

laminador de Las Tunas, de acuerdo con sus reservas de alrededor de 45 000 t.

BIBLIOGRAFIA

BARSKIY, L.A. and B.Z. KOSIN: *Sistemnyy analiz v obogasheniy polieznij tckopaemij M*, Nedra, 1978.
BURT, R.O.: "Development of the batles crossbelt concentrator for the gravity concentration of fines", Inst. Tras. Min. Proc. 2, 1975.

MITRAFANOV, L.A. y otros: *Investigación de la capacidad de enriquecimiento de los minerales*, Ed. Mir, Moscú, 1974.
KODRIGUEZ CARDONA, A.: "Prospección y exploración de la corteza de intemperismo sobre ultramafitas en Nicaro y Pinares de Mayarí", Trabajo de diploma, ISMM, Moa, 1990.
SARDUY CARDENAS, A.: "Beneficio de la corteza de intemperismo de la mina Casimbas, en Pinares de Mayarí", Trabajo de diploma, ISMM, Moa, 1991.

OBTENCION DE HEMIHDRATO A PARTIR DEL LICOR WL

Lic. Ana M. Rodríguez Sosa
Ing. Juan M. Labadié Suárez
Ing. Julio C. Mayo Aquiles

Instituto Superior Politécnico "José A. Echeverría", C. Habana

RESUMEN:

Se realiza el estudio de la obtención de hemihidrato $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ a partir del sólido residual del proceso de neutralización del licor WL con pulpa de sedimentos coralinos, para definir los parámetros de secado y calcinación del concentrado de sulfato de calcio obtenido. Se determinó que el yeso obtenido tiene propiedades superiores a los yesos que actualmente se obtienen en el país, siendo el empleo de los gases de la planta reformadora de hidrógeno como medio de calentamiento, una alternativa económica.

ABSTRACT:

It's done a study of obtaining hemihydrate $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ using the residual solid from neutralization process of waste licors with coralline sediments to define the parameters of drying and calcination of the obtained concentrate of calcium sulfate. The resulting plaster shows better properties; furthermore, the employment of the gases of hydrogen plant as a heating mean become an important economic option.

En una de las plantas niquelíferas de Moa se produce un residual líquido que recibe la denominación del licor WL. Esta corriente que fluye a razón de 1 200 m³/día transporta al mar una serie de cationes ligeros y pesados, fundamentalmente en forma de sulfatos, y grandes cantidades de ácido sulfúrico.

Por la acción extraordinariamente dañina que produce este vertimiento sobre la flora y la fauna marina, se han venido realizando intensos estudios con vistas a reducir su poder contaminante y recuperar los valores metálicos que la misma contiene. Uno de los procesos más prometedores diseñados con este fin, consiste en neutralizar en varias etapas este licor con pulpa de coral, que no es más que una suspensión de carbonato de calcio obtenida a partir de sedimentos coralinos.

Con el fin de evaluar económicamente el costo de la planta de tratamiento, independientemente del beneficio social que representa, se han realizado estudios relacionados con la recuperación de metales que precipitan en las diferentes etapas, así como la utilización en algunos procesos industriales de los sólidos obtenidos.

Entre los usos que pueden tener los mismos, se han propuesto: un agente coagulante en la potabilización del agua y el tratamiento de residuales, en el curtido de pieles, en la industria de la construcción, entre otros.

La WL es alimentada por una cascada de 4 reactores encaquetados que operan a una temperatura de 80 °C. Al alcanzarse el valor de pH deseado en el último reactor y después de haber logrado el estado estacionario, el licor tratado pasa a un sedimentador, luego el sedimentó es filtrado con ayuda de un filtro prensa. Este procedimiento es análogo para cada una de las etapas, diferenciándose éstas sólo por los valores de pH utilizados.

Los sólidos "C-I" y "I" son productos de la neutralización de la WL hasta valores de pH aproximadamente igual a 4,2, mientras que el sólido "O" es obtenido a un valor de pH de 3,5.

Las características de los sólidos "I" y "O-I" son prácticamente iguales, mientras que en estudios

realizados al sólido "O" se obtuvo un yeso de alta pureza.

A partir de esta experiencia y teniendo en cuenta que las características de los sólidos sólo difieren en que en los "I" y "O-I" está presente todo el aluminio que no precipitó en la etapa "O", de la mezcla de "O-I" y "I" es posible obtener un yeso de menor pureza que se ajuste a las normas vigentes para la utilización de este material en la construcción.

