

INVESTIGACIONES EXPERIMENTALES DE LOS PARAMETROS DEL TRANSPORTE DE SAL COMUN SUSPENSAS EN FLUJOS DE SALMUERAS SATURADAS

RESUMEN

El trabajo continúa la exposición de resultados de las investigaciones experimentales del acarreo de sal común suspensa en flujos de salmueras saturadas realizadas con el objeto de obtener los parámetros que permitan diseñar una instalación de transporte y su evaluación técnico-económica en condiciones de salinas cubanas.

En particular se aportan datos sobre las pérdidas de carga y la capacidad de transporte en función de la concentración de las hidromezclas formadas con sal de la salina "Frank País" de Caimanera y sus salmueras saturadas, obtenidas en tubos de 100 mm de diámetro y generalizadas para tubos de hasta 300-350 mm .

Al mismo tiempo se exponen los resultados de los ensayos primarios sobre la degradación de las partículas de sal al desplazarse suspensas en salmueras saturadas y se comparan con la experiencia existente en el hidrotransporte de otros materiales.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОТРАНСПОРТА
ПОВАРЕННОЙ СОЛИ ВЗВЕШЕННОЙ В ПОТОКАХ НАСЫЩЕННЫХ СОЛЕВЫХ
РАССОЛОВ

Резюме

Работа представляет собой продолжение экспериментальных исследований транспортировки поваренной соли, взвешенной в потоках насыщенных солевых рассолов, с целью получения параметров необходимых для проектирования транспортных установок и их технико-экономической оценки при добыче соли в условиях Кубы.

В частности предлагаются данные по потерям напора в зависимости от концентрации гидросмеси, составленной из соли солевой разработки Франк Паис в Кайманере и насыщенных рассолов, полученных в трубах диаметром 100 мм и обобщенных для трубопроводов до 300-350 мм.

В тоже время приводятся результаты предварительных испытаний деградации частиц соли при перемещении в потоках насыщенных рассолов и сравниваются с данными опыта гидротранспорта других материалов.

INVESTIGACIONES EXPERIMENTALES DE LOS PARAMETROS
DEL TRANSPORTE DE SAL COMUN SUSPENSA
EN FLUJOS DE SALMUERAS SATURADAS

Ing. Rafael Pérez Barreto
Candidato a Doctor en Ciencias Técnicas
Profesor Titular del ISMMMOA

La sal común, que se obtiene mediante la evaporación solar del agua de mar, constituye un producto nacional de gran demanda para la industria, así como para la alimentación de la población y del ganado y con perspectivas para convertirse en objeto de exportación.

La aplicación de la mecanización, llevada a cabo en los últimos años, ha permitido la variación de los parámetros tecnológicos para incrementar la productividad, así como humanizar el trabajo.

Uno de los elementos básicos del proceso tecnológico en la extracción salinera, lo constituye el acarreo. La introducción de un transporte continuo permite garantizar cualquier producción con alta productividad y bajos costos. A este tipo pertenece el transporte hidráulico, con perspectivas reales de aplicación, aún insuficientemente estudiadas y que se hacen más inmediatas en la medida que aumenta la producción y se incrementa la calidad y variedad del producto final mediante un proceso más completo.

Con el objeto de obtener los parámetros que permitan el diseño y construcción de una instalación industrial y su evaluación técnico-económica se llevaron a cabo un conjunto de investigaciones experimentales con sal común de las salinas "Frank País" de Caimanera y con las de Puerto Padre. Algunos resultados de estos ensayos, en particular las velocidades y pendientes críticas en función de la concentración de las hidromezclas se recogieron en [1].

En el presente trabajo que constituye una continuación del anteriormente señalado, se exponen los resultados relacionados con las pérdidas de carga y la capacidad de transportación en función de la concentración, obtenidos en tubos de 100 mm y garantizados para conductos de hasta 300-350 mm de diámetro, así como los resultados de los ensayos primarios sobre la degradación de las partículas de sal al desplazarse suspendas en salmueras saturadas y se comparan con las experiencias existentes en el hidrot transporte de otros materiales.

Las características granulométricas de la sal de las salinas "Frank País" se muestran en la Figura 1. La sal de Caimanera tiene un tamaño medio producto de 5,21 mm, mientras que la de Puerto Padre resultó más gruesa con un tamaño medio ponderado de 12,5 mm. El peso específico medio resultó ser de 1 830 kg/m³.

