TESIS

PARA EL EXAMEN DE GRADO DE INGENIERO DE MINAS

PRESENTADA POR EL SR. RAUL QUEVEDO A.

INTRODUCCION

Obligado por el reglamento de la Escuela de Ingeniería a presentar un trabajo que me sirva de tesis para el examen de grado de Ingeniero de minas, he tratado de escribir algo relativo al ramo que ha llamado preferentemente mi atención desde hace algún tiempo.

Me refiero a la cianuración, el procedimiento de solución por medio del cianuro de potasio, del oro contenido en los minerales. Tal ha sido la importancia de este método para la industria minera, que según las mejores estadísticas, debido a su influencia, en el período comprendido entre los años 1890 y 1899, la producción del oro aumentó en el mundo un ciento cincuenta por ciento.

Como el tema de la cianuración, a más de ser vasto y complicado en sus detalles, lo que lo hace inadaptable a una simple tesis inaugural, ha tenido ya, aun entre nosotros, quién le dedique monografías, he querido limitarme al estudio de un pequeño detalle práctico que puede ofrecer obstáculos, y que en todo caso se presenta como problema inicial para cualquiera que se dedique a la formación de una planta, sea para el sistema general de *agitación* o para el de *percolación*. Hablo de la fabricación de las tinas, y de los principios científicos a que ésta debe estar sometida.

Mi trabajo es de anotaciones modestas, dedicadas a los mineros prácticos, a quienes desearía ser útil; de ningún modo a nuestros científicos, a quienes por el contrario, reclamo indulgencia.

ALGUNOS DETALLES GENERALES

Las tinas para cianuración pueden ser construídas de materiales diversos: madera, acero, &c. &c. Los depósitos en forma de tanque pueden hacerse también de mampostería o de concreto. Los tanques de mampostería o de concreto tienen dos inconvenientes principales: son muy costosos y cuando llega a salirse el contenido, presentan grandes dificultades para encontrar el agujero 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 las más usadas aquí. A ellas nos referimos en el presente estudio.

Las formas usuales para tinas de madera son dos: las cilíndricas, llamadas propiamente tinas, y las rectangulares, llamadas 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 lo 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 con 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 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 de diámetro igual al diámetro exterior de la tina a la cual se destinan las duelas, o aun de un círculo un poco menor, pues con el líquido empleado 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. Éstos 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 3'' o 4'' es en práctica 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 $\frac{5}{8}$'' 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 da 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, si la duela tiene 4'' para una tina pequeña, los tablones del fondo serán de 6'' de ancho. Para tinas de 15 a 25 pies 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 tratamiento. Este límite influye naturalmente en el volumen ocupado por el material.

Julián Forbes y Edgar Smart, en su libro sobre cianuración de los minerales de oro y plata, dan pesos usuales de pulpas compuestas de arena y agua, lodo y agua, solución y lodos &c., en diferentes proporciones. Estos pesos varían entre 92, 21 y 64, 31 libras por pie cúbico. En los cálculos de resistencia ponen ellos mismos 120 libras 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 libras por pie cúbico, formado de mineral y solución, lo que da 16 pies 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, &c. &c., 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 varia 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 6 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.

Cnarto. 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 qne 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 tina y otra de repuesto 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 toneladas, es claro que la tina tendrá que 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 XDP pies cúbicos de volumen.

Supongamos además que la mezcla de material y solución se hace en la proporción de $1:3$, lo que equivale a decir que para las X toneladas diarias de lodos se requieren 3X toneladas diarias de solución; de manera que en los D días de tratamiento se requieren 3XD toneladas de solución. Ahora, si suponemos que cada tonelada de solución ocupa 32 pies cúbicos de volumen, tendremos un total de volumen para el tratamiento de las X toneladas de lodos con 3X toneladas de solución, igual a $XDP+96XD$ pies cúbicos de volumen.

CAPACIDAD DE NUESTRA TINA.—ALTO Y DIAMETRO

Reemplazando en la fórmula $X(D+E)P$ los valores que hemos supuesto a nuestro caso, tenemos: capacidad igual $20(6+1,5)16 = 2400$ pies cúbicos.

Como la forma que adoptamos es la cilíndrica y por geometría sabemos que el volumen de un cilindro de diámetro D y altura H es $\frac{\text{pi. } D^2 H}{4}$, ponemos: $2400 = \frac{\text{pi. } D^2 H.}{4}$

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 la construcción.

Según T. K. Rose, tratándose de material molido a 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 la mitad y tres cuartos 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: $2400 = \frac{\text{pi}. 9 H^2 H}{4} \therefore H = \sqrt[3]{339,5}$, lo que se aproxima 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

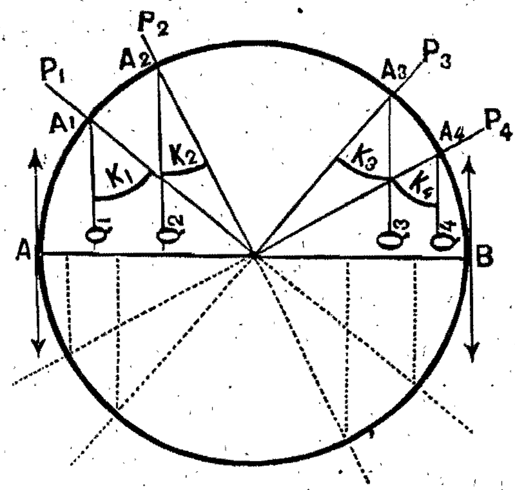
La presión producida por una pulpa compuesta de mineral y solución, se considera igual a la producida por un líquido que tuviese como peso, la suma de los pesos de estos componentes; la suposición es aceptable, en favor de la seguridad.

La presión en 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 las 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 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, patiendo de este principio, la presión ejercida por un líquido 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 física, las presiones sobre las paredes de un vaso tienen que ser normales a dichas paredes para que el líquido esté en equilibrio; luego las presiones laterales en una tina se verifican radialmente, como lo indican las líneas P 1, P 2, P 3, &c. &c. (Véase la figura 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 estas componentes Q 1, Q 2, Q 3, &c.

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 ruptura de la circunferencia por A B, obran 4 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 a tensión igual a la mitad de la presión ejercida sodre media circunferencia, normalmente al diámetro A B.

Veamos el valor de la suma de las componentes Q 1, Q 2, Q 3, &c. &c., que obran sobre media circunferencia.

Llamemos A 1, A 2, A 3, &c. &c., las áreas diferenciales, sobre las cuales obran las presiones radiales P 1, P 2, P 3, &c. &c., respectivamente.

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

P 1=A 1 H w; P 2=A 2 H w; P 3=A 3 H w, &c. &c.

Llamemos K 1, K 2, K 3, &c. &c., los ángulos que forman las fuerzas radiales P 1, P 2, P 3, &c. &c., con sus respectivas componentes Q 1, Q 2, Q 3, &c. &c. Tenemos entonces:

$Q\ 1 = P\ 1 \cos. K\ 1$; $Q\ 2 = P\ 2 \cos. K\ 2$; $Q\ 3 = P\ 3 \cos. K\ 3$, &c.

Reemplacemos P 1, P 2, P 3 por los valores que ya les asignamos, y tenemos:

$Q\ 1 = A\ 1 \cos. K\ 1\ w\ H$; $Q\ 2 = A\ 2 \cos. K\ 2\ w\ H$; $Q\ 3 = A\ 3 \cos. K\ 3\ w\ H$, &c. &c.

Llamemos Q t la suma de las componentes Q 1, Q 2, Q 3, Q 4, &c. &c., y tendrá por expresión la siguiente:

$$Q\,t = w\,H\ (A\ 1 \cos. K\ 1 + A\ 2 \cos. K\ 2 + A\ 3 \cos. K\ 3 + \ldots)$$

La cantidad entre el 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, medidos desde la superficie del líquido, es igual a 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

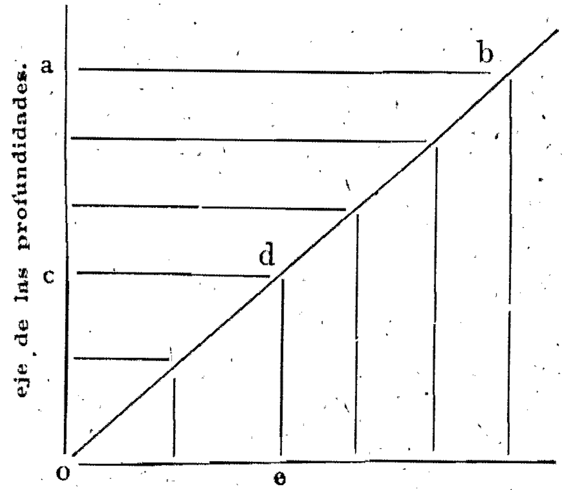
Como la tensión a cualquiera profundidad (H) se expresa, según vimos, por la ecuación de primer grado $T = \frac{H\ w\ D}{2}$, que indica que la tensión en una tina de diámetro dado, cargada con un material de peso dado, varía con la profundidad del punto en que se considera la tensión, llamando P la 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 dos 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=O, o sea considerando la tensión al nivel superior de la pulpa, resulta T=o. Esto quiere decir que el esfuerzo de tensión en ese punto es nulo, como era natural, y nuestra línea pasa por el punto H=O, T=o, que es el origen (o).

Dándole a H su mayor valór (P), resulta $T = \frac{P\,w\,D}{2}$, 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 $a\,b = \frac{P\,w\,D}{2}$:



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 *a b* 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=O 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 T t la tensión total se tiene: $T\,t = \frac{P}{2} \cdot \frac{P\,w\,D}{2}$

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 puverizarlo tiene una densidad de 2, 66, pulverizado a seco, nos queda de 1, 596 de densidad, luego en un pie 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 x 2, 66 x 0, 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 7 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 $T\,t = \frac{P}{2} \cdot \frac{P\,w\,D}{2}$, P por 8, 5; w por 125 y D por 21, que son los valores asumidos para nuestro caso, y tenemos: $T\,t = \frac{8,5}{2}$

$\frac{8,5 \times 125 \times 21}{2} = 47414,0625$ libras.

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 esa 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 a tensión está en proporción de su sección transversal.

Si llamamos R al radio de la sección del suncho en pulgadas, esa área es πR^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 $\frac{Tt}{pi\ R^2 A}$ sunchos de R'' de radio.

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

Suncho de	¾''	de diámetro	resiste	3,405	libras.
—	⅞''	—	—	4,726	—
—	1''	—	—	6,205	—
—	1⅛''	—	—	7,806	—

Para elegir el suncho que conviene, lo mejor es escoger dos tamaños que no den ni muchos delgados ni muy pocos 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 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 sunchos, 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 ⅞'', resultan necesarios 10 sunchos, que con el del fondo y el del borde superior serían 12. Este es un 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.

