

PUENTE SOBRE EL RÍO ACONCAGUÁ EN LAS VIZCACHAS.—



Las fotografías muestran el puente de madera antiguo y el de concreto armado que lo reemplazó.

Este último tiene 28 mts. de longitud total y costó \$ 67000 m/c. Fue proyectado por el ingeniero señor Carlos Alliende Arrau y ejecutado por los contratistas señores Alberto y Pablo Goldenberg.

# SECCIÓN TÉCNICA

## Influencia de los residuos del mineral del Teniente sobre las aguas del Río Cachapoal

POR

GUILLERMO AGÜERO D.

Los minerales que se benefician en las Minas de El Teniente, son de una baja ley, alrededor de 2%. Desde el interior de las minas son conducidos por trenes eléctricos y depositados en grandes buzones. A medida de las necesidades los minerales tal como han salido de la mina, son llevados por transportadores de correa hasta las chancadoras Mac-Cully, que los reducen a trozos que pueden pasar por mallas de 7,5 centímetros de diámetro. De estas chancadoras son llevados por otros transportadores de correa a los molinos sistema Garfield, los cuales en combinación con chancadoras sistema Symons de discos, reducen el mineral a polvo. Este se cierne, y la parte más fina está lista para sufrir una primera concentración en las mesas móviles sistema Wiffley, después de haberle agregado 4,5 m3. de agua por tonelada de mineral. La parte más gruesa que queda en los cedazos vuelve a sufrir la molienda hasta que pueda pasar por los cedazos. De las mesas Wiffley pasa a los molinos Hardinge, y de aquí a una nueva concentración por el sistema llamado de espumación o flotación, procedimiento en el cual se agrega, por tonelada de mineral que entre en las mesas Wiffley, más o menos un kilogramo de aceite de alquitrán de pino, unos cien gramos de aceite crudo de petróleo, y cerca de cuatro kilogramos de ácido sulfúrico.

La ganga estéril que queda después del procedimiento de espumación, constituye los RELAVES.

La baja ley de los minerales obliga a tratar cantidades enormes para que la explotación de la mina alcance a dar el interés que exigen los grandes capitales comprometidos. Esto obliga a la Compañía a depositar diariamente un volumen de seis mil quinientos a siete mil metros cúbicos de relaves, y a arrojar al río Coya, alrededor de 400 lts. por segundo de aguas cargadas de sales.

El Mineral de El Teniente comenzó a ser explotado en 1911.

Los relaves producidos fueron en un principio arrojados directamente al río Coya, en la forma en que quedan después de haber sufrido el proceso de espumación, y sólo en Junio de 1913 se comenzó a depositarlos en la quebrada del río Coya, haciendo pasar el río por un acueducto que quedó debajo del depósito. En el mes de Agosto del mismo año, y cuando el tranque llevaba una altura de diez metros sobre la parte más baja de su pie, se produjo un temporal de lluvia, el río arrastró una gran cantidad de piedras, maderas, barriles, etc., se tapó la boca de entrada del acueducto, y el río rebalsó sobre el depósito y lo destruyó.

Sobre este primer depósito se construyó el segundo tranque. El 22 de Noviembre de 1914 el agua almacenada comenzó a rebalsar por sobre la cresta del tranque, por el lado Norte, es decir, por el lado de la quebrada en que va la línea férrea. Este accidente no se debió a que se produjera una elevación repentina en el nivel del agua almacenada, sino a una deficiente distribución de los materiales que formaban el tranque. En efecto, en su lado Norte la proporción de arena había disminuído, y en cambio había aumentado la cantidad de material fino, con lo cual la parte superior del tranque en ese sitio quedó menos consistente y el agua pudo abrirse camino a través de él.

Para no interrumpir la explotación de la mina se continuó el depósito de relaves en este mismo segundo tranque, para lo cual se corrió la cresta un poco hacia aguas arriba.

Antes de dos meses, el 11 de Enero de 1915, se produjo un nuevo accidente, a consecuencia de haberse desgastado el radier del acueducto, debido a la acción de las piedras arrastradas por el río, cuyas aguas adquieren una velocidad de 12 a 14 metros por segundo en el acueducto. Este segundo derrumbe en el segundo tranque, se produjo cuando este último había alcanzado una altura de 33,50 m.

Se comenzó entonces a depositar los relaves en el tercer tranque.

El 15 de Junio de 1916, el tranque tenía 41 m. de altura y cuando se habían acumulado en él alrededor de un millón quinientos mil metros cúbicos de relaves y noventa mil metros cúbicos de agua, se produjo un nuevo derrumbe que en el espacio de seis horas hizo que se descargaran en el río unos cincuenta mil metros cúbicos de relaves, volumen que subió a ciento ochenta mil metros cúbicos al cabo de dos semanas. La longitud de la cresta del tranque era de doscientos diez metros y la parte de ella afectada por el derrumbe fué de cien metros. Este accidente se debió a la deficiente distribución de los materiales que constituyen los relaves en la formación del tranque, y se produjo en condiciones análogas a las del segundo derrumbe del segundo tranque, producido el 22 de Noviembre de 1914.

Los cuatro derrumbes mencionados produjeron perjuicios en la agricultura, en la ganadería y en las instalaciones del agua potable de Rancagua, que se surtían directamente del agua del río. Las cañerías recibieron una cantidad de relaves y fué necesario a causa del último derrumbe surtir a la ciudad con agua llevada por ferrocarril desde San Bernardo.

Como consecuencia de estos accidentes y de las protestas de los agricultores de la región, se dictó con fecha 4 de Setiembre de 1916 la ley N.º 3133 sobre "Neutralización y depuración de los residuos de los establecimientos industriales", y con fecha 13 de Noviembre del mismo año, el decreto N.º 2491, que aprueba el reglamento para la aplicación de dicha ley.

El derrumbe de 15 de Junio de 1916, obligó a la Compañía a paralizar las faenas hasta el 8 de Julio del mismo año, fecha en que se inició la formación de un depósito provisional de relaves.

