CALCULO DE TINAS DE CIANURACION

Dr. Raúl Quevedo A.

La tina para cianuración pueden ser construídas de materiales diversos: madera, acero, etc., etc. Los depósitos en forma de tanque pueden hacerse también de manpostería o de concreto.

Los tanques de mampostería o de concreto tienen dos inconvenientes principales: son muy costosos y cuando llega a salir el contenido, presentan grandes dificultades para encontrar el aqujero de escape; esto último sucede especialmente si se les fabrica incrustados en el suelo, es decir, con el borde superior a nivel del terreno. La desventaja del uso de estos materiales es mayor cuando los tanques han de estar rodeados de terreno deleznable, el cual, por su falta de estabilidad, permite que la presión ejercida sobre los muros haga hendiduras en la mezcla, dejando así pequeños agujeros por donde se escapa el líquido. Las tinas de acero, aunque son muy costosas, son frecuentemente usadas debido a que son resistentes, pesan poco, y dándoles una capa de barniz o de asfalto escapan perfectamente a la acción del cianuro.

Hasta hoy las tinas de madera son as más usadas aquí. A-ellas nos referimos en el presente estudio.

Las formas usadas para tinas de madera son dos: las cilíndricas, llamadas propiamente tinas y las rectangulares, llamadas también tanques. La forma rectangular hace que para la construcción de tanques el arreglo de la madera necesite obreros menos hábiles; pero en cambio el ajuste es menos perfecto necesariamente en los tanques que en las tinas, pues la forma circular los favorece notablemente. Esta última circunstancia y su duración mayor, hacen que actualmente sean preferidas las tinas, aunque los tanques presentan las ventajas de ser un poco menos costosos y de ocupar, colocados unos en seguida de otros, un espacio menor.

Una de las condiciones más importantes para la fabricación de tinas es la calidad de la madera. Entre nosotros abundan excelentes calidades de tal manera que puede decirse que la dificultad está en la elección. Por lo pronto, merecen mención: el comino, los laureles (especialmente el amarillo y el peña), el cedro, el chaquiro y el piñón. En todo caso, ellas deben estar en sazón y convenientemente secas. La desecación entre nosotros se verifica al aire: es asunto de tiempo.

Las tinas deben construírse de tablones de 2 a 3'' de espesor, sólo en casos excepcionales el grueso deberá ser mayor. Al conseguir la madera, no debe perderse de vista que en el arreglo y pulimento se pierde por lo menos un cuarto de pulgada de espesor.

El ancho de las duelas o tablones varía según el diámetro de la tina, entre 4 y 9'', y el ajuste de unas con otras no debe hacerse ensamblándolas, sino cepillando perfectamente las superficies de contacto, para coaptar los bordes respectivos. En algunos países se prefiere hacer, por medio de aparatos de presión sobre la madera, una especie de hendidura longitudinal en el borde de una duela, que corresponde a un levantamiento, especie de bisel, en la que sigue, y así se realiza un verdadero ensamble de gran seguridad.

Conviene achaflanar los bordes de los tablones, siguiendo las líneas radiales de un círculo igual al diámetro exterior de la tina a la cual se destinan las duelas, o a un círculo un poco menor, pues con el líquido emlpeado más tarde en las operaciones la parte interior de la madera se hincha en mayor escala y la coaptación se hace más perfecta.

El ajuste queda plenamente asegurado, por otra parte, con la forma especial de sunchos que hoy se emplea. Estos deben ser de hierro cilíndrico y para poderlos apretar convenientemente se acostumbra hacer sus extremidades enroscadas en forma de tornillo; después de pasar esas extremidades por una pieza de hierro donde se cruzan, son aseguradas de lado y lado con tuercas que, al ser apretadas con una llave, pueden estrechar naturalmente el suncho a voluntad.

Las tinas tienen un reborde, que algunos llaman espinazo, formado por las extremidades inferiores de las duelas, las cuales pasan unas pocas pulgadas más abajo del fondo de la tina.

Parece que tres pulgadas o cuatro pulgadas en la práctica es una buena dimensión para un espinazo proporcionado y suficiente.

