

Formación de depósitos de relaves en el Mineral del Teniente.

EL estudio de la influencia que sobre la calidad del agua de los cursos naturales tienen los residuos líquidos y las materias sólidas que se producen en las explotaciones de minas de diferentes metales, tiene cada día mayor importancia en nuestro país, debido al desarrollo que ha alcanzado la minería y al que necesariamente tomará en el futuro.

La correcta aplicación de la Ley N.º 1133, de 4 de Septiembre de 1916, sobre neutralización y depuración de los residuos de los establecimientos industriales, da aún mayor importancia a este estudio, porque no solamente se debe establecer que los residuos líquidos que van a los ríos no lleven aguas inapropiadas para la bebida o para la agricultura, sino también que los depósitos de materias sólidas, que no deben ser arrastrados por los cursos naturales, representen la seguridad necesaria de que dichas materias una vez almacenadas, no vayan a ir después violentamente a los ríos por una causa accidental, como ha sucedido en varias ocasiones con los depósitos de relaves que produce la Braden Copper C.º en el Mineral de El Teniente.

Según sea la clase del mineral que se explote será naturalmente el procedimiento que se emplee para la extracción del metal. Así, por ejemplo, los minerales de cobre que se trabajan en Chuquicamata están constituídos por brochandita, o sea, sub-sulfatos de cobre; se les muele hasta reducirlos a piedrecillas de pequeño diámetro, y se les somete a un proceso de lixiviación, agregando al agua ácido sulfúrico que los transforma en sulfatos y los hace solubles en el agua y se provoca después la precipitación electrolítica. El material inerte que queda es transportado en wagones a la pampa y se forman con ellos depósitos que no representan peligros de ser arrastrados a cursos naturales de aguas.

El número de yacimientos de minerales de cobre en forma de sulfatos o de sub-sulfatos es escaso en Chile, y, por consiguiente, el procedimiento indicado será aquí de poca aplicación.

En cambio, son numerosas las minas de sulfuros de cobre y de sulfuros de plomo, cuya explotación, por ser difícil hacer solubles dichos sulfuros, es diferente de la anterior. La forma de proceder en estos minerales consiste en moerlos hasta reducirlos a polvo tan fino

como sea posible, se les concentra después por flotación, y una vez obtenidos estos concentrados, se extrae el metal por fundición de los concentrados. Este procedimiento produce una ganga estéril llamada «relaves», constituida por arena fina y polvo.

El procedimiento por flotación, y por consiguiente, la producción de gran cantidad de materia inerte en forma de polvo y de arena fina tiene un gran porvenir en Chile, tanto porque la mayor parte de los minerales de cobre y los de plomo se encuentran aquí en estado de sulfuros, como por ser éste un procedimiento sencillo, rápido y barato, y que permite explotar minerales de baja ley que con otro método no sería económico hacerla.

En algunos países se permite todavía arrojar directamente estas materias a los cursos naturales de agua: en Chile no. A este respecto la Ley N.º 3133 ya citada establece en su artículo primero que: «los establecimientos industriales, sean mineros, metalúrgicos, fabriles o de cualquiera otra especie, no podrán vaciar en los acueductos, cauces artificiales o naturales que conduzcan aguas, o en vertientes, lagos, lagunas o depósitos de agua, los residuos líquidos de su funcionamiento, que contengan sustancias nocivas a la bebida o al riego, sin previa neutralización o depuración de tales residuos por medio de un sistema adecuado y permanente.

En ningún caso se podrá arrojar a dichos cauces o depósitos de agua las materias sólidas que puedan provenir de esos establecimientos ni las semillas perjudiciales a la agricultura».

Los métodos más corrientemente empleados para el almacenamiento de los materiales inertes son los siguientes:

1) Se les transporta y se les deposita en las galerías de las minas de que fue-

ron extraídos los minerales. Con esto se consigue tener un lugar seguro para el depósito, y, en muchos casos, el relleno de las galerías representa una seguridad contra posibles hundimientos. Este método se ha empleado principalmente en las minas de oro en el oeste de Australia y en Sud-Africa, en minas de carbón en Europa, etc. La colocación de los depósitos en las galerías es, como se comprende, molesta y se le usa especialmente cuando las minas se encuentran ubicadas en sitios muy accidentados, con quebradas profundas y escarpadas, en donde es difícil hacer los depósitos en forma económica y segura.

Por otra parte, este procedimiento permite, generalmente, volver a las galerías sólo los dos tercios del mineral extraído quedando más o menos un tercio que debe ser depositado afuera.

2) Se transportan los materiales en trenes y se les deposita en lugares abiertos, como se hace en Chuquicamata.

3) El transporte de los materiales se hace por el procedimiento hidráulico, es decir, se les conduce arrastrados por el agua por canoas o por cañerías. Este procedimiento se complica por la necesidad de decantar los sedimentos en suspensión en el agua. Es el procedimiento usado en El Teniente, en La Disputada, en Chagres, etc.

Los dos últimos métodos permiten hacer los depósitos en terreno abierto más o menos plano o bien en quebradas o cauces de ríos, en cuyo caso se debe atender a la libre y segura pasada de sus aguas, lo que exige la construcción de un túnel o de un acueducto sobre el cual quedarán los depósitos, soluciones que presentan serios peligros en la mayor parte de los casos y una atención cuidadosa e indefinida de las obras, puesto que el túnel o el acueducto pueden obstruirse, lo que obligaría a las

aguas a pasar por sobre el depósito. También puede destruirse o desgastarse y en tal caso se produciría la socavación del depósito. Esto traería como consecuencia la destrucción rápida del depósito y el lanzamiento de grandes cantidades de arenas y sedimentos a los cursos naturales de aguas, con los consiguientes perjuicios para todas aquellas actividades que usen las aguas comprometidas.

En el caso de hacerse el transporte de las materias inertes por arrastre hidráulico, el problema se complica por las dificultades y peligros que se presentan, especialmente durante la formación del depósito. Es el caso que se ha presentado en el Mineral de El Teniente.

Como consecuencia de la destrucción de los depósitos de arena y sedimentos y que, en conjunto, se llaman «relaves», en el cauce del río Coya, en el Mineral de El Teniente, en los años 1913, 1914, 1915 y 1916, se dictó la Ley N.º 3133 ya citada, que en su artículo N.º 22, dice: «Los establecimientos mineros o metalúrgicos que necesiten construir tranques para la decantación de los relaves, no podrán utilizar para tal objeto los cauces naturales o artificiales que conduzcan agua para la bebida o para el riego.

En las quebradas que sólo accidentalmente conduzcan aguas se podrá autorizar la construcción de embalses siempre que se hagan obras definitivas para la desviación de ese caudal accidental».

Se observa que la Ley, haciéndose cargo del peligro que ofrecen estos depósitos sobre cauces naturales o artificiales, ha prohibido su construcción. Más aún, en la Braden Copper Co. se ha querido remediar el error de haber hecho depósitos importantes sobre el río Coya y se estudia actualmente la manera de transportar estos depósitos a un sitio más seguro.

En un artículo que publicaron los ANALES del Instituto de Ingenieros, en el núm. correspondiente a Noviembre de 1924, hago la historia del destino que la Braden Copper Co. ha dado a los relaves que ella ha producido desde 1911, de las destrucciones sucesivas que han sufrido dichos depósitos, de los accidentes que ha experimentado la canoa que transporta los relaves hasta el depósito de Barahona y de la influencia que pueden tener los relaves y los residuos líquidos que produce la mina en las aguas del Cachapoal.

En la presente oportunidad me ocuparé de la forma en que se han hecho los depósitos de relaves de El Teniente, las causas de los accidentes sufridos por ellos y la forma en que estimo deberá procederse en el futuro para evitar estos accidentes, todo esto relacionado especialmente con el depósito de Barahona, cuya destrucción se produjo a las 0 horas 5 minutos del 1.º de Diciembre de 1928.

Relaves.—Con el objeto de obtener el mayor rendimiento posible con el procedimiento por flotación, los minerales se muelen primero en chancadoras MacCully y en seguida en molinos sistema Garfield, que trabajan en combinación con chancadoras sistema Symons de discos. Esto hace que los materiales queden reducidos a arena fina y a polvo. El siguiente cuadro da una idea de la fineza de este material:

Análisis en % correspondiente a los relaves depositados en Barahona desde Abril a Diciembre de 1920.

	Quedan sobre		Pasan por	
N.º del ar-				
nero	65	100	200	200
Abertura de				
la malla				
en mms..	0,208	0,147	0,074	0,74

Promedio de Abril a Diciem- bre de 1920...	31	29	26	14
--	----	----	----	----

Como regla general, la totalidad de las arenas pasan por el arnero N.º 30, cuya abertura es de 0.503 milímetros. En consecuencia, se trata de un material constituido por arena firme y polvo.

Depósito de los relaves. En el mineral de El Teniente los relaves comenzaron a ser producidos en 1911 y se les arrojaba al río Coya y fueron depositados solamente en Junio de 1913 en la quebrada del mismo río Coya.

El procedimiento empleado, en líneas generales, en los primeros depósitos, fué el siguiente: los relaves eran arrastrados por el agua en la proporción más o menos de 1 de relaves por 4 a 5 de agua, por una canoa de madera, que los llevaba hasta la canoa distribuidora sobre el tranque. El tranque se formaba construyendo primero un terraplén de tierra y piedras sin pisonear, de cinco a seis metros de altura máxima, con taludes de uno por cada lado y con una cresta de ancho mínimo de 1.50 m.

Los relaves se comenzaban a depositar detrás de este terraplén y una vez que el embanque llegaba a su cresta se seguía con un talud de 30° sobre la horizontal.

La construcción se hacía llevando los relaves hasta la canoa distribuidora que se colocaba sobre un andamiaje aguas arriba del terraplén. Esta canoa tenía orificios de 40 milímetros de diámetro en su parte inferior por donde caía la mayor parte de las arenas menos finas, mezcladas naturalmente con materiales finos. Las arenas menos finas caían verticalmente al pie del andamio y también eran recibidas por pequeñas Canoas

de sección en forma de V que las repar-tían hacia el interior del depósito. De esta manera se formaba un embanca-miento con el material menos fino hacia aguas abajo al cual se le daba la forma definitiva repartiendo convenientemente el material a pala.

El resto de los relaves constituidos por el material más fino iba por el tér-mino de la canoa distribuidora o por ramales que se sacaban de ella hacia aguas arriba del depósito en donde se producía su decantación.

Una vez que el embancamiento for-mado por arenas menos finas alcanzaba una altura tal que no permitía hacer en buenas condiciones la distribución de los materiales, se construía otro anda-mio paralelo al anterior hacia aguas arri-ba y se repetía la operación.

La primera rotura del segundo tran-que producida el 22 de Noviembre de 1914 y la del tercer tranque el 15 de Junio de 1916, comprobaron que la dis-tribución de los materiales en la forma indicada era irregular, porque las are-nas menos finas caían principalmente en los primeros orificios de la canoa y a los últimos llegaba ya el agua con material fino, lo que hacía que el em-bancamiento hacia la parte terminal fue-ra más débil.