Con el objeto de no interrumpir sus labores y ya, desde entonces, de acuerdo con la Dirección de Obras Públicas en cumplimiento de la ley N.º 3133, la Compañía consideró la construcción de dos nuevos depósitos en la quebrada del río Coya, uno para dos millones de toneladas de relaves, llamado Tranque Arena, y otro para seis millones de toneladas, llamado Tranque Marga, mientras se hacían los trabajos necesarios para habilitar un gran depósito de relaves en la quebrada Barahona, que daría cabida a más de cien millones de toneladas. Los relaves fueron conducidos alternativamente a estos dos nuevos depósitos hasta el primero de Mayo de 1920, fecha en que la totalidad de los relaves comenzó a ser llevada al depósito de la Quebrada Barahona. En el Tranque Arena se ha depositado alrededor de un millón cuatrocientos mil metros cúbicos, y en el tranque Marga, un poco más de un millón ochocientos mil metros cúbicos.

En la quebrada del río Coya se encuentran, pues, depositados en la actualidad, más de cinco millones de metros cúbicos de relaves. El río pasa por debajo de ellos por un acueducto de setecientos cincuenta metros de longitud. La parte de más aguas abajo de este acueducto, en una extensión de doscientos cuatro metros, es de sección circular y de albañilería de piedra, y el resto de sección rectangular de concreto armado.

Con el objeto de evitar la entrada de piedras grandes en el acueducto, la Compañía ha colocado a la entrada del acueducto, fuertes rejas formadas por rieles. Se ha tratado de disminuir así los efectos destructores de los materiales grandes arrastrados por el río con gran velocidad, y que fueron la causa inmediata del derrumbe producido el 11 de Enero de 1915. Estas rejas también sirven para impedir la llegada al acueducto de maderas u otros materiales livianos, pero de gran volumen y que pueden formar tacos a la entrada, y el consiguiente rebalse del río sobre los depósitos, como ocurrió en el mes de Agosto de 1913, y que fué la causa del primer derrumbe.

Las rejas, sin embargo, no impiden la entrada de arena y de piedras chicas al acueducto, materiales que necesariamente provocan un desgaste en sus paredes. Para poder proceder a la inspección del acueducto y a su reparación, se ha dispuesto en su parte central un murito divisorio de poco más de un metro de altura.

Se ve, pues, que las condiciones de seguridad en cuanto a la conservación del acueducto y, por consiguiente, de los depósitos de relaves serán satisfactorios mientras las minas estén en explotación, y la Compañía tenga sobre el terreno los medios y los materiales para atender a la limpia de las rejas y a las reparaciones del acueducto.

La paralización de las faenas de la mina, cuando se agoten los yacimientos de minerales útiles, traerá el abandono de estas obras, y el Fisco o los agricultores que aprovechan las aguas del Cachapoal, deberán atender a la conservación de los depósitos.

Estimo que el Gobierno debería pedir sin tardanza a la Compañía, la construcción de obras que permitieran desviar el río Coya en forma tal que ni en el presente ni en el futuro pudieran sufrir los depósitos de relaves un arrastre por el río. El arrastre violento del enorme cubo de relaves ya almacenado, ocasionaría en el valle del Cachapoal perjuicios aún más serios que los experimentados hasta la fecha.

Al informar la Dirección de Obras Públicas al Ministerio de Industria y Obras Públicas sobre el proyecto de construcción de un tranque para depositar hasta seis millones de toneladas de relaves sobre el Coya, dice en el oficio N.º 2612 de 29 de

Noviembre de 1916, que dicho proyecto podría aprobarse con algunas modificaciones que enumera, y en el N.º 7 de estas modificaciones establece que "en vista de que es condición esencial para la estabilidad del tranque el mantenimiento del acueducto en buenas condiciones de funcionamiento, lo que exigirá en forma permanente e indefinida proveer a su conservación, sería conveniente que la Compañía presentara a la aprobación del Gobierno dentro del plazo de un año, el proyecto de ejecución de obras definitivas que hagan innecesario atender a la conservación del acueducto". Por decreto N.º 2633 de 7 de Diciembre de 1916 se aprobó el proyecto indicado y se dejó establecido que en la ejecución de las obras se observarían las disposiciones complementarias del proyecto indicado en el citado informe de la Dirección de Obras Públicas.

En nota pasada al Ministerio con fecha 24 de Enero de 1917, la Compañía manifiesta que dentro del plazo de un año presentará el proyecto que elabora para asegurar la estabilidad del tranque, en la forma pedida por la Dirección de Obras Públicas, proyecto que no ha llegado aún a dicha oficina.

Estimo que este proyecto debiera referirse a la construcción de un tranque de albanilería de altura suficiente, aguas arriba de la boca de entrada del acueducto actual, con el objeto de desviar con toda seguridad la totalidad de las aguas del Coya a un túnel labrado en la roca y que permita devolver las aguas al cauce del mismo río, aguas abajo de los actuales depósitos de relaves. La boca de entrada del túnel deberá quedar muy bien defendida contra posibles obstrucciones por avalanchas de nieve o por la acumulación de piedras. Al túnel no deberán entrar piedras grandes que puedan producir socavaciones u obstrucciones, para lo cual será necesario disponer fuertes rejas metálicas no sólo en las inmediaciones de la boca de entrada del túnel, sino también en puntos convenientemente elegidos hacia aguas arriba, con el objeto de evitar la acumulación de piedras en las cercanías de las obras, lo que pudiera hacer, con el tiempo, inútil la presencia de las rejas. La Compañía deberá atender por un plazo indefinido a la conservación y buen funcionamiento de las obras principales y de las de protección.

Con el objeto de dejar en buenas condiciones de seguridad los actuales depósitos de relaves será, además, indispensable desaguar en el túnel indicado, las quebradas que hoy arrojan sus aguas en el acueducto.