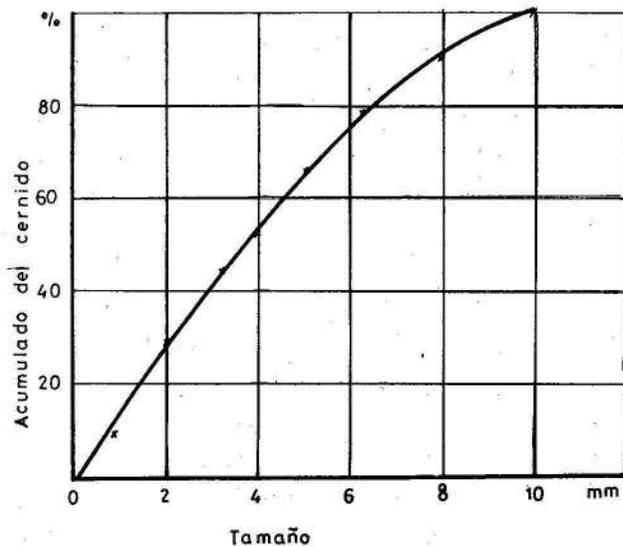


Fig. 1. Característica granulométrica de la sal de las salinas "Frank País".

Las pérdidas de carga longitudinales se determinaron en la instalación cuyo esquema se muestra en la Figura 2 y que ha sido descrita junto con la metodología de los ensayos en [1].

Para generalizar los resultados se tuvo en consideración que las pérdidas de carga en el desplazamiento de hidromezclas se pueden expresar en forma general de la siguiente manera:

$$i_m = i_o \frac{\rho_m}{\rho_o} + \Delta i \quad (1)$$

donde:

i_o - pérdidas específicas de carga para el agua en la tubería dada

ρ_m - densidad de la hidromezcla

ρ_o - densidad del agua

Δi - pérdidas complementarias relacionadas con la transportación de partículas sólidas.

Como es conocido i_o se expresa por la fórmula de Darcy:

$$i_o = \lambda_o \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (2)$$

donde:

λ_o - coeficiente de pérdidas longitudinales para el agua

L - longitud del conducto. Para las pérdidas específicas L = 1

D - diámetro del conducto

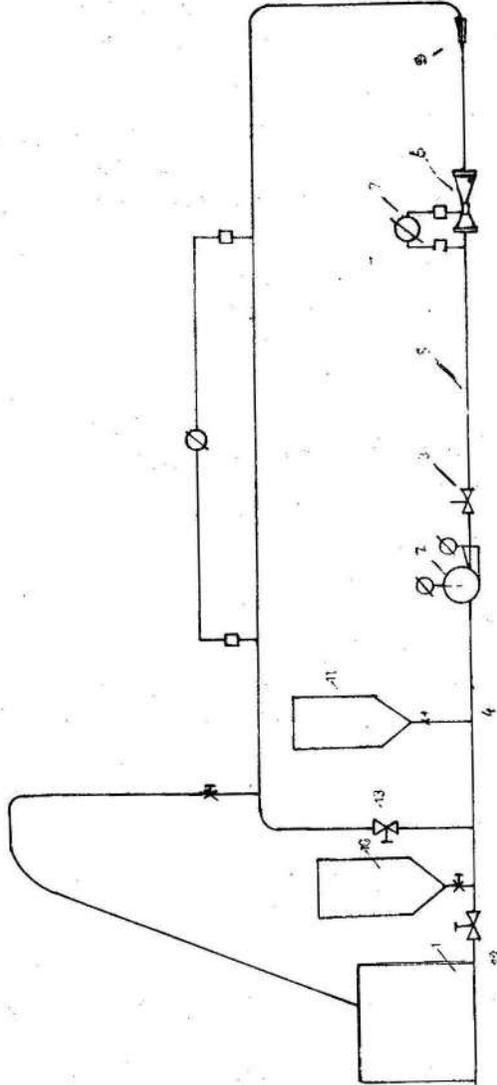


Fig. 2. Esquema de la instalación experimental de transporte hidráulico.