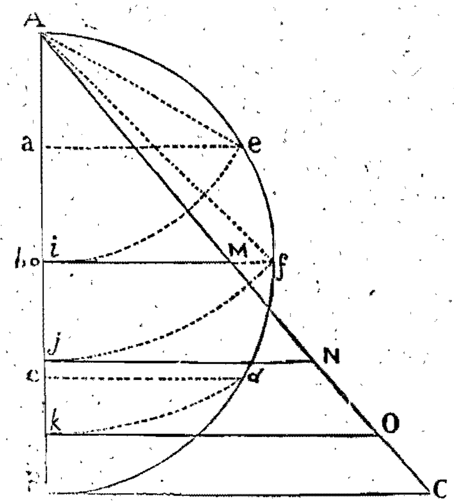
DISPOSICION DE LOS SUNCHOS EN UNA TINA

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 eneava 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 Aa, ab, bc, &c. &c. Por los puntos a, b, c, &c., &c., se levantan perpendiculares a la línea A B, hasta encontrar la circunferencia descrita con A B, como diámetro, en los puntos e, f, d, &c., &c.

Haciendo centro en A y con Ae, Af, Ad, como radios, se describen circunferencias que determinan los puntos i, j, k, &c. &c. 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, j N O k, cada una igual a la eneava 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 &c., &c., están entre sí, por geometría elemental, como los cuadrados de los lados homólogos, o sea:

A i M, A j N, A k O, &c., &c., son entre sí como $(A\,i)^2$, $(A\,j)^2$, $(A\,k)^2$, &c., &c., o sea, por razón de las circunferencias descritas con A como centro, como $(Ae)^2$, $(A\,f)^2$, $(A\,g)^2$, &c.

Ahora, por geometría elemental, tenemos:

$$(A\,e)^2 = (A\,a)\,(AB)$$

De igual manera $(A\,f)^2 = (A\,b)\,(AB)$

— — $(A\,d)^2 = (A\,c)\,(AB)$

....

Luego $(A\,e)^2$, $(A\,f)^2$, $(A\,d)^2$, &c., &c., están entre sí como A a, A b, A c, &c., &c. 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, &c., &c., obtenidos.

Cada suncho puede con la presión sobre A i M, i M N j, j N O k, &c., &c., respectivamente; luego el camino indicado sería averiguar el centro de gravedad a cada porción de esas, y luégo trazar por ese centro una paralela a la base, la que determinaría sobre la línea A B 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 2 n partes iguales y se elige para colocación de los sunchos los puntos 1, 3, 5, 7 &c. &c. 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 una pulgada y otro para sunchos de $\frac{7}{8}''$ de diámetro, encontramos que se requieren en el primer caso 8 sunchos de una pulgada y tres más de $\frac{3}{4}''$ de diámetro; y en el segundo, 10 sunchos de $\frac{7}{8}''$ y 3 más de $\frac{3}{4}''$. Falta saber si el precio de los 8 sunchos de $1''$ es menor que el de los 10 de $\frac{7}{8}''$ de diámetro.

El volumen de los 10 de $\frac{7}{8}''$ de diámetro es:

$$\frac{\pi}{4}\left(\frac{7}{8\times 12}\right)^2\left(21\,\pi+1{,}5\right)10=2{,}81 \text{ pies cúbicos.}$$

El volumen de los 8 de una pulgada es:

$$\frac{\pi}{4}\left(\tfrac{1}{12}\right)^2\left(21\,\pi+1{,}5\right)8=2{,}94 \text{ pies cúbicos.}$$

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

Un pie cúbico de hierro dulce, según Merriman pesa 480 libras; pero según datos tomados 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 gramos; y los 0,13 de pie 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, viene el hierro habitualmente en rollos de 25 kilos.

En el citado almacén he obtenido el siguiente dato:

Hierro de	*Peso del rollo.*	*Peso de un metro.*
7/8'' de diámetro....	25 kilos..........	3,007 kilos.
1''	....	3,927 ....

Luego el rollo de sunchos de 7/8'' tiene $\frac{25}{3.007}=8{,}31$ metros de largo, y el de 1'' tiene $\frac{25}{3.927}=6{,}36$.

A consecuencia de esto, se requieren menos empates caldeados, al usar sunchos de 7/8'' 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.

Elegido el suncho de 7/8'' de diámetro, damos a continuación el diagrama hecho para averiguar la posición de cada suncho.

Explicación al diagrama.—La escala para el dibujo es de 2 milímetros por pulgada, porque así puede apreciarse con precisión 1/4 de milímetro o sea 1/8 de pulgada.

Pongamos la altura de la tina en una línea vertical A B (fig.), de 204 milímetros de largo, que equivalen a los 8, 5 pies.

Se empieza por dividir la línea A B en partes iguales, en número igual al doble de los sunchos. Quedan divididos, pues, los 204 milímetros en 20 partes iguales, puesto que la división de la tensión total por la que resiste un suncho de 7/8'', dio 10, y se obtienen los puntos 1, 2, 3, 4, &c. &c.

Levantando luégo las perpendiculares (1--C 1), (2--C 2), (3--C 3), &c. &c., se determinan los puntos C 1, C 2, C 3, &c. &c. sobre la circunferencia que tiene A B como diámetro.

Luego, haciendo centro en A, trazamos los arcos C 1 d 1, C 3 d 3, C 5 d 5, &c. &c., por los puntos C 1, C 3, C 5, &c. &c. Ya hemos observado que el suncho debe ocupar los números impares, para que quede con una tensión debajo, igual a la que soporta encima de él.

Así queda cada suncho bien colocado para resistir la tensión; pero no sólo hay que atender a la resistencia del suncho, sino que hay que cuidar de que las duelas no se doblen, pues se perdería el buen ajuste de una con otra. Varios autores están de acuerdo en que para evitar este peligro, basta no poner nunca dos sunchos a distancia mayor de 18'' tratándose de duelas de 3'' de espesor y 6'' de ancho.

Entonces el problema se deduce a poner en lugar de los últimos (d 19, d 20), mayor número de sunchos de diámetro inferior, de ¾″ por ejemplo, lo que naturalmente hace menor la distancia del uno al otro.

El suncho d 17, o sea el último de ⅞″, soporta una tensión encima de él igual a la mitad de la tensión que resiste cualquiera de los otros, o sea hasta el punto d 18, determinado por el arco trazado desde A con (A—C 18) como radio.

Es preciso hacer una construcción igual a la anterior, pero suponiendo que la tina tuviera como altura la distancia de d 18 a d 20, es decir, medida con la escala asumida, 31, 5 pulgadas.

Para prescindir de fracciones, digamos que la nueva construcción es para una tina de tres pies, y tendremos como tensión total: $\frac{3}{2} \quad \frac{125 \times 3 \times 21}{2} = 5.\ 906,\ 25$ libras. Como el suncho de ¾″ resiste 3. 405 libras, dos bastan para resistir la tensión hallada.

Procedamos a la nueva construcción, sacando aparte al efecto la línea (d 18--d 20). Dividámosla en cuatro partes iguales, por ser dos los sunchos.

Siguiendo el trazo como antes, se encuentran los puntos x y y, donde deben colocarse los dos sunchos de ¾″.

Por último se requieren dos sunchos más: el del fondo para que resista la hinchazón de la madera, y el del borde superior, que sostiene el último tramo y es costumbre colocarlo a unas 3″ o 4″ abajo del borde superior de las duelas. Pudieran ponerse estos dos últimos sunchos más delgados que todos, pero no se acostumbra hacerlo así, por evitar el uso de hierro de diferentes dimensiones.

Las distancias de suncho a suncho se miden con la escala y son las indicadas en el dibujo.

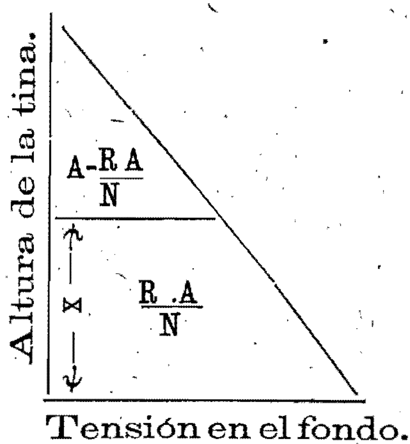
UN METODO ANALITICO PARA ENCONTRAR LA SITUACION DE LOS SUNCHOS

Puede suceder que no se tenga a mano los medios necesarios para hacer la división del triángulo de la tensión total, es decir: escala, escuadra y compás. En este caso podría prestar servicio el método que pasamos a desarrollar, que no es sino una consecuencia sacada del procedimiento gráfico que acabamos de ver.

Llamemos A el área del triángulo de la tensión total, H la altura de la tina, N igual a dos veces el número de sunchos, y X la distancia vertical desde el fondo de la tina hasta la requerida posición del suncho, o sea, la distancia desde la base del triángulo de la tensión total hasta el requerido punto en la altura por donde debe trazarse una paralela a la base, para que el área A quede disminuída en R eneavas partes de A.

Vimos al tratar de la construcción gráfica que después de dividir el triángulo en N partes de igual área o sea en un número igual al doble de sunchos que se requieren, tomamos para posición de los sunchos los puntos 1, 3, 5, 7, &c. &c. Las áreas comprendidas entre la base del triángulo y las paralelas a la misma base por los puntos 1, 3, 5, 7, &c. &c., son respectivamente iguales a $\frac{1 . A}{N}$, $\frac{3 . A}{N}$, $\frac{5 . A}{N}$ y $\frac{7 . A}{N}$, &c. &c.

Podemos decir, de manera general, que por medio de una paralela a la base trazada por un punto situado a la distancia X de ella, se le quita al triángulo un trapecio de área $\frac{R . A}{N}$



Siendo las áreas de dos triángulos semejantes, proporcionales a los cuadrados de los lados homólogos, se tiene:

$$\frac{A}{A - \frac{R . A}{N}} = \frac{H^2}{(H - X)^2}$$

poniendo la forma final, para no entrar en sencillas transformaciones algebraicas, tenemos:

$$X = H \left(\frac{N \pm \sqrt{N^2 - N R}}{N} \right)$$

Dando a R los valores 1, 3, 5, 7, &c. &c., y a N y H los correspondientes a cada caso, se obtienen los puntos donde debe colocarse cada suncho. Cuando la distancia de un punto a otro sea mayor que 18″, se hace lo mismo que en la construcción gráfica, o sea averiguar el número de sunchos de menor diámetro que deben sostener la parte restante, y usar de nuevo la fórmula con este valor.

Claro que esta fórmula no debe emplearse, sino en casos de necesidad, pues se hace muy largo el tiempo que se gasta con ella en la disposición de los sunchos.