Los depósitos de relaves en el río Coya están fuera de servicio desde el primero de Mayo de 1920, fecha en que se comenzó a llevar la totalidad de los relaves hacia la quebrada de Barahona. La canoa que servía para conducir los relaves desde el Molino hasta el tranque Marga, ha sido retirada. La canoa que conduce los relaves

al depósito de Barahona tiene, frente al depósito del tranque Marga, a 2,8 kilómetros del Molino, una compuerta que permite desviar a este depósito la totalidad de los relaves en caso de producirse un accidente en la canoa, y evitar en lo posible que los relaves vayan al río.

En cuanto a los depósitos de relaves en el río Coya, he podido constatar que de ellos no ha podido escapar relaves hacia dicho río. En efecto, el depósito más antiguo llamado Tranque Viejo, está completamente en seco y cubierto con una capa de tierra, de manera que las aguas meteóricas que caen sobre él y sobre la hoya que le corresponde, corren sin arrastrar sedimentos hasta una chimenea que lleva esas aguas al gran acueducto que deja pasar las aguas del río Coya bajo los depósitos de relaves. El segundo depósito llamado Tranque Arena no está cubierto con tierra como el anterior, pero el escurrimiento de las aguas meteóricas se hace también en buenas condiciones por una chimenea al mismo acueducto ya citado. El tercer y último depósito es el del Tranque Marga, sobre el cual cae mayor cantidad de agua que en los anteriores. A pesar de esto, no hay tampoco aquí el menor temor de que haya arrastre de relaves al río, por cuanto su desagüe funciona en las mismas condiciones en que lo hacía cuando se llevaban a él la totalidad de los relaves de la explotación de la mina. Normalmente se deja escapar el agua por las chimeneas del acueducto y, en los casos en que hay lluvias fuertes y prolongadas que pueden hacer subir exageradamente la superficie de las aguas, provocando corrientes violentas hacia las chimeneas, lo que podría originar un arrastre de relaves, se tapan las chimeneas y se hace subir el agua hasta el vertedero de la torre de rebalse. En estas condiciones, las corrientes que se pueden formar en las cercanías de la torre no pueden tampoco arrastrar relaves hacia el río. Por lo demás, los tranques se encuentran en buen estado de conservación.

El artículo 1.º de la ley N.º 3133 sobre "Neutralización y depuración de los residuos de los establecimientos industriales" promulgada el 4 de Setiembre de 1916, establece que en ningún caso se podrá arrojar a los cauces artificiales o naturales que conduzcan aguas o en vertientes, lagos, lagunas o depósitos de agua, las materias sólidas que puedan provenir de los establecimientos industriales, sean mineros, metalúrgicos, fabriles o de cualquiera otra especie.

En cumplimiento de esta disposición, la Braden Copper C.º, adquirió, entre otros, los terrenos que forman la hoya hidrográfica de la quebrada de Barahona, para establecer en ella un gran depósito de relaves, que servirá para atender tal vez las necesidades de la mina, durante todo el tiempo que queda de explotación.

La construcción de este depósito se inició con un tranque de tierra apisonada,

que alcanzó una altura de diez y seis a diez y siete metros. Se abandonó esta idea y se resolvió construir el tranque a unos cuatrocientos metros aguas abajo, con relaves, distribuyéndolos en forma análoga a la ejecutada en los tranques del río Coya, para lo cual se hicieron pequeños terraplenes en las partes más bajas del terreno. Para la evacuación de las aguas ya decantadas en el nuevo tranque se prolongó el acueducto ya construido para el tranque de tierra. La longitud de este acueducto es de 590 m., su pendiente 1%, de concreto armado. El agua entra al acueducto por una torre ubicada en las cercanías del primitivo tranque de tierra y está apoyada sobre la línea de mayor pendiente de un montículo. Es un conducto de sección circular de 1,30 de diámetro abierto en su parte superior. A medida que va subiendo el nivel de los relaves, y por consiguiente el del agua, se va tapando la parte superior con piezas de concreto armado, y por último se coloca concreto hasta dar a la torre una sección exterior cuadrada. Esta torre de rebalse y el acueducto han sido proyectados para desaguar además del agua que sirve de vehículo a los relaves, las aguas lluvias de la hoya hidrográfica correspondiente, cuya superficie es alrededor de 300 hectáreas.

El transporte de los relaves desde el Molino hasta la quebrada de Barahona se hace por una canoa de madera de poco más de 13 km. de longitud y 3% de pendiente, la sección interior de la canoa es de 0,48 m. de ancho y 0,62 m. de altura. El desarrollo de su trazado se hace en plena cordillera, lo que ha hecho que su costo de construcción sea subido y que su conservación esté constantemente amenazada por rodados y avalanchas de nieves y esto constituye fuerza mayor. Como obras de arte importantes tiene tres puentes colgantes, dos de 84 m. de longitud, y el tercero de 69,5 m.; varios puentes de madera y varios túneles, con una longitud total de más de 4 km.

La construcción del acueducto se ha hecho de acuerdo con planos aprobados por el Supremo Gobierno.

Para haber tenido un acueducto a cubierto de accidentes destinado a arrastrar tal cantidad de materias sólidas (noventa y dos kg. por segundo) habría sido necesario hacer desembolsos mucho más subidos que los que ha hecho la Braden Copper Company hasta la fecha, desembolsos que alcanzaban en 1920, según datos dados por el Gerente General de la Compañía, señor Severin Sorensen, a 1 965 814 dólares, o sea, aproximadamente veinte millones de pesos papel. Además, un acueducto cubierto o subterráneo habría dificultado la revisión del acueducto y su renovación, ya que la superficie en contacto con relaves que se mueven con tanta velocidad (4 m. por segundo) no podrá durar más de unos seis a ocho años,



Los datos que poseo sobre los accidentes sufridos por la canoa me han sido suministrados por la Compañía. Desde que entró en servicio en Mayo de 1920, la canoa ha sido interrumpida en las siguientes fechas:

*Primer accidente.*—El acueducto comenzó a conducir parcialmente los relaves producidos en el mineral, el 1.º de Abril y el 1.º de Mayo de 1920 comenzó a transportar la totalidad de ellos. El día dos de Junio a las 0 horas 30 minutos más o menos, cayó sobre la canoa un gran trozo de roca, tal vez de unos 20 a 30 m<sup>3</sup>. de volumen, en el kilómetro 6,2 a partir del Molino, punto que se encuentra en la cercanía de la quebrada de Sapos, escurriendo por dicha quebrada hacia el río Coya la totalidad de los relaves. Debido a la hora en que se produjo el accidente y a las distancias que hay que recorrer a pie, sólo fué posible cortar la corriente de relaves a las tres horas del mismo día 2 de Junio, en el kilómetro 2,8 desviándola hacia el depósito del tranque Marga. Como la velocidad de los relaves en la canoa es alrededor de 4 m. por segundo, la quebrada de Sapos ha recibido durante 2¾ horas el producto del Molino, que es más o menos 92 kg. por segundo, siendo cerca de 8 000 toneladas la capacidad del Molino por cada 24 horas. A la fecha del accidente, el caudal del río Cachapoal en Coya era alrededor de 35 m<sup>3</sup>. de lo que correspondería 2,6 kg. de relaves por m<sup>3</sup>. de agua. La Compañía procedió a reparar con toda rapidez el daño sufrido por la canoa, y los relaves eran conducidos nuevamente hacia la quebrada de Barahona a las tres de la tarde del mismo día 2 de Junio.

*Segundo accidente.*—El día 5 de Agosto de 1920 se produjo en el puente de madera que pasa sobre la quebrada de Sapos otro accidente que obligó a la Compañía a echar los relaves nuevamente a la quebrada de Sapos durante una hora y media. En ese puente se dejó una caída de seis metros con el objeto de poder extraer los residuos con mineral de cobre que se escapan del Molino. Los relaves van conducidos en la caída por un prisma de madera de sección cuadrada, en cuyo interior se atajaron varios trozos de madera y sacos que han caído probablemente a los relaves en el Molino, y además un zorro, animal que ha caído en el trayecto de la canoa. Con esto la canoa se rebalsó y para arreglarla se desviaron los relaves a una pequeña quebrada distante unos 200 m. Con motivo de encontrarse sumamente apretados los trozos de madera en el interior del prisma de bajada, la operación de dejarla expedita demoró más o menos una hora y media.

*Tercer accidente.*—El 7 de Mayo de 1921 un rodado de roca rompió la canoa en el kilómetro 6385. Este accidente se produjo a las 10.45 A. M. y a la 1.20 del mismo día el acueducto quedaba reparado.

*Cuarto accidente.*—El mismo día siete de Mayo de 1921 a las 2 P. M. otro rodado de roca rompió el acueducto en el kilómetro 5000. Su reparación se terminó a las 7.35 P. M. Tan pronto como fué posible se desvió el agua con relaves al tranque Agua Amarga, sobre el Coya. La Compañía estima que 50 toneladas de relaves fueron al río y 390 al tranque.

*Quinto accidente.*—El 30 de Julio de 1922 varios rodados de nieve rompieron la canoa en los kilómetros 2830, 3260 y 3700. Las reparaciones duraron seis horas y media. Se estima que al río Coya fueron 164 toneladas de relaves y al tranque Agua Amarga 1 945 toneladas.

*Sexto accidente.*—Se produjo el 25 de Agosto de 1922 a consecuencia de la caída de un rodado de roca en el kilómetro 9600. La canoa estuvo fuera de servicio durante dos horas y media, yendo al tranque Agua Amarga 290 toneladas.

Por regla general los accidentes que sufrirá el acueducto, obligarán a botar los relaves al río Coya, al máximo sólo durante algunas horas, por cuanto siempre se podrán desviar los relaves al depósito del tranque "Marga", por la compuerta del kilómetro 2,8 que se hizo el 2 de Junio de 1920.

En cuanto a los perjuicios que pueden ocasionar estos accidentes en los terrenos de cultivo, estima el infrascrito que siendo ellos de corta duración, no tienen mayor importancia. Sin embargo, como los accidentes producidos hasta ahora han tenido lugar en una fecha en que no hay riegos, no ha sido posible establecer sus efectos en los campos de cultivo. Pero es fácil deducir que la cantidad de relaves que pudieran entrar por los canales hasta los fundos, tiene que ser necesariamente insignificante, tanto más cuanto que el caudal del río Cachapoal sube diez o veinte veces sobre el anotado a la fecha de los accidentes.

La distribución de los relaves para la construcción del depósito se hace llevándolo por una canoa de madera sobre el tranque. De esta canoa se distribuyen los relaves por pequeñas canoas que salen normalmente a ellos y llevan los materiales a los conos de separación. En estos conos el material más pesado, es decir la arena más gruesa, se va al fondo, y cae por el vértice del cono a otra canoa que lo depo-

sita en el lugar en que ha de formar parte del tranque. Los materiales más finos, constituidos por arena fina y fango, se escurren por la parte superior del cono, y por canoas también de madera se le lleva hacia el interior del embalse.

Las arenas tienen un 30% de su peso de agua y al depositarse forman un talud más o menos de  $\frac{3}{4}$  por 1, o de 1 por 1. Junto con estas arenas gruesas va naturalmente una pequeña cantidad de arena fina y de fango. Más o menos el 20% del total de los relaves se va depositando en la formación del tranque. Por otra parte, no sólo las arenas finas y los fangos van al depósito, sino que escapa también cierto volumen de arena gruesa que va formando un depósito especial al pie del tranque, depósito que tiene una pendiente de uno a dos por ciento, y que sirve para hacer más seguro el tranque.