1. tanque; 2. bomba centrífuga; 3. válvula de regulación; 4. tubería de succión; 5. tubería de impulsión; 6. venturi; 7 y 8. manómetros diferenciales; 9. ventana de observación; 10 y 11. tolvas; 12 y 13. válvulas auxiliares.

v - velocidad media del flujo

g - aceleración gravitacional

De tal forma, las pérdidas de carga para el agua son inversamente proporcionales al diámetro de la tubería. Con respecto al segundo término de la parte derecha de la ecuación 1 se ha establecido que las pérdidas complementarias dependen de la densidad del líquido y de la hidromezcla, del peso del material sólido, de la homogeneidad de la mezcla, es decir, de la mayor o menor presencia de partículas de tamaños diferentes al de la clase dada y son proporcionales a la raíz cuadrada del diámetro de la tubería [2] y [3]. El tamaño de las partículas para materiales gruesos $d > 2$ mm prácticamente no influye en las pérdidas de carga y se puede despreciar [4]. Por último las pérdidas complementarias son inversamente proporcionales a la velocidad media del flujo. Si se mantienen constantes todos los parámetros con excepción del diámetro del conducto se puede escribir:

$$\Delta l = f(K, D)$$

donde:

K - coeficiente que toma en consideración todos los parámetros antes señalados con excepción del diámetro del conducto.

Para hallar la forma de la función $f(K, D)$ nos podemos basar en los datos de múltiples experimentos que demuestran que Δl es proporcional a la raíz cuadrada del diámetro, es decir:

$$\Delta l \sim \sqrt{D}$$

Por lo tanto se puede escribir:

$$\Delta l = K \sqrt{D}$$

El valor de λ_0 en la expresión 2 se determina por fórmulas bien conocidas y comprobadas en la hidráulica y dependen de la rugosidad del conducto y del régimen de flujo. A manera de control se hallaron los valores del coeficiente de fricción longitudinal λ_0 en función del número de Reynolds R_e en la tubería de 100 mm en la que se realizaron los ensayos. En la Figura 3 se muestra el gráfico $\lambda_0 = f(R_e)$ obtenido. Como los resultados demuestran, el conducto se comportó como un tubo liso. Es necesario señalar que con anterioridad a las pruebas con sal, por la tubería se había transportado arena y su acción abrasiva en las paredes del tubo eliminó prácticamente la rugosidad.

El valor del coeficiente K se toma de los datos experimentales obtenidos en el tubo de 100 mm de diámetro (curvas experimentales $\lambda = f(v)$). De tal forma es posible generalizar los resultados hasta diámetros de 300-350 mm, para el mismo material con que está constituido el conducto, si se toma en consideración que:

$$\Delta l_D = \Delta l_{100} \sqrt{\frac{D}{0,1}}$$

donde:

Δl_D - pérdidas de carga complementarias en tubos de diámetro D

Δl_{100} - pérdidas de carga complementarias obtenidas en tubos de 100 mm = 0,1 m .

En esta fórmula es necesario expresar el diámetro D en metros, ya que diámetro del tubo que se ensayó está expresado en metros.