En nuestro caso, N valdría 20; R valdría 1 para el primer suncho, 3 para el siguiente y así sucesivamente con los números impares; H=102; con estos datos se obtiene el valor de X en pulgadas. El signo más—menos, consecuencia de la elevación al cuadrado, indica que hay dos valores; pero en realidad no hay sino uno solo aplicable, y es fácil decidir cuál es.

RESISTENCIA DEL FONDO
(SITUACION DE LAS VIGUETAS DEBAJO DE EL)

Para nuestra tina de 21 pies de diámetro, los tablones del fondo tendrán 3″ de grueso y 9″ de ancho. Consideremos cada tablón como una viga cargada uniformemente con la pulpa que tiene encima, y apoyada por sus extremos en dos viguetas distantes L pies entre sí.

Es preciso averiguar qué valor tenemos que darle a L para que la deformación del tablón, cuando la tina esté cargada, no se haga sentir.

Sabemos, por resistencia de materiales, que dentro del límite elástico, la condición para la resistencia a flexión es que el momento de resistencia o momento de elasticidad de la pieza encorvada sea igual o haga equilibrio a la suma de los momentos de los esfuerzos que tienden a doblar la pieza. Esta condición se expresa por la fórmula siguiente:

$\frac{S.I}{c} = M$, en la cual: S es el esfuerzo ejercido sobre una fibra cualquiera por unidad de superficie; I es el momento de inercia de la sección transversal de la pieza encorvada, con relación al eje neutro; c es la distancia de la fibra más encorvada al eje neutro, o lo que es lo mismo, es la mitad del grueso de la pieza encorvada; y M es la suma de los momentos de los esfuerzos que tienden a doblar la pieza.

Sabemos también, por resistencia, que el mayor valor del momento de doblamiento causado por una carga W repartida uniformemente sobre una viga, simplemente apoyada por sus extremos, distantes L, se expresa así:

$M = \frac{W.L}{8}$. Reemplazando este valor de M, que como acabamos de decir es el mayor, en la condición inicial, tenemos

$$\frac{S.I}{c} = \frac{W.L}{8}$$

Apliquemos esta fórmula a nuestro caso:

A S, o sea el esfuerzo que debe soportar una fibra cualquiera del tablón del fondo, debemos asumirle para el caso presente un valor mucho menor que el límite elástico, porque no sólo se requiere que no haya deformación permanente, sino que la deformación que pueda haber sea muy pequeña para que no afecte el buen ajuste de un tablón a otro, cuando la tina esté llena. Por esta razón y tomando como límite elástico 3,000 libras por pulgada cuadrada, que es un promedio para madera en general, según Merriman, pongámosle a S, 500 libras para que el tablón soporte un esfuerzo 6 veces menor que el que lo conduciría al límite elástico. Este límite de la madera está poco definido, porque siempre hay en este material una deformación permanente y otra transitoria; además no hay acuerdo entre los diversos autores respecto de la cifra correspondiente a una misma madera, ni existen, al menos que yo sepa, datos sobre las maderas que aquí usamos; pero poniendo 500 como valor a S podemos estar seguros del buen éxito.

El momento de inercia al rededor del eje neutro, sabemos que es igual a $\frac{b.d^3}{12}$, en que b es el ancho del tablón, y d el grueso del mismo.

∴ La mitad del grueso del tablón c, es igual a $\frac{d}{2}$.

El primer miembro de nuestra ecuación, o sea el momento de resistencia, con b=9″ y d=3″, queda igual a:

$$\frac{S.I}{c}=\frac{S.b.d^2}{6}=\frac{500.9.9}{6}$$

Veamos ahora cómo queda el segundo miembro: el peso total sobre la viga (W), es igual, según física, al de un paralelipípedo del material contenido, que tenga por base la porción de fondo y por altura la del material que tiene encima.

Dijimos atrás que el material no ocupa sino 7 pies, del filtro hacia arriba, pero como debajo del filtro hay solución y encima del material también, supongamos que tiene 8, 5 pies de alto el paralelipípedo de pulpa que oprime nuestra viga.

Hechos estos supuestos, tendremos: w=L . ¾ . 8, 5 . 125 libras (siendo 125 el peso de un pie cúbico de la pulpa, ¾ de pie las 9″ de ancho que tiene el tablón, y L la longitud de tablón entre los soportes).

Como $\frac{S.I}{c}$ fue expresado en libras-pulgadas, asi mismo debe serlo M, y tenemos:

$$M=\frac{(L.\frac{3}{4}.8,5.125)\ L.12}{8}=\frac{w.L}{8}$$

De manera que la ecuación queda asi:

$\frac{500.9.9.}{6}=\frac{(L.\frac{3}{4}.8,5.125)\ L.12}{8}$, de donde despejamos $L=\sqrt{5,6}=2,37$, o sea 2 pies 4 pulgadas. De manera que pondremos la viguetas que deben soportar el fondo, a 2 pies 4 pulgadas de centro a centro una de otra.

La misma fórmula sirve para calcular a qué distancia deben colocarse las soleras que van sobre los muros, para asegurar la resistencia de las viguetas que reposan sobre ellas. También es esta la fórmula para calcular las dimensiones de los listones o tablas que deben sostener el filtro, en caso de variante de alguna importancia en los tamaños usuales que veremos adelante. Todas estas piezas no son sino vigas uniformemente cargadas y apoyadas por sus extremos.

MUROS QUE DEBEN SOPORTAR LA TINA

Para la facilidad del descargue, sea en carros o canoas, conviene disponer los muros de soporte paralelamente uno a otro.

Es de uso más común el fabricarlos de sección rectangular y de costados verticales; sus respectivas posiciones se fijan de acuerdo con el número y situación de los orificios de descargue.

Como los muros hechos con este objeto son poco elevados, un metro o metro y medio generalmente, la fórmula usada para el cálculo de la resistencia de ellos, es la que asegura la resistencia de pequeños bloques sometidos a esfuerzos de compresión. Esta fórmula es: $P = R . S$, en la que P es el peso que gravita sobre el muro; R es lo que resiste con entera seguridad, por unidad seccional, el material de que está formado este último, o sea la carga práctica del mismo; y S es la sección que se trata de buscar y que debe tener el muro para que resista la compresión producida por el peso P.

Supongamos que nuestra tina tenga dos orificios de descargue. Al estudiar la posición de estos orificios veremos que deben situarse ambos en el eje de las X (*véase orificios de descargue*).

Supongamos la tina soportada por 4 muros: dos centrales a lado y lado del eje de las X y paralelos a él, y otros dos, uno en cada extremo de la tina, paralelos a los anteriores.

Asumámosle una posición al eje de cada muro para determinarle el ancho. Pongamos los ejes de los dos del centro, cada uno distante 3 , 5 pies del eje de las X, es decir, que la distancia de centro a centro de los dos muros sea 7 pies. El eje de cada muro extremo pongámoslo a 1 pie del borde de la tina. Según esto, hay 6 pies de centro de muro extremo a centro de muro central, porque la tina tiene 21 pies de diámetro. Veamos con que porción del fondo carga cada muro.

Cada uno de los muros centrales carga con el peso correspondiente a una faja de fondo comprendida entre el eje de las X y una cuerda que pase paralelamente a él, a 7, 5 pies de distancia; es decir, carga hasta la mitad de cada espacio entre un muro y otro

Como el coeficiente de seguridad permite que no haya necesidad de averiguar esta área con entera exactitud, asimilemos la faja anterior a un rectángulo de 7, 5 pies de ancho y con el largo de una cuerda paralela al eje de las X y distante de éste 3, 75 pies. Y tenemos:

Porción de fondo sostenida por cada muro central igual 7, 5 X 19, 6 =147 pies cuadrados.

Entre los dos muros centrales sostendrán 294 pies cuadrados de fondo, y como el área de éste tiene 346, 36, cada muro extremo deberá soportar el peso sobre 26, 18 pies cuadrados.

Calculemos el peso de la tina (madera y sunchos) y el material contenido en ella, para que repartiéndolo proporcionalmente a las fajas que soporta cada muro, sepamos el peso que gravita sobre cada uno.

Aunque sea largo el cálculo minucioso de lo que pesa la madera de la tina, listones del filtro y vigas de sostén, procedo a hacerlo de un modo aproximado, por no usar las fórmulas empíricas que traen los autores clásicos.

Reduzcamos toda la madera a pies cúbicos y luégo multipliquemos el total por 40 libras, que es el promedio de peso por pie cúbico, según Merriman.

Tanto las duelas como el fondo son formados por tablones de 3″ de espesor. Las duelas por razón del croce y del espinazo, tendrán 9 pies de largo cada una.

Pies cúbicos de madera en duelas

$$=9\left(\frac{\pi\,\overline{21{,}5}^{2}}{4}-\frac{\pi\,\overline{21}^{2}}{4}\right) \qquad = 150,\ 21$$

.... en el fondo $= \pi\,(21)^2 . \frac{1}{4}$ = 86, 59

..................en la armazón que sostiene el filtro, asumiendo que fuese un 30°/o menos de la que tiene el fondo................................= 60, 59.

Las vigas son de 9″ x 4″ de sección y tienen diferente largo, según su situación. Supongamos que una con otra puedan ponerse aproximadamente de 9 pies de largo. Como vimos, las que van inmediatamente debajo del fondo deben estar a 2 pies 4 pulgadas y tiene cada una 4″ de ancho; luego caben 9 vigas. Debajo de éstas, e inmediatamente sobre cada muro, va una de 9″ de ancho y 4″ de profundidad. Total: unas 13 vigas de 9 pies de largo y 9″ x 4″ de sección, que son $\frac{9}{12} . \frac{4}{12} . 9 . 13$, digamos 30 pies cúbicos.................................... 30

Madera total, en pies cúbicos................ 327, 39

Peso de la madera = 327, 39 x 40 = 13.095, 6 libras.

Los sunchos son 10 de ⅞″ y 3 de ¾″ y pesan 1.536 libras.

El material en la tina pesa: $\pi\frac{(21)^2}{4} \cdot 8,5 \cdot 125 = 368.007,5$ libras.

El peso total sobre los cuatro muros, sería pues de 13.095, 6 + 1536 + 368.007, 5 = 382.639, 1 libras.

Cada muro central carga con

$$\frac{382.639,1 \times 147}{346,36} = 162.397,35 \text{ libras.}$$

Cada muro extremo carga con

$$\frac{382.639,1 \times 26,18}{346,36} = 28.922,19 \text{ libras.}$$

Siendo iguales los centrales entre sí y los extremos entre sí, basta hacer dos cálculos: uno para un muro central y otro para uno de los extremos.