Con el objeto de mejorar esta distri-bución se trasladaron los orificios del fondo de la canoa de distribución a sus costados y se iba disminuyendo su diá-metro y su distancia al fondo de la canoa, desde su principio hacia su tér-mino. Pero como este dispositivo no diera todavía resultados satisfactorios, al hacer el depósito provisional de re-laves que se comenzó el 18 de Julio de 1916 se emplearon para extraer el ma-terial menos fino, cajones en forma de pirámide invertida de sección cuadrada y de 0.90 m. de altura. El agua con

relaves caía a estos cajones por orificios practicados en la canoa, el material menos fino se iba al fondo de donde salía por un orificio y el material más fino rebalsaba con el agua, se le recogía y por pequeñas canoas se le conducía hacia aguas arriba del embanque.

En la construcción de los depósitos «Arena» y «Agua Amarga» se perfeccionó este dispositivo usando en lugar de los cajones de forma de pirámide, canoas invertidas que fueron perfeccionadas después en el depósito de Barahona, cuya descripción haré más adelante.

Estos dos últimos depósitos no han sufrido ni durante su construcción ni después, ningún accidente.

Además, en estos depósitos se empleó el sistema de colocar sobre pontones flotantes el andamiaje de la canoa de distribución en la forma que se ve en la figura 10.

Con el embancamiento con material menos fino hacia el lado de aguas abajo del depósito se pretendió hacer una especie de tranque que permitiera la formación de una laguna con el agua que lleva el material más fino, el cual

necesita un tiempo más o menos largo para decantarse, a fin de extraer en seguida por un vertedero el agua completamente privada de relaves y poderla arrojar al río.

En la decantación de estos sedimentos se observan cuatro zonas: en la más profunda se encuentran ya los relaves formando una especie de gelatina que poco a poco va tomando consistencia a medida que va aumentando la cantidad de relaves por unidad de volumen y cuando la cantidad de agua en su masa ha disminuído suficientemente, toma una resistencia tal que puede ser cortada con taludes verticales.

Sobre esta primera zona se encuentra una segunda, que es un estado de transición entre la formación gelatinosa y las aguas turbias que vienen de la canoa. La tercera zona está constituida por las aguas que recientemente llegan de la canoa con materiales muy finos, tal vez alguna parte de ellos de consistencia coloidal pero que, debido a la acción coagulante de algunos elementos que se encuentran en el conjunto, se produce la sedimentación de todos ellos. Por último queda en la superficie el agua completamente clara.

Acueducto del Rio Coya

Orificio para el agua decantada

Seccion longitudinal

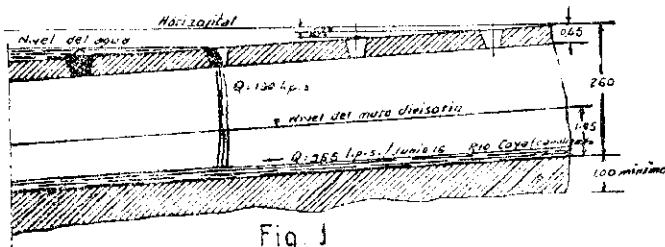


Fig. J

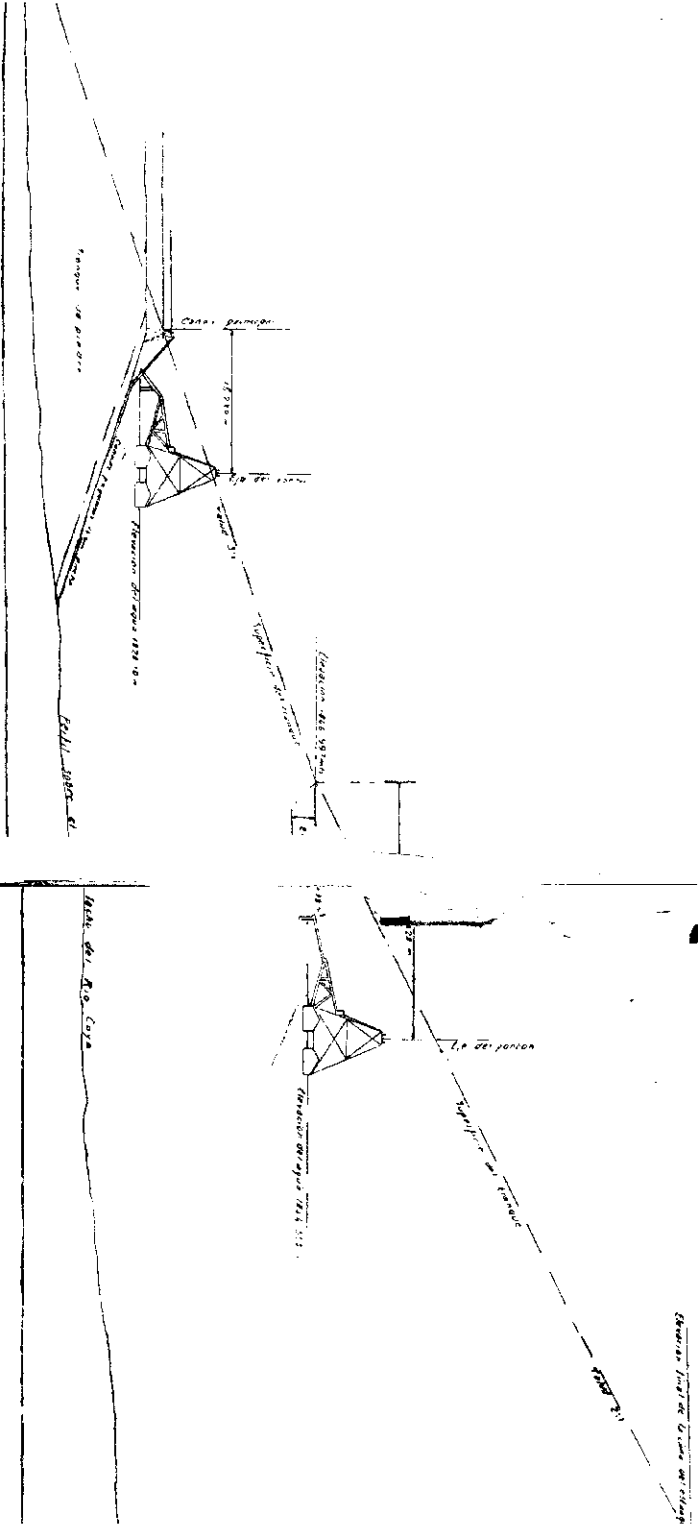


Fig. 10

Con el objeto de tener la cantidad de agua en el embalse se va teniendo el vertedero a una cota tal que el espesor de esta capa de agua clara en las vecindades del rebalse no sea superior a sesenta centímetros.

A medida que iba aumentando el cubo de relaves depositados, iba subiendo la cota de la superficie del agua y para mantener el proceso del trabajo en las condiciones indicadas más arriba era necesario ir subiendo también poco a poco la cota del vertedero de descarga. Con este objeto se ha aprovechado durante la primera parte de la formación del depósito, el acueducto de descarga, que en los depósitos del río Coya, es el que da paso a este río. Se dispusieron en la parte superior de este acueducto orificios en forma de tronco de pirámide, de sección cuadrada, cuya base mayor tiene 0.61 m. por lado (Figuras 1 y 2). Conjuntamente con ir subiendo la su-

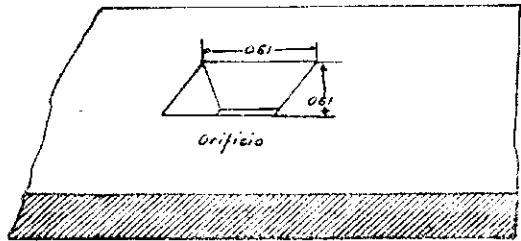
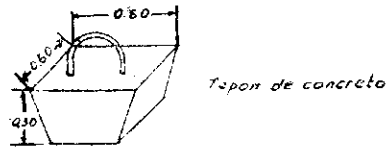


Fig. 2

perficie del agua, se iban tapando estos orificios con taponés de concreto. Este dispositivo tenía el inconveniente de que los orificios de más aguas abajo, iban quedando con una mayor capa de agua y, por consiguiente, muy cerca de la capa de agua sin decantar, puesto que estando en término medio, un orificio 0.25 m. más abajo que el siguiente, siempre había más de uno que estaba recibiendo agua decantada.

Acueducto del Rio Coya

Orificio para el agua decantada

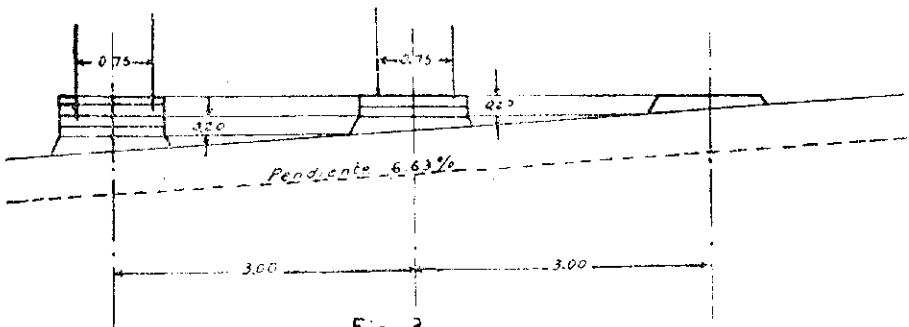


Fig. 3

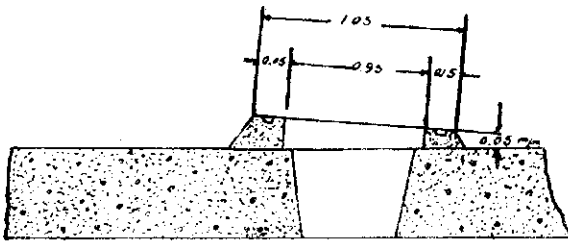


Fig. 4

Para evitar este inconveniente se hicieron en seguida orificios de sección circular de 0.75 m. de diámetro, sobre los cuales se iban poniendo anillos de concreto del mismo diámetro interior que el orificio y de 0.10 de alto (figuras 3 y 4).

Una vez que estos orificios se encontraban a una distancia conveniente del borde del embancamiento y la situación del acueducto era propicia con relación a las laderas de roca de la quebrada se reemplazaban estos orificios por una torre vertedero, cuyos detalles se encuentran en las figura 5 y 6.

La ubicación de este vertedero se escogía en una región que quedara suficientemente lejos de la canoa de distribución, para que el agua permaneciera en el embalse el tiempo necesario para que se produjera la total decan-

tación de los sedimentos.