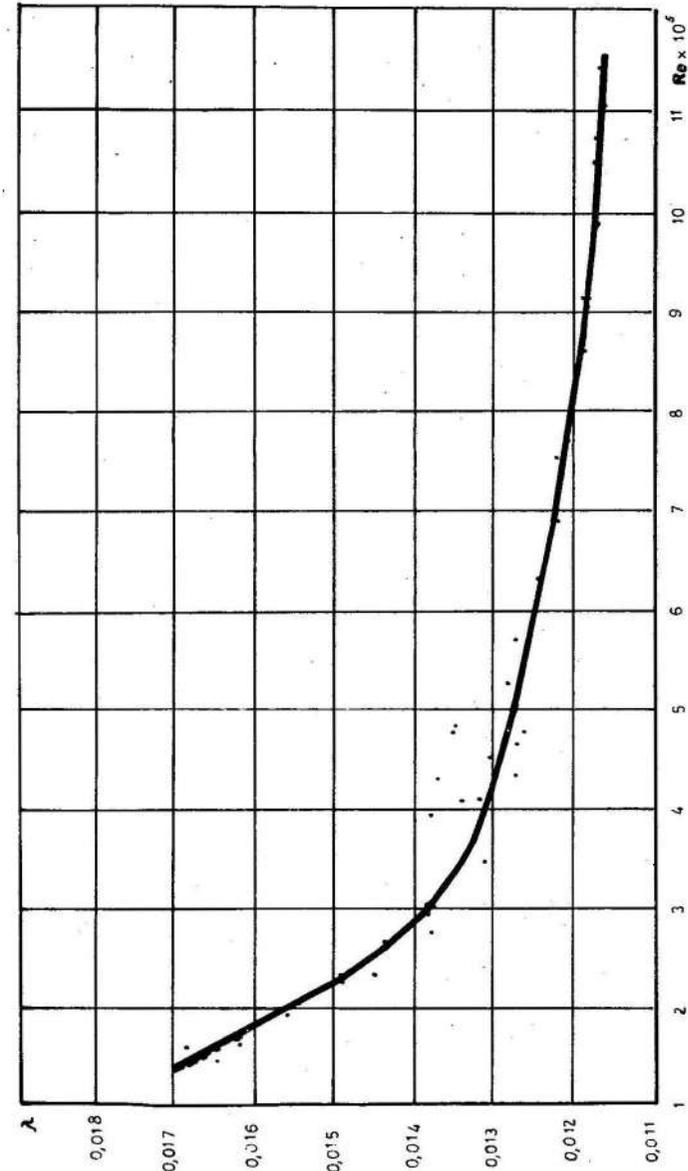


Fig. 3. Gráfico del coeficiente de pérdidas longitudinales en función del número de Reynolds para el agua en la instalación experimental D = 100 mm .

PERDIDAS ESPECIFICAS DE CARGA

Como en el caso de las velocidades críticas, los ensayos para determinar las pérdidas específicas de carga en tubos de 100 mm se realizaron con densidades de las hidromezclas de $1\ 000\ \text{kg/m}^3$ hasta $1\ 469\ \text{kg/m}^3$ lo que corresponde a concentraciones en peso desde cero hasta 59,38 %.

En las Figuras 4 y 5 se muestran las curvas de las pérdidas específicas de carga en función de la velocidad media del flujo trazadas por los puntos experimentales obtenidos para densidades de 1 000, 1 070, 1 144, 1 196, 1 260, 1 317, 1 355 y $1\ 469\ \text{kg/m}^3$.

La primera de estas densidades, $1\ 000\ \text{kg/m}^3$, corresponde al agua y se muestra en ambas figuras. Las densidades de 1 070 a $1\ 196\ \text{kg/m}^3$ corresponden a las salmueras; la última de ellas es saturada. Todas las demás densidades corresponden a hidromezclas sal-salmuera.

Es necesario señalar que en el desplazamiento de salmueras saturadas con densidad de $1\ 196\ \text{kg/m}^3$ se observaron partículas sólidas en suspensión. Las observaciones realizadas a través de la ventana de cristal mostraron un movimiento normal de las hidromezclas. Durante los experimentos, las partículas sólidas pasaron reiteradamente a través de la bomba, unas más que otras, debido a que el esquema de trabajo era un circuito cerrado. Esta situación puede haber influido en la degradación de las partículas y provoca cierta tendencia a la reducción de las pérdidas de carga. No obstante las curvas muestran el aumento de las pérdidas de carga con el incremento de la densidad como era de esperar, y en algunos casos mostraron en forma evidente el punto de inflexión que corresponde a la velocidad crítica.

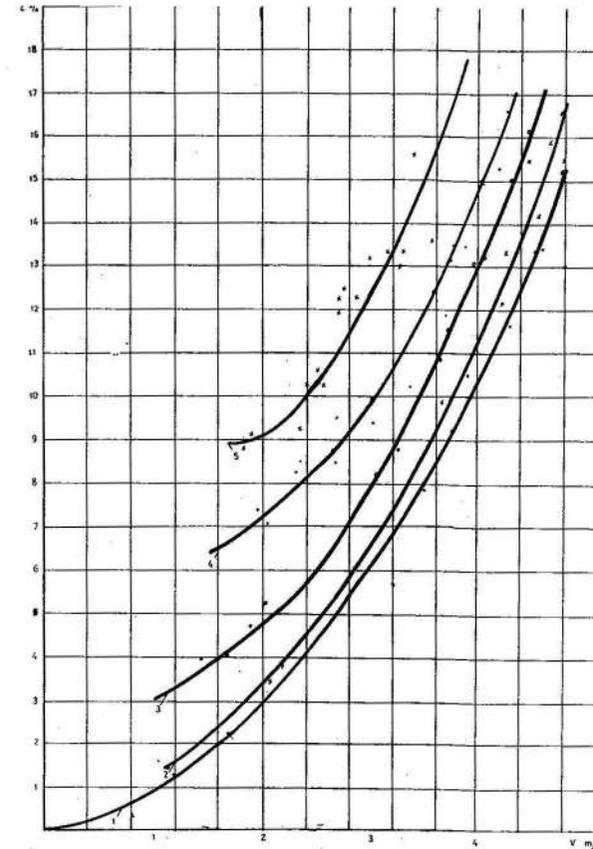


Fig. 4. Gráfico de las pérdidas de carga en función de la velocidad media del flujo de hidromezclas que contienen sal:

$\rho_{\text{sal}} = 1\ 830\ \text{kg/m}^3$; $d_{\text{media}} = 5,15\ \text{mm}$ en tubo con diámetro $D = 100\ \text{mm}$.

