

BOLETIN MINERO

SOCIEDAD NACIONAL DE MINERIA

Año XLII

Santiago de Chile,
Enero de 1926

Vol. XXXVIII
Núm. 321



Draga de la Compañía Minera "Las Dichas"

Construída por "NEW YORK ENGINEERING Co."

La Nueva Fundición de Caletones,

Por M. S. MAZANY

El Ingenio de la Compañía Minera San Vicente de Bolivia,

Por THEO P. HOLT

EL PROCEDIMIENTO GUGGENHEIM BROS. DE ELABORACION DEL SALITRE CHILENO

POR

BELISARIO DIAZ OSSA

Profesor de la Tecnología del Salitre y Yodo.
Secretario General del Instituto Científico e Industrial.



Belisario Diaz Ossa

Patentes de invención.—Las patentes chilenas, que protegen este procedimiento, son las siguientes, en orden numérico:

Patente N.º 4594.—El uso en los procedimientos del lixiviación fría o tibia del caliche, en la recuperación del nitrato por enfriamiento artificial y en los métodos cíclicos que combinen estas operaciones, de sustancias denominadas, ESTABILIZANTES, capaces de combinarse con el radical sulfúrico, o con el sulfato de sodio que contengan los caliches, en la forma descrita en el pliego de explicaciones.

Patente N.º 4731.—El uso en la industria salitrera de las sustancias estabilizantes a que se refiere la Patente N.º 4594, con el fin de impedir

la disgregación del caliche y la formación de borras químicas.

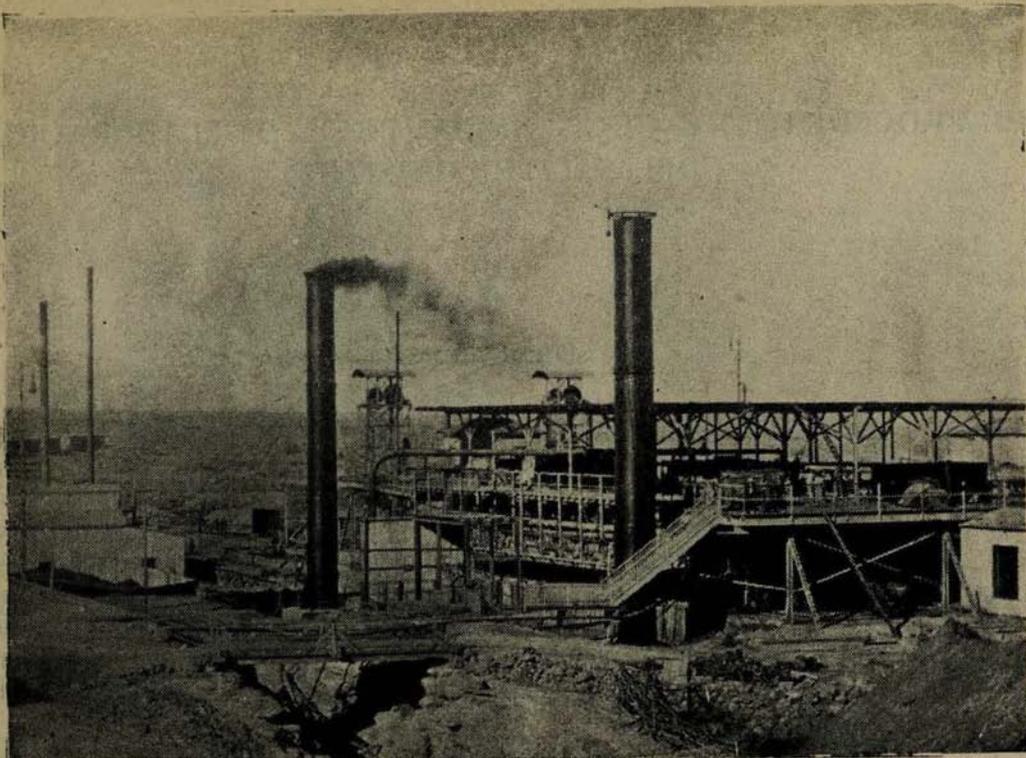
Patente N.º 4732.—Un dispositivo destinado a la extracción del aire o gases, dentro de los elementos huecos lenticulares rotativos y verticales, que forman los cambiadores de temperatura de ese sistema, aplicables especialmente a la cristalización del nitrato de sodio.

Patente N.º 5216.—Un procedimiento cíclico continuo, para el beneficio del caliche por percolación, a temperaturas atmosféricas y tibias, obteniéndose directamente un líquido saturado, del cual se recupera el salitre comercial, por enfriamiento artificial, sin ninguna operación intermediaria.

La redacción de los títulos de las patentes, no dan, por cierto, sino una vaga idea del procedimiento, el que presenta características sumamente originales, que lo hacen diferenciarse de todos los procedimientos propuestos y ensayados hasta hoy día en la Industria Salitrera.

I. El combustible en el procedimiento Guggenheim

Es perfectamente conocido, que para obtener la disolución del nitrato de sodio, del caliche en el agua, es



Vista General de una máquina sistema Shanks

necesario emplear cierta cantidad de calor, a fin de compensar el calor latente negativo de disolución del nitrato (5030 Cal. por mol. de sodio, es decir, 85 grs., que se disuelven en 200 mol. de agua—3600 cm³ de agua) y que para separar el nitrato de las demás sales, que contiene el caliche y que se han disuelto conjuntamente con él, se necesita otras cantidades de calor termométrico, a fin de aumentar la temperatura del líquido solvente y aprovechar la gran diferencia de solubilidad a altas temperaturas, entre el nitrato, con respecto al cloruro y al sulfato de sodio.

Una solución saturada preparada por lixiviación del caliche, en caliente hasta una temperatura cercana al punto de ebullición del agua—

100° a la presión normal—deja al enfriarse, hasta la temperatura ambiente, un depósito de nitrato suficientemente puro, mientras que el cloruro y el sulfato, presentes en el caliche y que se han disuelto simultáneamente con el nitrato, no precipitan y quedan en solución en el agua madre o vieja.

La obtención de un líquido saturado en nitrato a altas temperaturas, en presencia de cloruro y sulfato, permite por simple enfriamiento separar el nitrato de las demás sales que lo acompañan en el caliche.

De aquí la necesidad, en la industria salitrera, de emplear el combustible para la elaboración del caliche, pues sin energía calorífica, no se consigue disolver preferentemente el nitrato, ni separarlo de las demás sales.