La salida del agua que caía por el vertedero, se hacía por un acueducto que va por el fondo del depósito y atraviesa el embancamiento de las arenas menos finas. Su capacidad debe ser tal que permita no sólo el escurrimiento de las aguas decantadas sino también el de las aguas

lluvias que se juntan en la hoya correspondiente. Una parte de este acueducto tiene una sección circular de 2.90 m. de diámetro, de albañilería de piedra con un murito divisorio de con-

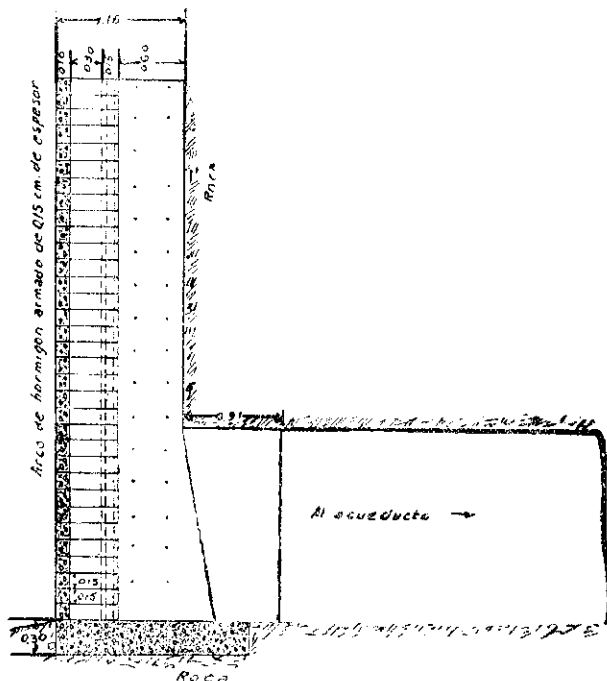
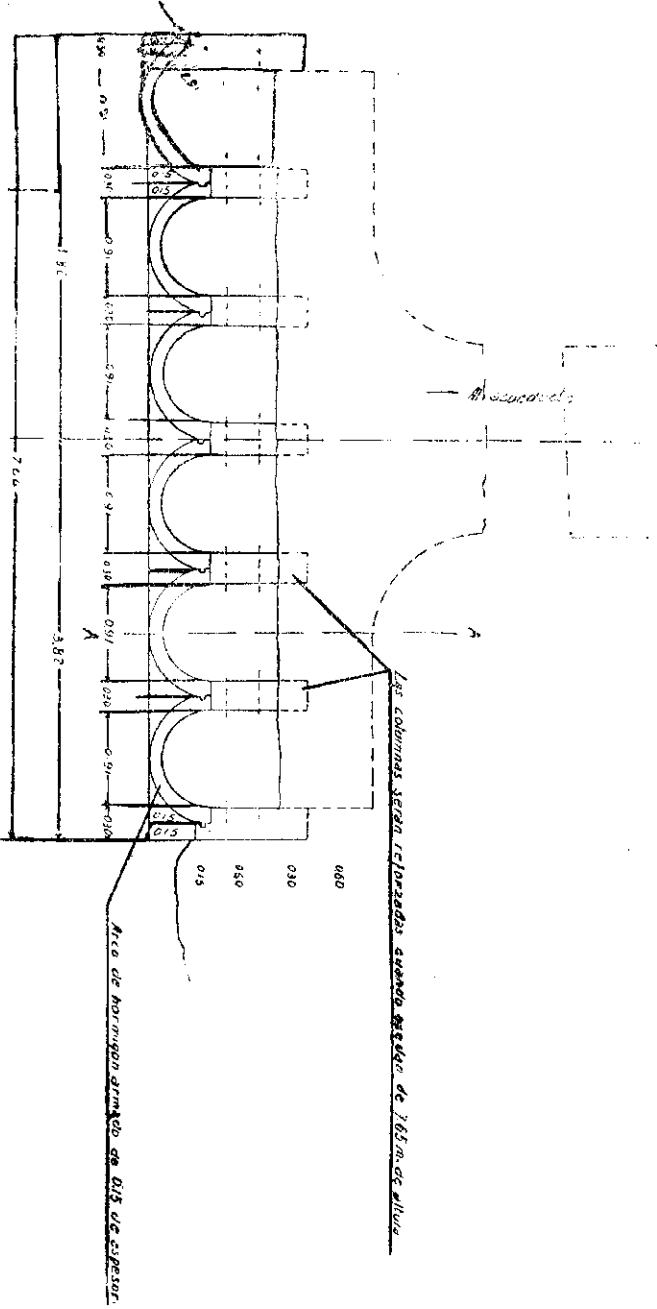


Fig. 6

Torre de rebalse



Planta
Fig. 5

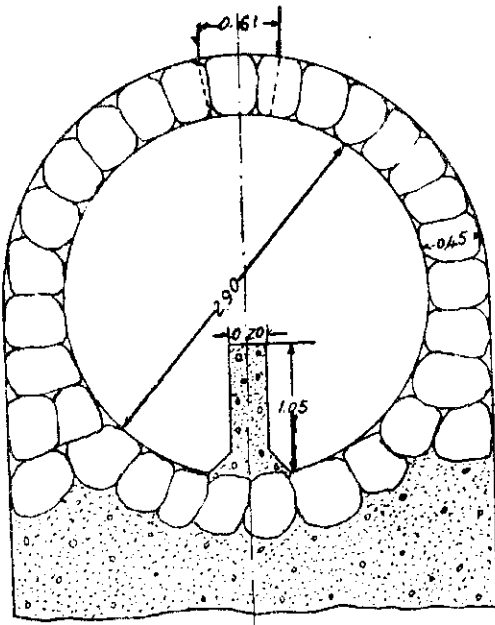


Fig. 7

creto de 1.05 m. de altura y 0.20 m. de espesor (Figura 7). El resto del acueducto es de sección cuadrada de 2.60 m. de lado, de concreto, siendo armadas las paredes laterales y la loza superior (Figura 8) con un murito interior análogo al de la sección circular. Estos muritos tienen por objeto aislar, en épocas de estiaje, una parte del acueducto, lo que permite su visita y hacer las reparaciones necesarias.

La capacidad del acueducto se calculó considerando una pendiente mínima de 6.6 % y en forma que fuera capaz de conducir el mayor caudal que pudiera dar la hoya correspondiente, cuya extensión es de 3,600 Ha. Para fijar la intensidad en litros por segundo y por hectárea de la lluvia que

pueda dar el mayor caudal al Coya en esa parte se tomó la expresión:

$$i = \frac{50}{\sqrt{A}}$$

Siendo A la superficie de la hoya, igual 3600 Ha, así se obtiene:

$i = 9.8$ lts. Ha. por segundo y el caudal que llevará el río será de 35.5 m³ por segundo. Para tomar un buen coeficiente de seguridad se adoptaron las dimensiones indicadas del acueducto, con las que se puede conducir un caudal de 97 m³. por segundo.

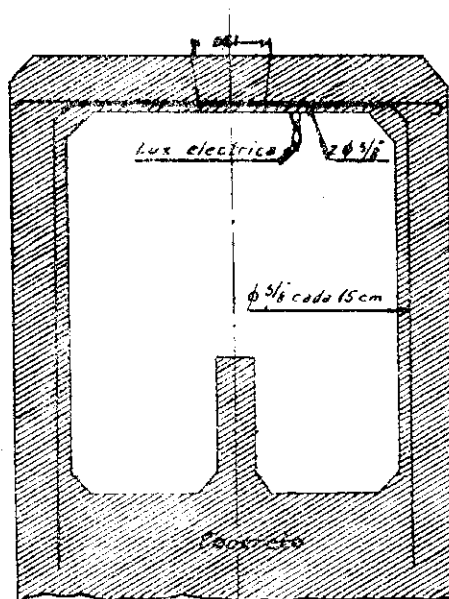


Fig 8

Depósito de la Quebrada de Barahona. —Para dar cumplimiento a lo establecido en el artículo 22 de la Ley N.º 5133, copiado más arriba, la Braden Copper Co. adquirió los terrenos que forman la hoya hidrográfica de la Quebrada de Barahona con el objeto de hacer en ella un gran depósito de relaves.

En la ejecución de este nuevo depósito tomaron en cuenta los ingenieros de la Compañía todos los detalles que la experiencia de la construcción de los siete depósitos anteriores les había proporcionado.

La idea primitiva fué la de ir construyendo por estapas a medida que la hoya se fuese llenando de relaves, un gran tranque de tierra cuya altura máxima alcanzaría a 78 metros y cuya sección transversal sería la de la figura 9. Se construiría colocando un material escogido, impermeable, en la parte de aguas arriba, y material grueso en la parte de atrás para darle peso. Los taludes serían de uno en vertical por dos en horizontal, con cinco zarpas de 15.00 metros para el lado de aguas abajo. A fines de 1917 se comenzó la construcción limpiando y arando el terreno en que

se iba a fundar y colocando tierra arcillosa que era fuertemente pisoneada con un rodillo a vapor y que era transportada hasta cerca del lugar que

Depósito de Barahona

*Tranque de tierra
Proyecto primitivo*

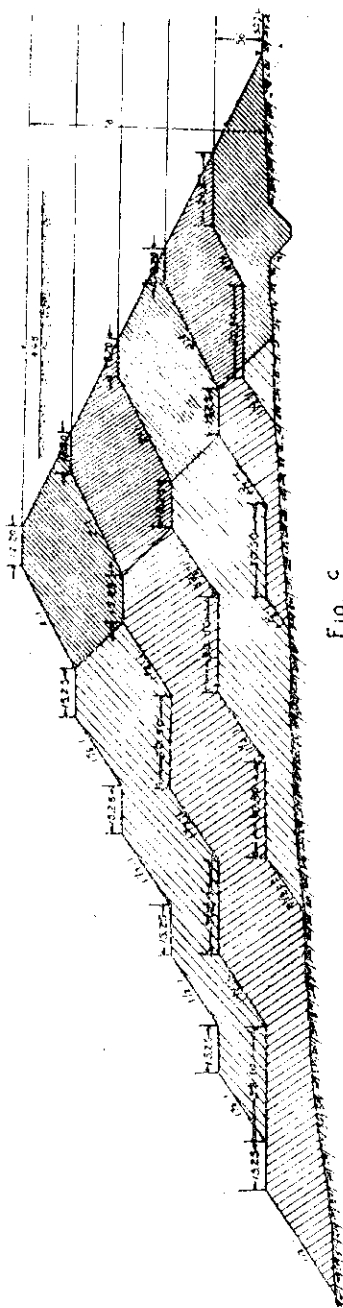


Fig. 9

debía ocupar el tranque por trenes que a echaban a depósitos con tolvas, por las cuales se cargaban en seguida los carros de cuatro ruedas y de tracción animal que le llevaban hasta el punto de su ubicación definitiva.

En vista de las dificultades de ejecución y de su costo, se paralizó su construcción en Mayo de 1919, cuando llevaba una altura un poco superior a 7 metros.

Con la altura máxima de 78 metros que se proyectó dar a este tranque, su volumen habría sido de 16.7 millones de metros cúbicos de tierra y habría permitido depositar 190 millones de toneladas de relaves.

Se resolvió entonces hacer el depósito en forma análoga a la empleada en los depósitos del Coya, para lo cual se construyó un pequeño tranque de tierra unos cuatrocientos metros aguas abajo del anterior, en cuya cresta debía ir la canoa de distribución, para lo cual se abrió a esta cresta una pendiente de 2% en la dirección de un eje.