El análisis del tamaño de los granos de las arenas que forman el tranque es más o menos el siguiente:

Quedan sobre harnero con abertura de	0,208 mm.	36,0%
Quedan sobre harnero con abertura de	0,147 mm.	28,8%
Quedan sobre harnero con abertura de	0,074 mm.	22,2%
Pasan por harnero con abertura de	0,074 mm.	13,0%

En el depósito de Barahona la decantación de las aguas es completa. La formación del depósito se lleva a cabo en las condiciones que ha aceptado la Dirección de Obras Públicas, y las aguas que van al Coya van completamente libres de relaves.

La capacidad de estos depósitos es de más de 160 000 000 (ciento sesenta millones) de m<sup>3</sup>. y no diviso el beneficio que pudiera obtener la Compañía arrojando clandestinamente los relaves al río en contra de lo que ordena la ley, siendo que tiene local suficiente para almacenar relaves por más de cincuenta años con una producción de 10 000 toneladas diarias.

*Procedimiento alcalino.*—Con el objeto de mejorar el rendimiento del proceso usado para la concentración de los minerales, la Compañía usó desde el primero de Noviembre de 1922 hasta el 6 de Febrero de 1923, un nuevo procedimiento llamado alcalino. Consistía éste en reemplazar en el procedimiento ácido usado antes y actualmente, una parte de la solución ácida obtenida con el ácido sulfúrico, por una parte igual de solución alcalina. En el procedimiento alcalino se agregaba una solución de soda cáustica (NaOH) a los minerales antes de ser pulverizados en los

mólinos de bolas. Los aceites se agregaban en la planta de flotación o en los molinos que recibían los minerales antes de la flotación. La manera de proceder con ambos métodos, era, pues, análoga. Tenía, sin embargo, este procedimiento el grave inconveniente de producir relaves con polvo extremadamente fino, que era imposible decantar en el depósito de la quebrada Barahona, y necesariamente debían ir al río Coya. La parte de los relaves que se podía decantar demoraba en depositarse, según resultados obtenidos en experiencias de laboratorio, alrededor de dos días.

A continuación va uno de los análisis de las aguas que resultaban con el procedimiento alcalino.

	grs. lts.
Residuo seco .....	1,405
Pérdida por calcinación .....	0,060
Alcalinidad (Na <sub>2</sub> O) .....	0,049
SO <sub>3</sub> .....	0,668
Cl .....	0,046
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> y F <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	0,007
Cu .....	no hay
CaO .....	0,018
MgO .....	0,004
SiO <sub>2</sub> .....	0,010
O consumido.....	0,034
CO <sub>2</sub> .....	0,015
Alcalis .....	0,545
Nitritos .....	no hay

El análisis de los relaves dió el siguiente resultado:

Cu .....	0,42%
SiO <sub>2</sub> .....	58,30%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	22,10%
Fe.....	3,00%
CaO .....	0,70
MgO.....	2,80
S .....	0,60

# CUADRO

## ANÁLISIS DE LAS AGUAS DEL RIO CACHA

	AGUAS DE LOS RELAVES				ESTERO TENIENTE				ESTERO SIA
					Estado natural				Est.
	Dic. 1915	Oct. 1915	May. 1923	Agost. 1923	Abril 1923	Febr. 1914	Dic. 1915	Junio 1915	Abril 1913
Reacción.....				Acida	Acida	Acida			Neutra
Residuos a 100°.....					0.7620	0.3850		0.756	0.3440
Residuos a 180°.....	3.370				0.7420	0.3650	0.3200		0.3270
Residuos al rojo.....					0.8470	0.3220		0.602	0.3060
Silice.....	0.063	25.50	0.010	0.063	0.0470	0.0262	0.0160		0.0230
Oxidos de Fe. y Al.....	0.182	17.70	0.007	0.273	0.5535	0.0073		0.022	0.0066
Alúmina.....				0.094			0.0009		0.007
Cal.....	0.056	1.40	0.010	0.197	0.1813	0.1029	0.0543	0.133	0.0893
Magnesia.....	0.0266	0.00	0.004	0.032	0.0157	0.0104		0.031	0.0023
Potasio —K <sub>2</sub> O.....		0.22					Indicador		
Sodio —Na <sub>2</sub> O.....		0.41	0.345				0.0530		
CO <sub>2</sub> combinado.....			0.019						
SO <sub>3</sub> combinado.....	1.193		0.063						
SO <sub>3</sub> libres (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ).....	0.5684								
Fosfatos.....									
Anhidrido sulfúrico.....					0.3560	0.1995	0.0005	0.3310	0.1560
Cloro.....	0.0532		0.045		Indicador	Indicador	0.0062		Indicador
Mat. orgán. expt. (medio ácido).....			0.034				0.0062		
En O <sub>2</sub> consumido (medio alcalino).....							0.0070		
Amoníaco salino.....							0.00003		
Amoníaco albuminóideo.....							0.00005		
Cobre.....	0.1236	0.25	no hay	0.115	0.0112	0.0064		0.0195	
Sustancias en suspensión.....								0.022	
Pérdidas por calcinación.....			0.060				0.0650		
Matrices volátiles.....		3.30							
Relaves.....				200 l/m <sup>3</sup>					
Acididad nítro.....							Indicador		
Dureza total.....							12-40		
Dureza permanente.....							14-00		