Hasta hoy día, el sistema único que ha empleado la industria salitrera, ha sido el sistema Shanks de lixiviación, en el cual es necesario una cantidad crecida de vapor saturado a una temperatura relativamente elevada, digamos 150°, para efectuar el calentamiento de los cachuchos o estanques de lixiviación. La mayoría de las Oficinas salitreras emplean baterías de calderas, especiales en la generación del vapor de calefacción; solamente en los últimos años, se ha introducido el sistema mixto de fuerza y calefacción, que sin duda significa un perfeccionamiento considerable. Con las calderas empleadas para calefacción y vapor para fuerza motriz, en la Pampa, los rendimientos son muy deficientes, debido a una serie de factores: calderas de circulación lenta, aguas duras, incrustaciones, mano de obra inepta, instalaciones deficientes, mal concebidas y mal cuidadas. Por las calderas de alta presión y aprovechamiento del vapor de escape en la calefacción se ha mejorado el rendimiento. En todo caso, *los rendimientos termodinámicos del combustible son muy inferiores, no más de 45% en calderas de alta presión destinados a la calefacción, no más de 55% en la calderas de alta presión con utilización del vapor de escape.*

La idea básica del Procedimiento Guggenheim en lo que se refiere a combustible ha sido: mejor aprovechamiento de su calor de combustión y el reemplazo, en lo posible, por energía mecánica, de las operaciones efectuadas hoy día por mano de obra, a fin de utilizar por tonelada de salitre producido una mayor cantidad de energía mecánica que la empleada hoy día.

El mejor aprovechamiento del

combustible, la producción de energía mecánica barata y abundante, tiene su solución lógica, en el empleo de motores de combustión interna (Diesel-Semi Diesel y análogos). Un combustible apropiado, se quema, en el cilindro del motor, dando un rendimiento de 33%, de su poder calorífico, en energía mecánica, que es el rendimiento más alto que se conoce; de modo que 1 Kgr., de un combustible, con 10,000 Cal-Kgr., puede transformar en energía mecánica 3,300 Cal., el resto de las calorías del combustible se transforma en energía calorífica, quedando libres para ser aprovechadas en forma de calor 6700 Cal., o sea los dos tercios del poder calorífico del combustible.

Si comparamos estos rendimientos con los obtenidos por los sistemas actuales de calefacción directa: calderas-cachuchos, o la semi directa: calderas-motores-cachuchos, el rendimiento del sistema-motor de combustión interna-aparece con una gran superioridad; en efecto, el sistema directo, en las mejores condiciones de instalación y mantenimiento, no tiene un rendimiento superior al 45% del poder calorífico del combustible, el sistema semi-directo tiene un mejor rendimiento calorífico, si se toma en conjunto la producción de fuerza motriz y la calefacción, pero no pasa del 55% del poder calorífico del combustible; además la máquina de vapor, en las mejores condiciones, sin aprovechamiento posterior del vapor de escape, sólo tiene una eficiencia del 14%, respecto al poder calorífico del combustible empleado.

Existe, pues, una diferencia fundamental en el aprovechamiento del combustible, si éste se quema en el

hogar de una caldera o si se quema, en el cilindro de un motor de combustión interna. Hemos visto que el 67% del combustible quemado en este caso se transforma en energía calorífica, de la cual se puede aprovechar una cantidad apreciable.

El balance de un motor de combustión interna es el siguiente:

Calorías por Kgr.

Combustible. 10,000 Cal. Kgr.

Calorías por Kgr.

- 1) Transformadas en energía mecánica. 3,400
- 2) Calor termométrico en los gases de combustión. 4,000
- 3) Calor recogido por el agua de enfriamiento de las camisas de los cilindros y del enfriamiento del lubricante. 2,000
- 4) Calor perdido por radiación y convección. 600

Se puede recoger perfectamente el calor de los gases de combustión mediante una caldera de recuperación y del agua de enfriamiento de los cilindros y del lubricante con un rendimiento de 90%, o sea unas 5,500 Cal-Kgr. de combustible.

En el costo del K.W., generado, se toma en cuenta todo el combustible quemado, el lubricante usado, los repuestos, la mano de obra, el interés y la amortización; según estadísticas modernas estos dos últimos factores, son inferiores a los de las máquinas de vapor.

El consumo de aceite combustible, en las grandes unidades modernas—1,500 a 2,000 K.W.A. para un factor

de carga inferior a 50% es de 360 gramos por K.W. hora efectivo generado.

El factor de carga, en una central para un plantel salitrero es más elevado y es fácil de regular y de mantener relativamente alto, sobre 66%, pues se dispone de varias unidades que se puede rápidamente parar o poner en marcha según convenga.

El coste del K.W.—hora efectivo con ese factor de carga de 66% se puede calcular así:

K. W. H.
cent. oro
chileno 18 d.

Combustible —280 gramos de aceite para Diesel a \$ 55 oro chileno la tonelada.	1.5
Lubricante —Motores y dinamos—7 gramos a \$ 45 oro los 100 Kgrs.	0.3
Sueldos y jornales.	0.5
Repuestos, composturas y materiales diversos.	0.7
Intereses y amortización de la planta.	1
Total.	4.0

Estos datos son tomados de instalaciones de 2,000 K. W. A., y menos, de modo que este cálculo será muy aproximado para una gran instalación como la proyectada, en la realización del procedimiento Guggenheim.

Se tiene pues, energía eléctrica barata, sin duda más económica, que la generada con cualquier otro sistema y por cada K.W. hora generado quedan 1650 Cal. sin costo alguno.

En el procedimiento Guggenheim, se consume una cantidad superior de energía si se le compara con el con-

sumo del sistema actual: debido, EN PRIMER TÉRMINO, a la mecanización de todas las operaciones: trituración fina en tres etapas, harneo para la separación de los diferentes tamaños, movilización del sólido: carga y descarga de los estanques de lixiviación: movimiento y circulación de todos los líquidos, cristalización mecánica, filtración a vacío de los finos, centrifugación de los cristales, etc.; y EN SEGUNDO TÉRMINO, a la obtención mecánica del frío artificial para efectuar la precipitación del salitre disuelto en el líquido concentrado proveniente de la lixiviación. El consumo de energía eléctrica para la compresión del fluido frigorígeno—amoníaco—se puede calcular en un 10 a 12% de la energía total empleada en la planta. Como veremos más adelante, la energía gastada en la com-

presión no se pierde totalmente, pues parte de ella es recuperada en forma de calor.

El consumo de energía en la Planta, depende principalmente de las condiciones del material tratado, dureza física, dificultad de disolución etc., que originan un consumo mayor o menor de energía, los datos experimentales demuestran que en términos medios, el consumo es de 50 a 60 K.W.H. efectivos por tonelada de caliche, lo que equivale tratando caliches de 12% con un rendimiento de 90% en la elaboración a un consumo de 250 a 300 K.W.H. efectivos por tonelada de salitre producido.

Mediante la generación de la energía mecánica y eléctrica se dispone, sin coste, de 1,650 Cal. por K.W. hora generado, o sea cerca de MEDIO



Una calichera

MILLÓN DE CALORÍAS por tonelada de salitre producido, cantidad más que suficiente para el calor necesario en la lixiviación.

Parte de la energía mecánica destinada a la compresión del fluido frigorígeno, se convierte en calor, que es necesario retirar con una circulación de agua fría, a fin que el fluido frigorígeno pueda condensarse; el 25% de la energía gastada en la compresión, se puede recuperar de este modo, sumándose las calorías a las obtenidas en la generación de la energía, de modo que el medio millón de calorías disponibles por tonelada de salitre producido, es una cifra muy segura.

Por lo demás, hay que tener presente que habrá exceso de Cal. porque no sólo se generará en la central la energía necesaria para la planta de elaboración sino la necesaria para las necesidades del trabajo de la pampa: perforación mecánica, trabajo de palas eléctricas, transporte eléctrico, luz y fuerza para usos domésticos.