La canoa que conduce los relaves desde la mina debe llegar a una cota superior a la que alcanzarán los relaves una vez lleno el depósito. Para conducirlos desde la canoa hasta la primera parte del depósito, se construyó un canal revestido con albañilería de piedra que iba desde la canoa de transporte hasta la canoa de distribución.

Al término del canal revestido se colocó un desripador y más aguas abajo se abrió una cámara con rejilla, con el objeto de evitar que entraran piedras a la canoa de distribución y por ella a los conos, lo que provocaría la obstrucción de estos últimos.

La forma como se hizo al principio la distribución de los relaves fué la siguiente: se colocó a lo largo de toda la cresta del tranque de tierra y en su

orilla del lado de aguas un andamiaje con caballetes de unos 6 metros de altura sobre los cuales iba la canoa de distribución. En su radier había orificios por los cuales caían los relaves en pequeñas canoas de sección V que los llevaban a los carros. Los conos iban colgados cada uno con un caballete de forma de un tronco de pirámide, lo que permitía trasladarlos y repartir convenientemente las arenas más gruesas para formar el tranque. Para ayudar esta repartición se recibían las arenas que salían por la parte inferior del cono en una canoa, y su distribución definitiva se hacía a pala. En esta forma se iba haciendo el depósito de las arenas menos finas en capas de más o menos tres metros de espesor y con un ancho en la cresta de unos doce metros.

En estas condiciones se comenzó a llevar relaves a la Quebrada de Barahona el 31 de Marzo de 1920, pero únicamente el 25% del total de relaves producidos por la mina; durante el mes de Abril de 1920 se transportó el 45% y el 1.º de Mayo del mismo año comenzó a ir a Barahona el total de la producción de relaves de la mina.

Se fué aumentando poco a poco la cantidad de relaves que se llevaban con el objeto de ir vigilando la forma en que funcionaba la instalación completa, canoa, puentes, túneles, andamios, conos, etc., y de ir reparando las deficiencias que pudieran producirse. Durante el primer tiempo se observó que había gran dificultad para el traslado continuo de los caballetes que sostenían los conos, pues no sólo había que cambiarlos de lugar para hacer la repartición de los relaves en el plano horizontal, sino que había que irlos subiendo constantemente a medida que aumentaban la altura del tranque. Se ensayaron varios dispositivos, hasta que por fin,

en Noviembre de 1920, se optó por colocar los conos en el mismo andamio en que va la canoa e inmediatamente debajo de ésta y la repartición de las arenas se hace por canoas de sección V en forma análoga a la indicada en la figura 23.

Una vez terminada una capa que tiene, como he dicho, unos tres metros de altura, el campo de acción de los conos comienza a ser muy reducido. Se colocaba entonces un nuevo andamiaje con canoas y conos en la capa ya terminada y el procedimiento seguía como anteriormente. Esta última operación se iba haciendo en tramos de 40 a 60 conos.

Se han empleado dos tipos de conos clasificadores, los de dos y los de una palanca. Estos últimos son preferibles a los primeros porque son más sencillos, más rápidos de armar, más sensibles en su funcionamiento y ocupan casi la mitad de espacio.

La alimentación de los conos se hizo al principio por orificios practicados en el fondo de la canoa de distribución, pero se observó que los conos que estaban hacia el final de la canoa de distribución daban arena más fina que los de más aguas arriba. Se trató de mejorar este defecto abriendo orificios de 5 a 6 centímetros de diámetro en la pared lateral de la canoa y sobre su fondo, lo que mejoró algo la repartición de las arenas. Se reemplazaron después estos orificios por ranuras verticales por las que se movía una compuertita de $2\frac{1}{2}$ cms. de altura por 10 cms. de ancho y con un orificio de 5 cm. de diámetro. Al comienzo de la canoa de distribución se colocaron los orificios de las compuertitas a 5 cm. de altura sobre el fondo, distancia que se fué disminuyendo paulatinamente hacia aguas abajo hasta que los últimos quedaban

sobre el fondo. En esta forma la repartición de las arenas es satisfactoria.

Los conos son de madera y tienen una altura de 1.25 m. y 1.04 m. de diámetro interior en su base (parte superior) (Fig. 11).

El cono lleva en su parte de arriba y por su parte interior una canoa D, cuyo fondo lleva una cierta inclinación hacia la salida E de sección rectangular.

En su conjunto el cono va colgado por intermedio de un fierro F en U, a una horquilla G en forma de V invertida, la cual descansa en un extremo de un balancín H. en cuyo extremo va un contrapeso I.

El orificio por el cual salen las arenas es de 6 centímetros de diámetro, lleva una boquilla interior de bronce (fig. 12). Contra la boquilla va a ajustarse otra pieza A en forma de pera, también de bronce, atornillado a una barra cilíndrica B de $\frac{3}{4}$ " de diámetro que se encuentra en el eje del cono, barra que a su vez va en el interior de un tubo C.

El agua con relaves sale entonces por el orificio de la compuertita colocada en la pared lateral de la canoa, escurre por una canal de madera y cae al cono. Las arenas menos finas van al fondo de éste y salen por el orificio inferior. Los relaves más finos rebalsan a la canoa D y caen por E a la canoa J, de la que son llevados, por canoas que salen de ellas al depósito de relaves que se encuentra aguas arriba del tranque. Cuando es pequeña la cantidad de arenas menos finas que se encuentran dentro del cono y, por consiguiente, hay peligro de que van a formar el tranque materiales muy finos, el peso total del cono disminuye, el contrapeso I lo levanta y el orificio inferior del cono es tapado por la pieza A. Cuando se ha juntado dentro del cono una cantidad suficiente de material menos fino, vuel-

ve a bajar debido a su aumento de peso y se reanuda el escurrimiento por su orificio inferior. El funcionamiento de este dispositivo es sencillo y seguro.

El material que dan los conos por su orificio inferior lleva más o menos un 33 % de su volumen de agua y cae verticalmente sobre el tranque o se le distribuye por canoas de sección V, construídas con tablas cepilladas y con pendiente mínima de uno en vertical por cuatro en horizontal al punto en que sea necesario y, por último, se reparte a pala como se indica en la figura N.º 23. El talud natural que va tomando este material en el borde de aguas arriba del tranque, forma en que

se le deja definitivamente, es de 40 a 42° con la horizontal. Cuando el tiempo es demasiado caluroso esas arenas se secan y se producen pequeños derrumbes. Cada cono da alrededor de cinco toneladas de arenas en 24 horas, sin tomar en cuenta el peso del agua que contienen.

A continuación indico los resultados de algunos análisis referentes a las dimensiones de los granos del material que ha sido depositado por los conos en zonas diferentes durante el mes de Octubre de 1928 en el tranque de Barahona. Los valores que se indican corresponden a promedios de muestras tomadas diariamente.

N.º 2

ANÁLISIS EN % CORRESPONDIENTE A MATERIAL DEPOSITADO POR LOS CONOS EN BARAHONA, EN 9 ZONAS DIFERENTES, DURANTE OCTUBRE DE 1928

N.º del harnero.....		Queda sobre		Pasa por
		100	200	200
Albert malla mm.....	0.208	0.147	0.074	0.074
Zona I.....	31.1	33.1	24.1	11.7
» II.....	30.0	30.5	26.9	12.6
» III.....	30.9	32.2	23.7	13.2
» IV.....	30.6	32.3	24.7	12.4
» V.....	32.8	30.8	24.0	12.4
» VI.....	27.6	32.4	26.5	13.5
» VII.....	31.7	30.5	24.8	13.0
» VIII.....	25.2	32.6	28.1	14.1
» IX.....	27.2	31.0	27.5	14.3
Prom. totales.....	29.4	31.9	25.7	13.0

N.º 3

ANÁLISIS EN % CORRESPONDIENTES A MATERIAL DEPOSITADO POR LOS CONOS EN BARAHONA

N.º del harnero.....		Queda sobre		Pasa por
		100	200	200
Albert malla mm.....	0.208	0.147	0.074	0.074
Año 1921.....	5.8	20.3	48.1	25.8
» 1927.....	25.3	27.1	29.7	17.9
» 1928.....	25.6	31.8	27.3	15.3