# ANEXO

## POAL Y DE ALGUNOS DE SUS AFLUENTES

CAÑÓN BLO	ESTERO COYA									RÍO. CACHAPOAL		
	Este natural		Después de recibir relaves							Después de recibir relaves		
	Febr. 1914	Abril 1913	Febr. 1914	Abril 1913	Abril 1913	Febr. 1914	Dic. 1913	Junio 1915	Agost. 1914	Agost. 1923	Abril 1916	1923
neutra	neutra	neutra	neutra	Acid ul.	neutra	.....	neutra	ácida	neutra	neutra	neutra	neutra
0.3020	0.2860	0.2580	0.4810	0.4760	0.3560	.....	0.5220	.....	0.4930	.....	.....	.....
0.2860	0.2700	0.2300	0.4640	0.4860	0.3460	0.230	.....	.....	.....	.....	.....	.....
0.2640	0.2520	0.2140	0.3960	0.3960	0.3360	.....	0.4840	.....	.....	.....	.....	.....
0.0216	0.0142	0.0104	0.0270	0.0239	0.0239	0.0120	0.0270	0.0460	0.0300	0.0150	0.0130	0.0120
0.0032	0.0045	0.0055	0.0093	0.0093	0.0005	.....	0.0079	0.053	0.0056	0.003	0.004	0.0036
.....	.....	.....	.....	.....	.....	0.0050	.....	0.0210	.....	0.0042	0.0006	0.0018
0.0669	0.0860	0.0692	0.1160	0.1157	0.0892	0.0459	0.1190	0.1360	0.0630	0.0680	0.0510	1.0160
0.0136	0.0057	0.0130	0.0157	0.0152	0.0184	0.0086	0.0460	0.0140	0.0530	0.0090	0.0080	0.0090
.....	.....	.....	.....	.....	.....	indicios	.....	.....	0.0400	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	0.0309	.....	.....	0.0410	.....	.....	1.4600
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	0.1740	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	no hay	.....	.....	.....
0.1434	.....	.....	0.2267	0.2280	0.1695	0.1083	0.2630	0.5000	indicios	0.1060	0.077	0.1260
indicios	0.000	no hay	indicios	indicios	indicios	0.0071	0.0110	.....	0.0740	.....	.....	0.0640
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	0.00005	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	0.00006	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	0.000	no hay	0.0062	0.0062	indicios	.....	0.0020	0.0430	no hay	indicios	0.0040	no hay
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	0.0740	.....	0.0700	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	0.0400	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	9.1340	15.8040	.....	.....	12.734	no hay	.....	no hay	1.6000	.....
.....	.....	.....	Estación de Coya	Las Jor- tas.	.....	.....	.....	.....	indicios	.....	.....	.....

Las cantidades de minerales tratados y la proporción de agua empleada eran las mismas que las usadas en el procedimiento ácido, es decir, más o menos cien kilogramos de mineral y cuatrocientos litros de agua por segundo. La cantidad total de relaves producidos por este procedimiento fué de 557 000 m<sup>3</sup>.

Con el procedimiento alcalino los concentrados resultaban mucho más granulados, se decantaban con mayor facilidad y se lograba extraer una mayor proporción de cobre. Pero debido al subido precio de la soda cáustica, el costo de obtención del cobre resultaba más o menos el mismo con ambos procedimientos. Por otra parte, como los agricultores del valle del Cachapoal se dieran cuenta de que se estaba botando al río la parte fina de los relaves, protestaron enérgicamente, y la Compañía volvió al uso del procedimiento ácido, que le permite hacer una decantación completa de los relaves y botar al río agua perfectamente clara.

Debo dejar constancia aquí que la Compañía ha faltado con el uso transitorio del procedimiento alcalino, doblemente a lo dispuesto por la ley N.º 3133, puesto que ha arrojado al río Coya, durante más de tres meses residuos sólidos, y porque puso en servicio un sistema que no fué autorizado por el Presidente de la República.

---

*Caudal del río Cachapoal.*—Como la cantidad de sales disueltas que se arrojan al río Coya es más o menos constante, y como los canales tienen todos su boca-toma después de la confluencia de este río con el Cachapoal, la influencia de esas sales sobre la agricultura o sobre la salud de las personas y de los animales dependerá en parte de la cantidad de sustancias botadas al río y del caudal de éste, y en parte de los procesos químicos que se desarrollan durante el escurrimiento.

La Inspección General de Regadío tiene instaladas estaciones de aforo en los ríos Coya y Cachapoal inmediatamente antes de su confluencia, y de los datos proporcionados por dicha oficina he deducido que los gastos medios mensuales en metros cúbicos, del río Cachapoal en Coya, durante los años 1917, 1918, 1921 y 1922, fueron los siguientes:

## Caudal del río Cachapoal después de su confluencia con el Coya m3|seg.

	1917	1918	1921	1922
Enero .....	155,94	108,78	182,28	154,65
Febrero .....	109,72	100,56	124,27	102,11
Marzo .....	80,27	27,09	87,90	78,24
Abril .....	42,6	40,25	56,25	42,40
Mayo .....	33,89	40,36	110,58	32,78
Junio .....	41,58	48,39	60,23	45,59
Julio .....	25,55	32,10	47,77	40,80
Agosto .....	23,45	38,87	60,16	43,92
Setiembre .....	33,33	57,68	59,67	49,54
Octubre .....	55,22	65,41	77,00	70,84
Noviembre .....	79,21	85,92	149,18	138,22
Diciembre .....	93,43	161,42	142,58	178,66

Los gastos mínimos en metros cúbicos observados durante cada uno de los mismos años son:

En 1917 (Agosto) 19,95 m3|seg.

En 1918 (Mayo) 30,07 m3|seg.

En 1921 (Agosto) 43,30 m3|seg.

En 1922 (Junio) 28,30 m3|seg.

En los cuadros anteriores se puede observar que los gastos medios mínimos mensuales y los mínimos observados se producen entre Mayo y Agosto.

Los riegos en el valle del Cachapoal tienen lugar entre Octubre y Abril, que es la temporada en que el río tiene mayor caudal de agua.

Como las aguas del Cachapoal se aprovechan también para la bebida de las personas y de los animales, tomaré en cuenta el caudal mínimo observado y, además, el caudal máximo de las aguas que usa la mina, es decir, 400 lts. por segundo para establecer la influencia que puedan tener estas últimas sobre las aguas del río. En las condiciones indicadas, la proporción máxima entre las aguas que salen del molino y las del Cachapoal es de 1 en 50.

*Aguas del río Teniente.*—Las aguas usadas en la explotación de la mina son las



del río Teniente. En el cuadro anexo se dan los resultados de cuatro análisis químicos de estas aguas, de muestras tomadas en los años 1913, 1914, 1915 y 1916.