Ahora bien, la energía calorífica de que se dispone, necesita para ser utilizada en el momento mismo de su producción, de un sistema de absorción: se emplea para ello una circulación de agua de enfriamiento. Por razones técnicas y a fin de que los motores y el compresor trabajen bien, la temperatura máxima del agua de enfriamiento no debe pasar de 50°; esta agua pasa después por los calderos de recuperación, donde puede llegar fácilmente a 80°, esta agua caliente circula después en aparatos apropiados y mantiene el calor necesario, en los líquidos de lixiviación para disolver el nitrato y para aumentar la temperatura.

Es consecuencia lógica, del empleo

del combustible, tal como se ha descrito, que la lixiviación se haga a temperaturas tibias, a 50° más o menos para fijar una cifra, porque para obtener un buen intercambio de temperatura, se necesita una diferencia suficiente de temperatura, entre el líquido que calienta y el que va a ser calentado, y además para que el intercambio sea económico, es necesario una diferencia suficientemente alta, a fin de que las superficies metálicas de intercambio, no sean enormes.

El ciclo de aprovechamiento del calor es el siguiente: Agua a la temperatura ambiente 20° enfriamiento de las camisas de los cilindros de los motores, de los compresores, del enfriador del lubricante 50° caldera de recuperación de los gases de combustión 80° intercambiadores de temperatura (pérdida de temperatura) agua a la temperatura ambiente, que vuelve al ciclo.

En la oficina experimental de Cecilia, no se disponía de calderas de recuperación para elevar la temperatura del agua caliente; la que tenía una temperatura inferior a la anotada, pero se demostró que disponía de la cantidad suficiente de calor, y que el procedimiento trabajaba bien, aun con temperaturas relativamente bajas 40°, y que las pérdidas de calor eran muy pequeñas.

II. Los fundamentos químicos del procedimiento Guggenheim

Hemos visto que la manera de utilizar el combustible necesario para la elaboración del caliche, determina la temperatura máxima a que debe efectuarse la lixiviación en el proce-

dimiento Guggenheim y que es cercana a 50°.

Sólo se podría subir esta temperatura con un aporte de calor exterior, lo que constituiría un desequilibrio en el balance termodinámico y al mismo tiempo un gasto innecesario.

Cuando se emplea un procedimiento de lixiviación del caliche, a la temperatura ambiente o a temperaturas tibias, alrededor de 50°, la disolución de las sales que contiene el caliche se efectúa de un modo PERFECTAMENTE DIFERENTE, del que se produce cuando se emplea la lixiviación a temperaturas elevadas, es decir, cercanas a 100°, como se hace en el actual sistema Shanks.

Con el fin de precisar estas diferencias, conviene ante todo recordar lo que sucede en el sistema de lixiviación el máximo de temperatura—sistema Shanks—en el que al final del tratamiento se obtiene un caldo concentrado y saturado en nitrato, cristalizable por enfriamiento directo. En ese sistema, al principio de la lixiviación, cuando las temperaturas de trabajo son bajas y cuando existe un gran exceso de solvente, respecto a las sales solubles que contiene el caliche, se disuelven simultáneamente todas las sales y se produce la desagregación del conglomerado dejando en suspensión las partículas sólidas insolubles que forman las borras; si se prosigue el contacto del solvente, con nuevas cantidades de caliche aumentando al mismo tiempo la temperatura, el nitrato sigue disolviéndose en proporción considerable, mientras que las demás sales se disuelven en menor proporción y el conglomerado no se destruye; si se aumenta aún la temperatura hasta el máximo, el nitrato se disuelve en mayor

cantidad, mientras que el cloruro y el sulfato de sodio disminuyen en su solubilidad.

De modo que se puede tener a altas temperaturas, superior a del punto de ebullición de la solución saturada en nitrato, una solución que sólo contenga nitrato y de la que se han precipitado el cloruro y el sulfato que se habían disuelto simultáneamente con él. Este fenómeno se produce a la temperatura de 120° y a la presión de 1.15 Kgrs., por cm². y se denomina **Punto crítico** de la precipitación del cloruro y sulfato.

En el procedimiento Shanks, que podemos llamar de saturación al máximo, a la presión atmosférica con los caliches corrientes, se prepara un líquido final o caldo saturado que a 100° en números redondos y en términos medios tiene: 600 grs. de nitrato, 150 grs. de cloruro, 60 grs. de sulfato por litro de solución, que cristaliza por enfriamiento depositando unos 250 grs. de nitrato, dejando un agua madre o vieja que tiene en términos medios unos 450 grs. de nitrato por litro de solución.

La razón de estos fenómenos que se producen durante la lixiviación del caliche, a alta temperatura, reside en la propiedad del nitrato de tener el mayor calor latente y negativo de disolución lo que le permite disolverse más, según la conocida ley química del *trabajo máximo* y aún expulsar de la solución las demás sales sódicas y el nitrato de potasio.

En la lixiviación, a alta temperatura, se puede afirmar: QUE, EN GENERAL, LA COMPOSICIÓN DEL CALICHE CONSIDERADA EN SUS SALES SOLUBLES, NO EJERCE INFLUENCIA QUÍMICA RESPECTO A LA COMPOSICIÓN DE LA DISOLUCIÓN O CALDO FINAL; que si se da a las sales el tiempo suficien-



Vaciando las Bateas

te, la temperatura suficiente, y existe, con respecto al volumen del solvente un exceso de sales para saturarlo, la disolución o caldo final es para todos los caliches de una composición análoga.

Por el contrario, en el sistema de lixiviación a temperaturas frías y tibias LA COMPOSICIÓN DE LAS SALES SOLUBLES DEL CALICHE TIENE UNA GRAN INFLUENCIA SOBRE EL LÍQUIDO O CALDO FINAL. Los fenómenos que se producen en esta clase de lixiviación han sido estudiados detenidamente, y puestos en evidencia gracias a las investigaciones del personal científico y técnico que trabaja en la firma Guggenheim.

Si disolvemos en agua pura una mezcla suficientemente grande de las sales solubles del caliche: cloruro, sul-

fato y nitrato de sodio, teniendo cuidado de mantener una temperatura fija, 20°, y tener un gran exceso de la mezcla salina sobre el volumen del líquido solvente, observaremos que las sales se van disolviendo lentamente y que la solución se va concentrando en cantidades crecientes de las tres sales; si el experimento se prolonga un tiempo suficiente, llega un momento en que el líquido solvente no absorbe o disuelve sal alguna, decimos entonces que la solución está saturada a 20° y según los datos experimentales contiene: 402 gramos de nitrato disuelto por litro, 184 gramos de cloruro y 29 grs. de sulfato.

Pero, si en vez de una mezcla de sales puras hacemos la misma experiencia a la misma temperatura con ciertas variedades de caliche, que están

formadas a su vez por las tres sales, en muchos casos no obtendremos la disolución saturada, sino otra que tiene una cantidad mucho menor de nitrato, solamente 216 gramos por litro.