1. $\rho = 1\ 000$; 2. $\rho = 1\ 072$; 3. $\rho = 1\ 196$; 4. $\rho = 1\ 253$;
5. $\rho = 1\ 350\ \text{kg/m}^3$.

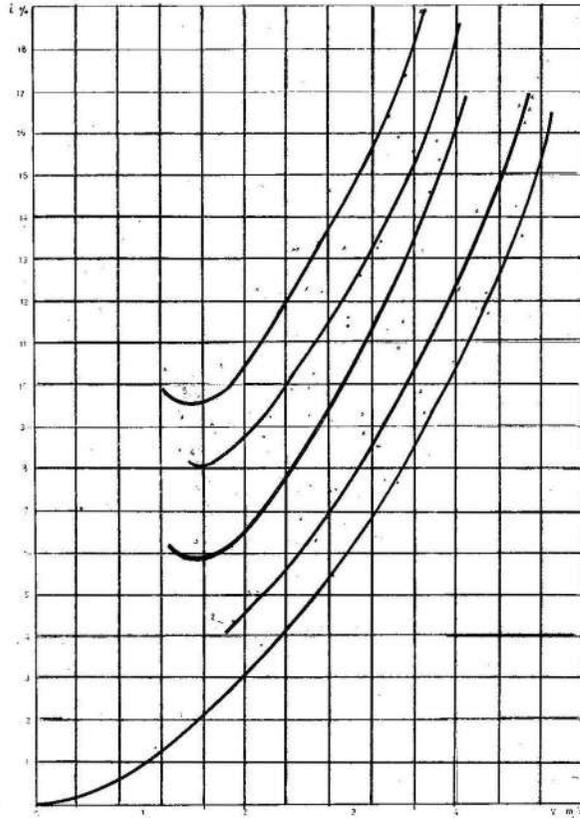


Fig. 5. Gráfico de las pérdidas de carga en función de la velocidad media del flujo de hidromezclas que contienen sal:

$\rho_{\text{sal}} = 1\,830 \text{ kg/m}^3$; $d_{\text{medio}} = 5,15 \text{ mm}$ en tubo con diámetro $D = 100 \text{ mm}$.

1. $\rho = 1\,000$; 2. $\rho = 1\,144$; 3. $\rho = 1\,260$; 4. $\rho = 1\,317$;
5. $\rho = 1\,469 \text{ kg/m}^3$.

Los resultados experimentales muestran pérdidas de carga satisfactoria para la aplicación del transporte hidráulico, permiten determinar mediante la generalización descrita anteriormente las pérdidas específicas de carga en tubos de hasta 300-350 mm de diámetro y a velocidades de hasta 4 m/s.

CAPACIDAD DE TRANSPORTACION

La capacidad de una instalación de transporte hidráulico depende de la concentración de la hidromezcla, la velocidad media del flujo y el diámetro del conducto.

Múltiples experimentos demuestran que las pérdidas de carga por tonelada de sólido que se desplaza en un flujo turbulento son menores cuanto mayor sea la concentración de la hidromezcla. Sin embargo, la concentración del sólido en la hidromezcla máxima alcanzable depende del tamaño de las partículas (tanto menor cuanto mayor sea este tamaño) y disminuye notablemente por las condiciones de succión de las bombas centrífugas; de tal manera que alcanzar altas concentraciones con materiales gruesos sólo es posible mejorando las condiciones de succión ya sea situando la bomba por debajo del nivel de la hidromezcla en el colector o alimentando el sólido en la conductora mediante alimentadores especiales que permiten aumentar considerablemente la concentración de la hidromezcla. En este último caso es necesario dosificar tanto el sólido como el líquido para evitar que se tupa la tubería.