Muro central. La sección del muro que soporta mayor carga es la que sirve de límite entre el muro y los cimientos. Ella carga no sólo con las 162.397,35 libras, sino con el peso del muro mismo, que tiene S pies cuadrados de sección y la altura conveniente que es 5 pies. En este caso el peso P, que figura en la fórmula de que hablamos al empezar, es: $162.397,35 + 5 . S . d$, en que d representa el peso de un pie cúbico de mampostería, al que Molesworth asigna 100 libras por pie cúbico, tratándose de mampostería de ladrillo y cemento. La fórmula $P = R . S$ queda así: $162.397,35 + 5 . 100 . S = R . S$.

R, o sea lo que puede resistir a comprensión con seguridad un pie cuadrado de mampostería, se averigua dividiendo la última resistencia de este material por el factor de seguridad que queramos elegir. La última resistencia es, según Molesworth 0,19 de tonelada por pulgada cuadrada, o sea 54.720 libras por pie cuadrado y poniendo 10 de factor de seguridad, resulta R igual a 5.472 libras, que es un valor muy pequeño y por consiguiente da plena seguridad.

La fórmula queda así: $162.397,35 + 500 . S = 5.472 . S$; despejando a S tenemos

$$S = \frac{162.397,35}{4.972} = 32,66 \text{ pies cuadrados.}$$

Esta es la sección que debe tener cada muro central para resistir la comprensión.

El área de sección es el producto del largo por el ancho del muro. El largo de éste es igual a una cuerda trazada a 3,5 pies del centro de una circunferencia de 21 pies, que es el diámetro de la tina, o sea

$$2\sqrt{(10,5)^2 - (3,5)^2} = 19,8 \text{ pies.}$$

El ancho que debe tener por consiguiente cada muro central será:

$\frac{32,66}{19,8} = 1,65$ pies, o sea 1 pie 7,8 pulgadas, digamos 20 pulgadas.

Para la fabricación de estos muros se acostumbran en Antioquia adobes de 16″ de largo, 8″ de ancho y 5 de grueso cada uno. Formemos el ancho del muro con dos adobes: uno colocado transversalmente con las 16″, y el otro en sentido longitudinal con las 8 pulgadas de ancho, y nos resulta el muro de 2 pies de espesor. Queda así un espacio libre de 5 pies entre los dos muros centrales.

Dijimos que el largo de cada muro central es 19,8 pies; pero esa es la parte del largo cubierta por la tina. Los muros deben salir fuera de la tina, y para exactitud en el número de adobes, pongámosle a cada muro 20 pies de largo. De los adobes colocados transversalmente, 30 forman el largo del muro; y de los longitudinales, con 15 se forma la longitud total; de manera que la sección del muro se hace con 45 adobes ordinarios.

Como cada adobe tiene 5″ de alto, se requieren 12 hileras de adobes, una sobre otra, para que el muro tenga 5 pies de alto; luego para cada muro central se necesitan 540 adobes.

Muro extremo. Haciendo las mismas consideraciones que en el caso anterior, la fórmula para este caso es:

$28.922,19 + 500 . S = 5.472 \; S$, de donde $S = \frac{28.922,19}{4.972} = 5,81$ pies cuadrados.

Esta sección también es el producto del largo por el ancho del muro.

El largo es de una cuerda a 9,5 pies del centro y paralela al eje de las X, o sea

$$2\sqrt{(10,5)^2 - (9,5)^2} = 8,94 \text{ pies.}$$

El ancho del muro debe ser, por consiguiente, $\frac{5,81}{8,94} = 0,65$ de pie, o sea 7,8 pulgadas.

Como los centrales son los que soportan la mayor parte del peso, los muros extremos resultan exageradamente delgados. Teóricamente se podrían hacer con este grueso, implicando una economía de 168 adobes el hacerlos así en vez de darles el espesor de los centrales; pero haciéndolos de mayor grueso se obtienen varias ventajas: aumentar el momento de estabilidad, no dejar tina afuera de los muros extremos, pues el eje de éstos lo asumimos a 1 pie del borde de la tina, y además mejorar la estética de la construcción.

La fuerza lateral del viento puede considerarse sin ningún valor en esta clase de construcciones, dados su peso y su forma. Por eso suponemos asegurada la estabilidad, contentándonos con estudiar la resistencia.

CIMIENTOS

Dos son las principales condiciones que deben llenar los cimientos:

1ª Repartir uniformemente y con un valor que sea una pequeña fracción de la carga que pueda soportar el subsuelo, la presión resultante de todos los esfuerzos sobre éste. Por demás está decir que no se pretende con ello evitar de manera absoluta los hundimientos; sólo puede esperarse que se verifiquen en muy pequeña escala.

2ª La base de los cimientos debe además ser bastante ancha para que no quede duda de la estabilidad de la construcción.

En resistencia de materiales se estudia bajo el nombre de *teoría del plano*, la ley que rige la repartición de los esfuerzos sobre una superficie plana. De este estudio se saca, entre otras, la consecuencia siguiente: sólo se reparten uniformemente los esfuerzos sobre una superficie plana, cuando la resultante de ellos tenga el punto de aplicación en su centro de gravedad.

Los esfuerzos laterales pueden hacer que la resultante tome una dirección que se aleje más o menos de la vertical; pero para el caso presente no es necesario tomar en consideración la acción del viento, única fuerza lateral que podría existir; luego, siendo simétricos con relación al plano vertical que pasa por el centro de la base, tanto el muro como los cimientos, es claro que el peso total estará aplicado en el centro de gravedad de dicha base.

Tampoco hay por qué tomar en consideración el hecho de que una parte del peso de la construcción esté empleada siempre en contrarrestar la fricción del terreno adyacente contra los costados del cimiento. Es claro que no teniendo esto en cuenta, el hundimiento resultará menor.

El problema se reduce simplemente a averiguar qué área debe darse a la base del cimiento para que el terreno no soporte sino una pequeña fracción del esfuerzo que es capaz de resistir, según su clase.

Para llenar la segunda condición, basta poner la base un poco más ancha de lo requerido, según el cálculo de resistencia a comprensión, teniendo en cuenta la clase de construcción que nos ocupa.

Antes de entrar en la solución matemática de nuestro problema, es necesario saber la clase de terreno sobre el cual se va a edificar.

Se empieza por hacer las zanjas. Generalmente su profundidad no es menor de 5 a 6 pies; pero en todo caso se profundiza más o menos según el terreno.

Para asegurarse de la firmeza del terreno sobre el cual se construye, hay que hacer perforaciones con una varilla de hierro o con un excavador de mano, de los usados al efecto en las minas de aluvión. Si existe una capa de 6 a 7 pies de material resistente, debajo del fondo de la zanja, puede edificarse sobre ella, aunque las capas más profundas no den la misma garantía.

La preparación del subsuelo se hace de muy diferente modo, según la naturaleza del terreno. A este respecto, basta para nuestro propósito dar una somera idea, contentándonos con informar sobre la resistencia de los terrenos comunes entre nosotros y del modo como se puede mejorar el subsuelo en cada caso, haciendo mención sólo de los métodos más adaptables. Con tal fin podemos dividir los terrenos de una manera general, en tres clases: *Rocas, material resistente alterable por el agua y material flojo.*

Rocas. Son la mejor base que puede tener una construcción. Según el espesor de la capa y la composición de la roca, pueden cargarse comunmente con 4, 7, 8, hasta 25 toneladas por pie cuadrado de superficie; pero en las rocas más duras y en capas de gran espesor, resisten hasta 200 toneladas.

Si en la perforación hecha para explorar, se encuentra la roca a pequeña profundidad, aunque sea más costoso profundizar las zanjas hasta llegar a ella, es conveniente hacerlo. El asunto desde el punto de vista económico se estudia de acuerdo con la localidad, teniendo en cuenta las garantías que ofrece el terreno situado sobre la roca.

Suele requerir mucha labor la preparación de un subsuelo de roca quebrada o parcialmente descompuesta. La parte desagregada debe quitarse siempre y arreglar el subsuelo de modo que sea un piso a nivel, para que el peso se reparta uniformemente. Esta es condición que debe realizarse tratándose de cualquier clase de subsuelo.

Puede hacerse la nivelación de la roca en escalones, si es demasiado escabrosa o se presenta inclinada, como es lo común en esta clase de trabajos, en los cuales frecuentemente se aprovechan terrenos con declive, para hacer construcciones en distintos pisos, destinadas a soluciones, tratamiento y sumideros. Los escalones más bajos se llenan posteriormente con bloques de piedra preparados al efecto y unidos a la roca con mortero; pero es preferible hacer el lleno con concreto, fabricado con una parte de cemento, 2 de arena y 4 de cascajo.

Para usar bien este concreto, se coloca en capas de 6 pulgadas de espesor, dejando secar cada capa, y picando la superficie para extender una nueva. Por este procedimiento se obtiene un piso de tal resistencia, que en capas que han sido disgregadas suelen encontrarse fisuras partiendo las piedras, lo que prueba que la mezcla queda de mayor resistencia que las piedras mismas.

Bastan estas indicaciones para tener el subsuelo listo para levantar los cimientos.

MATERIAL RESISTENTE ALTERABLE POR EL AGUA.—*Arena.* Un subsuelo formado de arena compacta es una magnífica base para cualquier construcción. En una experiencia hecha en Francia, se pudo cargar un piso formado de arena de río, limpia y compactada, con 100 toneladas por pie cuadrado.

La mayor dificultad que se presenta en esta clase de terrenos es que los costados de la zanja no sean firmes. Debe evitarse en todo caso el agua que disgrega la arena.

Un buen método de hacer costados firmes, tanto para esta clase de terrenos como para los compuestos de cascajo, cascajo y arena o arcilla, es, después de fijar unos tablones paralelos a los costados, llenar el espacio entre éstos y aquéllos, con concreto de cemento, cuya composición hemos indicado. Los tablones no se quitan sino cuando el concreto está seco, asunto que demora de 2 a 4 días. Conviene no dejar caer el concreto de una altura mayor de 4 pies, porque se hace una clasificación de sus componentes por razón de gravedad, que es perjudicial.

Los terrenos formados de arena compacta y seca, no deben cargarse con más de 4 toneladas por pie cuadrado; pero si hay humedad, aunque sea ligera, no deberá pasarse de dos.

También puede arreglarse el subsuelo con concreto, como dijimos al hablar de las rocas; pero no es indispensable hacerlo así. Lo acostumbrado es nivelar la zanja, apisonar la arena, humedeciéndola ligeramente, extender el mortero y colocar el primer tendido de los bloques de piedra más grandes, para comenzar los cimientos.

Cascajo. Tanto el cascajo como el cascajo con arena son muy buenos subsuelos, cuando están secos, porque a más de ser incompresibles se pueden cargar comunmente con 4 toneladas por pie cuadrado.

Un terreno formado de cascajo y arena bien compactados resiste con seguridad 8 toneladas por pie cuadrado.