Las tablas del fondo de la tina deben entrar en las duelas, en una ranura que llevan todas ellas, aproximadamente de 5/8'' de profundidad. El borde de las tablas del fondo, que ha de entrar en la ranura de las duelas, debe ser tallado en bisel de una de tres maneras: por sus dos caras, de modo de entrar en una hendidura que va angostándose progresivamente, o sólo en su cara superior (lo más común), o bien en su cara inferior, entrando directamente en los dos últimos casos en una hendidura de cortes horizontales. Cualquiera de los tres sistemas hace que la madera ajuste mejor a medida que penetre más y dá plenas garantías.

El fondo de las tinas se hace también con tablones del mismo grueso que los que forman las duelas, es decir, de 2 o 3'', pero más anchos. Así, la duela tiene 4'' para una tina pequeña, los tablones del fondo serán de 6'' de ancho. Para tinas de 15 a 25'' de diámetro, con duelas de 6'' de ancho los tablones del fondo serán de 9''; y para mayores tamaños, duelas de 9'' y tablones de fondo de 12''. El fondo tampoco hay necesidad de hacerlo ensamblado.

CAPACIDAD DE LAS TINAS

El volumen que debe tener una tina depende de los cuatro factores siguientes:

Primero. Material que va a ser tratado. — De la densidad del material depende el volumen ocupado por una tonelada.

En relación con los caracteres físicos y químicos del material está el límite de pulverización permitido para cada clase de tratamientos. Este límite influye naturalmente en el volumen ocupado por el material.

Julián Forbes y Edgart Smart, en sus libros sobre cianuración de los minerales de oro y plata, dan pesos usuales de pulpa compuesta de arena y agua, lodo y agua, solución y lodo, etc., en diferentes proporciones. Estos pesos varían entre 92,21 y 64, 31 lb. por pie cúbico. En los cálculos de resistencia ponen ellos mismos 120 lb. por pie cúbico como peso límite de una mezcla formada de arenas cuarzosas y agua. Lo correcto es averiguar la densidad para cada caso especial.

Supongamos para nuestro caso un peso exagerado de 125 lb. por pie cúbico, formando de mineral y solución, lo que da 16' cúbicos como volumen de una tonelada de pulpa.

Segundo. Toneladas que deben tratarse diariamente en la planta.—Es lo que se llama la capacidad de una planta. Depende de la importancia de la mina por su riqueza, situación, etc., etc., y más que todo, de la capacidad monetaria de los empresarios; en fin, de mil condiciones extrañas a este trabajo.

Supongamos que en el caso que se va a analizar hay que tratar 16 toneladas de mineral diariamente y que molidas y mezcladas con la solución forman 20 toneladas de pulpa de la densidad supuesta.

Tercero. Tiempo que se gasta en el tratamiento del material.—El tiempo que se gasta para tratar un material varía mucho según sus condiciones físicas y químicas.

Ensayes muy cuidadosos hechos en un laboratorio, darán la respuesta a este punto.

Supongamos que el tratamiento de una carga en nuestra planta dure seis días.

Es evidente que el tiempo gastado en vaciar una tina varía mucho según que se haga la operación a pala o sirviéndose de un chorro de agua con presión que son los dos métodos más usados. La descarga a pala sólo se usa cuando no hay agua suficiente para producir el trabajo necesario para el descargue o cuando, disponiendo de agua, ésta no tiene la caída suficiente para producir el trabajo requerido.

De igual modo varía el tiempo gastado en la carga de la tina. Esta puede verificarse a pala, o por transporte del material en canoas que lo traen de los conos clasificadores a la tina, o bien, usando un distribuidor automático o llevando a cabo la operación por medio de carros; todos son métodos comunes.

Supongamos que en cargar y descargar nuestra tina se gaste día y medio.

Cuarto. Número de tinas empleadas, según la capacidad de la planta.—Una planta de capacidad dada, puede constar de una o pocas tinas grandes o de muchas pequeñas, capaces de contener el volumen requerido.

El tamaño es variable; pero es conveniente no hacerlas demasiado grandes, porque se gasta mucho tiempo en llenarlas y vaciarlas. Es claro que sirviéndose de muchas tinas pequeñas es mayor el costo de instalación y el trabajo no se hace tan concentrado como con pocas grandes. Hay que escoger, pues, una dimensión que no nos conduzca a ningún extremo.

