas, en 1/3. Estas canales sirven para verter e el hormigón dentro del encofrado y llenar todos los huecos copiamos del mismo Autor:



«El hormigón resulta compacto en grado considerable y si los encofrados son limpios y lisos presentan una superficie que no necesita posterior enlucido. Las ventajas del hormigón fluido estriban también en el hecho de ser independiente de la aptitud e idoneidad de los operarios la calidad de la confección en la rapidez de la ejecución pudiendo alcanzarse economías del 30 y aun del 33 % por la reducción del número de jornales empleados.

Sobre la composición de los hormigones que deben emplearse, hemos de hacer observar que los hormigones puzolánicos los de mezclas con trass y arenas ligeras de pomez reúnen condiciones de ligereza compactidad y resistencia que juntamente con la cualidad inapreciable de ser inatacable por las aguas del mar les hacen de empleo único y especialísimo para las construcciones en el mar como lo prueban que con estos materiales se confeccionan los barcos de hormigón armado que se construyen

actualmente.

Una vez desencofrado se embadurnarán con alquitran las paredes del bloque, operación que no hay mayor inconveniente en repetir periódicamente en las superficies alternativamente sujetas a sequedad y humedad que parecen ser las que sufren mas por los efectos de las aguas del mar.

Los tubos que después han de quedar cerrados se alquitranarán sus paredes interiores antes de ponerles las tapas, por otra parte el agua que ha de penetrar en su interior estará previamente depurada de las sales magnésicas que son las que se ha demostrado producen alteraciones en la masa de hormigon en estos tubos el agua alcanzará una altura igual a la que tengan exteriormente con lo cual la presión será la misma por dentro que por fuera del bloque.

No entramos en detalles de organización del trabajo en los talleres de bloques porque dependerá mucho de las circunstancias locales, pero si podemos indicar que seran necesarias 3 haces de via, 2 para ir situando los bloques y una de apartado para comunicar las de trabajo y poder lanzar los bloques por la rampa sin necesidad de interrumpirlo. La rampa de lanzamiento estará en el eje y en prolongación de una de las vias de trabajo.



El nivel del suelo de las vias debe ser un poco superior al de p.m.e. y como los muelles normalmente vienen a tener uno 2,5 m. sobre aquel nivel el terreno exterior quedará a $2,50 - 0,40 = 2,10$ m. mas alto que la explanación sobresaliendo el bloque 0,90 sobre el nivel del muelle lo que permitirá la utilización de las hormigoneras sin necesidad de andamiajes.

Para facilitar la maniobra de remolcar los bloques y conducirlos a la rampa de lanzamiento es conveniente dar a las vias de trabajo una ligera pendiente en aquella dirección será entonces, elemental precaución el recalzar las ruedas. A la rampa debe darse pendiente del 15 % para que la plataforma lanzada a mano pueda ser contenida mediante cables y cabrestantes que deben llevar por otra parte fiadores de seguridad. Como al final de la rampa debe de haber una cota de agua suficiente para que

el cajón flote y que estimamos en 3,80' sobre baja mar, equinocial (b.m.e.) y suponiendo que la oscilación máxima de marea sea de 1,90 m. la longitud de la rampa en sentido horizontal será $5,55 \times 100 : 15 = 37$, m. y en el sentido de la pendiente 55 m.

DE LA ECONOMIA DEL SISTEMA.- De que el sistema que proponemos y cuya realización es tan práctica y sencilla, como hemos tenido ocasión de exponer, es mas económico que el de bloques perdidos salta a la vista pero al final incluimos datos estadísticos que confirman nuestro aserto.

La comparación económica la hacemos con el sistema similar de grandes bloques huecos pero de celula prismática de que el puerto de Kobe en el Japón es un ejemplo la manera como está estudiado y los minuciosos detalles de su ejecución que pueden verse en la Revista de Obras Públicas, tomo 1º del año 1912 muestran que la elección para este efecto es oportuna los números nos indican al final que este puerto es mucho mas económico que otros similares.