TRABAJO EXPERIMENTAL

El sólido obtenido fue caracterizado desde el punto de vista químico a partir de las siguientes determinaciones:

- % de calcio y aluminio.
- % de agua de constitución.
- Análisis Térmico Diferencial (ATD).
- Difracción de Rayos X (RX).

Antes de comenzar las corridas experimentales el sólido se somete a un proceso de preparación, para ello se tritura y tamiza por una malla de 0,35 mm después de ser secado en la estufa a 60 °C, durante 72 horas.

Con el objetivo de conocer el mecanismo de secado del sólido, se realizaron las pruebas correspondientes en el laboratorio de Transferencia de Masa del ISPJAE, utilizando como medio de secado aire caliente, trabajándose a una temperatura de aire constante de 105 °C, flujos de aire de 21,5 kg/h y 30,25 kg/h y velocidad del aire de 90 m³/min.

Para tener elementos que permitan definir qué tipo de secado es factible utilizar, se realizaron pruebas en un secador rotatorio y en un secador solar.

Para la obtención del hemihidrato se realizaron corridas en un reactor de acero inoxidable, el cual es colocado en una manta que se encuentra regulada por un termómetro de contacto; en el proceso de calentamiento el sólido es removido por un agitador, realizándose las corridas con 2 kg de material.

Para la realización de las corridas experimentales se aplicó un plan compuesto central rotatorio, to-



Nuestro tesoro natural puede llegar a ti

ELABORACION DE PIEDRAS SEMIPRECIOSAS

El ISMMM aporta piedras semipreciosas tales como: cuarzo (drusas y geodas), calcedonia de diferentes tonalidades (naranja, violeta, gris, etc.), jaspes (rojos, pardos) y ópalos de diferentes colores. El objetivo de este proyecto es realizar producciones de muestra pulidas con calidad de gemas para la industria artesanal turística nacional y extranjera; lo cual constituye una fuente de ingreso segura debido a la alta demanda en el creciente mercado del turismo y la gemología.

Por ejemplo, una muestra cuadrada de amatista de calidad media tiene un valor de 1,20 USD por quilate (un quilate = 0,2g). Una geoda de ágata pulida de calidad media vale 6,0 USD el kg. pudiéndose duplicar su valor en dependencia de su calidad. Mientras que una muestra de jaspe de buena calidad vale a partir de los 15 quilates (3 g) 0,3 USD/quilate. En el caso del ópalo, una muestra de calidad media entre 1 y 2 quilates tiene un valor de 8,0 USD.

La Facultad de Geología del ISMMM cuenta con un laboratorio de preparación de muestras y equipamiento para la caracterización de las propiedades ópticas y físico-mecánicas de las piedras y personal calificado para realizar la producción cooperada de artículos a partir de éstas. El centro para la elaboración cooperada de piedras semipreciosas brinda materia prima por un plazo no menor de 5 años, con producciones anuales en un rango de 0,5 a 5 ton en dependencia de las distintas variedades.

CORRESPONDENCIA
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa (ISMMM)
Facultad de Geología
Las Coloradas S/N
Moa 83330
Holguín

mando como variables independientes la temperatura y el tiempo de calcinación y como variables dependientes las propiedades físicas, la resistencia a la flexión, la resistencia a la compresión y el tiempo de fraguado. Los modelos fueron ajustados empleando el programa MICROSTA, evaluándose en todos los casos la calidad del ajuste, además posteriormente fueron optimizados empleando el paquete de programas UNID 1.

Al sólido se le determinó el ángulo de caída y para el hemihidrato en el valor óptimo, se realizaron pruebas de envejecimiento, distribución del tamaño de partículas y estudios de retardadores de fraguado, así como su influencia en las propiedades físicas.

Una vez determinados los parámetros óptimos, se aplicó la metodología de cálculo de un horno rotatorio para la calcinación del sólido reportada en el Perry's, empleando dos medios de calentamiento, aire previamente calentado y gases provenientes de la planta reformadora de hidrógeno, siendo el horno escogido en contracorriente y con calentamiento directo. Además aplicando el programa desarrollado por Figueroa para el diseño de secadores en contracorriente se obtuvieron las características del secador.