De las investigaciones practicadas resulta que la sal común, el cloruro de sodio no tiene influencia alguna en ese fenómeno, que el cloruro se disuelve bien y es la primera sal que satura la disolución.

Por el contrario, el sulfato de sodio tiene una influencia perjudicial sobre la composición del líquido final: según sea la composición del caliche en sulfato y nitrato de sodio, se puede o no obtener un líquido saturado.

Cuando la composición del sulfato y del nitrato, está en la proporción de 142 moles sulfato, por 85 moles en peso de nitrato y en presencia de agua, se forma una sal doble insoluble en una solución de nitrato que tenga 216 o más gramos por litro. La sal doble formada, llamada nitro-sulfato de sodio o Darapskita, tiene la fórmula $\text{NaNO}_3, \text{Na}_2\text{SO}_4, \text{H}_2\text{O}$, es decir, está formada por una molécula de nitrato, otra de sulfato y una de agua, y las proporciones moleculares son 142 moles sulfato, 85 moles de nitrato y 18 moles de agua.

La Darapskita, existe formada en algunos caliches en especial en los denominados de Salar y se forma siempre en presencia de agua cuando existe sulfato y nitrato, a ciertas temperaturas. Por la acción del calor de Darapskita se descompone, a 58° su descomposición es total en nitrato, sulfato y agua.

Cuando en un caliche existe mayor cantidad de nitrato que la correspondiente al sulfato, por ejemplo, 142 partes de sulfato y 170 partes de nitrato, el nitrato presente en el cali-

che, se divide en dos partes, una de ellas se COMBINA con el sulfato (nitrato combinado) y la otra queda LIBRE para disolverse (nitrato libre) y aumentar la concentración de la disolución.

A fin de hacer notar prácticamente esta anomalía, vamos a dar un ejemplo de lo que sucedió con un caliche de la Oficina Araucana que analizado dió:

Humedad.	1.10 %
Nitrato de sodio.	10.58 %
Sulfato de sodio.	15.50 %
Cloruro de sodio.	40.00 %
Calcio.	1.07 %
Magnesio.	0.02 %

La cantidad de sulfato de sodio 15.50% se combina teóricamente con 9.30% de nitrato para formar Darapskita, y como la ley de nitrato es sólo 10.58%, la cantidad de nitrato libre, 1.28% no permite hacer una lixiviación a 20° con resultados económicos. Los experimentos con ese caliche confirmaron las previsiones y sólo se obtuvo como líquido final de la lixiviación a 20° , una solución con 216 gramos de nitrato por litro. Los químicos de la firma Guggenheim han logrado evitar estos inconvenientes y han conseguido que el sulfato de sodio se una con otros cuerpos, dejando completamente libre al nitrato con el que está combinado en la Darapskita.

La Patente N.º 4594, se refiere a los métodos empleados.

El sulfato de sodio, que forma la molécula doble de la Darapskita, tiene con el nitrato de sodio una unión poco enérgica y se le puede reemplazar por otros compuestos.

Se consigue la transformación de la Darapskita, en sulfatos dobles,

mediante el agregado al líquido de lixiviación de ciertos principios o sustancias químicas, que los inventores han denominado ESTABILIZANTES, los que tienen la propiedad de ser más ávidos de sulfato de sodio que el nitrato de sodio o que se pueden unir con el radical sulfúrico (SO_4) del sulfato de sodio, formando otros compuestos.

Estos principios estabilizadores son: sales de potasio, de calcio y de magnesio, que agregadas en concentración conveniente, forman con el sulfato de sodio sales dobles como:

La singenita. $\text{K}_2\text{SO}_4, \text{CaSO}_4, \text{H}_2\text{O}$.

La Astrankanita. $\text{Na}_2\text{SO}_4, \text{MgSO}_4, 4\text{H}_2\text{O}$.

La Glauberita. $\text{Na}_2\text{SO}_4, \text{CaSO}_4$.

El empleo de los estabilizantes durante la lixiviación exige un control químico severo; los estabilizantes obran tanto mejor mientras mayor es su concentración en el líquido solvente, mientras más alta es la temperatura de la lixiviación y mientras más fina es la materia sólida en tratamiento. Las concentraciones de las sustancias estabilizantes, son de orden de 15 a 25 gramos por litro, según la cantidad de sulfato de sodio presente en el caliche.

En la lixiviación a temperaturas ambiente y tibia (procedimiento Guggenheim), se obtiene un líquido, muy poco concentrado en nitrato, inferior a lo menos en 60% en su concentración al obtenido en la lixiviación al máximo de concentración y temperatura (Procedimiento Shanks). Este líquido débil, por enfriamiento al aire ambiente deposita nitrato, en cantidad tan pequeña, que su cristalización en esa forma no es económica.

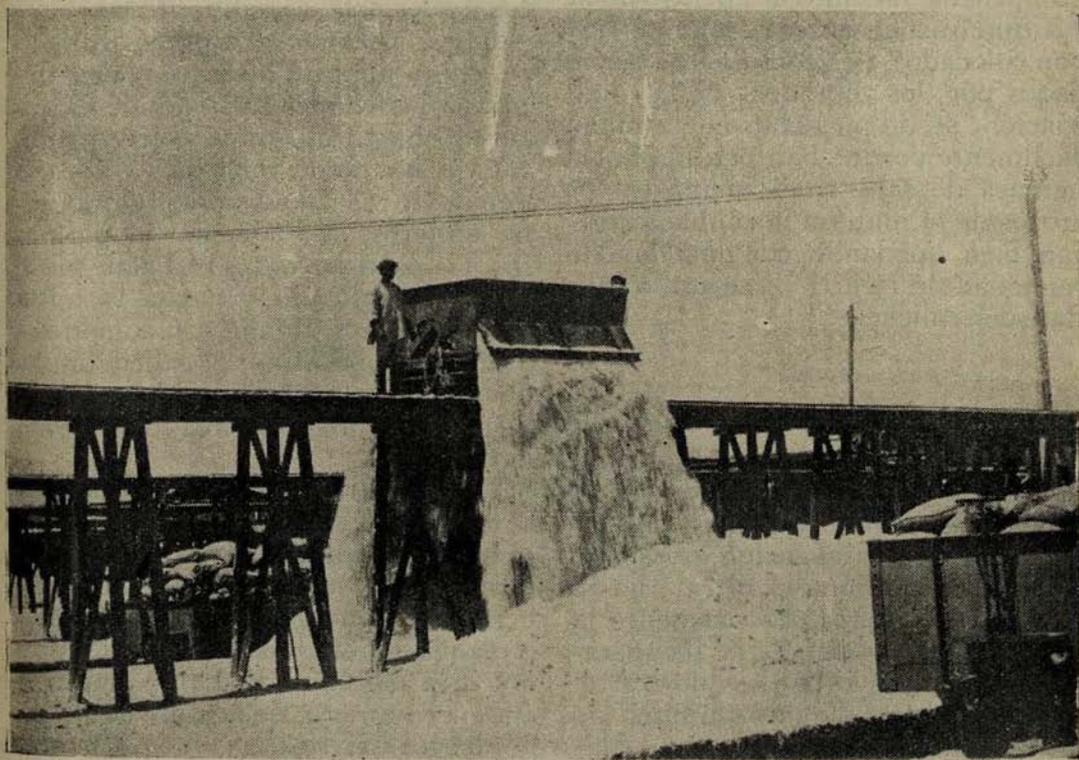
A fin de obtener una recuperación suficiente, que haga económico el procedimiento, es necesario descender la temperatura del líquido en cristalización, de la temperatura del ambiente hasta una temperatura cercana a cero grado, lo que se consigue refrigerando el líquido, mediante frío artificial obtenido por un procedimiento mecánico.