Corte de la parte inferior del cono clasificador

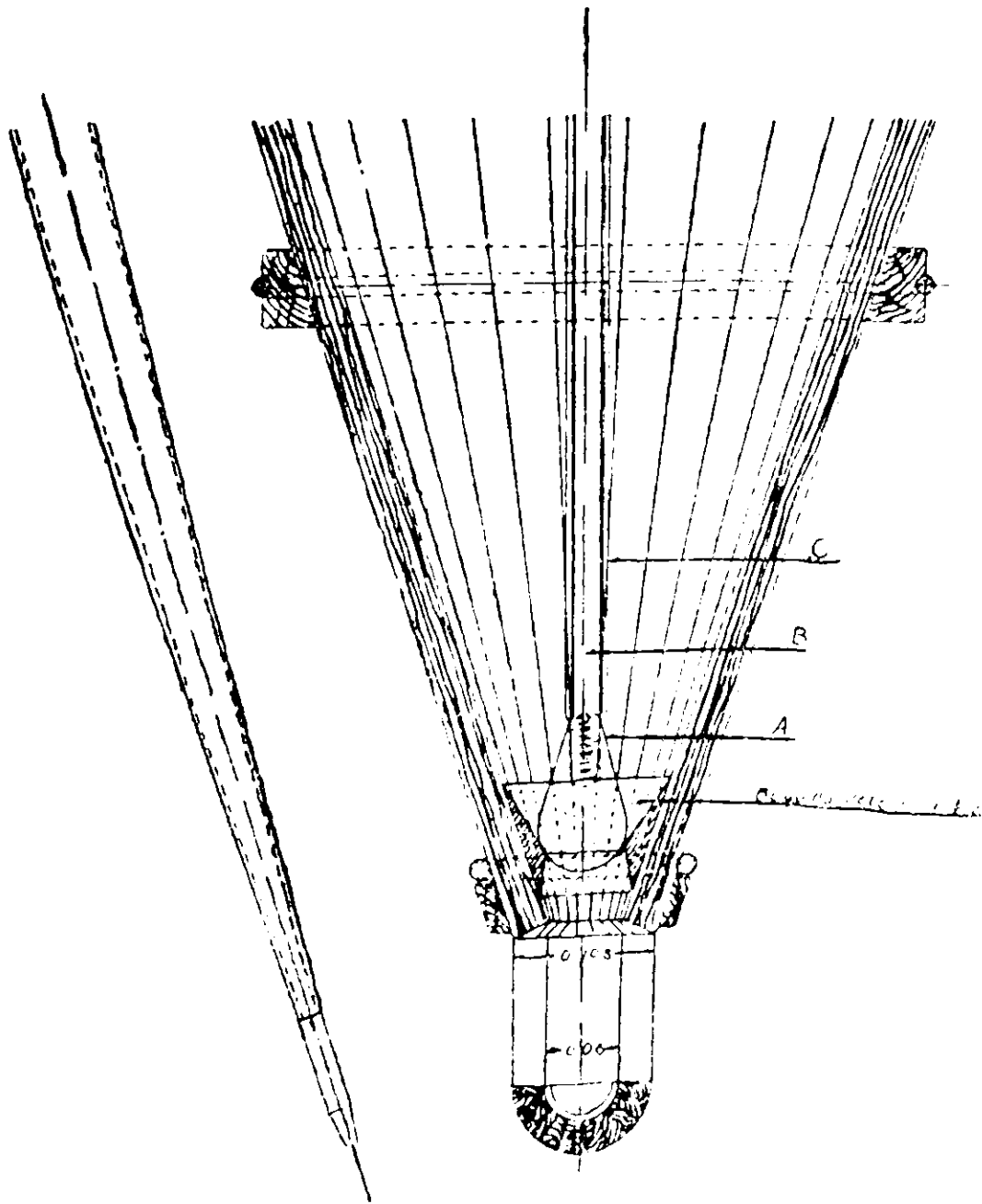


Fig 12

Cono clasificador

Vista lateral

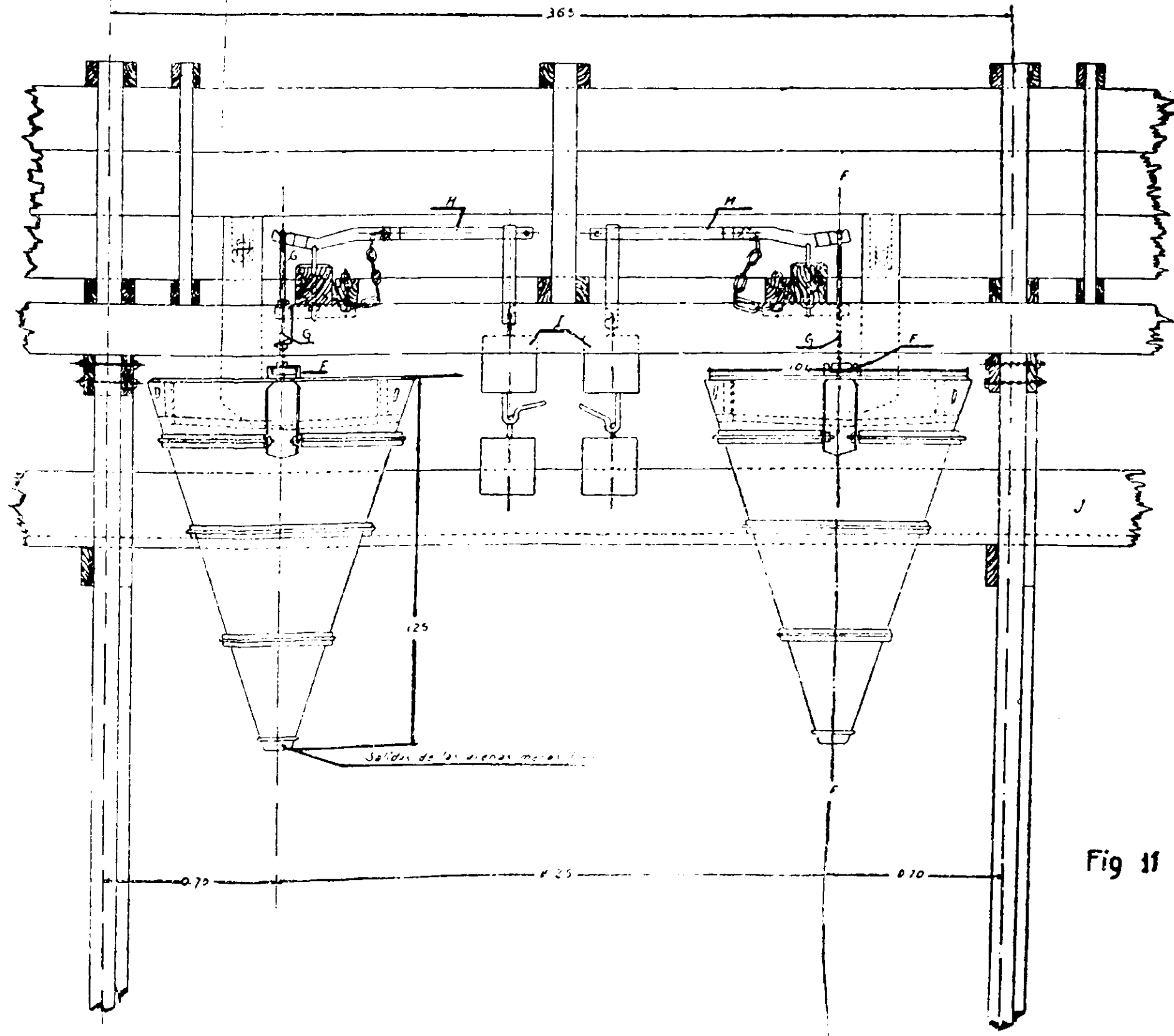
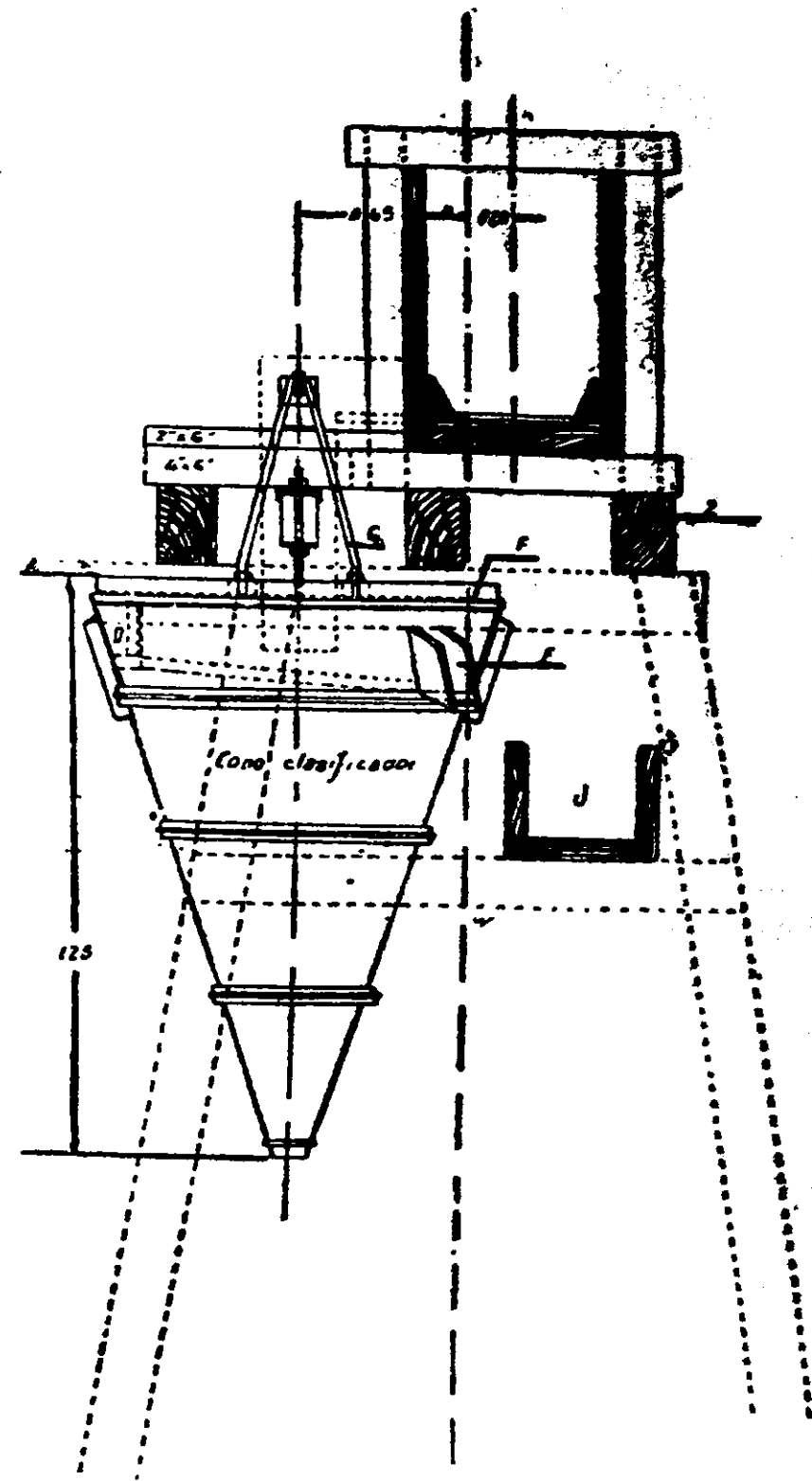


Fig 11

Corte FF



Se observa que los promedios dados para el año 1921 acusan material de constitución más fino que para los años 1927 y 1928. Esto se debe a que aquel año la producción de la mina bajó considerablemente y en tal caso los relaves se producen más finos. En estos casos el rendimiento de los conos, es decir, la cantidad de arenas que depositan en 24 horas, baja sensiblemente.

El material que sale por E del rebalse de los conos y que es recibido por la canoa J para ser depositado aguas arriba del tranque, es más fino que el anterior. Los análisis han dado los siguientes resultados:

N.º 4

ANÁLISIS EN % CORRESPONDIENTES AL MATERIAL QUE REBALSA POR LOS CONOS EN BARAHONA. PROMEDIOS ANUALES DE MUESTRAS TOMADAS CADA CUATRO DÍAS

N.º del harnero.....		Queda sobre		Pasa por
		100	200	200
Albert. malla mm. ...	0.208	0.147	0.074	0.074
Año 1921.....	0.05	1.2	6.4	92.4
« 1927.....	1.1	3.1	10.2	85.6
» 1928.....	1.4	4.1	11.5	83.0

Estos materiales son conducidos al pie del tranque que se va formando con las arenas que separan los conos por canoas que se derivan de la canoa J, cada treinta a cuarenta y cinco metros. El agua cargada con los sedimentos finos corre hacia el interior del depósito, el material menos fino de éste se deposita primero, el más fino se deposita más lejos del tranque y por último queda el agua en el depósito con elementos en suspensión que demoran un tiempo más o menos considerable en decantarse. Se forma así una especie de delta delante del tranque.