EJEMPLO DE APLICACION. - Elegimos tubos de 0,70 m. de diámetro y de 7 cm. de espesor cuya carga máxima obtenida de la fórmula (1) es

$$p = 1289,4 \times 1 : 0,55^2 = 10,518 \text{ tons/m. l.}$$

La dimensión A. del cajón es $C_A = 2 \times 0,10$

$$A = \overline{d + \varepsilon} + 1/2 d + C_A = 0,90 \times 9 + 0,55 = 8,65 \text{ m.}$$

y corresponderán 9 tubos.

La otra dimensión es

$$H = (\overline{d + \varepsilon}) \times 0,866 + d : 8 + C_H = 14 \times 0,73,97 + 0,25 = 10,60 \text{ y corresponderan 14 tubos.}$$

Nº de tubos = $9 \times 14 = 126$. Su volumen teniendo en cuenta que la altura interior es de 2,80 será

$$1,26(3,14 \times 0,07^2) \cdot 2,8 : 4 = 135,772 \text{ m}^3$$

Ahora bien el bloque cubica $10,60 \times 8,65 \times 3,00 = 274,000 \text{ m}^3$ luego quedará de volumen $274,000 - 135,772 = 138,228 \text{ m}^3$.

El hormigón elegido es el que se emplea actualmente en las construcciones en el mar su dosificación es de 1:0,5:2 ó sea 1 de cemento, 0,5 de trass (1 de arena de pomez 0,5 de



arena ordinaria, 0,5 de gravilla) Con esta mezcla se obtiene un peso específico de 1,9 y una resistencia a la compresión de 300 Kgs/cm.

Este hormigón está probado experimentalmente para las construcciones en el mar y especialmente para barcos.

Admitiendo la densidad de 1,90 la parte maciza del blo que pesará $138,228 \times 1,9 = 262,747$ tcns y como el cajón despla za 274 m^3 el exceso de flotación será $274 - 262,747 = 11,253$ tons. ó m^3 . La armadura metálica cuyas sección necesaria viene dada por la fórmula $f_e = h' \times 0,293 : 0,390 = 5,15 \text{ cm}^2$, elegi mos 20 barras de $\phi 0,6 \text{ cm}$. que dan $f_e = 5,65 \text{ cm}^2$ y que pesa rán las primeras $20 \times 0,222 = 4,440 \text{ kgs}$. y las de repartición $5 \times 0,222 = 1,110 \text{ Kgs}$, en total $5,55 \text{ Kgs}$, y como la superfi cie de los tubos es

$$3,14 \times 0,7 \times 2,80 \times 126 = 772,632 \text{ m}^2$$

el total del peso del hierro será $773 \times 5,55 = 4,290$ tons.

Las pletinas que forman los aros y que mantienen invaria blemente unidos los tubos que son de $3 \times 30 \text{ m/m}$ pesan

$$2,43 \times 126 \times 0,70 = 306,18 \text{ Kgs.}$$

el peso total del hierro será pues

$$4,290 + 0,306 = 4,596 \text{ tons.}$$

quedando un remanente para la ~~un~~flotación de

$$11253 - 4596 = 6,657 \text{ tons,}$$

el peso que cargarásobre la plataforma al terminarse el blo que es

$$262,747 : 10,60 \times 8,65 = 2,855 \text{ tons/m}^2$$

cuando el bloque se coloque en posición normal si estuviese en el aire pesaría

$$262,747 : 3 \times 8,65 = 10,105 \text{ tons/m}^2$$

por cada metro de altura

$$10,105 : 10,80 = 0,935$$

en el agua

$$135,772 + 4,596 + 262,147 - 274 = 129,115 \text{ tons/m}^2$$

si suponemos que se trata de un espigón de altura máxima de la superestructura podrá ser



10,518 : 0,935 = 11,24 m.l.

COSTE DE LA OBRA POR EL SISTEMA DE BLOQUES.- Podemos pues establecer el precio por m.l. de espigón que se compondrá de una parte que será el coste del cajón o bloque propiamente dicho y otra la parte proporcional de todos los medios auxiliares.

El precio del m.l. del tubo de 70 cm. de diámetro centrifugado según los datos que tenemos a la vista de la casa "Palosca" es 19,00 pts. incluyendose en este precio el coste proporcional de una instalación para fabricarlos al pié de obra cuyo importe total es 220,000 pts. produciendo 42 tubos de 3 m. de longitud diariamente.