Si se enfría una solución saturada en cloruro, sulfato y nitrato, obtenida del tratamiento a la temperatura ambiente o tibia de caliche, sin tomar ninguna de las precauciones que ya he citado, es decir, sin agregar materias estabilizantes, el nitrato comienza por precipitarse en estado puro, hasta 34°, bajo esa temperatura se precipita cristalizado el exceso de sulfato de sodio, en su forma decahidratada ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) y a temperaturas inferiores se precipita conjuntamente el sulfato y nitrato, formando nitro-sulfato o Darapskita, a la temperatura de 7° se precipitan conjuntamente Darapskita, nitrato de sodio y sulfato de sodio decahidratado y bajo 7° nitrato de sodio y sulfato de sodio. Experimentalmente he enfriado hasta 0° una disolución saturada, en las tres sales, cloruro, sulfato y nitrato a la temperatura de 20°, produciéndose un precipitado que contenía 10% de sulfato de sodio; si la saturación se hubiera hecho a 34°, el nitrato de sodio precipitado habría contenido más de 25% de sulfato.

Las materias estabilizantes, a que se ha hecho referencia, en la parte anterior, permiten también conseguir mediante el enfriamiento artificial una cantidad suficientemente grande de nitrato precipitado, con ley superior a la comercial. Las materias estabilizantes agregadas durante la lixiviación, en dosis convenientes,

permiten descender la temperatura del líquido por cristalizar hasta cerca de cero grado, obteniendo con líquidos concentrados en nitrato a una temperatura tibia una cantidad casi equivalente al nitrato precipitado en el procedimiento corriente, y de mayor pureza. Es evidente que hay que regular la concentración de las materias estabilizantes durante la precipitación y no descender más bajo de la temperatura en que pudieran ellas precipitarse, a fin de dejarlas completamente en el agua madre que va a entrar en el ciclo de lixiviación. El empleo de las materias estabilizantes tiene, pues, en la recuperación del nitrato del líquido proveniente de la lixiviación una importancia tan grande, como en el tratamiento del caliche.

Igual importancia tienen los principios estabilizadores, respecto a la desagregación del caliche y la formación de borras físicas y a la floculación de las borras químicas formadas por materias coloidales. El líquido concentrado que se corre directamente de los estanques de lixiviación sin operación alguna de chulla o decantación, se presenta como un líquido transparente, límpido, sin materias sólidas en suspensión, de un color ligeramente amarillento. Se debe este aspecto del líquido a la acción de los principios estabilizantes sobre las materias sólidas del caliche y a su acción floculante sobre las borras coloidales. He hecho experimentos comparativos, agitando en frascos caliches finamente molidos y cernidos a 250 mallas por cm^2 , con líquidos



Chancadura del Salitre

solventes, formados por soluciones de cloruro y nitrato, con y sin agregación de principios estabilizantes, y he podido notar la diferencia de la borra formada en cada caso.

Sin estabilizantes, pasa el hecho conocido hoy día: se forma un barro imposible de decantar, porque la arcilla retiene una cantidad considerable de agua; con estabilizantes se forma una borra granulosa, permeable que estruja por filtración rápidamente, quedando con una humedad relativamente pequeña de agua, inferior de 18 a 20%. La floculación de las materias coloidales, que forman las borras químicas, verdaderos hidrogeles, que con frecuencia se producen en la lixiviación Shanks, se produce durante la lixiviación y queda en los ripios.

La acción de los estabilizantes se comprueba fácilmente en los ripios, los que quedan enteros tal cual fueron colocados, perfectamente traspasados por los líquidos de la lixiviación, se desmenuzan en la mano fácilmente porque han perdido la argamasa de sales que cimentaba los trozos de la materia insoluble, estrujan bien quedando con una ley de humedad de 16 a 18%, según la calidad del caliche.

La concentración en materias estabilizantes, permite al técnico dirigir a voluntad el procedimiento de lixiviación y de cristalización, pudiendo llevar la extracción del nitrato hasta un límite máximo, prácticamente la totalidad, y regulando la recuperación, sin perjuicio de desvalorizar el producto hasta el punto mínimo de enfriamiento posible. En una palabra, los estabilizantes permiten obte-

ner resultados, que se pueden calcular de antemano; y no como sucede hoy día, que el procedimiento de lixiviación y de cristalización, no se producen según la previsión teórica y la voluntad del que dirige el trabajo, sino que obedecen a fenómenos poco conocidos, que suelen producir desastrosos y antieconómicos resultados.

III. La preparación mecánica del Caliche

Antes de someter el caliche a la lixiviación, se le somete a una preparación mecánica: trituración, molienda y cernido, separando los trozos de diversos tamaños.

El caliche, que viene de la pampa, es acumulado en tolvas o buzones de los cuales sale a medida de las necesidades, pesándose automáticamente, en un aparato inscriptor; después pasa a las chancadoras donde es triturado hasta un grado conveniente, cae en un plano inclinado colocado debajo de las chancadoras, y que tiene agujeros, de 3.5 m m. de diámetro, las partes gruesas resbalan sobre el plano inclinado y van a la tolva de los molinos, donde son sometidas a una molienda fina; el caliche molido y que ha pasado por el selector de plano inclinado va a la tolva de los harneros.

Los harneros cilíndricos rotativos o tromels poseen dos tamices concéntricos, el primero o interior, está formado por una plancha metálica perforada con agujeros de 1,50 cm., el tamiz exterior está formado por una tela metálica de 250 mallas por cm²; el harnero tiene una cubierta hermética exterior.