A partir de los datos obtenidos y teniendo en cuenta la información actualizada de plantas y equipamiento similar, se realiza un análisis económico de las alternativas, aplicando la metodología de la Dirección de Evaluación de Inversiones de JUCEPLAN.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el espectro de RX se confirma que la fase predominante en el sólido es yeso y que existe una banda de baja intensidad reportada como una sal doble de aluminio y de calcio que responde a la fórmula $[Ca Al (SO_4)_2] \cdot 12 H_2O$

En el derivatograma se observa una pérdida de peso a temperatura de 782 °C lo cual corresponde a la presencia de $CaCO_3$ en el sólido. Por otra parte se tiene que el aluminio en forma de oxihidróxido (ALOOH) reacciona con parte del $CaCO_3$ presente en medio ácido, formando la sal doble de calcio y aluminio antes mencionada, lo cual es confirmado en el ATD donde la pérdida de peso debido al agua de constitución es alta. Sobre la base de estos análisis y de los análisis químicos reportados en la Tabla 1 se reporta la composición oxídica de las diferentes fases componentes del sólido sin calcinar.

TABLA 1. Resultados de los análisis químicos realizados al sólido

Componente	% en peso
Ca	19,82
Al	5,75
H ₂ O	20,83
Fe	0,41
Zn	0,027
CaCO ₃	4,08
SO ₃	38,72

TABLA 2. Composición oxídica de las fases presentes en el sólido

	CaO	H ₂ O	Al ₂ O ₃	SO ₃	CO ₂	% total
CaSO ₄ · 2H ₂ O	24,57	15,8	-	35,11	-	75,48
ALOOH	-	1,55	9,21	-	-	10,76
[Ca Al (SO ₄) ₂] · 12H ₂ O	0,9	3,48	1,65	3,65	3,61	9,64
CaCO ₃	2,28	-	-	-	1,8	4,08
% total	27,75	20,83	10,86	38,72	1,8	99,96

La curva de secado de este material consta de un período de velocidad constante donde se elimina en su mayoría la humedad no ligada, en el período decreciente se puede apreciar un cambio de concavidad en la curva, lo cual es típico de materiales con porosidad capilar de estructura compleja, para los cuales el tramo superior de la curva corresponde a la eliminación de la humedad capilar.

Se pudo determinar que el contenido de humedad crítica se encuentra alrededor del 24 % en base seca y la humedad de equilibrio entre un 9 y un 13 %.

Con relación a los resultados del secador rotatorio se pudo comprobar que el sólido tiende a desboronarse, produciéndose gran cantidad de polvo, por lo que se requiere de un sistema de ciclones eficiente para recuperar el sólido, además para forzar el flujo de agente secante sería necesario tener en cuenta este aspecto.

TABLA 3. Resultados de la prueba en el secador solar

	Corrida 1	Corrida 2
Humedad inicial 1 % b.3.	32,5	32,5
bandeja 1	11,29	3,0
bandeja 2	11,67	5,03
bandeja 3	11,92	7,40
bandeja 4	11,92	10,47
Tiempo de exposición (h)	7	11

En la Tabla 3 se reportan los resultados de las pruebas de secado solar en bandejas, si bien la humedad del sólido decrece hasta valores promedios de 11,69 % (b.s) y 6,6 % (b.s) en 7 y 11 horas respectivamente, se requeriría de equipos de grandes dimensiones para secar el sólido previsto, por lo que si se dispone de una fuente residual de calentamiento resultaría más ventajosa esta alternativa.

TABLA 4. Resultados de los ensayos físicos al hemihidrato obtenido

t (min)	T °C	Rcomp (MPa)	Rflex (MPa)	Tiempo de fraguado		% conversión
				Inicial	Final	
250	155	1,95	7,57	9	15	105,7
50	155	1,84	6,27	7	12	86,36
250	125	2,16	7,11	6	9	96,9
50	125	1,79	6,18	8	11	89,65
150	140	2,09	6,39	6	11	94,68
150	140	1,83	6,16	6	10	93,78

TABLA 4. (continuación)

t (min)	T °C	Rcomp (MPa)	Rflex (MPa)	Tiempo de fraguado		% conversión
				Inicial	Final	
150	140	2,23	6,00	5	9	95,04
150	140	2,36	7,19	7	15	92,46
150	140	2,15	5,87	5	9	90,85
291	140	2,01	6,86	16	25	93,72
9	140	1,77	5,48	11	17	84,81
150	161	1,68	6,98	10	15	96,23
150	119	1,79	4,75	9	14	86,06

En esta Tabla se reportan los resultados de los ensayos físicos del hemihidrato, así como de la conversión a partir de la cual se ajustaron mediante el programa MICROSTA los modelos correspondientes en función de la temperatura y el tiempo de calcinación.