La longitud total de tubos para los 2600 m. de espigón será 42 x 3 x 2600 = 327,600 m.l. resultando un precio de 0,67 pts. m.l. por ese concepto quedando por consiguiente amortizado el capital invertido en la instalación en el tiempo de duración de la obra.

El volumen de los tubos es 773 x 0,07 = 54,11 m³ el de hormigón de relleno será 138,228 - 54,11 = 84,118 m³

COSTE DEL BLOQUE PROPIAMENTE DICHO.-

84,118	m ³ de hormigón de 400 Kg. a 90,00.....	7,570,62 Pts
378	m.l. de tubo. a 19,00	7.200,00 "
203,9	m ² de erlucido hidráulico en laterales y superiores del bloque. a 4,20	856,38 "
976	m ² de superficie interiores y exteriores alquitranadas. a 0,60	<u>585,60 "</u>
	Total.....	16.212,60Pts.

precio por m.l. = 16.212,60 : 3 = 5.404,20 pts.

Medios auxiliares.- Son estos la plataforma con ruedas, las vias, los encofrados de las paredes laterales. La plataforma y encofrados forman parte del bloque y es función del número de estos que haya que construir escalonadamente dependiendo de la rapidez de la ejecución. En el ejemplo a que nos referimos del Japón, elcajón de 36 m. tardó en construirse y colocarse 90 días luego avanzó por día 36 : 90 = 0,40 m.l.

Estimando en 30 días el tiempo que se invierta en nuestro bloque contando con 20 días de espera para el fraguado



se necesitarán construir 4 bloques escalonadamente lo que dará los 12 metros que corresponden al mes.

No es este el rendimiento que podemos sacar a nuestro sistema dada la producción de tubos 42 diarios puede llegarse a la de 1 metro lineal por día y sobrepasarse aumentando aquella.

La explanada para el taller de bloques tendrá la anchura suficiente para la explanación de los 3 haces de vía dejando entre vía y vía de trabajo el muelle a su nivel ordinario con lo que nos evitamos los anclamientos.

La plataforma metálica irá sobre ruedas 5 en el sentido de la dimensión A del bloque y tres filas en sentido de la H. la carga por rueda mas cargada será

$$4 \times 1,50 \times 2,80 = 17,92 \text{ tons,}$$

92	m ² de plataforma metálica pesando la estructura 75 Kg/m ² con chapa superior y ruedas. a 150	13.800,00
112	m ² de encofrado con recuadro metálico de ángulo de 35 x 36 x 3, a 12,00	<u>1.344,00</u>
	Total.....	15.144,00
	para los 4 bloques, 4 x 15.144,00 =	60.576,00
300	m.l. de 2,5 vias completas entres haces dos de trabajo y uno de partadero. a 80 x 2,5 = 200	60.000,00
40	m.l. de 2,5 vias completas con traviesa metálica pesada sobre la explanación de la rampa de lanzamiento. a 250	10.000,00
685	m ³ = (60x33+40x39) 2,5 de excavación para preparación de la explanada de asiento a 6,00	5.310,00
1121	mm ³ = 5,55x40x 11: 2 de escollera para formar la rampa de lanzamiento aprovechando la anteriormente extraída a 8,00	<u>= 9.768,00</u>
	Total	145.654,00

por m.l., 145.654,00 : 2600 = 56,00 58 pts. m.l.

luego el coste total del espigón será

$$5404,20 + 58 = \underline{5.462,20}$$

Veamos ahora el coste de la otra obra. Las figs. b-a y b-b dan idea de como es el cajón utilizado en el puerto de



Kobe (Japón) cuyos detalles, pueden verse en la Revista de Obras Públicas de 7 de Marzo de 1912 nº 1902, pág.117.