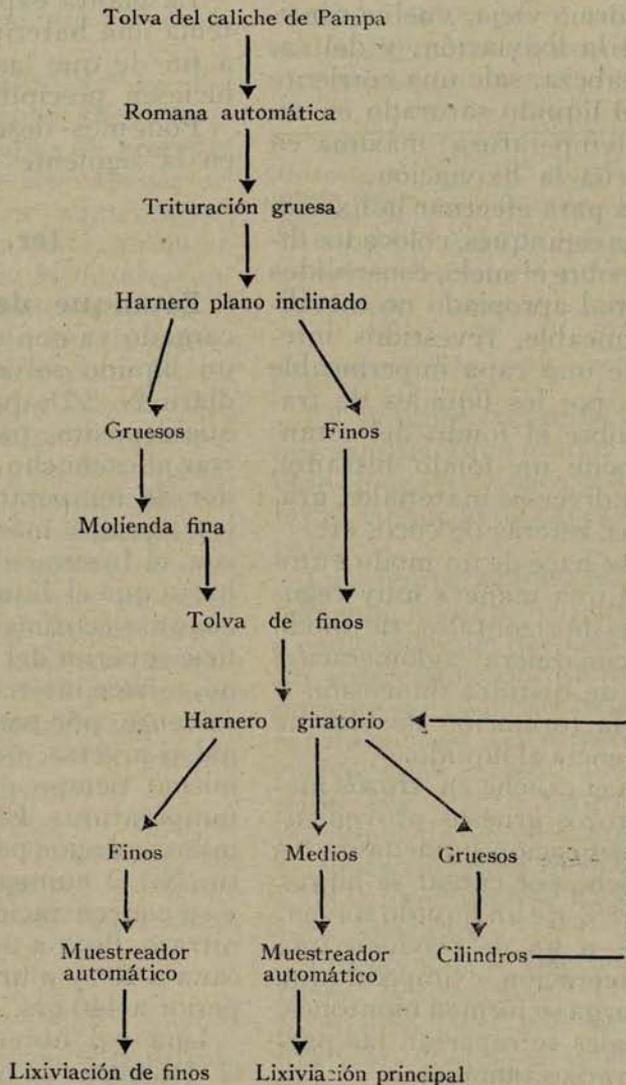
En los harneros se clasifica el cali-

che, en tres tamaños: los finos, que pasan por el tamiz de tela metálica y son extraídos por un transportador especial que los lleva a un depósito para su tratamiento posterior; los medios van a la planta principal de lixiviación y los gruesos pasan por un cilindro y vuelven a la tolva de los harneros.

El diagrama de la trituración es el siguiente:

Es evidente que este diagrama de preparación mecánica puede sufrir modificaciones.

La cantidad de finos que se separa en la preparación mecánica, es variable según la consistencia física del caliche, según los experimentos hechos, la proporción varía de 5% como mínimo a 10% como máximo; en términos medios es 7%.



IV. Lixiviación principal

En la lixiviación principal, se tratan los trozos medios que corresponden entre el 90 al 93% del caliche que entra en la preparación mecánica.

El procedimiento de lixiviación empleado es un procedimiento de circulación continua de los líquidos solventes a fin de poder efectuar el intercambio de temperatura entre los líquidos calientes y los líquidos fríos. El agua madre o vieja, vuelve continuamente a la lixiviación, y del cachucho de cabeza, sale una corriente continua del líquido saturado en nitrato a la temperatura máxima en que se efectúa la lixiviación.

Se emplea para efectuar la lixiviación, grandes estanques, colocados directamente sobre el suelo, contruídos de un material apropiado no metálico e impermeable, revestidos interiormente de una capa impermeable e inatacable por los líquidos de tratamiento; sobre el fondo del estanque se dispone un fondo filtrante, formado por diversos materiales, gravas, maderos, esteras de coco, etc.

La carga se hace de un modo automático y de una manera muy regular, en capas horizontales, de modo de evitar cualquiera aglomeración de material de distinta dimensión y de impedir la formación de vías de menor resistencia al líquido.

Se emplea el caliche en trozos medios y los trozos gruesos provenientes de la clasificación húmeda de los finos; el caliche por cargar se humedece con 3 a 8% de un líquido solvente—lavados—a fin de producir una mayor aglomeración e impedir que durante la carga se formen montones, sobre los cuales se repartan las partículas de diversos tamaños.

La lixiviación se efectúa haciendo

pasar el solvente por percolación gravitacional (de arriba a abajo) o en sentido contrario (abajo a arriba), sobre el material sólido inmóvil.

La batería de lixiviación está formada por los siguientes estanques: un estanque de prepare, un estanque de cabeza que corre caldos, un estanque lixivador N.º 1, un estanque lixivador N.º 2, un estanque de cola o de lavado y un estanque en estruje, desripio y carga.

La planta experimental de Cecilia tenía una batería de siete estanques, a fin de que las operaciones no se hiciesen precipitadamente.

Podemos describir la lixiviación, en la siguiente forma:

1er. tiempo

Estanque de prepare.—Se ha cargado ya con caliche, se llena con un líquido solvente tibio (Intermediario N.º 2), que viene de un estanque-depósito, pasando antes de entrar al cachucho por un intercambiador de temperaturas, calentado por los líquidos más calientes; se llena con el Intermediario 2 el estanque hasta que el líquido sobresalga unos cuantos centímetros sobre la superficie superior del caliche; una vez lleno, se hace intercircular lentamente el solvente, por percolación gravitacional o inversa, pasando el líquido al mismo tiempo por el cambiador de temperaturas. El calentamiento y la intercirculación permite al Intermediario N.º 2 aumentar su temperatura y su concentración, especialmente en nitrato, llega a una temperatura cercana a 40° y a una concentración superior a 440 grs., de nitrato por litro.

Una vez obtenido ese resultado, el estanque de prepare, pasa a ser estanque de cabeza corre el caldo que

contiene siendo alimentado por líquido proveniente del estanque de cabeza anterior, que pasa a ser I. alimentador, y que tiene un líquido de la concentración del Intermediario 2.º

Estanque de cabeza.—Es el estanque que corre caldos.

En el tiempo anterior, ha sido estanque de prepare hasta que su líquido se ha convertido en caldo en la forma ya vista. Es alimentado por el líquido llamado Intermediario N.º 2 que proviene del estanque lixivador N.º 1.

Estanque lixivador N.º 1.—Ha pasado por los siguientes tiempos:

1.º tiempo, estanque de prepare; 2.º tiempo estanque de cabeza; 3.º tiempo, estanque 1.er alimentador, que corresponde a la serie, envía su líquido, Intermediario N.º 2, al estanque de cabeza y es alimentado por el líquido Intermediario N.º 1, proveniente del estanque lixivador N.º 2.

Estanque lixivador N.º 2.—Ha pasado por los siguientes tiempos:

1.º tiempo, estanque de prepare; 2.º tiempo, estanque de cabeza; 3.º tiempo estanque 1.er alimentador; 4.º tiempo, que corresponde a esta serie, es segundo alimentador, envía al lixivador N.º 1, el líquido Intermediario N.º 1, y es a su vez alimentado con agua vieja tibia proveniente de la planta de cristalización.

Estanque de cola.—Ha pasado por los siguientes tiempos:

1.º Tiempo, prepare; 2.º tiempo, estanque de cabeza; 3.º tiempo, lixivador N.º 1; 4.º tiempo, lixivador N.º 2; 5.º tiempo, está fuera de la serie, en la vados.

turas tibias; entre estanque y estanque existe un intercambiador de temperaturas, que los líquidos atraviesan al salir de un estanque y al entrar al otro, el agua vieja de la última alimentación entra también tibia, pues ha recuperado el calor después de ser enfriada en contracorriente con el líquido que va a cristalizar, y pasa antes de entrar al estanque lixivador N.º 2, por un intercambiador de temperatura.

Las concentraciones de los diferentes líquidos en un mismo momento, en los diferentes estanques fueron las siguientes:

Estanque de cabeza Caldo saturado Nit. por Lit.	1.º Alimentador Intermediario		2.º Alimentador Intermediario		Alimentador exterior Agua Vieja Gr. Nit. por Lit.
	Gr. Nit. por Lit.	Gr. Nit. por Lit.	Gr. Nit. por Lit.	Gr. Nit. por Lit.	
1.º	448	398	343	331	
2.º	440	396	347	335	

El líquido Intermediario N.º 2, que sale del alimentador N.º 1 se divide en dos porciones, a fin de alimentar el cachucho de cabeza y el de prepare.