La extracción del agua decantada y de las aguas lluvias se hace por un doble acueducto de sección circular, de 1,50 m. de diámetro (Fig. 13). En la parte superior se va dejando una abertura A de 0.90 m. de ancho, cuyos bordes van protegidos provisoriamente por tablas B de 0.05 x 0.20 m. El agua cae al acueducto por esta abertura por un vertedero de madera formado por un cajón que

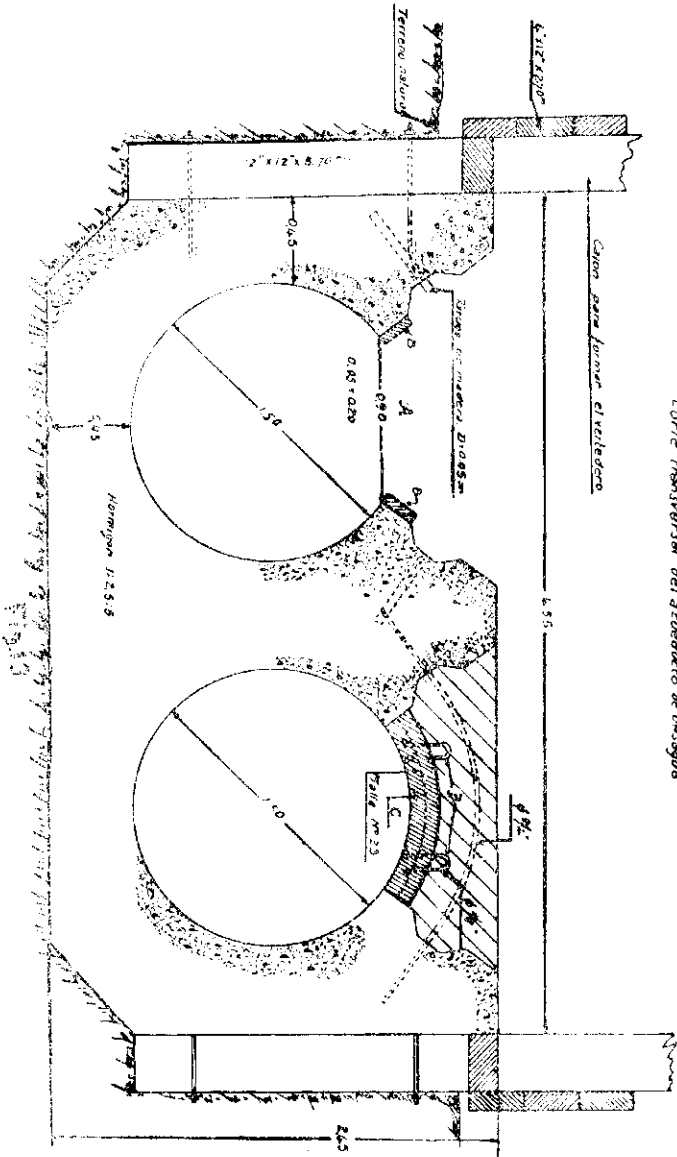
se ajusta a la parte superior del acueducto (Fig. 14). Una vez que la superficie de la capa de agua con los relaves en suspensión ha llegado a un nivel tal que la cresta del vertedero se encuentra a poca altura sobre ella, se tapa una parte de la abertura del acueducto con bloques de concreto (C) de 0.60 m. de largo que completan la forma circular al acueducto, para lo cual se retiran las tablas B que protegen los bordes.

Sobre estos bloques se coloca hormigón dósís de 1 x 2.5 x 5, que es la misma de la del cuerpo del acueducto y se le afianza con fierros de 3/4" de diámetro y 2.45 m. de longitud colocados cada 0.60 m. en orificios formados en el hormigón del acueducto por tarugos de madera de 0.05 m. de diámetro.

Para su manejo, los bloques llevan 4 manillas B en forma de U, constituidas por fierros de 3/8" de diámetro. Van además armadas con malla N.º 23.

Dstrucción del Depósito de Barahona.
--A las 0 horas 5 minutos del 1.º de

Deposito de Barahona
Corte transversal del acueducto de Atacayita



Depósito de Barahona
Corte longitudinal del acueducto de desagüe

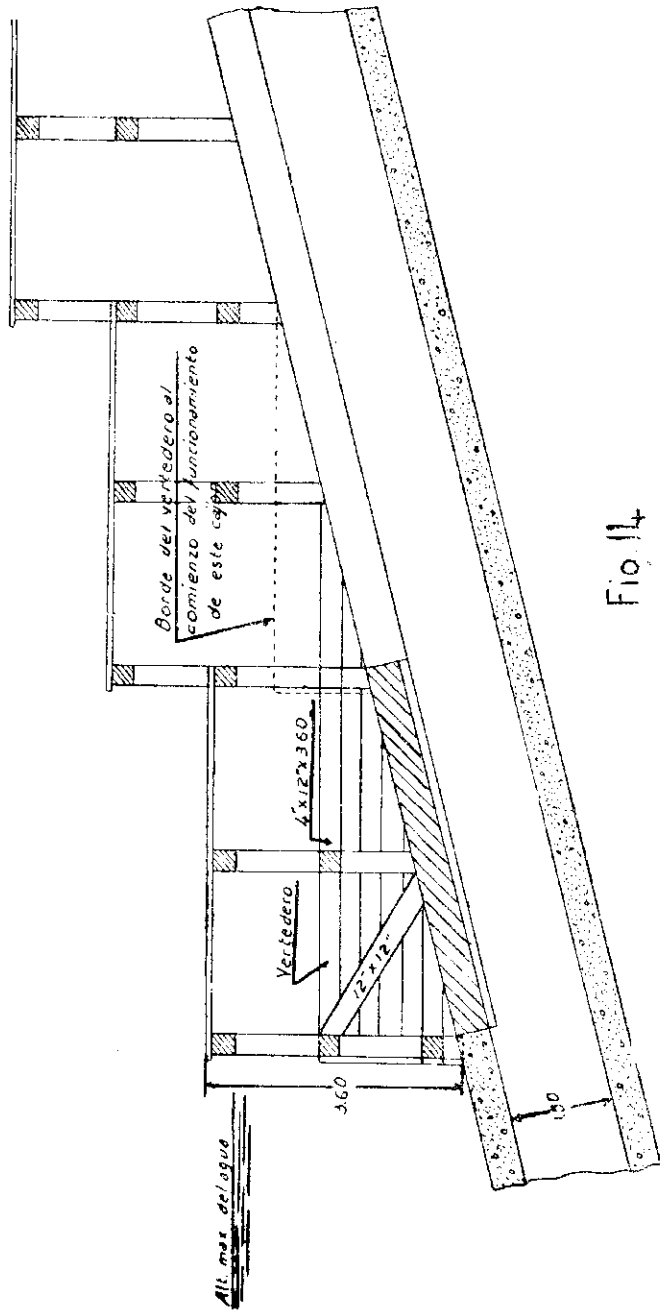


Fig. 14

Diciembre de 1928, se produjo en la región central del país un fuerte temblor que duró más o menos un minuto y cuarenta segundos. El ingeniero G. W. Soady, que ha estado a cargo de la construcción del depósito de relaves de Barahona desde hace varios años, pudo ver desde su casa situada a unos 300 o 400 metros del tranque, que mientras se producía el temblor el tranque permanecía en pie, porque el alumbrado eléctrico de que estaba provisto se mantenía en condiciones normales, pero que dos o tres minutos después de terminar el temblor todo quedó a oscuras.

Se trató entonces de hablar a Sewell por teléfono, cuya línea pasaba doscientos a trescientos metros aguas abajo del tranque, pero ya había sido cortada. No hay duda pues que la destrucción del depósito fué violenta.

En la figura N.º 15 se tiene una planta que indica la extensión ocupada por el tranque de arena formado con los conos, la ocupada por el delta formado por los elementos más finos y la ocupada por el agua hasta el 30 de Noviembre de 1928, es decir, hasta el día del accidente.

Se indica también la parte del tranque que se destruyó.

En la figura 16 se tiene un corte del depósito de relaves de Barahona, trazado normalmente al eje del tranque, y la figura 17 es una vista de frente desde aguas abajo del mismo tranque.

El día del accidente la altura máxima del tranque en la parte en que se encuentra el acueducto de desagüe sobre el pie del tranque preliminar de tierra era de 65 metros más o menos, la altura sobre el delta interior era de 17 metros y el ancho de la cresta era de unos 12 metros.

El ancho mínimo del delta frente a la parte en que se rompió el depósito era de 400 a 500 metros y, por consiguiente,

era ésta también la distancia a la cual se encontraba el agua. En la figura 15 se indica en planta la parte del depósito en que se produjo la rotura, y en las figuras 18, 19, 20, 21 y 22 se tienen diversos cortes que indican la forma en que quedó, después del derrumbe, la superficie del depósito en esa parte.

El tranque se rompió en la parte más profunda de la quebrada y, por consiguiente, en la parte en que el tranque era más alto. La longitud afectada alcanza a unos 440 metros, siendo la longitud total en su cresta de 1,885 metros. Los barrancos que se formaron en las secciones transversales del tranque en los dos extremos de la rotura tienen en partes taludes casi verticales arriba y más inclinados hacia la base.

En la parte central de la rotura quedó un maciso de arenas, como lo indica la figura 18. Además, en esta parte las arenas quedaron con taludes verticales, en escalones, según se ve en el perfil de la figura 21.

En muchos puntos de estos taludes se observan hoquedades circulares de 0.60 m. a 1 m. de diámetro que se deben a drenajes locales del agua contenidas en las arenas.

En la cresta del tranque, en la parte en que éste quedó en pie, se observan hasta tres grietas paralelas al eje del tranque, grietas que tienen de dos a cinco centímetros de ancho y una diferencia de nivel entre ambos bordes de dos a ocho centímetros, estando siempre más bajo el borde del lado de aguas arriba. En el talud de aguas del tranque hay una gran cantidad de grietas, todas dirigidas paralelamente al eje del tranque y cuyas dimensiones van aumentando a medida que se encuentra más cerca del pie. En las cercanías de la rotura, estas grietas han tomado los caracteres de verdaderos derrumbes. Otro