Los bloques se construyen sobre una plataforma metálica que se coloca sobre pilotes en las proximidades de la orilla alrededor van los andamiajes de 4 y 5 pisos uno de ellos puede correrse para dejar sitio al dique que a expreso se ha construido para fondear los bloques, el dique penetra por los huecos que dejan las filas de pilotes y elevándose hace flotar el cajón y plataforma los conduce al sitio donde han de fondearse y sumergiéndose deja que el cajón flote por sus propios medios se llena de agua el cajón para echarlo a pique y luego achicar el agua con objeto de rellenarlo despues de hormigón

Basta la enumeración de todas estas operaciones para que el lector pueda darse cuenta de la diferencia entre un sistema y otro pero los números dirán los definitivos

COSTA DEL BLOQUE PROPIAMENTE DICHO.-

1638	m ² = (30+22)x3,15x10 de losa de hormigón armado de 20 cm de espesor para formar las paredes laterales. a 43	70.434,00 Pts
281	m ² = 7,75x36,25 de losa de 0,80 constituyendo el fondo del cajón. a 69.....	19.389,00 "
88	m.l. = (36,25+7,65) 2 en la consola del fondo de 1,20 x 0,40. a 42	3.696,00 "
3276	m ² = 1638x2 de enlucido hidráulico en las paredes laterales. a 4,20	13.759,00 "
1984	m ³ = 3,15x3,15x10x20 de hormigón de relleno en los cajones a 89,50	<u>177.612,00 "</u>
Total.....		284.890,00 Pts.

por m.l. 284,890,00 : 2600 = 7914 pts.

Medios auxiliares.

280	m.l. = 20x2x7 pilotes de 0,30 m. y 10 m. de longitud zurchados, a 215	6.020,00
580	m ² de entramado metálico para resistir 3,44 tons/m ² pesando 60 kg. m ² . a 72 ..	41.760,00
46	m.l. de andamiaje de 4 pisos con 4 filas de almas a 1117:3,5 = 322x4 = 1288..	59.248,00
46	m.l. de andamiaje con dos filas. a 644.	29.624,00
40,50	m.l. de andamiaje con 4 filas. a 1288..	52.164,00
1500	m.l. de via Dectaville en los 4 pisos. a 60 pts.	<u>90.000,00</u>
Total.....		278.816,00



Según datos que figuran en la citada Revista el dique costó en el año 1911 640.000 francos, no es exagerado suponer que actualmente costaría dada la relación de jornales y materiales de aquella fecha con los actuales que oscilan entre 2,2 y 2,7.,, $2 \times 640.000 = 1.280.000$.

Resumen: importan todos los medios auxiliares

Pilotes, andamios, vias, etc,.....	278.816,00
Dique flotante.....	1.280,000,00

Total.....	1.558.816,00

y por m.l. $1.558.816,00 : 2600 = 599,00$

El m.l. de muelle costará

Bloque propiamente dicho.....	7.914,00
Medios auxiliares.....	599,00

Total.....	8.513,00

El bloque reticular.....	5.462,00

Diferencia.....	3.051,00
-----------------	----------

Lo que corresponde a una economía de $3.051 \times 100 : 5.462 = 55 \%$.

Ante la aplastante indicación de los números todo comentario es inútil, observaremos sin embargo que los precios del hormigoneje están muy reducidos para el coste del muelle de Kobe pues hay que hacer las operaciones en chalanas.

Demostrada la considerable economía del sistema de bloques multicelulares en su comparación con los cajones de hormigón armado restanos hacer la comparación con los sistemas empleados en España trabajo que casi está hecho por el distinguido Ingeniero Director de las obras del Puerto de Valencia, Don José María Fuster que nos presenta en la Revista de Obras Públicas del año 1914.nº2021 un cuadro comparativo de precios Entresacamos los correspondientes a Bilbao y Barcelona que ya nos muestran una notable diferencia con el de Valencia lo que habla en favor del sistema utilizado en este último puerto.

Se afectan todos esos precios con el coeficiente de aumento de precio con respecto a la época actual y con ello formamos el siguiente cuadro



Diques	Precio por metro lineal	Profundidad en metros	Precio por m ³ de profundidad.	Porcentaje de las diferencias de coste.
Marsella....	20.000,00	17	1175,00	266 %
Barcelona...	16.000,00	16	1010,00	192 %
Bilbao.....	14.506,00	8	1812,00	165 %
Valencia....	11.026,00	13	848,00	120 "
Hobe.....	8.513,00	10	851,00	55 %
Bloques.....	5.462,00	10	546,00	



No queremos insistir mas sobre cifras estas resultan aplastantes.