Para nuestro caso, de 20 toneladas diarias y siete y medio días de espacio de una carga a otra, es suficiente una tinta y otra de respuesto para cualquier evento. Considerados estos cuatro factores, veamos cómo se procede al cálculo de la capacidad.

Pongamos en fórmulas generales los métodos para hacerlo, tratándose de percolación o de agitación.

Para percolación.— Llamemos X las toneladas de pulpa que hay que tratar diariamente; supongamos que se gasten D días en su tratamiento y E en llenar y vaciar la tina. Es claro que demorándose toda la operación (D + E) días y teniendo que tratar X toneladas por día, hay que cargar la tina con (D + E) X toneladas de pulpa. Ahora, si la pulpa ocupa P pies cúbicos por tonelada, es claro que la tina tendrá qué tener X(D + E)P pies cúbicos de volumen.

Como se ve, en este cálculo figura el tiempo gastado en llenar y vaciar la tina, tiempo que depende naturalmente de su volumen que es lo buscado. Esta indeterminación se hace desaparecer estudiando previamente cuánto se gastará, dado que en casos análogos, y en diferentes empresas por idénticos procedimientos de descargue, se gasta cierto tiempo.

Si la capacidad de la planta es demasiado grande, pueden construírse varias tinas, cada una con la capacidad diaria de la planta, es decir, que se hacen (D + E) tinas de XP pies cúbicos de volumen cada una.

Para agitación.—Supongamos que se quiere tratar X toneladas de lodos que ocupan P pies cúbicos por tonelada, con gasto de D días en toda la operación, incluyendo la carga y descarga de la tina. Es claro que para esto se requiere X.D.P pies cúbicos de volumen.

CAPACIDAD DE NUESTRA TINA. ALTO Y DIAMETRO

Reemplazando en la fórmula X (D + E) P los valores que hemos supuesto en nuestro caso, tenemos: Capacidad igual 20 (6+1,5)16=2.400 pies cúbicos.

Como la forma que adoptamos es cilíndrica y por geometría sabemos que el volumen de un cilindro de diámetro D y altura H es $\frac{piD^2H}{4}$ ponemos: $2.400 = \frac{pi\ D^2H.}{4}$

Queda una sola ecuación con dos incógnitas: el diámetro y la altura. Hay que asumir una de ellas para despejar la otra o establecer una relación entre el diámetro y la altura. La relación buscada está en función del oficio para el cual se prepara la tina.

Las tinas para el tratamiento por percolación deben tener poca altura, para la buena marcha de la operación. Es este el punto de vista más importante en el asunto; no hay que preocuparse demasiado con la economía de construcción.

Según T. K. Rose, tratándose de material molido o seco, sólo dan buen resultado alturas de 2 a 3 pies, que permiten buena percolación; pero esto depende naturalmente del grado de pulverización del material.

Alturas de 5 y 6 pies son generalmente las acostumbradas en tinas para percolación.

En tinas para almacenar soluciones, aconsejan Julián Forbes y Edgar Smart alturas de valor entre $\frac{1}{2}$ y $\frac{3}{4}$ del diámetro, por permitirse en ellas mayor profundidad que en las usadas para percolación.

Supuesta en la fórmula una altura igual a la tercera parte del diámetro tenemos: $2.400 = \frac{pi9H^2H.}{4}$ $H = \sqrt[3]{339.5}$ lo que seaproxima a $\sqrt[3]{343}$ o sea 7 pies de altura. Con esta altura, que es aceptable, y 21 pies de diámetro, queda el volumen igual a 2.424,5 pies cúbicos. Sobra únicamente un catorceavo de pie de altura, pero tenemos que agregar unas 10" para la armazón del filtro y además unas 4" entre la parte superior del material y la boca de la tina. Para usar números redondos en los cálculos que siguen, digamos que nuestra tina tiene 8,5 pies de altura.

PRESION EN LAS TINAS

La presión producida por una pulpa compuesta de mineral y solución, se considera igual a la producida por un líquido que tuviera como peso la suma de los pesos de estos componentes; la suposición es aceptable, en favor de la seguridad.

La presión de una tina se hace tanto en el fondo como en sus costados, pero la presión en el fondo no se considera propiamente en la construcción de la tina, sino en la disposición de las vigas que deben soportarla, como veremos más adelante.