Deposito de Barahona
Detalle de la Seccion de 328
 Corte Comenzado



Seccion de la Seccion de 328

Fig. 16

Vista lateral



Fig. 17

Deposito de Barahona

Deposito de Barahona

Destruído el 1º Dic 1928

Planta

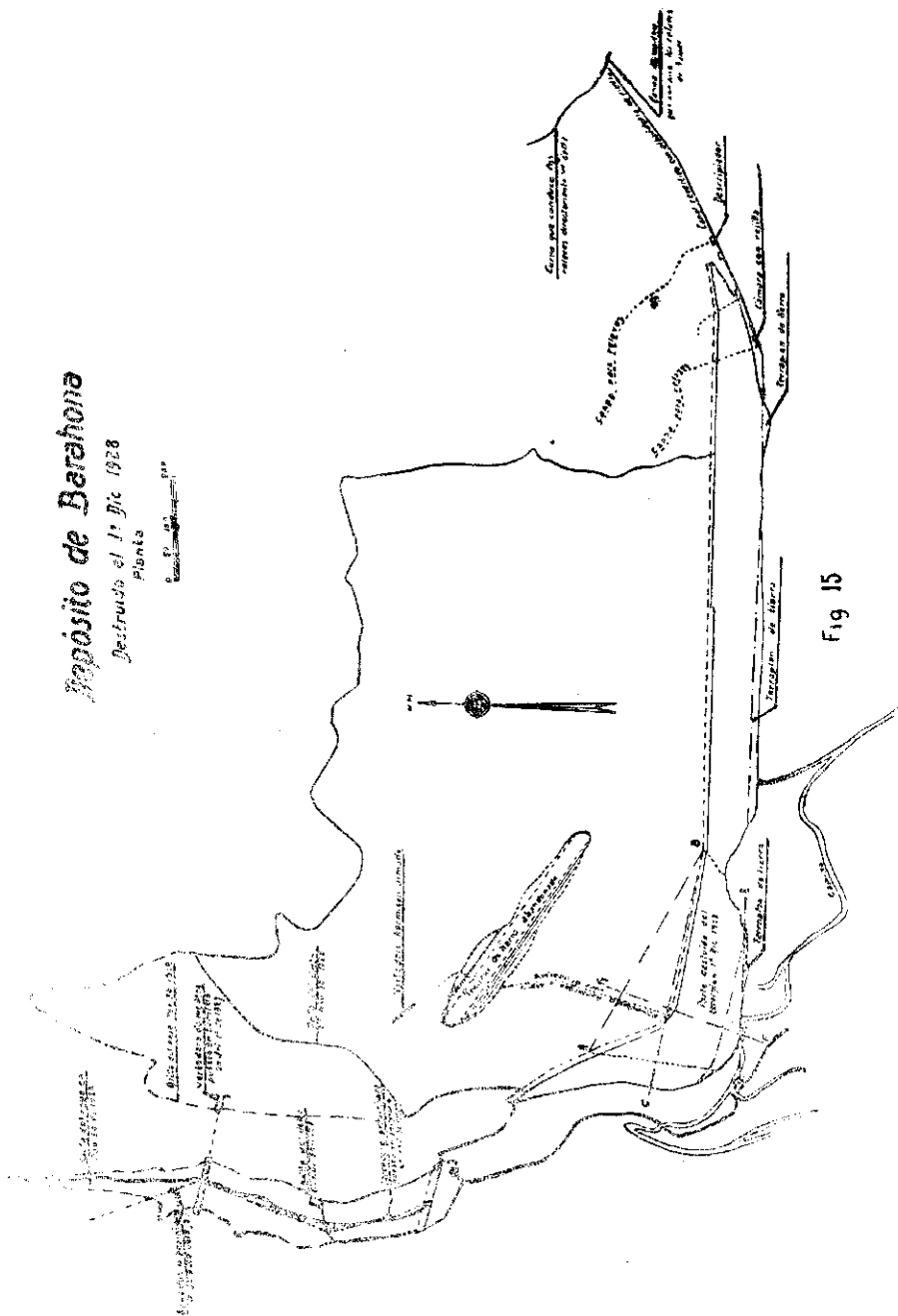


Fig. 15

Corte AB

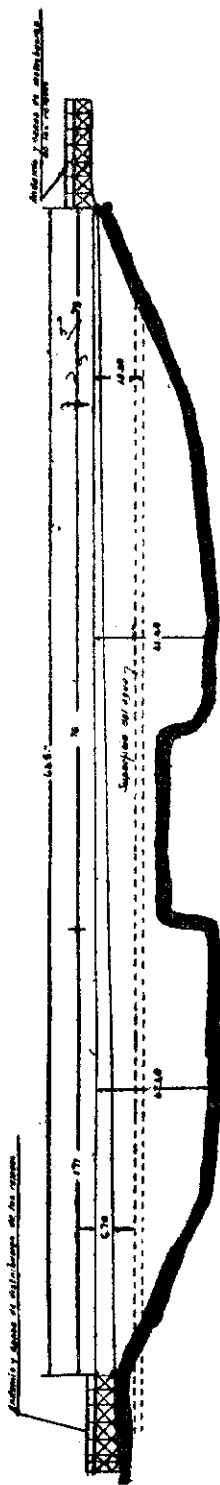


Fig. 18

Corte CB

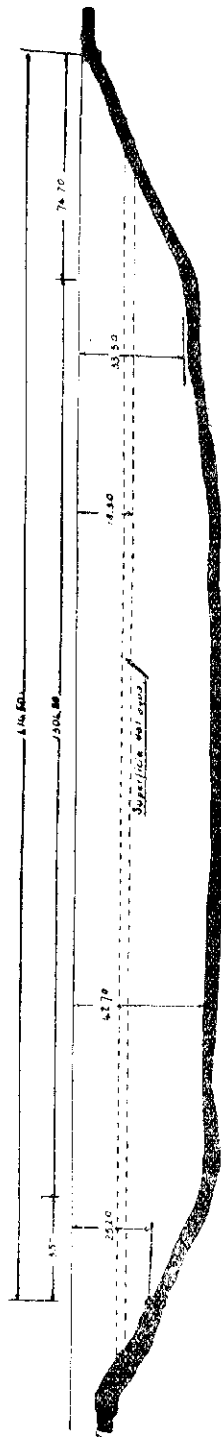
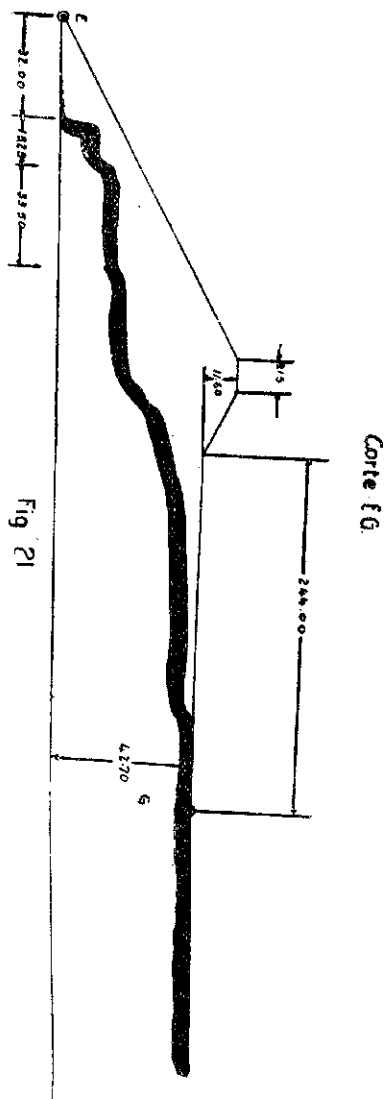
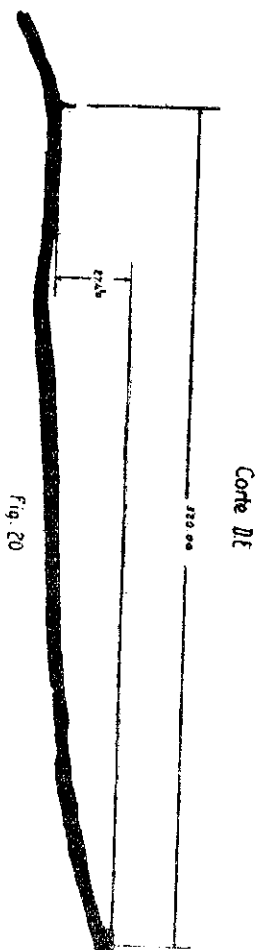


Fig. 19

punto muy interesante es el que se relaciona con la consistencia que toma el material que forma el delta, que es, como he dicho, el que soporta las capas superiores del tranque de arena, figura 16. Cuatro días después del desastre hice mi primera visita al depósito. La superficie del delta se presentaba húmeda, compacta y firme, pero después de unos quince minutos de haber permanecido de pie en un mismo punto, observé que el agua comenzaba a aflorar a la



superficie y que el terreno tomaba la consistencia de una tembladera y fué muy fácil introducir en él hasta unos dos metros de profundidad una pieza de madera de dos y medio por cinco centímetros de sección. Al día siguiente repetí la operación con una barra de acero

Corte AB-CB-DE

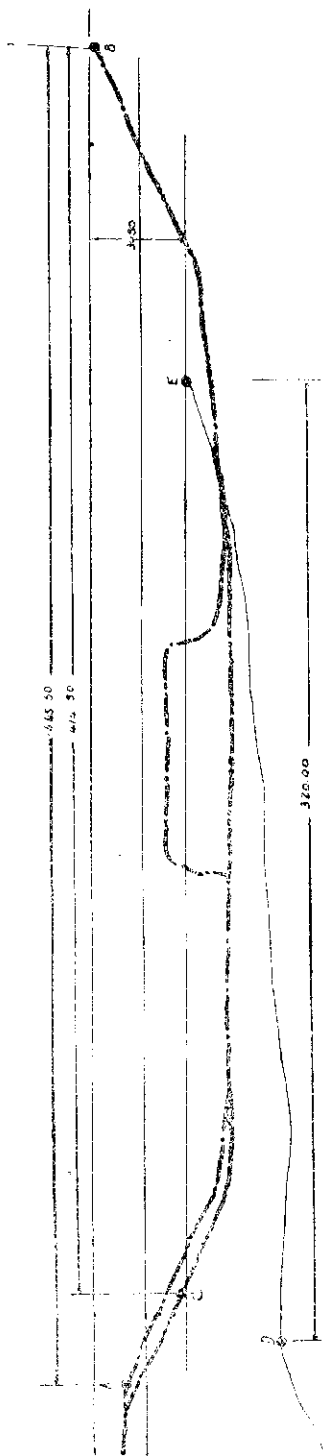


Fig. 22

de una pulgada de diámetro y de seis metros de largo y, un solo hombre, en la forma en que se clava una barreta, pude introducir casi la totalidad de la barra, tanto en el pie mismo del tranque de arena, como a cuarenta o cincuenta metros de distancia de él, operación que no pudo hacerse en el tranque. Este, que está formado por las arenas menos finas, es más permeable y, además, en su construcción, dichas arenas llevan sólo un 33 % de agua. En cambio, el material del delta es más fino, tiene una proporción bastante subida del polvo y en el momento de su colocación lleva alrededor de cuatrocientos por ciento de agua. En una segunda visita que hice al depósito el 16 de Enero de 1929, es decir, cuarenta y dos días más tarde, el terreno del delta había adquirido una consistencia algo mayor que la que observé la primera vez; no vertía ya el agua pisando su superficie, pero siempre era posible clavar en él una barra de acero aunque con menor facilidad. En esta segunda oportunidad, en que ya había habido tiempo suficiente para que escurriera hacia el río el fango superficial que había quedado sobre el delta, pude entrar hasta los zanjones que se formaron en él con motivo de la rotura, los que tenían en partes tres o más metros de altura, con taludes verticales, y habían bajado hasta el terreno de fundación en la parte en que se encontraba la cresta del tranque de arenas. Las paredes de los zanjones tenían aspecto sólo de humedad, pero sacando puñados de arena, aun de la que se encontraba en la superficie, expuesta a los rayos del sol, se convertía entre las manos en una especie de papilla.