A partir de los resultados obtenidos se reportan los valores óptimos en la Tabla 5, de la cual se infiere que a temperatura de 145 °C se tiene un máximo en la resistencia a la flexión y a la compresión, mientras que el tiempo de fraguado se puede retardar utilizando aditivos sin llegar a valores de 160 °C. Por otra parte los valores de conversión oscilan entre 93-95 %, los que no están muy alejados del óptimo, por lo que se elige trabajar con temperatura de 145 °C y tiempo de 240 min en el proceso de calcinación.

TABLA 5. Valores óptimos obtenidos

Parámetro	Temperatura °C	Tiempo (min)	Función objetivo
R. flexión	142,5	-	1,789 MPa
R. compresión	149,3	240	6,27 MPa
T. fraguado	160	291	13,23 min
% conversión	161	291	99,99 %
Rflex* Rcomp*			
conv	161	291	15,95

Al comparar los resultados alcanzados con los reportados en NC 54330/85 se observa que el producto obtenido reúne buenas condiciones de resistencia mecánica, pudiendo tener amplio uso en la construcción, modelación y producción de tizas, entre otros.

Al estudiar cómo se afectaban las propiedades físicas del hemihidrato obtenido con el tiempo de almacenamiento, se observó que después de dos meses de conservarlo, la resistencia a la compresión fue de 6,02 MPa y la resistencia a la flexión de 1,83 MPa, valores que se en-

TABLA 8. Características del secador rotatorio

Masa de sólido a secar por día t/día	Longitud (m)	Diámetro (m)	Pendiente (m/m 10 ³)	Tiempo de residencia (h)	Costo (\$)	Medio de calentamiento
50	7,52	2,44	2,5	2,22	24 588,88	1
68	8,27	2,85	2,8	2,43	33 328,11	1
100	10,72	3,45	3,7	3,16	57 413,15	1
150	15,49	4,23	4,4	4,58	117 065,80	1
136	22,33	3,66	3,2	5,447	145 715,90	2

Medio de calentamiento
1. Gases de la planta reformadora de H₂
2. Aire caliente

cuentran dentro del rango de variación, no existiendo diferencias en los valores del tiempo de fraguado.

TABLA 6. Resultados de las pruebas de envejecimiento

Tiempo (días)	Rcomp (MPa)	Rflex (MPa)
3	6,552	1,839
7	6,635	1,969
14	10,625	2,160
30	10,940	2,818
60	13,795	2,963

En la Tabla 6 se reportan los resultados de las pruebas de envejecimiento realizadas en probetas conservadas en condiciones atmosféricas, apreciándose que la resistencia a la flexión y a la compresión se incrementan en el transcurso del tiempo. Se seleccionaron dos retardadores de fraguado: azúcar y bórax, en soluciones al 1 %.

TABLA 7. Influencia de las propiedades al utilizar retardadores de fraguado

Retardador	Fraguado Inicio (min)	R comp Final (min)	Rflex (MPa)
BORAX 1 %	10	18 5,802	1,813
AZUCAR 1 %	13	24 7,895	1,872

Las pruebas granulométricas realizadas al sólido, demostraron que el diámetro medio de partículas es de 110 mm, por lo que se aconseja tener en cuenta, entre el proceso de secado y el de calcinación, un proceso previo de trituración, ya que se recomienda que el diámetro de partículas debe ser menor de 90 mm.

Aplicando la metodología reportada en el Perry's se calcularon las características del horno para 150 t/día de hemihidrato producido, obteniéndose las siguientes características:

- Diámetro: 2 m
- Longitud: 2 m
- Angulo de caída del material: 12
- Angulo de inclinación del horno: 5,98

Una vez diseñado el horno de calcinación se realizó, aplicando el algoritmo desarrollado por Figueroa, el diseño del sistema de secado, utilizando los gases producto de la combustión de la planta de gases reformadores de hidrógeno y utilizando aire caliente, (Tabla 8), siendo las dimensiones de los equipos, menores en el primer caso, debido a los elevados valores de temperatura que tienen los gases residuales.