La presión sobre cualquier porción de paredes de una tina es igual, por física, a la producida por una columna cilíndrica del material que ejerce la presión, que tuviera por base el área

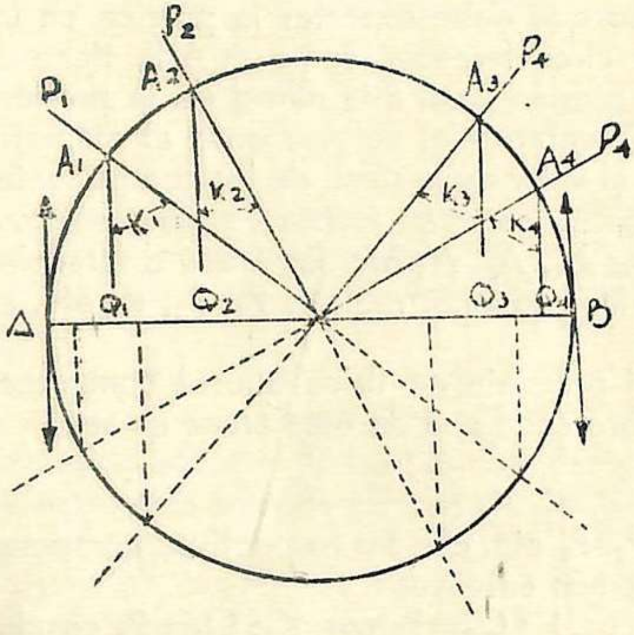


Fig. 1

de la porción oprimida y por altura la distancia que hay del centro de gravedad de ella al nivel superior del líquido que oprime.

Analicemos, partiendo de este principio, la presión ejercida que pesa W libras por pie cúbico sobre una circunferencia horizontal que sea el corte de la tina hecho por un plano paralelo a la superficie del líquido a H pies de esa superficie.

Según la física, las presiones sobre las paredes de un vaso tienen que ser normales a dichas paredes para que el cilindro esté en equilibrio; luego las presiones laterales en una tina se verificar radialmente, como lo indican las líneas P_1, P_2, P_3, P_4, etc. (Véase fig. 1).

Consideremos que la presión va a romper la tina por un diámetro cualquiera, por ejemplo A B.

Las fuerzas que producen la ruptura de la circunferencia por A B, serían las componentes de las presiones radiales, normales a este diámetro. Llamemos estos componentes Q_1, Q_2, Q_3 etc.

Como lo ilustra la figura, la presión ejercida sobre media circunferencia es igual y en sentido opuesto a la ejercida sobre la otra media; luego basta estudiar lo que pasa en una de ellas.

En la rutura de la circunferencia por A B obran cuatro esfuerzos de tensión: dos en A y dos en B.

El suncho que debe soportar la presión en un punto cualquiera de su circunferencia, como A o B, tiene que tener una resistencia o tensión igual a la mitad de la presión ejercida sobre media circunferencia, normalmente al diámetro A B.

Veamos el valor de la suma de los componentes Q_1, Q_2, Q_3 etc., etc., que obran sobre media circunferencia.

Llamemos A_1, A_2, A_3 etc. las áreas diferenciales, sobre las cuales obran las presiones radiales P_1, P_2, P_3 etc. etc., respectivamente.

Según el principio de física que al comenzar enunciamos, la presión sobre cada una de esas áreas es así:

$$P_1 = A_1 Hw; \quad P_2 = A_2 Hw; \quad P_3 = A_3 Hw \qquad \text{etc., etc.}$$

Llamemos K_1, K_2, K_3 etc. los ángulos que forman los esfuerzos radiales, P_1, P_2, P_3 etc. con sus respectivas componentes Q_1, Q_2, Q_3, etc. Tenemos entonces

$$Q_1 = P_1 \cos. k_1; \quad Q_2 = P_2 \cos. K_2; \quad Q_3 = P_3 \cos. k_3 \qquad \text{etc.}$$

Reemplacemos P_1, P_2, P_3, por los valores que ya les asignamos y tenemos:

$$Q_1 = A_1 \cos k_1 w\ H; \quad Q_2 = A_2 \cos. k^2 w\ H; \quad Q_3 = A_3 \cos. k_3\ wH \text{ etc.}$$

Llamemos Qt la suma de las componentes Q_1, Q_2, Q_3, Q_4 tec., etc. y tendrá por expresión la siguiente:

$Qt = wH (A_1 \cos. k_1 + A_2 \cos. k_2 + A_3 \cos. k_3 + \ldots.)$

La cantidad entre paréntesis es la proyección de media circunferencia sobre el diámetro.