Las temperaturas se regulan fácilmente, los líquidos entran calientes a cada estanque después de pasar por un intercambiador de temperatura, durante la lixiviación bajan de temperatura a causa del nitrato que se disuelve, salen del estanque y vuelven a pasar por otro intercambiador, aumentando de nuevo su temperatura, y así sucesivamente. Se puede decir que toda la lixiviación se hace a temperatura constante.

Los lavados se efectúan por percolación gravitacional, el líquido de reemplazo llega por la parte superior y se extiende en una napa homogénea sobre el líquido que contiene

Todos los líquidos del circuito de lixiviación, se mantienen a tempera-

el estanque, al mismo tiempo se extrae la misma cantidad del líquido que contiene el estanque por la parte superior; de modo que se hace un desplazamiento lento de un líquido más concentrado por uno más diluido, manteniéndose siempre el estanque lleno con líquido, y el caliche inmergido en él.

Los líquidos de lavado son cinco: el primero desplaza al agua vieja; el segundo desplaza al primero, que ha alcanzado la concentración del agua vieja; el agua vieja y el primer lavado van al sistema de lixiviación como alimentadores exteriores; el tercero desplaza al segundo y forma el 1.º lavador de la operación siguiente y así, sucesivamente, el agua del tiempo es el quinto líquido lavador.

Durante la lixiviación se toman muestras de los líquidos cada cierto tiempo en todo el circuito, se determina rápidamente la cantidad de nitrato que entra y sale con el líquido de cada estanque y en caso de diferencia negativa, se corrige la concentración de los estabilizantes, pues esa diferencia negativa corresponde a una formación de Darapskita.

Concluidos los lavados, el estanque se vacía, se deja estrujar y se desripia mecánicamente.

Tiempos de las operaciones.—

Las diversas operaciones que se suceden en un mismo estanque hasta que descarga, se efectúan en los tiempos siguientes:

	Horas
Prepare.	3
Corrida de caldo.	10
Primera alimentación.	10
Segunda alimentación.	3

Lavados 1, 2, 3, 4,	6
Lavado con agua del tiempo...	1
Estruje y desripio	10
TOTAL	43

La cantidad de caldo o líquido asaturado que se extrae por estanque es de 4 a 5 veces su volumen; cada 100 toneladas de caliche corriente emplean 25 m³. de líquido, que producen un promedio de 120 m³. de caldo.

Cabe aquí llamar la atención, que la cantidad de caliche tratado es función solamente del volumen de cada estanque y que es posible lixiviar en estanques de gran capacidad, de 2,000 y más m³. de capacidad, que pueden recibir cada uno entre materia sólida y líquida de 3,000 a 4,000 toneladas.

V. Tratamiento de los finos.

Conjuntamente con la lixiviación principal, se efectúa el tratamiento de los finos que representan en término medio el 7% que entra en el plantel de elaboración.

Previamente pesados, se mezclan con cantidad determinada de agua vieja tibia en un aparato mezclador continuo, que descarga la pulpa formada en el canal de un clasificador de arrastre; en el clasificador la pulpa se separa en dos porciones: líquido borroso que se lleva a los estanques de decantación y las partes gruesas del material que vuelven a la lixiviación principal.

El líquido borroso se envía a decantar a un estanque de sedimentación, especial, extrayendo continuamente el líquido claro y una borra espesada; el líquido claro y el recogido de la filtración, se distribuye

en los estanques-depósitos de líquido según su concentración en nitrato.

La borra espesada, se lleva a un estanque de filtración, se agita con aire comprimido, a fin de impedir la depositación de las materias sólidas y mediante un filtro el vacío—de elementos verticales tipo Moore—se filtra. Cuando la torta ha adquirido cierta consistencia se lava con una salmuera concentrada, el líquido de lavado ingresa a la lixiviación principal.

La acción de los estabilizantes sobre la permeabilidad de la torta es manifiesta, pues se puede filtrar, formándose cerca de dos centímetros de espesor de la torta sobre la hoja filtrante.

VI. Recuperación del nitrato de los líquidos de la lixiviación.

La recuperación del nitrato de los líquidos o caldos saturados obtenidos de la lixiviación se hace por cristalización mecánica, enfriando los caldos, en varias etapas sucesivas, primero con líquidos tibios y, por último, con líquidos fríos, enfriados a su vez por enfriamiento artificial.

Los líquidos formados en la lixiviación están concentrados en nitrato y se presentan límpidos, claros, sin materia alguna en suspensión, de un color amarillo. No necesitan ser chullados, ni decantados, salen de un modo continuo de la planta de lixiviación y pasan de un modo continuo a la planta de cristalización.

La cristalización se efectúa en una serie de intercambiadores de temperatura cristalizadores mecánicos, que esencialmente constan de cubas horizontales, de sección superior cuadrangular, terminando con un fondo

de sección trapezoidal; las cubas están tabicadas interiormente formando compartimentos verticales, mediante tabiques dispuestos en chicanas, a fin de hacer recorrer al líquido el mayor camino posible en zig-zag. Dentro de la cuba, hay un eje hueco rotativo, que está dotado de una serie de elementos lenticulares huecos y solidarios del eje, los que interiormente están también tabicados a fin de prolongar la marcha de los líquidos.

Estos aparatos son del dominio público y se encuentran descritos en la Patente chilena N.º 883 (1895) y en los artículos publicados en la revista "Caliche"—Volumen III (1921) página 280, Volumen IV (1922) página 467. Son intercambiadores—cristalizadores directos, en que actúan sólo dos líquidos, el líquido por cristalizar en la cuba y el líquido que enfría, en el sistema lenticular interior.

De modo que una corriente lenta de caldo, a la temperatura máxima de la lixiviación, entra en la cuba por un extremo y encuentra superficies metálicas frías, debidas al líquido frío que entra por el extremo opuesto y dentro del sistema lenticular interior y rotativo.

El enfriamiento se efectúa en varias etapas, teniendo cuidado que la caída de temperatura en cada aparato no pase de 10°, a fin de que la cristalización sea lenta, que los cristales no se adhieran a las paredes y que no se formen cristales pequeños, sino suficientemente grandes para que puedan estrujarse fácilmente por centrifugación.

El caldo o líquido saturado entra por la extremidad de la cuba, a la temperatura que proviene de la lixiviación, cercana a 45°, y se enfría en contracorriente, con agua vieja fría,

proveniente de la cristalización, bajando su temperatura a 20°; es enfriado hasta 2°, mediante una salmuera fría a—0° que proviene de la planta de frío artificial, salmuera que vuelve a enfriarse, a la temperatura de 3°.

Los cristales se forman en el seno de la capa líquida, que está siempre en movimiento y agitada aún por la rotación de los elementos lenticulares, de modo que el intercambio de temperatura es muy eficiente, y cae al fondo en una capa líquida más tranquila donde un transportador los arrastra fuera del cristizador.