Estas aguas tienen algún exceso de dureza permanente y una fuerte proporción de óxido de fierro, alúmina y cobre. Son aguas minerales debido a la composición de los terrenos sobre los cuales escurren. La proporción de óxido de fierro y alúmina disminuye sensiblemente hacia aguas abajo, debido a la acción del aire y de la cal y magnesia que se encuentra en las aguas.

*Aguas de los relaves en el estado en que salen de la mina.*—En el cuadro anexo se encuentran los análisis de cuatro muestras de estas aguas. Ellas son, como se ve, las más concentradas. De estos análisis se deduce que son aguas completamente impropias para el uso doméstico, pues tienen cantidades muy subidas de sílice, fierro, alúmina, potasa, cobre y sulfatos, siendo además, muy subida la proporción del oxígeno consumido. Sin embargo, en los alrededores del actual depósito de relaves de Barahona he podido ver un buen número de vacas y caballos que no tienen otra agua que beber, y que no se mueren, hecho que fué comprobado también por el Intendente de la Provincia de O'Higgins, don Manuel Celis Maturana, por el Presidente de la Asociación de Canales de la Compañía, señor Ernesto Singer, y por el representante de los canales de la ribera Sur del Cachapoal, don Miguel Covarrubias.

*Aguas del río Cachapoal después de su confluencia con el río Coya.*—En el cuadro anexo se tienen cuatro análisis de las aguas del río Cachapoal después de su confluencia con el río Coya, y son éstas las aguas que toman los canales de ambos lados del río Cachapoal. Estas aguas tienen algún exceso de fierro, cloro y anhídrido sulfúrico. En una muestra tomada en 1924 se tiene también un exceso de óxido de cal.

*Influencia de las aguas del mineral sobre las aguas del Cachapoal en sus usos para la bebida y para la agricultura.*—Con el objeto de establecer la influencia que puedan tener las aguas que han sido aprovechadas en la explotación del mineral de El Teniente y que son arrojadas al río Coya, el infrascrito recogió el 14 de Abril de 1923, cinco muestras de agua que fueron analizadas por el Jefe del Laboratorio Técnico Químico de la Dirección de Minas y Geología, señor Jorge Westman. Las muestras fueron tomadas en los puntos que se indican a continuación:

1.—En el término de la canoa de aducción del agua con relaves, en el depósito de Barahona, con el objeto de conocer cuáles son las sales disueltas en las aguas tal como salen de la explotación.

2.—A la salida del acueducto que conduce las aguas ya decantadas de los relaves para conocer las condiciones en que se encuentran las aguas empleadas en la mina, al caer al curso natural de las aguas de la región, esto es, al río Coya.

3.—En el río Coya, en Coya, es decir inmediatamente antes de su confluencia con el Cachapoal, y tener así las características de las aguas de aquel río y la influencia que ellas puedan tener en las del Cachapoal. Del río Coya no sale ningún canal de riego.

4.—En el río Cachapoal en Coya, o sea antes de su confluencia con el Coya, con el objeto de conocer la calidad de las aguas que pudieran ser afectadas por las del mineral.

5.—En el río Cachapoal inmediatamente aguas arriba de los baños de Cauquenes y tener así la composición de las aguas que van a usar los canalistas de ambas riberas del Cachapoal.

El resultado de este análisis es el siguiente:

MUESTRAS DE AGUAS TOMADAS POR EL INFRASCRITO EL 14 DE ABRIL DE 1923, Y ANALIZADAS POR EL SEÑOR JORGE WESTMAN, JEFE DEL LABORATORIO TÉCNICO QUÍMICO DE LA DIRECCIÓN DE MINAS Y GEOLOGÍA.

Reacción	Agua con relaves que entra al depósito Barahona	Agua que sale Clarificada del depósito de relaves	Agua del río Coya en Coya	Aguas del río Cachapoal	
				antes de su confluencia con el Coya	después de su confluencia con el Coya
	Ácida grs. lts.	Ácida grs. lts.	Débilmente ácida grs. lts.	Neutra grs. lts.	Neutra grs. lts.
Silice .....	0,083	0,062	0,046	0,014	0,015
Alumina .....	0,094	0,073	0,021	0,002	0,001
Óxido Fierro .....	10,279	0,276	0,053	0,002	0,003
Cal .....	0,197	0,174	0,136	0,070	0,068
Magnesio .....	0,032	0,022	0,014	0,007	0,008
Anhid. sulfúrico .....	0,943	0,064	0,500	0,109	0,106
Cobre .....	0,115	0,100	0,043	no hay	Indic.
Relaves .....	208	no hay	no hay	no hay	no hay
Sust. suspensión .....	.....	0,023	0,074	0,065	0,070
Gasto m <sup>3</sup> /seg .....	.....	.....	1,6	57,0	58,6

En el cuadro anterior se observa que el agua que cae al río Coya tiene menos proporciones de sustancias disueltas que la que llega de la mina, a excepción del anhídrido sulfúrico que aumenta en una pequeña proporción. Esto indica que durante la permanencia del agua en el embalse se produce sea por la acción de los agentes atmosféricos, sea por los cuerpos en suspensión o en disolución, un proceso de reducción de los cuerpos disueltos en el agua. El agua sufre, pues, aquí una purificación, bien que ella es poco sensible.

La cantidad de agua que se arroja al río Coya es menor que 400 litros por segundo, pero para facilitar las comparaciones y para ponerme en condiciones desfavorables adoptaré esa cifra.

El gasto del río Coya en su confluencia con el Cachapoal era el día en que tomé las muestras, de 1,6 m<sup>3</sup>. por segundo, o sea sólo cuatro veces mayor que el volumen de agua que recibe del depósito de relaves de Barahona. De la comparación de los análisis del cuadro anterior se deduce que, a excepción de la proporción de óxido férrico, ninguno de los cuerpos disueltos en las aguas que salen del embalse de Barahona, hace aumentar la proporción de la sal correspondiente en las aguas del Coya. En cuanto al óxido férrico se nota que en las aguas del Coya hay un pequeño aumento que en sí mismo no tiene importancia y que puede tener su origen en la proporción subida de esta sal que tienen los ríos Teniente y Cañón del Diablo aun antes de su paso por las instalaciones de la Compañía.