Total: que la presión que tiende a romper una tina de diámetro D llena de un material que pesa w libras por pie cúbico, al nivel de una circunferencia colocada a H pies de profundidad media desde la superficie del líquido, es igual H w D. Para resistir esa presión, se requeriría a esa profundidad un suncho que soportara con toda seguridad un esfuerzo de tensión $T = \frac{H w D}{2}$

TENSION TOTAL SOBRE LOS COSTADOS DE UNA TINA

Como la tensión a cualquiera profundidad (H), se expresa, según vimos, por la ecuación de primer grado $T = \frac{H w D}{2}$, que indica que la tensión en una tina de diámetro dado, cargada con un material de peso dado, daría con la profundidad del punto en que se considera la tensión, llamando P la profundidad de la tina, es claro que la suma de los valores de T correspondientes a los diferentes valores de H (desde cero hasta P) será el valor de la tensión total.

Ahora, por geometría analítica sabemos que una ecuación de primer grado, de esta forma, es la expresión de una línea recta que pasa por el origen de coordenadas. Tracemos esa línea.

Empecemos por trazar los ejes rectangulares, que designaremos con los respectivos nombres de las variables: el vertical, eje de las profundidades, y el horizontal, eje de las tensiones.

Poniendo en la ecuación $H = 0$ o sea considerando la tensión al nivel superior de la pulpa, resulta $T = 0$. Esto quiere decir que el esfuerzo de tensión en ese punto es nulo, como era natural, y nuestra línea pasa por el punto $H = 0$, $T = 0$, que es el origen (O). Dándole a H su mayor valor (P), resulta $T = \frac{PwD}{2}$

como valor de la tensión en el fondo. Para localizar este segundo punto, que determina la dirección de nuestra línea pongamos O a=P, en una escala cualquiera; y sobre una línea trazada por a, paralela al eje de las tensiones, ponemos a $b = \frac{P\,w\,D}{2}$.

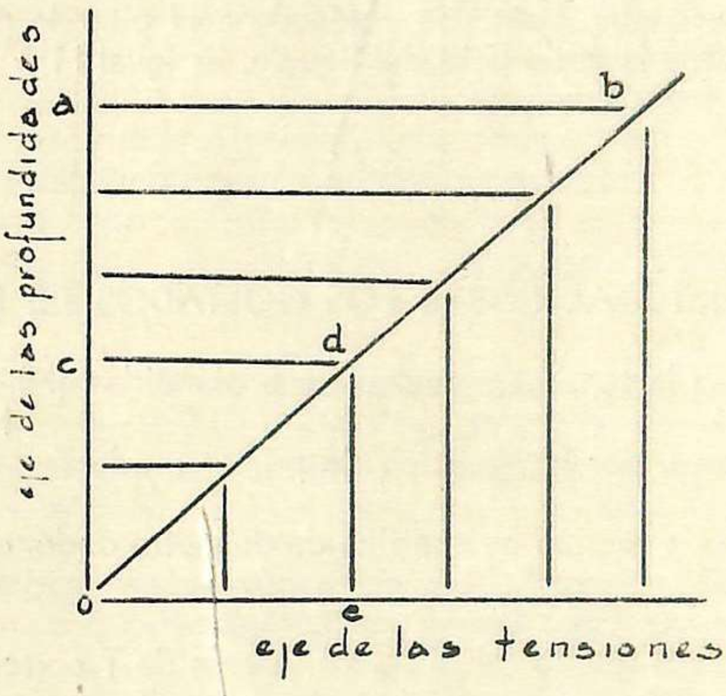


Fig. 2

Para obtener la tensión a una profundidad cualquiera, basta ponerla en el eje de las profundidades, de O hacia arriba, hasta c, por ejemplo, y trazar por allí una paralela a ab hasta cortar la línea O b en el punto d. La línea c d, medida en la misma escala en que se colocó a a b, dará la tensión buscada a la profundidad O c.