Tanto los terrenos de arena como los de cascajo, cuando tienen mucha agua se vuelven flojos y hay que recurrir a mejorar el subsuelo con pilotes, como explicaremos al tratar de los *terrenos flojos*. Si la cantidad de agua es poca, lo indicado es secarla, y esto se verifica comunmente con bombas de mano. A veces basta dar mayor base al cimiento o hacerlo más profundo, sin que sea preciso sacar el agua.

Puede hacerse más incompresible la capa de cascajo, apisonándola muy fuertemente con capas delgadas de arena humedecida. Nivelado el piso, queda listo para dar principio al cimiento.

Arcillas.—Las arcillas varían desde pizarras o esquistos arcillosos, que tienen gran resistencia, hasta arcillas amarillas, flojas y compresibles bajo pequeños pesos.

Las pizarras, esquistos arcillosos y arcillas secas y compactas, pueden resistir grandes pesos; pero lo acostumbrado es cargarlas con 4 toneladas por pie cuadrado.

Si son capas de arcilla y arena compactas, ligeramente húmedas, es prudente no cargarlas con más de 2 toneladas por pie cuadrado.

En los terrenos arcillosos, más que en todos, debe evitarse la humedad, porque aunque la arcilla sea compacta, el agua la vuelve compresible.

Los terrenos compuestos de arcillas exentas de cualquiera otra substancia, resisten menos que aquellos en que está mezclada con arena y cascajo, y no debe cargárseles con más de dos toneladas por pie cuadrado.

Cuando la capa de arcilla es inclinada, el piso se nivela en escalones, y los pisos bajos se llenan con concreto o con arena apisonada, en capas delgadas y húmedas.

Debe tenerse en cuenta que cuando un terreno resistente reposa sobre otro flojo o compresible, debe cargarse con cifras menores que las de que hemos hablado; además, conviene clavar pilotes por los contornos del subsuelo, para impedir así la expansión del material flojo.

Por la poca resistencia del subsuelo, la base de los cimientos resulta más ancha que la base de los muros que soportan la tina.

El cálculo del ancho de la base de los cimientos se hace como el que hicimos para averiguar la base de los muros.

Algunos autores de textos de resistencia de materiales formulan reglas prácticas para evitar el cálculo destinado a repartir uniformemente el peso sobre los cimientos.

Según Rankine, la base de los cimientos en cascajo debe tener un ancho igual a una y media veces el ancho de la base del muro que soportan, y en arcilla o arena compactas debe ser dos veces el ancho de la base del muro.

Wheeler dice que este último aumento es aplicable a terrenos ordinarios de tierra o arena, y da para terrenos compactos en general el ancho que fija Rankine para cascajo compacto.

Terrenos flojos.—Si el terreno no es tan flojo que exija el uso de pilotes, puede compactarse con arena, piedras y concreto o concreto únicamente.

Se empieza, como siempre, por hacer la zanja y averiguar a qué profundidad se encuentra el terreno firme.

El primer método en que se piensa para obtener firmeza es el de profundizar la zanja hasta encontrar el terreno firme; pero generalmente resulta demasiado costoso tal sistema.

La compactación con arena se hace extendiendo sobre el piso nivelado, capas de 6'' a 9'' de espesor, que se apisonan muy fuertemente una sobre otra hasta formar una capa de 2, 3 o más pies de espesor, según se juzgue conveniente.

También puede usarse la arena, haciendo especie de pilotes con ella así: se hacen huecos de unas 6'' de diámetro y unos 5 o 6 pies de largo, y se llenan con arena húmeda y apisonada.

La compactación con piedras y concreto se hace así: sobre el piso nivelado se colocan grandes bloques de piedra que se fijan en su lugar por medio de fuertes golpes. Sobre este pavimento, se extiende el concreto en la forma indicada al hablar de la preparación de las rocas.

La compactación con concreto se hace extendiendo capas de 6″ de espesor, fuertemente apisonadas unas con otras, como explicamos al hablar de la preparación de las rocas.

Los terrenos muy flojos se compactan con pilotes de sección redonda, cuadrada o rectangular, clavados hasta llegar al terreno firme o entrando en él, y más o menos separados según se juzgue conveniente.

Lo más común es emplear madera redonda de 6 a 10 pulgadas de diámetro y de unos 5 a 12 pies de largo, clavada hasta penetrar en el terreno firme, con separación de uno y medio a dos pies. Puede también prescindirse de penetrar en el terreno firme y clavar los pilotes únicamente en el flojo, poniéndolos más próximos unos de otros.

En todo caso, se recortan todos a la misma altura, para colocar sobre ellos una plataforma de madera, que sirva de base a los cimientos.

Este método no se emplea sino cuando hay seguridad de que los pilotes estarán siempre húmedos o siempre secos, pues la madera no se altera sino por los cambios de humedad a sequedad.

Hay terrenos flojos que pueden resistir con seguridad hasta una o dos toneladas de peso por pie cuadrado, y en ese caso es mejor hacer la base del cimiento del ancho necesario, y arreglar el piso con concreto, en vez de profundizar las zanjas o clavar pilotes.

La arcilla floja puede cargar generalmente con una tonelada por pie cuadrado.

Los terrenos de aluvión formados de arena movediza, no deben cargarse con más de media tonelada por pie cuadrado.

En el caso de estar pilotes, sabiendo la resistencia de uno de ellos se puede averiguar el número requerido para soportar la construcción. Cuando el pilote se apoya por su parte inferior sobre roca u otro terreno incompresible y está rodeado de terreno flojo, puede calcularse su resistencia a compresión, como se calcula la de un pilar.

En el caso en que esté enterrado en terreno flojo, sin apoyo firme por su parte inferior, únicamente se juzga de su resistencia por la fricción y la cohesión del terreno en que está clavado. Suelen usarse fórmulas para averiguar el peso que puede cargar con seguridad un pilote; fórmulas que están en función del peso que lo hace penetrar, de la altura de donde cae dicho peso y de lo que penetra el pilote en el terreno a consecuencia del último golpe, o mejor, de la penetración media durante los 5 o 6 últimos golpes. Como puede haber muchas causas que modifiquen esa penetración final del pilote, la fórmula no puede dar sino una ligera aproximación.

Ponemos a continuación una fórmula de este género, que según Kidder, es de uso frecuente entre los Ingenieros:

Toneladas que carga con seguridad el pilote, igual: $\frac{2.\ w.\ h}{S+1}$ cuando un peso de w toneladas que cae de h pies de altura da en los 5 últimos golpes un promedio de penetración de S pulgadas por golpe.

BASE DE LOS CIMIENTOS EN NUESTRO CASO

Como lo hicimos para la base de los muros, haremos dos cálculos: el primero para la base de los cimientos de uno de los muros centrales y otro para la de uno de los extremos.

Base de los cimientos de un muro extremo. Supongamos que a 7 pies de profundidad encontramos un subsuelo compuesto de arcilla y arena compactas; pero ligeramente húmedo. Según lo expuesto atrás, puede cargarse prudentemente con 4,000 libras por pie cuadrado.

La vía natural para resolver el problema es hacer la suma del peso que transmite la tina al muro, con el peso del muro mismo, más el peso de los cimientos de 7 pies de profundidad y de base S, por averiguar; después, poner esa suma igual a 4,000/S, de donde se despejaría a S, o base de los cimientos.

En nuestro caso no debemos proceder así, por lo siguiente: al hacer el cálculo para averiguar la base de un muro extremo, encontramos que por estar soportando cada muro de éstos una pequeña parte de la construcción, era necesaria una base sólo de 5,81 pies cuadrados. De acuerdo con ese resultado, se podría haber puesto una columna de 2′ x 3′ de sección, que desempeñase el papel de cada muro extremo, quedando de este modo la base de la columna cargada con las mismas libras por pie seccional que la de los muros centrales. Pero en caso de emplear columnas, el sostén del fondo debería hacerse por medio de vigas radiales que parten de una columna central hacia las otras; disposición que sería inconveniente para el descargue. Por esta razón optámos pór los muros extremos, y *los hicimos de igual ancho que los centrales* para mayor solidez de la construcción.

En resumen: hemos fijado para cada muro extremo una base mucho mayor de la necesaria para la resistencia a compresión; luego puede asegurarse que las bases de los cimientos resistirán, dado que su ancho es mayor que el de la base del muro que soportan.

Los cimientos deben proyectar de los muros, formando una zarpa por lo menos de 4'' a lado y lado del muro, y nuestro problema debe resolverse así:

Ponemos los cimientos de cada muro extremo, 8'' (4'' a cada lado) más anchos que la base del muro. Siendo ésta la menor base que puede darse a los cimientos, quedará también con la mayor carga por pie cuadrado que puede producir el pequeño peso que soporta cada muro. Si esa carga por pie cuadrado fuere menor de 4,000 libras, quedará el subsuelo bien cargado y la construcción estable.

Carga por unidad superficial sobre la base de los cimientos de un muro extremo. Es el cuociente de la división del peso total sobre el subsuelo, por el área de éste. El peso total sobre el subsuelo es como sigue:

	28.922,19	= peso que gravita sobre un muro extremo.
$100\left(2 \times \frac{112}{12} \times 5\right) =$	9.333,33	= peso de un muro extremo.
$150\left(\frac{32}{12} \times \frac{112}{12} \times 7\right) =$	26.131	= peso de los cimientos, de 32'' de ancho y 7 pies de profundidad; asumiendo 150 libras como peso de un pie cúbico de cimiento.
Peso total sobre el subsuelo.........	64.386,52 lbs.	

La carga sobre cada pie cuadrado de subsuelo es:

$$\frac{64.386,52}{\left(\frac{32}{12} \times \frac{112}{12}\right)} = \frac{64.386,52}{24,88} = 2.587,88 \text{ libras.}$$

Siendo esta carga casi la mitad de 4,000 libras, que resiste el subsuelo por pie cuadrado, podemos estar ciertos de que los hundimientos se verificarán en muy pequeña escala y de que la estabilidad queda asegurada.

Base de los cimientos de un muro central. Dijimos atrás que los cimientos deben repartir uniformemente el peso sobre el subsuelo. Debe procurarse que los cimientos para los muros centrales tengan la misma profundidad que los de los extremos; además debe averiguarse qué ancho deben tener, para que la carga por pie cuadrado sea 2.587,88 libras, para que los hundimientos de los subsuelos de todos los muros sean iguales. Resuelto de este modo el problema, no aprovechamos la resistencia del subsuelo tanto como se podría, pero queda la construcción resistente y estable.

El peso sobre el subsuelo es como sigue:

	162.397,35	= peso que transmite la tina sobre el muro.
100 (2. 20. 5) =	20.000	= peso de un muro central.
150 (S. 7) =	1.050 S	= peso de los cimientos de S pies de base y 7 pies de profundidad (pesando 150 libras por pie cúbico).

El peso total sobre el subsuelo es 1050 S + 182.397,35.