Comparando ahora la composición de las aguas del Coya y Cachapoal antes de su confluencia con las que resultan después de unirse ambos ríos, se observa que en las tres muestras analizadas, la proporción de óxido de fierro es subida y, si bien es cierto que el Coya hace subir la proporción de esta sal en el Cachapoal, el desmejoramiento de las aguas bajo este punto de vista es muy poco sensible. Además, el pequeño aumento que se nota en la proporción de sílice y de magnesia no tiene importancia porque la proporción en que se encuentran es aceptable para el uso doméstico. Como puede verse en los análisis, en el Cachapoal no hay prácticamente cobre.

Basándome en lo anteriormente expuesto, estimo que el hecho de arrojar en el Coya las aguas decantadas en el embalse de Barahona, en la forma en que hoy se hace, no tiene influencia en las aguas del río Cachapoal ni para la agricultura ni para la bebida.

*Relaves.*—Según el señor Jorge Westman, Jefe del Laboratorio Técnico Químico de la Dirección de Minas y Geología, los relaves del mineral del Teniente contie-

nen pirita de hierro o sea disulfuro de hierro- $\text{FeS}_2$ —y sulfuro cuproso— $\text{Cu}_2\text{S}$ . En contacto con el aire, la pirita de hierro absorbe oxígeno y se transforma en sulfato ferroso- $\text{FeSO}_4$ . Este sulfato ferroso se oxida a su vez en forma que dos moléculas de sulfato toman una molécula de oxígeno, y se transforma entonces en un cuerpo insoluble que se precipita y se decanta y arrastra en su decantación al sulfuro cuproso contenido en los relaves. A esto se debe que el lecho del río Coya se encuentre hoy día cubierto de una capa blanquizca de sulfato ferroso oxidado y de sulfuro cuproso, y que proviene de que al principio de la explotación del mineral se botaron los relaves directamente al río, y también a los relaves arrastrados en los accidentes de los tranques de este material construídos sobre el río Coya.

Este mismo proceso se produce hoy día durante el escurrimiento de los relaves por la canoa que los lleva al depósito de Barahona, lo que permite una oxidación intensa de la pirita primero y del sulfato después, oxidación que continúa más débilmente en el depósito en el cual se produce la decantación del sulfato ferroso oxidado con el sulfuro de cobre. A este proceso se debe que, a medida que las aguas se alejan de la mina, la proporción de cobre va disminuyendo hasta que en el Cachapoal ha desaparecido el cobre o sólo quedan indicios, como lo acusan los análisis.

La pirita de hierro al transformarse en sulfato ferroso por la absorción de oxígeno del aire en presencia del agua, produce además ácido sulfúrico. En efecto se tiene:



El ácido sulfúrico pasa a formar nuevos sulfatos.

Por las consideraciones anteriores estimo que es inconveniente que los relaves vayan al río y que es indispensable su acumulación en depósitos especiales. Además, la presencia de cantidades apreciables de los relaves transformados en una materia inerte es, con muchas probabilidades, inconveniente en los terrenos de cultivo, puesto que forman sobre ellos una capa impermeable que impide el acceso del oxígeno hasta las raíces de las plantas.

Los agricultores de ambos lados del río Cachapoal se muestran alarmados por los efectos que, según ellos, producen sobre los campos de cultivo y sobre la salud de los animales, las aguas de dicho río debido a los residuos arrojados al río Coya. La visita de inspección que hice a los depósitos de relaves, a raíz del denuncia hecho por el señor Ernesto J. Singer, como Presidente de la Asociación Canales de la Compañía, la efectué acompañado del señor Intendente de la provincia de O'Higgins señor Celis, del mismo señor Singer y del señor Miguel Covarrubias como representante de los canalistas de la ribera sur del Cachapoal; y los puntos estudiados sobre el terreno no fueron sólo los que el infrascrito estimó necesarios, sino que también los que indicaron los interesados.

Posteriormente el señor Singer ha estado en varias ocasiones en la Inspección General de Hidráulica y ha expuesto que las aguas del río Cachapoal venían muy turbias, de mal olor y con espuma de petróleo. Como ninguno de estos hechos ha podido ser comprobado personalmente por el infrascrito, rogué al señor Singer que, tan pronto notara algo especial en el río, se sirviera comunicarlo a la Oficina por teléfono, por telégrafo o de la manera que le fuera a él más cómoda. Así lo hizo el 10 de Abril del presente año, y el 11 se trasladó a los baños de Cauquenes un ingeniero, quien personalmente tomó una muestra de agua del Cachapoal.

El análisis de dicha muestra que se encuentra en el anexo, acusa sólo un exceso de cal con relación a los otros análisis de las aguas del mismo río. La muestra no contiene relaves ni petróleo.

El 6 de Junio de 1923, después de mi visita de inspección, el señor Singer hizo tomar una muestra cuando él estimó que las aguas venían en malas condiciones. El análisis de dicha muestra, que también aparece en el anexo, acusa que ella era de mejores condiciones de salubridad que las muestras anteriores.

La Compañía tiene en Coya, en las inmediaciones de la confluencia de los ríos Coya y Cachapoal, una chacra de experimentación agrícola. Por los datos que he podido recoger, no se han hecho experiencias en forma ordenada y científica sobre las influencias que puedan tener las aguas del Coya sobre los cultivos. Estimo que sería muy útil, para establecer si efectivamente tienen fundamento las quejas de los agricultores, se hicieran estudios metódicos, cultivando paralelamente en el mismo terreno las mismas siembras, pero regadas unas con aguas del Cachapoal que han recibido las del Coya, y otras con las que no las han recibido.