La velocidad racional de transporte es la velocidad crítica a la cual corresponden las pérdidas mínimas de energía por tonelada de material transportado. Es recomendable que la velocidad del flujo sea ligeramente superior (10-20 %) a la velocidad crítica para evitar dificultades

provocadas por cualquier oscilación en el trabajo de la instalación.

El diámetro del conducto se elige por el método de variantes y en todos los casos deben ser tres veces mayores que la dimensión máxima de las partículas transportadas. En nuestro caso, todos los diámetros superiores a 100 mm cumplen esta condición.

En la Figura 6 se muestran los gráficos de la relación entre la productividad en toneladas de sal transportadas por hora a las velocidades críticas y el diámetro del conducto para las concentraciones de 36,4; 41,4; 46,4; 51,4 y 56,4 % en peso de sólido de los cuales el 26,4 % corresponde a la sal disuelta en la salmuera saturada, y el resto, 10, 15, 20, 25 y 30 % respectivamente a la sal neta transportada.

En el proyecto, como se dijo anteriormente, es recomendable utilizar velocidades en un 10-20 % superiores a la velocidad crítica, lo que aumentaría proporcionalmente la capacidad de transportación. Al mismo tiempo es recomendable proyectar (en cuanto a velocidades se refiere) para la concentración de 51,4 % (25 % neto) a la que corresponde la velocidad crítica máxima y con la cual cualquier variación de la concentración no disminuye la fiabilidad del trabajo de la instalación. Sin embargo, la capacidad de transportación real de la instalación debe calcularse a partir de la concentración real esperada y de la velocidad real del flujo.

DEGRADACION DE LA PARTICULAS

En el proceso de realización de los experimentos surgieron algunas dudas relacionadas con la posibilidad de cierta degradación de las partículas de sal que pudiera influir

en el proceso tecnológico. Estas dudas fueron provocadas por las observaciones visuales al concluir los ensayos que mostraron una mayoría predominante de partículas muy finas cuyo tamaño no fue posible determinar por causas no previstas en los experimentos. Sin embargo, durante los ensayos no se observó a través de la ventana de cristal una disminución sensible del tamaño de las partículas a pesar de que estas pasaron a través del rodete de trabajo de la bomba en múltiples ocasiones. Este hecho indujo la idea de que la disminución del tamaño de las partículas pudo haber sido provocado por la variación de la concentración de la hidromezcla al penetrar agua dulce en la instalación cuando concluyeron los ensayos. Pruebas posteriores mostraron que la degradación en un cilindro lleno a 2/3 de su capacidad es insignificante, por lo que se decidió hacer un análisis más detallado de esta cuestión.

La degradación de las partículas sólidas en el hidrot transporte ha sido mejor estudiada en el caso del carbón. Es conocido que la degradación de las partículas que tiene lugar en el proceso de transporte hidráulico del carbón dificulta el beneficio, especialmente el desecado, lo encarece y limita su aplicación. La disminución del tamaño de las partículas de carbón en hidromezclas transportadas, en principio, no se diferencia de la posible degradación de la sal suspensa en salmuera saturada. El carbón se degrada principalmente en los molinos, las bombas de pulpa y la tubería conductora. Los molinos constituyen un eslabón indispensable en los esquemas tecnológicos de transporte hidráulico para reducir el carbón a tamaños inferiores a 100 mm que es el tamaño máximo que permiten muchas bombas de pulpa actuales y que es posible transportar en diámetros menores de 300 mm .