Para obtener un criterio sobre la efectividad económica del proceso, se realizó un análisis económico, tomando como base la metodología seguida por la JUCEPLAN y el costo actualizado del equipamiento.

El valor del hemihidrato fue calculado según las demandas del país en 1991 y tomando los tipos de yeso a los cuales este sólido puede sustituir y el precio en el mercado mundial de los mismos en ese año, siendo necesario señalar que el costo obtenido está sujeto a modificaciones, pues no tiene en cuenta la transportación de gases de recuperación hasta la planta de producción de hemihidrato, el sistema de ciclones y el de transportación del sólido.

En todos los casos el flujo de la recuperación de la inversión es pequeño, por lo que las alternativas estudiadas se consideran efectivas.

CONCLUSIONES

Se llegó a las siguientes conclusiones a partir de los resultados obtenidos:

1. La fase predominante en el sólido es yeso, con un 75,48 % de pureza y un tamaño de partícula promedio de 110 mm, lo que lo hace tener características similares a la de los yacimientos existentes en el país.
2. La humedad predominante en el sólido es la ligada, no siendo recomendable el empleo de secadores solares por la gran área que ocuparían éstos.
3. La temperatura y el tiempo de calcinación óptimos son de 145 y 240 min respectivamente.
4. El yeso obtenido por vía química puede sustituir al yeso natural como yeso de construcción, de modelar y para la producción de tizas, entre otros, aumentando la resistencia a la flexión y a la compresión con el tiempo de envejecimiento.
5. La solución de azúcar al 1 % puede utilizarse como retardador de fraguado, no afectando las restantes propiedades físicas.
6. En el diseño del calcinador se obtuvieron las siguientes dimensiones: longitud 8,03 m y diámetro 2 m.
7. En el diseño del secador se obtuvo que la variante más económica, es aquella que utiliza los gases de

recuperación de la planta reformadora de hidrógeno con dimensiones de 8,72 m de largo y 2,5 m de diámetro.

8. Los resultados obtenidos a escala de laboratorio deben ser complementados a escala ampliada para definir los parámetros de diseño de la planta, así como, la diversificación del uso del yeso en diferentes industrias.

BIBLIOGRAFIA

- APLEYARD, F.: "Gypsum and anhidrite", *Construction materials*, diciembre, 1992.
- ARREDONDO, F.: *El yeso*, 7ma edición, Madrid, 1972.
- BALIDO, Z.: "Obtención de hemihidrato a partir del sólido, producto de la neutralización del licor WL", Trabajo de diploma, 1991.
- BERNIZ, L.: *Secador solar multipropósito CNE*, 1990.
- COLLEJA, J.: "El yeso como constituyente de los conglomerantes hidráulicos", I Coloquio Internacional sobre Obras Públicas en los terrenos yesíferos Voliv, 1ra edición, España, 1984.
- CHANG, A.: *Hornos metalúrgicos*, ISMM, Moa, 1986.
- FIGUEROA, D.: "Diseños de secadores rotatorios en contracorriente vía computacional", Trabajo de diploma, 1982.
- GUERRA, J.: *Introducción al análisis estadístico de procesos*, 2da edición, Ed. Pueblo y Educación, 1987.
- HERO, A.: *Trabajo del yeso manual del fermentador*, Ed. 0550, Barcelona, 1954.
- PERRY, R.: *Chemical Engineers Handbook*, Ed. Revolucionaria, 1972.
- KERIV, D.: *Proceso de transferencia de calor*, Ed. Revolucionaria, La Habana, 1988.
- MORERA, V.: "Determinación de los parámetros óptimos de trabajo de la planta procesadora de yeso marino", Trabajo de diploma, 1989.
- NC-54-330/85: *Características de los yesos*.
- NC-054-017/85: *Determinación de la resistencia a la flexión y compresión en yeso*.
- NOVOL, L.: *El yeso en la construcción*, 4ta edición, Ed. CEAC, Barcelona, 1970.
- ORIZAMOVISKI, S.: *Aplicación y desarrollo del yeso*, La Habana, 1966.
- PAVLOV, K.: *Problemas y ejemplos para el curso de operaciones básicas y aparatos en la industria química*, Ed. Mir, 1976.
- TREYBOL, R.: *Operaciones con transferencia de masa*, Ed. Revolucionaria, 1985.