Los cristales son estrujados mecánicamente en centrífugas apropiadas y ligeramente lavadas en la centrífuga para retirar el residuo de agua vieja.

Posiblemente después se sequen, aprovechando para secarlos, los gases calientes de las calderas de recuperación de los Diesel, que se escapan a temperaturas de 150°.

VII. Balance del nitrato de elaboración

Como ejemplo de trabajo, podemos dar el siguiente caso:

La elaboración 47 066 Kgrs. de caliche, con 13.76% de nitrato, en el producto seco, o sea 6,400 Kgrs. de nitrato de sodio puro, más 3,360 Kgrs., de finos con ley de 20.20% de nitrato, en el producto seco, o sea 670 Kgrs. de nitrato puro.

El nitrato de sodio puro entrado al sistema fué:

6,400 Kgrs., de nitrato del caliche medio.

670 Kgrs., de nitrato de finos.

7,170 Kgrs., en total.

Efectuado el ciclo de elaboración, se analizaron y pesaron los residuos y el producto fabricado, encontrándose las siguientes cifras:

Pérdidas	Nitrato puro
	Kgrs.
Ripios con 1.45% en el producto seco.....	530
Borras con 6.45% en el producto seco.....	185
Pérdida total....	715

Cantidad extraída en la lixiviación:

7 170—715 = 6 455 Kgrs.
o sea un rendimiento de 90%.

Los caldos obtenidos depositaron por cristalización 6 377 de salitre con ley de 99.6% en el producto seco, o sea 6 200 Kgrs. de nitrato puro, el rendimiento de la lixiviación y recuperación fué de 89.5%. Estas cifras no son calculadas, sino determinadas experimentalmente pesando y midiendo todos los elementos que entran en el balance.

Sucede a veces que se encuentra más salitre cristalizado colocado y a veces un poco menos; se deben estas anomalías, a la temperatura ambiente que sube o baja algunos grados.

En general, los rendimientos son superiores a las cifras citadas en el balance y llegan fácilmente a 95 y más por ciento.

Como se ha dicho en otra parte, el rendimiento puede llevarse al límite que se quiera, pues la lixiviación y la recuperación del nitrato se regulan a voluntad variando la concentración de las materias estabilizantes y variando la temperatura.

El nitrato de sodio, seco, tiene las siguientes leyes:

	1.º	2.º	3.º
Nitrato de sodio	99.5	97.5	97.8
Cloruro de sodio.....	0.25	1.3	0.33
Sulfato de sodio.....	1.19	0.49	1.9
Materias insolubles.....	no contienen		

La humedad tal como sale de la centrifugación es de 2.1% a 2.6%, pero es evidente que si se deja secar al aire seco o se seca artificialmente con gases calientes perdidos, esa humedad baja a 1.2% que es la humedad mínima del salitre, expuesto al aire.

Balance de agua

Las pérdidas de agua son reducidas si se las compara con el procedimiento actual; no hay pérdidas por ebullición, las pérdidas por evaporación están reducidas al mínimo, pues los líquidos tibios no se encuentran expuestos al aire, en estanques como las bateas, sino en estanques cerrados y calorifugados; las pérdidas por goteos son las corrientes.

La principal cantidad de agua que se extrae del sistema es llevada por los ripios, el porcentaje de humedad de los ripios depende de la calidad física del caliche y en especial del porcentaje de arcilla; debido a las influencias de las materias estabilizantes, los ripios se presentan porosos, granulados, sin coágulos; los ripios salen con un máximo de 20% de agua y un mínimo de 17%, en términos medios de 18.5%.

Las borras estrujadas al filtro, tienen respecto al ripio, un porcentaje un poco mayor, en término medio 1%. Las medidas directas hechas sobre el consumo de agua han sido de 1.3 m³, por tonelada de salitre producido.

Balance del calor

Hemos visto que por tonelada de salitre fabricado, se dispone de 500,000 calorías kilogramos para la lixiviación y la compensación de las pérdidas por evaporación, radiación y convección.

Para disolver un kilogramo de nitrato en agua es necesario gastar cierta cantidad de calor, que varía según la concentración del líquido en que el nitrato se disuelve. Según Thonsen, el calor de disolución en disoluciones diluídas es de 59.2 Cal. Kgr., Moissan 55, 2 Cal. Kgr., Thompson citado por le Prof. Donnan 35,7 Cal. Kgr. para disoluciones muy concentradas; sin exageración se puede suponer que 50 Cal. Kgr. es un número suficiente para las disoluciones de la concentración que se emplean en el procedimiento Guggenheim; de modo que el calor de disolución por tonelada de salitre será de 50,000 Cal.-Kgr. a los cuales agregaremos otras 50,000 Cal.-Kgr. para subir el calor termométrico de los líquidos a la temperatura de trabajo y para compensar las pérdidas de calor, quedando pues una cantidad de calor sobrante no despreciable. Debemos además recordar, que el sistema Guggenheim es un sistema cíclico o cerrado respecto a los líquidos, los que circulan en contracorriente entre intercambiadores de tempera-

turas, recuperando el calor latente de disolución, en forma de calor latente de cristalización y todos los calores termométricos, sean positivos o negativos. Es evidente, que en este ciclo se producen pérdidas y que las temperaturas positivas y negativas tienden a equilibrarse, pero dada la cantidad de calorías exteriores disponibles, se puede no solamente compensar las pérdidas, sino aún aumentar lentamente las temperaturas de los líquidos de lixiviación, has-

ta llegar a un máximo que será superior a 50°, es decir, hasta que se produzca el equilibrio con las pérdidas por radiación y convección, que como es sabido aumentan progresivamente más que el aumento de la temperatura.

A fin de ser pesimista, se puede suponer que las pérdidas de calor, en el ciclo puedan ser totales,—en la realidad no pasan del 20%—y aun habría calor suficiente exterior para compensarlas.



LA INDUSTRIA SALITRERA

Memorándum presentado por el señor I. B. Hobsbawn a la Misión Kemmerer.

Según la Asociación de Productores de Salitre la situación económica de la Industria es tal que se hace absolutamente necesaria una pronta reducción en el precio del salitre para asegurar el porvenir de la Industria Chilena en vista de la seria competencia que el nitrato está experimentando, competencia que se espera sea más severa todavía en el futuro inmediato. Los productores estiman que la reducción en el precio no debiera ser menor de 4/—por quintal métrico con el objeto de obtener los resultados benéficos necesarios, y como los productores no pueden soportar esta reducción sin la ayuda del Fisco, piden una reducción en el derecho de exportación de 2/— por quintal métrico.

El objeto del presente memorándum es el siguiente:

1.º—Demostrar que esta reducción no es necesaria, ni ahora ni en el futuro inmediato.

2.º—Que cuando se hagan necesarias reducciones en la escala de precios, éstas se pueden obtener por medio de la debida reorganización Técnica y Comercial de la Industria, que es la manera que estas reducciones se efectúan en todas las industrias del mundo.

Refiriéndome al primer punto puede asegurarse definitivamente que el consumo de salitre chileno no está disminuyendo a pesar del aumento en la fabricación de productos nitrogenados sintéticos; que no hay signos de que la producción de nitrógenos