Para que la base de los cimientos de un muro central soporte la misma carga por pie cuadrado que la base de los muros extremos, es preciso que:

$$182.397,35 + 1050\ S = 2.587,88\ S \text{ de donde } S = \frac{182.397,35}{1.537,88}$$

= 118,6 pies cuadrados.

Como el muro tiene 20 pies de largo, el ancho de los cimientos será:

$$\frac{118,6}{20} = 5,93 = 5' - 11''.$$

Teniendo el muro 2 pies de ancho, los cimientos serán 3'–11'' más anchos, o lo que es lo mismo, se extenderán 23,'' 5 a lado y lado del muro.

Ya hemos dicho que los cimientos deben hacerse escalonados, es decir, que las 23'', 5 a lado y lado sólo se ponen en la base del cimiento y van disminuyendo de escalón en escalón hasta tener el cimiento a flor de tierra sólo 4'' o 6'' de zarpa.

Vimos atrás que entre un muro central y uno extremo queda una luz de 4 pies; luego, quitando 4'' de un lado y 23'',5 del otro, quedan las bases de los cimientos separadas por una faja de terreno de 20'', 5 de ancho. Entre los muros centrales la luz es de 5 pies; luego, quitando 23'', 5 a cada lado, quedan las bases de los cimientos separadas por una faja de terreno de 13'' de espesor.

APENDICE

DATOS GENERALES SOBRE CONSTRUCCION DE LAS TINAS

Escogido el lugar donde debe construírse una tina, es preciso empezar por dar solidez a la construcción, fabricando cimientos de piedra y muros de cal y canto o de piedra igualmente, o armazones de madera destinados a soportar el peso de la tina y del material cianurable.

Una buena disposición es la siguiente: levanttar muros de cal y canto, separados uno de otro por espacio suficiente para que quepa entre ellos la canal destinada al descargue. Ya hemos hablado sobre las condiciones técnicas de la construcción de esos muros y sus cimientos. Sobre cada uno de los muros, alto de un metro y medio a dos metros aproximadamente, se coloca una serie de soleras de unas 9'' de ancho por 4'' de grueso. La separación entre unas y otras debe calcularse matemáticamente, como hemos visto, para asegurar la resistencia de las viguetas transversales que reposan sobre ellas.

Estas últimas son las que van a soportar el fondo de la tina, pueden tener dimensiones de 9'' x 4''; la distancia entre una y otra debe calcularse, para que el fondo no sea perjudicialmente deformado por la presión sobre él. Colocadas éstas, con su caras superiores en un mismo plano horizontal, se ponen sobre ellas los tablones del fondo, los cuales deben ser correctamente cepillados, de modo que ajusten bien.

Aconsejan algunos untar a las piezas que deben juntarse, albayalde con aceite de linaza, para que se haga mejor la coaptación. Algún autor, en un artículo del "Mexican Mining Journal", critica esta práctica, pues dice haber encontrado en tinas viejas de esa clase los metales preciosos precipitados sobre el albayalde.

El inconveniente del aceite es físico y muy natural, pues impide, como cualquier grasa, la penetración del agua en la madera, útil como hemos dicho para obtener un buen ajuste.

El fondo será un piso a nivel, que debe tener un diámetro $\frac{5}{4}''$ mayor que el diámetro interior de la tina. Las duelas deben tener tres pulgadas por cinco octavos de *crece*, aproximadamente y se colocan una a una, de modo que ajusten bien, no sólo con el fondo, sino con la duela adyacente; pues, de no estar ajustadas al fondo resultaría un aumento en el diámetro interior de la tina, y después de puestas se haría muy difícil corregir el defecto. Si al contrario, se presta atención al ajuste del fondo pero se descuida la coaptación de una duela con otra, llega a hacerse imposible el ajuste perfecto por medio de los sunchos, excepto en la boca de la tina.

Cuando la tina deja salir su contenido por separación del fondo con las duelas, basta angostar una de ellas, con el fin de hacer menor la circunferencia de la tina, permitiendo entrar las duelas en el fondo hasta que quede bien corregido el defecto. Si el desajuste tiene lugar entre duela y duela, es preciso aumentar la circunferencia, añadiendo una más angosta, y acabar de corregir el defecto por medio de los sunchos.

Para poner los sunchos, llamados a sostener la armazón de la tina se empieza por colocar algunos, sin apretarlos fuertemente. Luégo se procede a apretarlos de abajo para arriba, asignándole a cada cual el sitio que deba ocupar definitivamente. Para obtener una buena adaptación del suncho a la madera, es indispensable que mientras unos obreros se ocupan en apretarlos, otros les den golpes de martillo en varios puntos de la circunferencia. Para mayor seguridad, conviene que los empates de los sunchos no queden todos en una misma línea vertical, sino más bien en forma de escalones.

Es igualmente conveniente, después de armar cada tina, cepillar por dentro el empate de unas duelas con otras, de modo que el interior de la tina sea, hasta donde es posible, completamente cilíndrico.

Puede revestirse la superficié interna de brea o parafina, pero no es indispensable esta precaución. La pintura exterior del aparato ayuda, como es sabido, a la conservación de la madera.

Las tinas para percolación deben llevar un filtro o falso fondo, construído como va a verse.

En la descripción siguiente se tomará como base un filtro de las dimensiones habituales: pero debe hacerse, como es natural, el cálculo matemático para los casos de variante de alguna importancia en el tamaño usual.

Para construír el falso fondo, debe comenzarse por fijar con tornillos o clavos al fondo de la tina un círculo de madera de 3'' a 5'' de alto, por una y media a 3'' de espesor. Este círculo debe estar separado de las paredes interiores de la tina por un espacio de una y media hasta 2''. El objeto de ese espacio es que el borde de la tela del filtro, la cual debe ser un poco más grande que el diámetro de la tina, pueda doblarse y ser fijado con una trenza de cabuya al círculo de madera mencionado.

Como la tela empleada, falta de sostén suficiente por su cara inferior, no podría resistir el peso del material, se acostumbra fijar al fondo de la tina una serie de tacos de madera de 1'' a 3'' de alto por 2'' x 2'' de base, colocados en líneas paralelas, a 12'' un taco de otro y a 10'' una serie de otra; cuando la tina tiene más de 5 pies de profundidad, esta última distancia puede ser de 6''. Sobre cada serie de tacos se fija un listón de madera de 2'' x 2'' de sección y con el largo de la serie respectiva; cuando la altura de la tina pasa de 8 pies, el grueso del listón puede ser de 3'' x 2'' o de 3'' x 3''.

En ángulo recto con los listones, o sea en la misma dirección de los tablones del fondo de la tina, se fija un segundo tendido de tablas, de 1'' a 3'' de alto y dos pulgadas de ancho, colocadas a dos pulgadas de centro a centro, de suerte que la luz entre unas y otras viene a ser de 1''. Se acostumbra también poner estas últimas tablas en forma semicircular, o paralelas a la cara interior de las duelas.

Terminada la armazón para sostén del filtro, se procede a fijar éste.

La tela del filtro puede ser de materiales diversos; entre nosotros se suelen usar pedazos de lona o costales de cabuya; la costura de los pedazos de tela debe hacerse montando un borde sobre otro en extensión de 3" a 5".

Tendido el filtro por la introducción de la trenza de cabuya de que se habló atrás, puede fijarse con clavos sobre el último tendido de tablas.

Para evitar averías en la tela por el trabajo a pala, cuando la descarga deba hacerse así, conviene fijar sobre ella una serie de tablas paralelas y a 6" de centro a centro. Estas tablas pueden tener 1" o 2" de alto, por 2" de ancho y su dirección es perpendicular a las colocadas inmediatamente debajo del filtro.

ORIFICIOS DE DESCARGUE

Para mayor economía de tiempo y de trabajo, es preciso situar convenientemente los orificios destinados al descargue del material cianurado.

La salida de la solución se obtiene colocando inmediatamente encima del fondo, en la pared lateral, una canilla o tubo de escape. Esta canilla o tubo puede ser de hierro, porque el hierro metálico es prácticamente insoluble en el cianuro de potasio.

El estudio hecho por H. Forbes, Julian y Edgar Smart, sobre la colocación preferible para uno o varios orificios de descargue, conduce a las siguientes conclusiones :

1.° Son preferibles orificios de descargue hechos en el fondo de la tina, a los situados en los costados de la misma. Es claro que el material más distante del orificio hecho en un costado de la tina, está a un diámetro de distancia; mientras que el más distante de uno abierto en el centro del fondo, estaría a un radio de distancia; luego hay economía de tiempo para el descargue en el último caso.

2.° Cuando la tina es grande, se hacen varios; y para el caso, las tres reglas principales son :

a) Se divide el fondo en tantas porciones de igual área, como orificios de descargue se resuelva hacer.

b) Se averigua el centro de gravedad de cada porción, para determinar el puesto que teóricamente conviene al orificio.

c) Se varía un poco el puesto de cada uno; para disponerlos en líneas rectas, y así facilitar el descargue en carros o canoas.

Siguiendo estas disposiciones, resultan preferibles para colocación de los orificios, los sitios siguientes :

Supongamos, para mayor claridad de la exposición, dos ejes rectangulares de coordenadas, que pasen por el centro del fondo de una tina de radio R.

Llamando el eje vertical, eje de las Y; y el horizontal eje de las X, obtendríamos :

Supuesto el caso de dos orificios de descargue (A) y (B) :
Centro del orificio (A) .... $X = R \times 0{,}4244$ y $Y = 0$

.... (B) .... X = − R x 0,4244 y Y = o

Siendo cuatro los orificios (A), (B), (C) y (D):

Centro del orificio (A) .... X = R x 0,4244 y Y = R x 0,4244

.... (B) .... X = R x 0,4244 y Y = − R x 0,4244

.... (C) .... X = − R x 0,4244 y Y = R x 0,4244

.... (D) .... X = − R x 0,4244 y Y = −R x 0,4244

Siendo seis los orificios (A), (B), (C), (D), (E) y (F):

Centro del orificio (A) .... X = R x 0,4 y Y = o

.... (B) .... X = R x 0,4 y Y = R x 0,55

.... (C) .... X = R x 0,4 y Y = − R x 0,55

.... (D) .... X = − R x 0,4 y Y = o

.... (E) .... X = − R x 0,4 y Y = 0,55 x R

.... (F) .... X = − R x 0,4 y Y = − 0,55 x R

Siendo para siete orificios (A), (B), (C), (D), (E), (F) y (G):

Centro del orificio (A) .... X = o y Y = o

.... (B) .... X = o y Y = R x 0,66

.... (C) .... X = o y Y = − R x 0,66

.... (D) .... X = R x 0,6 y Y = 0,375

Centro del orificio (E) .... X = R x 0, 6 y Y = − R x 0,375

.... (F) .... X = − R x 0, 6 y Y = R x 0,375

.... (G) .... X = − R x 0, 6 y Y = −R x 0,375

Si son ocho los orificios (A), (B), (C), (D), (E), (F), (G) y (H):

Centro del orificio (A) .... X = R x 0, 4 y Y = R x 0,2065

.... (B) .... X = R x 0, 4 y Y = − R x 0,2065

.... (C) .... X = R x 0, 4 y Y = R x 0,6195

.... (D) .... X = R x 0, 4 y Y = − R x 0,6195

.... (E) .... X = − R x 0, 4 y Y = R x 0,2065

.... (F) .... X = − R x 0, 4 y Y = − R x 0,2065

.... (G) .... X = − R x 0, 4 y Y = R x 0,6195

.... (H) .... X = − R x 0, 4 y Y = − R x 0,6195,

Hecho el cálculo matemático por las fórmulas que anteceden, se procede a practicar en los sitios determinados, el orificio u orificios que debe llevar la tina.