INVESTIGACION DE LOS PARAMETROS Y REGIMENES RACIONALES DE HIDROTRANSPORTE DE LAS PULPAS LATERITICAS APLICABLES A LAS CONDICIONES DE EXPLOTACION DE LA EMPRESA COMANDANTE PEDRO SOTO ALBA (2da PARTE)

Dr. Raúl Izquierdo Pupo
Dr. Rafael Pérez Barreto

Departamento de Eléctromecánica, Instituto Superior Minero Metalúrgico, Las Coloradas, 83320, Moa, Holguín

RESUMEN

Se exponen los resultados de investigaciones realizadas sobre hidrot transporte de la pulpa laterítica, con el objetivo de obtener los parámetros de diseño y explotación adecuados en la empresa Comandante Pedro Soto Alba. Se obtienen las expresiones de cálculo para las pérdidas hidráulicas en los regímenes estructural y turbulento en tuberías de dimensiones industriales y se plantea el algoritmo de cálculo de los parámetros de la instalación.

ABSTRACT:

The results of the investigation carried out about lateritic pulp hydrotransporting is exposed in order to obtain the adequated parameters of desing and exploitation in Pedro Soto Alba nickel plant. The mathematical expressions of hydraulic losses in the structural and turbulent regimes in industrial pipelines are obtained as well as the algorithm of calculus of the instalation parameters.

Las reservas de mineral laterítico del yacimiento Moa Occidental se agotará alrededor del

año 2000; el nuevo yacimiento que se planifica para explotación se encuentra a 65 m de la planta de espesadores donde se suministra la pulpa preparada.

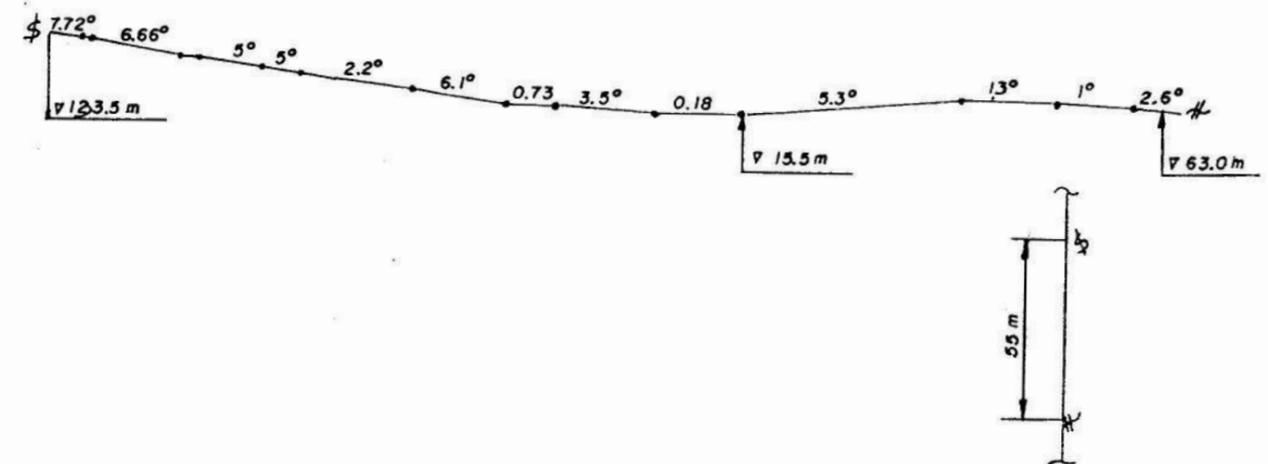


FIGURA 1. Esquema para el proyecto de hidrot transporte, Moa Oriental

En la Figura se muestra el esquema de la línea conductora para hidrot transportar el mineral procedente del nuevo yacimiento, donde se aprecia que después de un descenso hasta el nivel 15,5 m, la tubería

tiene que ascender hasta el nivel 63 m. De tal forma, el hidrot transporte por gravedad sólo es posible a presión, aprovechando la diferencia de nivel entre los puntos final e inicial.