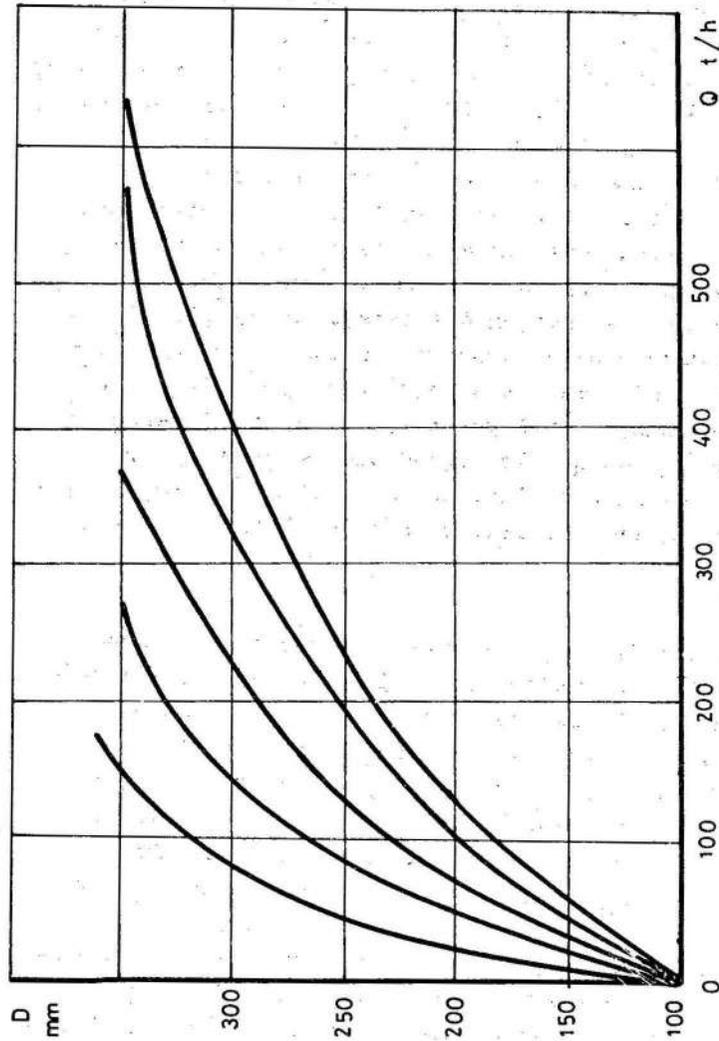


Fig. 6. Gráfico de la capacidad de transportación en función del diámetro del conducto para $v = v_{crit}$.

1. $C_p = 10\%$; 2. $C_p = 15\%$; 3. $C_p = 20\%$
4. $C_p = 25\%$; 5. $C_p = 30\%$

En nuestra industria salinera los tamaños superiores a 100 mm son muy raros y el esquema tecnológico no exige la utilización de molinos, con lo que se elimina la principal fuente de degradación de las partículas.

La degradación de las partículas en las bombas de pulpa se debe principalmente al desmenuzamiento mecánico, mientras que el desgaste abrasivo de las mismas, aparentemente, tiene una importancia secundaria. La intensidad de la degradación influye en el tiempo de uso de la bomba de tal forma que mientras más intenso es el proceso menor es el tiempo de uso de la misma. Por otra parte la magnitud del desmenuzamiento depende, en gran medida, de las velocidades del rodete a la salida y a la entrada del mismo, así como de ciertas características constructivas de la bomba de pulpa y del número de veces que el material pasa por los rodetes. Los primeros factores son tomados en consideración por los fabricantes que tienden a disminuir las velocidades periféricas, así como a eliminar los elementos que incrementan el desmenuzamiento. En el proyecto debe tenderse a utilizar velocidades de rotación de las bombas de pulpa entre 700 y 1 200 rpm y en último caso no mayor de 1 800 rpm. Con respecto al número de veces que el material atraviesa un rodete de trabajo, esto depende de la altura que es necesario desarrollar y que obliga, cuando es muy grande, a utilizar bombas en serie o menos frecuentemente bombas de múltiples rodetes. En estos casos, con el objeto de mantener una concentración uniforme de la pulpa, así como disminuir la degradación, se utilizan alimentadores especiales.

La intensidad de la degradación en una bomba de pulpa que mantiene constante sus parámetros de trabajo puede ser muy diferente debido a la variabilidad de las propiedades físico-mecánicas del material transportado; su tamaño, fragilidad, mayor o menor presencia de partículas finas,

es decir homogeneidad, etcétera. La intensidad de degradación es relativamente grande cuando las partículas son grandes y disminuye gradualmente a medida que disminuye el tamaño de las mismas. En la industria carbonífera se consideran clases pequeñas las inferiores a + 6 mm y muy finas las inferiores a + 0,063 mm. Son precisamente estas clases las que dificultan notablemente el proceso de beneficio. Sin embargo, estas clases son las que presentan la menor degradación en el proceso de transporte hidráulico.

Como muestra el análisis granulométrico de la sal de la salina "Frank País", la clase + 6 mm es el tamaño medio de las partículas y por lo tanto de ella debe esperarse la menor degradación. Por otra parte en el proceso de elaboración de la sal es común la utilización de centrífugas lo que no obliga a utilizar equipos, especialmente con el objeto de separar la sal de la salmuera.