Para terminar indicaremos que los bloques multicelulare tambien pueden construirse por el colado de toda lamasa preparando los moldes dentro del mismo cajón. La resistencia a nuestro juicio del tubo formando parte de la masa es menor que la del mismo centrifugado considerado aisladamente pero las conclusiones definitivas las darán los ensayos de Laboratorio.

Madrid 19 de Noviembre de 1927

NOTA: La idea original, completamente nueva es la aplicación de la forma multicelular cilindrica en la construcción de grandes bloques. La anterior Memoria tiene por objeto además de describir el sistema demostrar técnicamente la resistencia del bloque, la facilidad de construcción y la economía considerable que se consigue con su empleo. Por tanto reivindicamos "POR SER NUEVA Y DE PROPIA INVENCIÓN LA APLICACION DE LA FORMA MULTICELULAR CILINDRICA EN LA CONSTRUCCION DE LOS GRANDES BLOQUES "

Madrid 19 de Noviembre de 1927

Orri deya

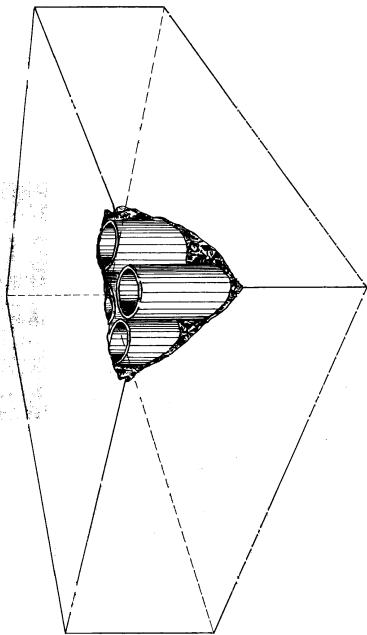
En la presente patente se describe sobre
"procedimiento para la aplicación de la forma
multicelular cilíndrica en la construcción de los
grandes bloques."

Madrid, 5 de Junio 1928.

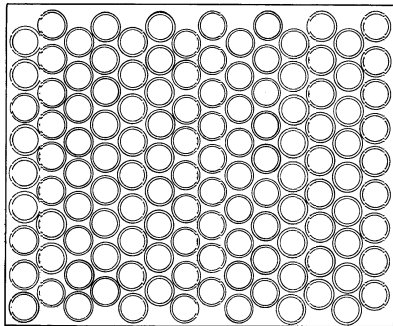
Jordomí



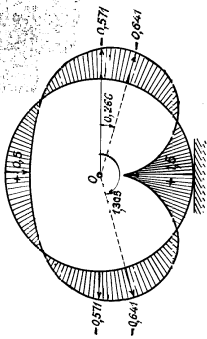
Fig^a 1



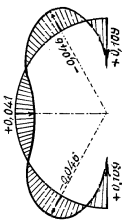
Fig^a 2.



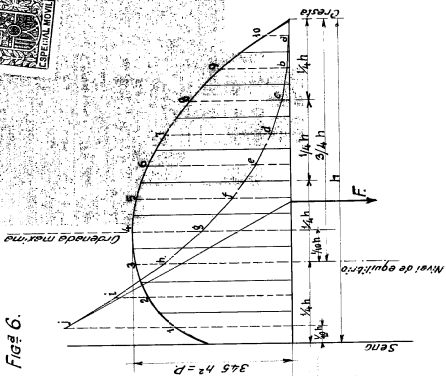
Fig^a 3.



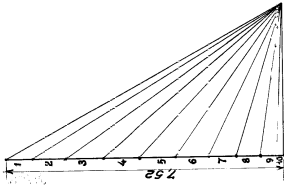
Fig^a 5.



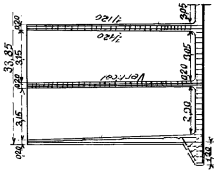
Fig^a 6.



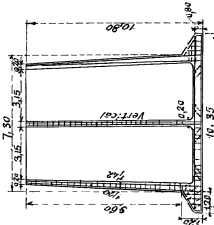
Fig^a 6a.



Fig^a 6-b



Fig^a 6-a



Handwritten signature or text, possibly 'Antonio de ...'