Tanto esta observación como el hecho de que el terreno del delta, en apariencia firme, tomara la consistencia de una tembladera bajo la acción de los pies de un hombre, se pueden comparar con lo que pasa con una mezcla de cemento o

Nuevo deposito de Barahana

forma en que se hará la construcción

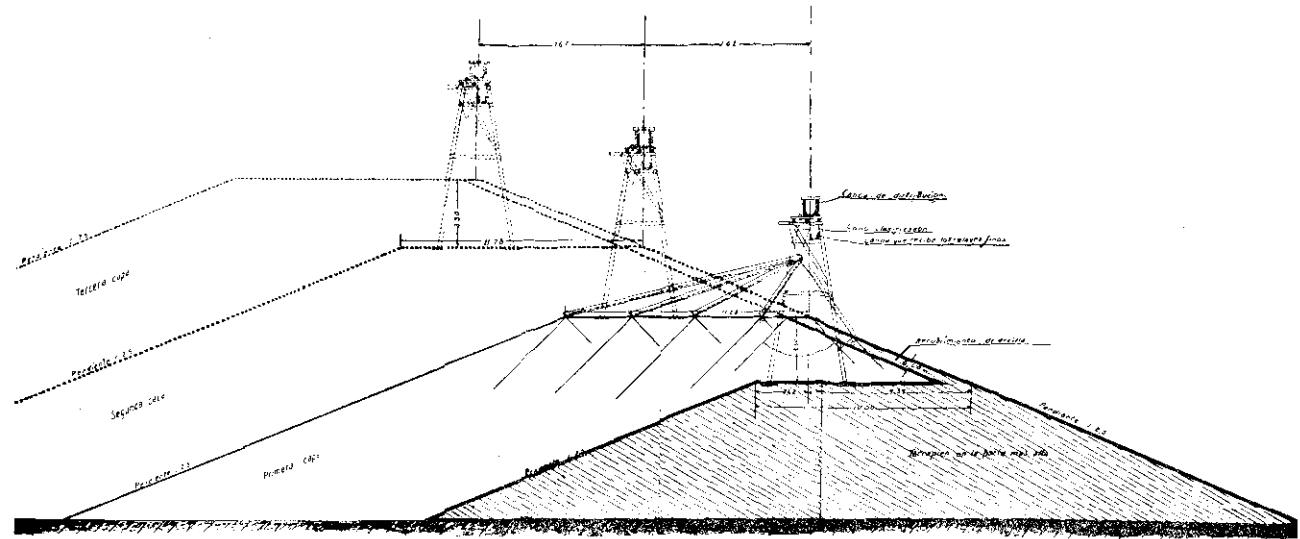
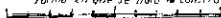


Fig. 21

con hormigón que, colocado tiene aspecto sólo de humedad pero que pisoneado, el agua comienza a aparecer en su superficie. Un fenómeno parecido se observa en los estanques en que se deposita los barros de los concentrados en el establecimiento de Sewell. Es necesario que estos concentrados tengan la menor cantidad de agua posible, para lo cual se introducen en su masa tubos metálicos por los cuales se inyecta aire comprimido. La salida del aire en forma de borbotones hacia la superficie, provoca movimientos en la masa de los concentrados que separa una cantidad apreciable de agua.

Debo citar todavía otro detalle que se observa en el depósito destruído.

Más o menos en el centro de la rotura del tranque, quedó aun después de haber pasado la corriente de fango, un promontorio de depósitos como lo indican las figuras números 18 y 21. Esto me hace suponer la posibilidad de que hacia los lados de ese promontorio hayan quedado depósitos embebidos en mayor cantidad de agua que los que forman el promontorio, circunstancia que no es rara en la construcción de tranques de tierra por el sistema hidráulico (Hydraulic fill dams).

Estimo que de los antecedentes enumerados más arriba se puede deducir con precisión las causas determinantes de la destrucción del depósito: la intensidad y la duración del temblor hicieron que se comenzara a separar, sobre todo en las capas más cercanas a la superficie, parte del agua contenida en la masa que ha ido formando el delta, tomando ésta una consistencia muy débil; esta masa no pudo resistir el peso de la parte del tranque de arenas menos finas que cargaba sobre ellas, con la circunstancia agravante de que se había dado a este tranque la considerable altura de diez y

siete metros sobre el delta. En consecuencia, el accidente se ha producido por asentamiento del tranque hacia aguas arriba. Así se explican las grietas longitudinales en la cresta del tranque, la menor altura que tenían los bordes del lado de aguas arriba de esas grietas, las grietas o rasgaduras del talud de aguas arriba, los derrumbes al pie del tranque y la destrucción violenta del depósito tan pronto se produjo el temblor. Estimo que no tiene base la presunción de que el temblor haya producido en el tranque grietas normales a su eje, y que estas grietas hubieran sido la causa de su destrucción, porque en tal caso, aun cuando esas grietas hubieran sido muy anchas, la destrucción del depósito se habría producido muy lentamente. Por otra parte, las dimensiones que tenía el tranque, la débil sollicitación que estaba soportando, debidas únicamente al empuje de los materiales más o menos mojados que constituían el delta, ya que el agua se encontraba muy distante de su pie y que, si bien es cierto que el temblor que precedió a la catástrofe fué un gran temblor, no adquirió, sin embargo, caracteres extraordinarios en el valle del Cachapoal, ya que no produjo destrucción de casas en Rancagua, Machalí y demás poblaciones del valle, ni desperfectos apreciables en la línea férrea de Rancagua a Sewell.

Los depósitos de relaves que se hicieron sobre el río Coya, en Sewell, fueron construídos en forma análoga a la del Barahona y si los temblores que debieron resistir durante su construcción no los dañaron fué porque la revancha que llevaba el tranque de arenas sobre el delta de material más fino era reducida, 2 a 3 metros, y por consiguiente, la carga que producían sobre el material más fino era pequeña y porque la altura total que alcanzaron dichos depósitos no fué tan

grande como la del Barahona. Análogo razonamiento se puede hacer respecto del depósito que se hacía a 150 metros al nor-oeste del tranque destruído. Sin embargo, en la cresta y en el talud de aguas arriba de este último tranque se abrieron grietas análogas a las producidas en el primero.

En los tres meses que precedieron a la destrucción del depósito, se llevaron a Barahona de diez y seis a diez y siete mil toneladas de relaves por día, alcanzando el día del desastre a unos 27 millones de toneladas el total almacenado. Se estima que de esta cantidad, unos cuatro millones fueron al río con motivo del derrumbe. Esta enorme masa arrasada por el agua que se encontraba detrás del delta, bajó con suma violencia por la quebrada de Barahona, que es muy encajonada y de gran pendiente, ya que desde el pie del tranque hasta el lugar en que dicha quebrada es atravesada por la línea del ferrocarril hay ochocientos metros de distancia y un desnivel de ciento treinta metros. En los flancos de esta quebrada se puede observar que el aluvión alcanzó, especialmente en las partes en que la quebrada cambia de dirección, una altura de sesenta a setenta metros. En el río Coya el cauce se llenó hasta ocho o diez metros de altura. Las pequeñas poblaciones que habían en la Estación de Barahona y en la desembocadura del Coya en el Cachapoal y que eran de propiedad de la Compañía desaparecieron totalmente, produciendo la muerte de la totalidad de sus ocupantes, cuyo número alcanzaba a cincuenta y cuatro personas. Fueron destruídos el puente del ferrocarril sobre la quebrada de Barahona y una buena extensión de la línea férrea, uno de los puentes colgantes sobre el Cachapoal, frente a los baños de Cauquenes, un tramo en construcción del puente para el agua potable

de Rancagua frente a la estación de Urzúa, los puentes carreteros provisorios que se habían construído frente a Rancagua, etc. Gran cantidad de relaves entró por los canales de regadío que se alimentan del Cachapoal y hubo necesidad de interrumpir por algunos días el funcionamiento regular del servicio de agua potable de Rancagua. La Compañía también ha debido soportar serios perjuicios: la destrucción del tranque, de la vía férrea en la quebrada de Barahona, etc. por los gastos extraordinarios que demandará la construcción de otro tranque y por la disminución de la producción de cobre durante varios meses, ya que el Gobierno la ha autorizado para llevar nuevamente los relaves al depósito de Agua Amarga en el Coya, con la condición de disminuir el tratamiento de minerales de diez y siete mil toneladas por día a un máximo de siete mil. Este hecho tiene mayor importancia en los momentos presentes, porque la demanda mundial de cobre ha sido últimamente muy activa.

Forma en que se construirá un nuevo depósito.—En las dos visitas que he hecho al lugar del accidente, no sólo me preocupé de estudiar la forma en que se podía evitar la paralización de las faenas de las minas sin botar relaves al río Coya y las causas de la destrucción del depósito de Barahona, sino también el procedimiento según el cual convendría construir el nuevo depósito, en forma que se tuvieran el máximo de seguridad de que no se ha de repetir un accidente de esta naturaleza y de esta o mayores proporciones puesto que si hasta ahora se habían depositado veintisiete millones de toneladas en Barahona, será necesario todavía almacenar ciento cincuenta o más millones de toneladas.

En mi opinión las causas determinan-

tes del accidente han sido además del fuerte y prolongado temblor, la altura que llevaba el tranque de arena menos finas sobre el delta y que dicho tranque fuera quedando fundado en el terreno artificial constituido por las arenas menos finas y por polvo y que contenía una proporción elevada de agua entre su masa, agua que es difícil extraer. Propuse por esto a la Gerencia General de la Compañía construir todo el tranque únicamente de arena menos fina que separan los conos, fundándolo sobre el terreno natural preparado en las condiciones corrientes que se usan para la construcción de tranques de tierra y en lugar de comenzar, como se hizo en los tranques anteriores, por el pie de agua abajo se comenzará por el de aguas arriba. Se construirá un terraplén de tierra seleccionada, regada y pisoneada con rodillo a vapor, de altura máxima de siete metros, con diez metros de ancho en la cresta y con taludes a ambos lados de uno en vertical por dos y medio en horizontal (figura 23). El terraplén se prolongará a ambos lados en toda la extensión que ocupará el tranque pero a esta prolongación se le dará solamente una altura mínima de un metro. Como en el terraplén principal, su ancho en la cresta de diez metros, los taludes llevarán una pendiente de uno vertical por dos y medio de horizontal e irá fundado sobre el suelo natural de hacer la excavación necesaria para tener un buen terreno de fundación.

Sobre este terraplén y hacia el borde de aguas abajo se colocarán los andamios que llevarán la canoa de repartición de los relaves y los conos clasificadores con el material menos fino que den los conos por su inferior se formará sobre

el terraplén una capa de tres metros de altura más o menos y también de 10 metros de ancho en la cresta. Sus taludes serán como los anteriores, de uno en vertical por dos y medio en horizontal. Los relaves más finos que son los que rebalsan por la canoa superior-interior de los conos serán recogidos por una canoa que los repartirá hacia el interior del depósito para formar el delta. Con el objeto de evitar que parte del exceso de agua que contienen estos últimos relaves pueda mojar el tranque de arenas menos finas, se irá colocando sobre el talud de aguas arriba de este último un revestimiento de arcilla de 40 cms. de espesor. Una vez hecha la primera capa se hará una segunda sobre ella y así sucesivamente. Para la construcción de la tercera capa se usarán los andamios, canoas y conos de la primera, etc.

El tranque quedará ubicado en la misma hoya de la quebrada de Barahona pero más aguas arriba del lugar ocupado por el tranque que se ha roto últimamente.

Su altura máxima será de 61 metros.

Queda todavía, como consecuencia de la destrucción del depósito de Barahona, resolver un importante problema; me refiero a la manera de impedir que el material fino que formó el delta sea arrastrado por las aguas lluvias que caerán en la hoya, después de descontar las que recibirá el acueducto del nuevo depósito. Es un problema que aún está en estudio, pero que debe tener una pronta solución, para impedir que vayan al río Coya cantidades de relaves que pueden ser importantes y que traerían los consiguientes reclamos de los agricultores de la región.