Un medio práctico, aplicable entre nosotros, sería el siguiente: en caso de colocar un solo agujero en el centro del fondo, se perfora en el espacio requerido tanto la madera como el filtro y su sostén, de modo de dejar un conducto cilíndrico, digamos de 20 a 35 centímetros de diámetro. Adaptado a ese espacio, se introduce un tubo o barril, de igual diámetro, que alcanza en su extremidad superior al mismo nivel que el filtro, y que en su extremidad inferior sale un poco abajo del fondo. Entre la pared exterior de este tubo y el orificio a que va adaptado, hay que evitar todo resquicio por donde se escape la solución con oro, y para esto se aconseja introducir a cincel en los intersticios, pedazos de pabilo engrasado que impiden toda pérdida.

El sistema más sencillo de tapar el orificio de escape es el siguiente: bajo la boca del tubo se coloca una tabla, suficientemente ancha para taparla completamente, la cual se ajusta al apretar dos cuñas, que van apoyadas en un par de vigas tendidas de muro a muro y separadas entre sí por un espacio igual al tamaño del orificio. Para destapar, basta golpear las cuñas; éstas saltan y cae sobre las vigas la tabla que obstruía la salida.

Como la simple coaptación de la madera por este procedimiento, no impediría naturalmente la pérdida de la solución, se acostumbra, una vez tapado el orificio como queda indicado, llenar interiormente el tubo con tierra y greda apisonadas, hasta el nivel de la tela del filtro.

Para descargar la tina, después de quitada la tabla exterior, es preciso romper por encima la carga y perforar las capas de greda y tierra que obstruían el tubo de escape, dando pase al chorro de agua con presión que se usa para verificar el descargue.

Acostumbran algunos practicar los orificios de descargue en los costados de la tina. Veamos cómo se dispone entre nosotros prácticamente uno de esta clase.

Se hace el orificio de forma rectangular en un costado de la tina. Su borde inferior debe estar al mismo nivel que el filtro, o media pulgada más bajo. Hay que tener presente que el filtro en este caso debe tener un ligero desnivel hacia el orificio, para facilitar el descargue.

La puerta que debe cerrar este orificio, se fija a uno de sus costados verticales, con visagras formadas por fuertes anillos y pasadores de hierro. De este mismo lado parte una gran aldaba que cierra al caer sobre un gancho en U, remachado en el lado opuesto. Por un agujero enroscado, practicado en el centro de este aldabón, pasa un tornillo grueso que termina en cabeza cuadrada por su parte exterior y que por su otra extremidad va a apoyarse contra la puerta, la cual tiene en este punto una placa metálica. Basta para obtener un magnífico ajuste, que los bordes de la puerta se aprieten a los costados del orificio (forrados en badana) por la simple acción con una llave americana, sobre la cabeza del tornillo mencionado.

RESUMEN

Como este trabajo ha tenido por mira facilitar su labor a los prácticos de minas, hemos creído conveniente formar una especie de guía para que puedan hallarse con facilidad los datos referentes a la construcción de tinas y sus accesorios.

DETERMINACION DE LA CAPACIDAD

Tinas para percolación. $V = x\,(D+E)\,P$. En esta fórmula, V es el volumen (en pies cúbicos) que debe tener una tina para tratar en ella x *toneladas* de pulpa diariamente; suponiendo que se gaste D *días* en su tratamiento y E *días* en vaciarla y llenarla, con una pulpa que ocupa P *pies cúbicos* por tonelada. Si en el cálculo del volumen se obtiene un resultado demasiado grande, puede hacerse en lugar de una, varias tinas cuyos volúmenes sumen V.

Tinas para agitación. $V = x\,D\,P + 32\,m\,x\,D$. En esta fórmula, V es el volumen (en pies cúbicos) que debe tener una tina para tratar en ella diariamente X *toneladas* de lodos, que ocupan P *pies cúbicos* por tonelada; toda la operación dura D *días*, incluyendo la carga y descarga de la tina. La mezcla de material y solución se hace en la proporción de 1 : m (ordinariamente m = 3). Si V resulta de gran valor, puede construírse varias tinas cuyos volúmenes sumen V.

ALTURA Y DIAMETRO DE LAS TINAS

Conocido el volumen, V, que debe tener la tina, se procede a fijar el diámetro y la altura. Con este fin se usa la fórmula:

$$D = \sqrt{\frac{4\,V}{3,14\,H}}$$

En esta fórmula, V es el volumen ya conocido (en pies cúbicos); D es el diámetro (en pies) de la tina, que se quiere averiguar, y H es la altura (en pies), que se supone en relación con el destino a que se dedica la tina; es decir, que si es para *percolación* se pone igual a 5 o 6 pies, si para *almacenar soluciones*, se pone

$$H = D/2 \text{ o } H = 3\,D/4$$

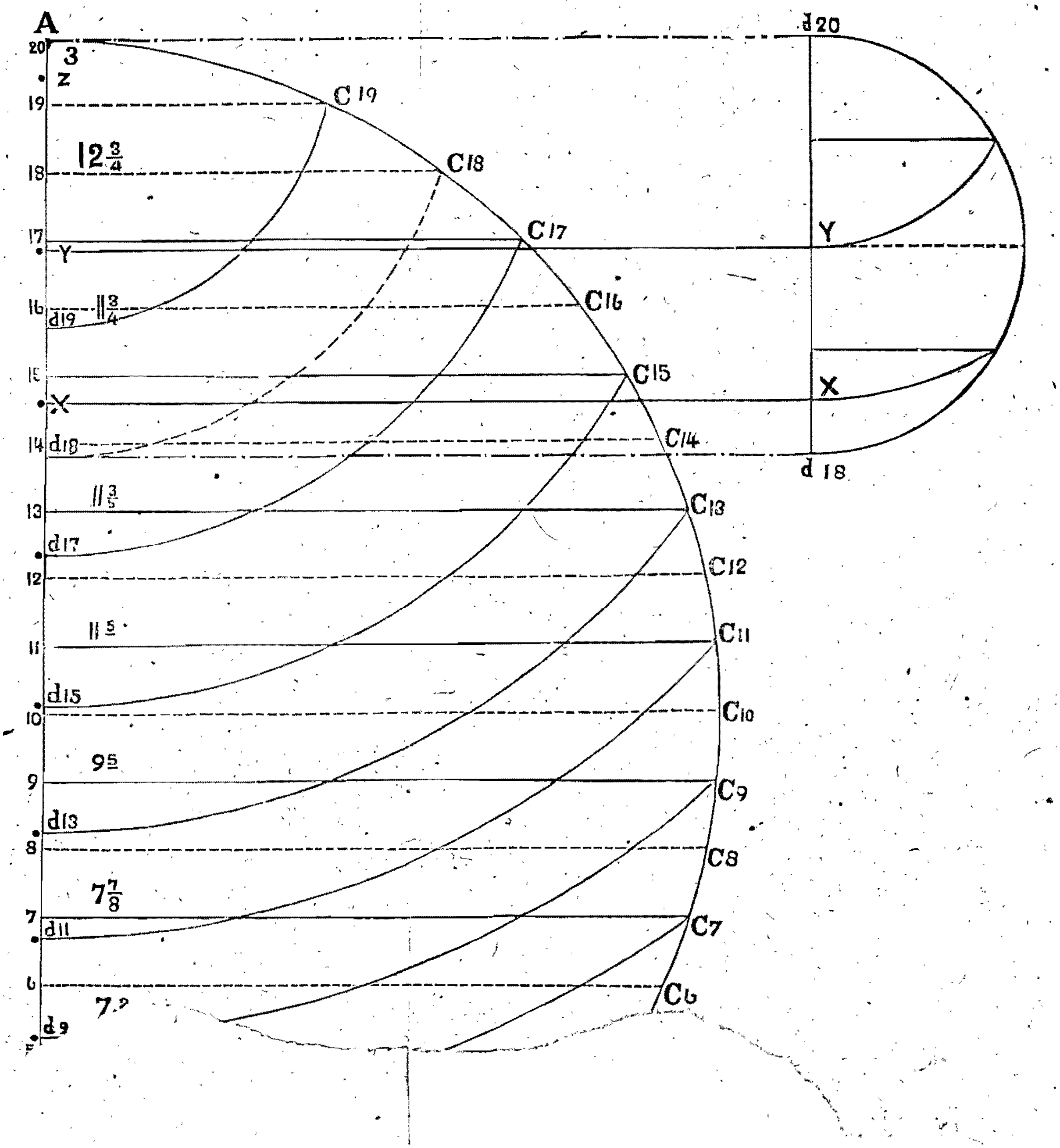
o un valor intermedio; y si para agitación, se le pone un valor mayor.

Conocidos el diámetro y la altura de la tina, se puede dar principio al arreglo de la madera. Algunos detalles acerca del asunto pueden verse en el cuerpo de esta Tesis, bajo los títulos de: *Algunos detalles generales y datos generales sobre construcción de las tinas.*

SITUACION DE LOS SUNCHOS

Para proceder a fijar la situación de los sunchos que deben resistir la presión interna, se requieren desde luego dos datos: primero, el esfuerzo de tensión total sobre los costados de la tina; y luégo, el esfuerzo de tensión que es capaz de resistir el suncho elegido.

Llamando T_t la tensión total sobre los costados de la tina, será igual a: $T_t = \frac{H\,w\,D}{2} \cdot \frac{H}{2}$. En esta fómula D y H son, como anteriormente, el diámetro y la altura de la tina (en pies), y



A
d20
d18
C19
C18
C17
C16
C15
C14
C13
C12
C11
C10
C9
C8
C7
C6
d19
d18
d17
d15
d13
d11
d9
Y
X
z
$12\frac{3}{4}$
$11\frac{3}{4}$
$11\frac{3}{5}$
$11\frac{5}{}$
$9\frac{5}{}$
$7\frac{7}{8}$

w es el peso (en libras) de un pie cúbico de la pulpa (mineral y solución). El valor de w varía según el mineral, pero satisface casi siempre poniendo $w = 120$ libras.