Por lo dicho queda claro que la suma de las tensiones entre H=0 y H=P, o sea la tensión total en los costados de la tina está representada por el área del triángulo a O b. El área de este triángulo es el producto de su base por la mitad de su altura. Llamando Tt la tensión total se tiene: $Tt = \frac{P}{2} \cdot \frac{PwD}{2}$.

TENSION TOTAL EN NUESTRA TINA

La pulpa formada de mineral y solución, supusimos que pesara 125 libras por pie cúbico. Nuestro mineral seco y sin pulverizarlo tiene una densidad de 2,66; pulverizado a seco, nos queda de 1,596 de densidad, luego en un pié cúbico de volumen del material pulverizado hay $\frac{2{,}66-1{,}596}{2{,}66}=0{,}4$ de pie cúbico en espacios que ocupará la solución. Supongamos 62,5 libras de peso a un pie cúbico de solución, en ese caso los 0,4 pesan 25 libras.

Los 0,6 restantes de cada pie cúbico, ocupados por el material de 2,66 de densidad, pesan $62{,}4\times2{,}66\times0{,}6=99{,}6$ digamos 100 libras.

Quedan estos datos de acuerdo con los anteriores en que pusimos 16 toneladas de material que se convertirían en 20 de pulpa, de 125 libras de peso por pie cúbico; pues 16 : 20 :: 100 : 125 aunque en realidad de verdad de los 8,5 pies que tiene nuestra tina sólo siete están ocupados por la pulpa; hagamos los cálculos como si estuviesen llenos los 8,5, pues debajo del filtro hay solución y encima de la pulpa también; además, la mayor tensión que resulta por esta consideración, puede reemplazar la omisión hecha de la tensión producida por la hinchazón de la madera. Pero, como veremos adelante, el efecto de esta hinchazón se tiene en cuenta al fijar la resistencia de los sunchos; de manera que la consideración de los 8,5 pies no es indispensable, pero haciéndola, se está del lado de la seguridad.

Para obtener la tensión total buscada, basta reemplazar en la fórmula $Tt=\frac{p}{2}\cdot\frac{PwD}{2}$, P por 8,5; w por 125 y D por 21, que son los valores asumidos para nuestro caso, y tenemos:

$$Tt=\frac{8{,}5}{2}\cdot\frac{8{,}5\times125\times21}{2}=47.414{,}0625\ \text{lb.}$$

NUMERO DE SUNCHOS EN UNA TINA

Los sunchos deben resistir, entre todos, la tensión total: Luego sabiéndose la tensión que resiste un suncho con toda seguridad, por simple división de la tensión total por esa cifra, obtendremos el número de sunchos necesarios. Pero sucede que los sunchos requeridos, jamás son los expresados por esta división; por varias razones: a nivel del fondo se pone un suncho que no da la división, para contrarrestar la acción de la hinchazón de la madera del fondo; en la boca de la tina se pone otro, como es natural, y no lo da la división, porque vimos que la tensión es cero en este punto; además, la división da los sunchos que soportan la tensión total, pero sin tener en cuenta la condición necesaria para que las duelas no se doblen.

Antes de la disposición del lugar de cada suncho, hay que asumir como exacto el dato dado por la división mentada atrás.

La resistencia de un suncho o tensión está en proporción de su sección transversal.

Si llamamos R al radio de la sección del suncho, esa área es pi.R^2 y llamando A lo que resiste con seguridad una pulgada de sección, resulta como resistencia del suncho pi R^2 A.

Para resistir la tensión total se requieren $\dfrac{Tt}{pi\ R^2\ A}$ sunchos de R pulgadas radio.

Poniendo a A=11,200 libras, forman Julián Forbes y Edgar Smart el cuadro siguiente de resistencia de los sunchos de uso más común:

Suncho de 3/4 de diámetro resiste 3.405 libras.
Suncho de 7/8" de diámetro resiste 4.726 libras.
Sucho de 1" de diámetro resiste 6.205 libras.
Suncho de 1,1/8" de diámetro resiste 7.806 libras.

Para elegir el suncho que conviene, lo mejor es escoger dos tamaños que no den ni sunchos delgados ni muy gruesos; hacer el estudio de la situación de ellos para cada caso, y después comparar y poner los de menor costo.

Los delgados tienen la ventaja de adaptarse mejor a los costados de la tina.

NUMERO DE SUNCHOS PARA NUESTRO CASO

Nuestros sunchos tienen que resistir, entre todos, una tensión total de 47.414,0625 libras. Dividiendo esta cifra por 6.205 libras que resiste el suncho de una pulgada de diámetro, resultan R pulgadas de radio.
7,64 sunchos necesarios para resistir la tensión total. Agregando dos más, a éstos, uno a nivel del fondo y otro en la boca de la tina, quedan 9,64 sin tener en cuenta la resistencia de la duela al doblamiento. El número no es desproporcionado, luego debe tenerse en cuenta esta clase a pesar del gran espesor.

Dividiendo 47.414,0625 por 4.726 libras que resiste el suncho de 7/8" resultan necesarios 10 sunchos, que con el del fondo y el del borde superior serán 12. Este es el número aceptable y tales sunchos son más prácticos, luego esta clase es digna de tomarse en consideración.

La resolución en favor de uno de ellos debe hacerse en vista de lo que resulte al hacer los diagramas respectivos, como vamos a ver.

DISPOSICION DE LOS SUNCHOS EN UNA TINA

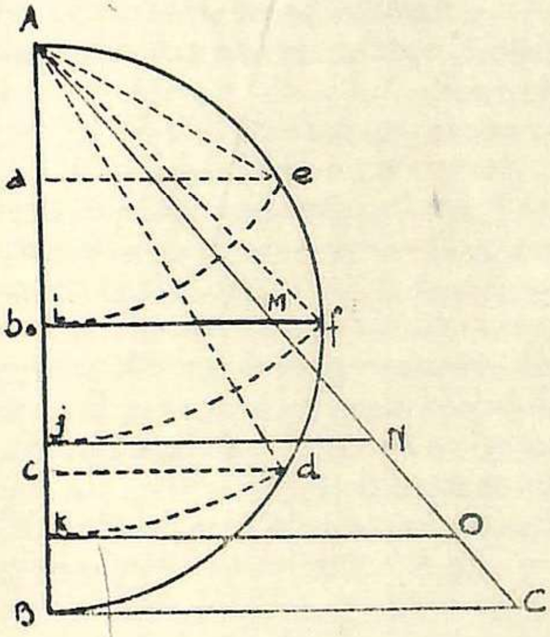
Al hablar de la tensión total en una tina, vimos que puede representarse por el área de un triángulo rectángulo, con la altura de la tina y la tensión en el fondo por catetos.

El problema se reduce a hacer gráficamente la división que hicimos para averiguar el número de sunchos. Es decir, que por medio de líneas paralelas a la base del triángulo antes formado, hay que dividir éste en varios trapecios y un triángulo, que tengan igual área, y que esta área sea la 1/n parte del área del triángulo de la tensión total, siendo **n** el número de sunchos. Así podrá cada suncho resistir o cargar la presión ejercida sobre uno de esos trapecios.

De manera que el problema se reduce por lo pronto a partir un triángulo rectángulo, por medio de líneas paralelas a un cateto, en un número n de porciones de igual área.

Sea A B C el triángulo de la tensión total, en que A B es la altura de la tina, y B C la tensión en el fondo.

Para dividirlo en **n** porciones de igual área, se empieza por dividir la línea A B en **n** partes iguales, como A a, a b, b c, etc., Por los puntos a, b, c etc., se levantan perpendiculares a la línea A B, hasta encontrar la circunferencia descrita con A B, como diámetro, en los puntos e, f, d, etc., etc.



Haciendo centro en A y con A e, A f, A d, como radios, se describen circunferencias que determinan los puntos i, j, k, etc., etc., sobre la línea A B. Basta trazar paralelas a la base B C por estos últimos puntos, para tener el triángulo A B C dividido en porciones A i M, i M N j, jN O k, cada una igual a la 1/n parte del área del triángulo.