—

El esfuerzo de tensión que puede resistir un suncho de cierto diámetro puede verse al tratar del *número de sunchos en una tina.* Llamando T ese esfuerzo, resulta que los sunchos requeridos para resistir la tensión total, son: $n = \frac{T_t}{T_s}$

—

Para fijar la situación de cada suncho se hace un dibujo de la manera siguiente:

Trácese una línea vertical que represente la altura H, en una escala elegida de antemano; es decir, que si la escala es de C milímetros por pulgada, la línea, que debe representar H pies, tendrá $(H \cdot 12 \cdot C)$ milímetros de largo.

Divídase la línea que se acaba de trazar, en 2 n partes iguales; esta división se hace de abajo para arriba; de manera que si 2 n es un número entero con algunos decimales, como sucede habitualmente, queden tantas partes iguales de abajo hacia arriba cuantas exprese el número entero, sobrando en la extremidad superior, una porción de línea, menor que cada división e igual a lo que expresen los decimales.

Numérense los puntos de división, de abajo hacia arriba; de manera que el extremo inferior de la línea sea O y el primer punto que da el compás, con una abertura de $\frac{H \cdot 12 \cdot C}{2n}$ milímetros, sea el 1; luégo el 2, y, en fin, que el punto 2 n quede situado en la parte superior de la línea.

Levántense perpendiculares a la línea, por los números impares 1, 3, &c. &c., hasta cortar una circunferencia, trazada previamente con la línea vertical como diámetro. Llámense los puntos donde las perpendiculares cortan la circunferencia, C 1, C 3, C 5, &c. &c., por ejemplo.

Hágase centro con el compás en el extremo superior de la línea vertical, y trácense arcos de círculo que pasen por los puntos C 1, C 3, C 5, &c. &c. El punto donde cada arco corta la vertical será el sitio propio para colocar cada suncho.

Lo común es que, en la parte superior, a partir de cierto suncho, la distancia de uno a otro resulte mayor de 18″, que es el máximum de separación admitido. En este caso son inútiles los sunchos obtenidos de allí para arriba. Este último suncho útil sostiene hasta el punto donde la vertical es cortada por un arco trazado como los demás, y que pase por la C de numeración par, siguiente a la C de numeración impar por donde pasó el arco que fijó la posición del suncho.

Con la porción restante de altura debe procederse exactamente como con toda élla; pero sirviéndose de sunchos de menor resistencia.

Supongamos, pues, que sobró una porción de altura de z milímetros de largo, o sea de $\frac{z}{12 . c}$ pies de largo. Entonces la nueva tensión total para esa porción (considerada como una pequeña tina aparte) será:

$$T'_t = \left(\frac{z}{12 . c . 2}\right) w.D . \frac{z}{12 . c . 2} \text{ libras.}$$

Se elige otro suncho que tenga distinta resistencia a tensión (T'_s). Se divide la T'_t así obtenida, por la T'_s elegida, y se tiene $\frac{T'_t}{T'_s} = n'$ sunchos del nuevo diámetro, requeridos para sostener la porción de altura que faltaba. Se divide la línea z en $2 n'$ partes iguales, y se continúa el dibujo en la forma indicada para el primero.

Debe colocarse además dos sunchos: uno a nivel del fondo, y otro 3 o 4 pulgadas abajo de la boca de la tina.

RESISTENCIA DEL FONDO (SITUACION DE LAS VIGUETAS DEBAJO DE EL)

Para averiguar a qué distancia deben colocarse las viguetas debajo del fondo, con el fin de asegurar la resistencia, se emplea la fórmula siguiente:

$$L = \sqrt{\frac{4 . S . D^2}{3 . H . w}}$$

En esta fórmula, L es la distancia (en pies) de centro a centro de las viguetas, distancia que se desea conocer y que asegura la resistencia del fondo; S es el esfuerzo (en libras) que debe soportar una fibra cualquiera del tablón del fondo y que debe ser mucho menor que el límite elástico de la madera de que está hecho (es sabido que S = 500 puede usarse con éxito); D es el grueso del tablón del fondo (en pulgadas); H es la altura de la tina (en pies); y w es el peso de un pie cúbico de la pulpa (material y solución), en libras.

MUROS QUE DEBEN SOPORTAR LA TINA

Lo común es fabricarlos de pequeña altura, de sección rectangular y costados verticales.

La resistencia de uno de estos muros a compresión, queda asegurada con la de su base, y para ello se usa la fórmula:

$S = \frac{P}{R-w.H}$ que da la sección S (en pies cuadrados) que debe tener el muro.

En esta fórmula, P es el peso (en libras) sobre el muro; (el modo como se averigua P puede verse bajo el título *Muros que deben soportar la tina*); R es lo que resiste *con entera seguridad*, por pie cuadrado, el material de la construcción; este valor se encuentra en cualquier Cartera de Ingeniería (tratándose de ladrillo y cemento puede usarse R = 5'. 472 libras); H es la altura del muro *en pies*, y es comúnmente de 4 a 5; y w, es el peso (en libras) de un pie cúbico de mampostería (para ladrillo y cemento puede ponerse 100 libras).

Conocida la base (S) del muro, puede averiguarse el ancho del mismo. Siendo S un rectángulo, su área es igual al producto del largo por el ancho.

El largo depende de la posición del muro, y ésta a su vez de la situación de los orificios de descargue.

CIMIENTOS

Para averiguar el área de la base de éstos, se usa la misma fórmula que para los muros, o sea:

$S = \frac{P}{R-w.H}$; pero en este caso, S es el área (en pies cuadrados) del subsuelo sobre el cual ván a ser edificados los cimientos del muro correspondiente; P es la suma (en libras) de todo lo que pesa sobre los cimientos (muro y parte de tina llena de pulpa); R es lo que resiste *con seguridad* un pie cuadrado de subsuelo; H es la profundidad del cimiento (en pies), y w, es el peso de un pie cúbico de cimiento (de piedra puede suponerse igual a 150 libras).

—

Cuando el terreno es flojo, y por consiguiente hay que usar pilotes, se presentan dos casos:

El pilote se apoya por su parte inferior sobre roca u otro terreno incompresible, y está rodeado de terreno flojo. Se calcula el peso que puede cargar con seguridad cada pilote de dimensiones dadas, tal como se averigua el peso que puede soportar un pilar, o sea por la fórmula:

$P = \frac{A.S}{1+q\left(\frac{L}{r}\right)^2}$. En esta fórmula, P es el peso (en libras) que puede soportar el pilote; A es el área de la sección del pilote, de manera que si es redonda y de r pulgadas de radio, A es = $3,14\ r^2$, y si es rectangular, con *a* y *b* pulgadas por lados, A es = *a b*; S es la cantidad (en libras por pulgada cuadrada) que según la calidad de la madera, representa la carga práctica. (Merriman usa para madera en general S = 800 libras); q es un coeficiente constante, que varía de valor según el material de que se compone el pilote y también en relación con la forma de los extremos del mismo (puede ponerse $q = 1/3\,000$); L es la longitud del pilote (en pulgadas), y r es el radio de giración de la sección; de manera que r^2, para un pilote circular, es $r^2 = \frac{1}{16} d^2$, en que d es el diámetro de la sección del pilote (en pulgadas); si el pilote es rectangular, de un lado d menor que el otro, $r^2 = \frac{1}{12} d^2$ (igualmente en pulgadas).

El pilote se hace penetrar en un terreno flojo, y no tiene apoyo firme por su parte inferior. En este caso se usa la fórmula:

$$T = \frac{2 \cdot w \cdot h}{S+1}$$

T, expresa las toneladas (de 2.240 libras) que carga con seguridad el pilote; cuando un peso de w toneladas que cae de h pies de altura da en los 5 últimos golpes un promedio de penetración de S pulgadas por golpe.

RESULTADO

del ensaye hecho en la Escuela Nacional de Minas de Medellín, del carbón de la veta "San José" en Angelópolis, perteneciente a los Sres. Mejía & Echavarría.

Humedad	13.38%
Materia combustible volátil	38.27%
Carbono fijo	47.35%
Cenizas	1.00%
	100.00%
Azufre	0.60%

Poder calorífico determinado por el método de Berthier, en calorías por kilogramo 5360

Poder calorífico en British Thermal Units (B. T. U.) 9648

No da coke.

Decrepita al quemarse reduciéndose a polvo por su alto porcientaje en agua.

El ensayador,

JUAN DE D. HIGUITA.

Medellín, Junio 17 de 1913.

ENSAYE

del carbón de "La Clara" (de Amagá), perteneciente a los Sres. Restrepos & Cª

Sin secar:

Humedad	11.75°/o
Materia volátil	39.86°/o
Carbono fijo	46.60°/o
Cenizas	1.79°/o
	100.00°/o
Azufre	0.30°/o

Poder calorífico en B. T. U. por libra inglesa..... 10537
En calorías por kilogramo 5854
No da coke.
Decrepita, desintegrándose por el calor, en polvo menudo.

El ensayador,

G. SANÍN VILLA.

Medellín, Junio de 1913.

RESUMEN DE ACTAS

1º DE OCTUBRE DE 1912.

Informe de una comisión.—El Consejero Dr. Juan de la C. Posada informó acerca del memorial presentado en la sesión anterior por el alumno Sr. Adolfo Molina, en que pide al Consejo: 1º que se le exima de cursar Filosofía y Religión que hacen parte del *pénsum* que debe llenar para poder optar el título de Ingeniero; 2º que se le permita matricularse en las clases de Arquitectura y Dibujo arquitectónico, y Trigonometría esférica y nociones de Astronomía y Geodesia; 3.º que se le permita presentar examen de Higiene industrial sin concurrir a la clase; y 4.º que se le fijen los temas de tesis para optar los grados de Ingeniero Civil e Ingeniero de Minas, y presentó el siguiente proyecto de resolución que fué aprobado por unanimidad:

a) No se accede a las solicitudes del Sr. Adolfo Molina marcadas con los números 1.º, 2.º y 3.º;

b) Comuníquese al expresado alumno, que indique cuál de los grados de Ingeniero quiere recibir primero, para señalarle la tesis correspondiente;

c) Introdúzcase en los Estatutos el siguiente artículo nuevo:

Art. La Escuela no conferirá a un mismo alumno más de un grado en un año.

Tema de tesis.—Se fijó como tema de la tesis que debe elaborar el alumno Sr. Germán Orozco para optar el grado de Ingeniero de Minas el siguiente: "Monografía del Distrito minero de Rionegro, que constará de los puntos siguientes: 1) Topografía, 2) Geología, 3) Minerales metálicos, 4) Minerales no metálicos, 5) Empresas mineras, abandonadas, en función y posibles, 6) Energía Hidráulica