Por qué de la construcción.—Las áreas de los triángulos semejantes A i M, A j N, A k O etc., etc., están entre sí, por geometría elemental, como los cuadrados de los lados homólogos, o sea: A i M, A j N, A k O, etc., etc., son entre sí como $(A\ i)^2$, $(A\ j)^2$, $(A\ k)^2$, etc. etc., o sea por razón de las circunferencias descritas con A como centro, como $(A\ e)^2$, $(A\ f)^2$, $(A\ g)^2$, etc.

Ahora, por geometría elemental tenemos:

$$(A\ e)^2 = (A\ a)\ (A\ B)$$
$$(A\ f)^2 = (A\ b\ (A\ B)$$

. . . .

Luego $(A\ e)^2$, $(A\ f)^2$, $(A\ d)^2$, etc., etc., están entre sí como

A a, A b, A c, etc., etc. Luego la relación que hay entre las divisiones hechas al empezar, sobre la línea A B, es la misma que hay entre los triángulos A i M, A j N, A k O, etc., etc., obtenidos.

Cada suncho puede con la presión sobre AiM, iMNj, jNOk, etc., etc., respectivamente; luego el camino indicado sería averiguar el centro de gravedad de cada porción de esas, y luego trazar por ese centro una paralela a la base, la que determinaría sobre la línea AB el punto de aplicación del suncho que debe resistir la presión sobre cada porción.

Por dar la exactitud requerida y hacerse muy sencillamente, en vez de averiguar el centro de gravedad de cada porción, basta colocar el suncho de modo que la presión encima de él sea igual a la que existe debajo del mismo. Para lograr esto se divide el triángulo de la tensión total en 2n partes iguales y se elige para colocación de los sunchos los puntos 1, 3, 5, 7, etc., etc. de B hacia arriba, es decir de modo que quede arriba y abajo de cada punto una área igual a la mitad de la tensión resistida por cada suncho.

SITUACION DE LOS SUNCHOS EN NUESTRO CASO

Hechos los diagramas necesarios, uno para el caso de usar sunchos de 1" y otro para sunchos de 7/8 de pulgada de diámetro, encontramos que se requieren en el primer caso 8 sunchos de una pulgada y 3 más de 3/4" de diámetro; y en el segundo 10 sunchos de 7/8 de pulgada y 3 más de 3/4 de pulgada. Falta saber si el precio de los 8 sunchos de 1 pulgada es menor que el de los 10 de 7/8" de diámetro.

El volumen de los 10 de 7/8" de diámetro es: $\frac{pi}{4}\left(\frac{7}{12 \times 8}\right)^2 \left(31\ pi + 1{,}5\right) 10 = 2.81$ pies cúbicos.

El volumen de los 8 de 1" es:

De manera que hay 0,13 de pie cúbico más en los 8 sunchos de 1" de diámetro.

Un pie cúbico de hierro dulce, según Merriman, pesa 480 libras; pero según datos formados en el almacén americano de Medellín, puede asumirse 127 gramos por pulgada cúbica, como resultado de varias experiencias.

Según esto, un pie cúbico tiene por peso aproximado 439 libras de 500 grs. y los 0,13 de pié son 58 libras. Este hierro vale en el mismo almacén a $ 9 p. m. la libra; luego se hace en este sentido, una economía de $ 522 p. m. usando los 10 sunchos de 7/8".

Quedan otros pequeños detalles por examinar:

Por verificarse aquí el transporte de los sunchos a lomo de mula, vine el rollo de 25 kilos.

En el citado almacén he obtenido el siguiente dato:

Hierro	Peso del rollo	Peso de un metro
7/8" de diámetro	25 klios	3,007 kilos
1" de diámetro	25 kilos	3,927 kilos

Luego el rollo de sunchos de 7/8" tiene $\dfrac{25}{3,007} = 8,31$ metros de largo y el de 1" tiene $\dfrac{25}{3,927} = 6,36$.

A consecuencia de esto se requieren menos empates caldeados, al usar sunchos de 7/8 de pulgada en vez de los de 1". Contra esa ventaja está la circunstancia de ser mayor el número de sunchos de 7/8", lo que exige dos empates más en tornillo.

En nuestro caso no tienen valor estas consideraciones económicas y son más dignos de tener en cuenta el mejor ajuste obtenido con el suncho más delgado y la facilidad de su manejo.

(Continuará)