Al mismo tiempo, el polvo clase - 0,2 mm que se forma puede utilizarse en la preparación de las salmueras indispensables para el transporte. Por último, es necesario señalar que existen bombas de pulpa con un solo rodete que pueden desarrollar alturas, trabajando con agua, hasta cerca de 100 mm de la columna de agua, lo que permite transportar horizontalmente grandes cantidades de pulpa formadas con sal y salmuera a distancias hasta de 1 km o más en función de la concentración, o bombas más pequeñas que desarrollan alturas de 40-80 m de la columna de agua y permiten transportar horizontalmente distancias hasta de 400-800 m o más en función de la concentración, en ambos casos manteniendo un rendimiento relativamente alto. En las hidrominas de carbón se utilizan ampliamente los tubos de 200-350 mm de diámetro que son precisamente los diámetros que conforme a su capacidad de transporte deben utilizar en las condiciones de nuestra industria salinera. La degradación en estos tubos tiene lugar por dife-

rentes causas: el desmenuzamiento mecánico de las partículas que chocan entre sí, con las paredes y con los salientes de las uniones de las tuberías; el desgaste al deslizarse por el fondo del conducto y el desprendimiento de los salientes de las partículas. La degradación principal tiene lugar por el desmenuzamiento de las partículas provocadas por el choque mientras que las otras causas tienen un carácter secundario.

Experimentos secundarios, específicamente con sal de la salina "Frank País" con partículas clase - 6,3 + 4 mm en un cilindro de porcelana con diámetro interno de 114 mm lleno a 2/3 con una mezcla de sal en salmuera saturada de 30 % en peso de sólido sin diluir y a una velocidad de rotación de 320 rpm, la que corresponde a una velocidad periférica de 1,14 m/s durante 14,6 minutos, tiempo necesario para recorrer aproximadamente 1 km a la velocidad mencionada, no mostraron la variación sensible del tamaño de las partículas. Estas mismas pruebas realizadas en un cilindro de cristal del mismo diámetro, lleno igualmente a 2/3 de su capacidad con salmuera saturada y sal sin diluir clase - 6,3 + 4 mm con concentración del 30 % mostraron que el movimiento en el cilindro a la velocidad de 320 rpm es bastante cercano al que puede tener lugar en el tubo cuando las partículas se mueven a la velocidad crítica. En las pruebas las partículas se elevaban junto con las paredes del cilindro y sin alcanzar la altura máxima caían chocando entre sí. Si se aumenta la velocidad, se elevaban más y algunas de ellas giraban completamente junto con la pared del cilindro. es decir, se centrifugaban, lo que elimina el choque y el desgaste de las partículas. Si se disminuía la velocidad las partículas se deslizaban por el tubo sin chocar violentamente produciéndose la fricción entre las mismas y las paredes del cilindro. En todos los casos la degradación observada fue insignificante.

Con el objeto de crear condiciones parecidas a la de automolienda se construyó un cilindro plástico de 100 mm de diámetro con paletas intermedias que al girar recogían la sal, la elevaban y la dejaban caer, produciéndose el choque de las partículas entre sí al descender de la altura máxima. Las pruebas se realizaron con una concentración del 30 %, a diferentes velocidades y con partículas - 6,3 + 4,0 mm sin que se notara degradación alguna en intervalos de tiempo entre 10 y 15 minutos.

Estos resultados ratifican la opinión conocida de que las partículas - 6 + 0 mm sufren la menor degradación en el proceso de transporte hidráulico y que si se toman las medidas adecuadas la degradación de la sal puede evitarse o reducirse al mínimo para aquellos procesos en los cuales sea indeseable. Esta conclusión es válida, por lo menos para la sal con las mismas propiedades físico-mecánicas de la salina "Frank País" utilizada en los experimentos.

Es conocido que la degradación de las partículas de carbón en los conductores se incrementa no sólo con el aumento del tamaño de las partículas, sino también con la velocidad de transportación, la distancia de transporte y la concentración de la hidromezcla. Al mismo tiempo se supone que el diámetro del conductor no influye en la magnitud de la degradación. Con el objeto de ilustrar la relación entre la degradación y la longitud de transportación, en la Figura 7 se muestra la curva de esta función, en la cual por el eje de las ordenadas se ha colocado la razón d_0/d_L donde d_0 designa el tamaño medio de las partículas antes de comenzar el transporte y d_L el tamaño medio de las partículas al recorrer la distancia L, y por el eje de las abscisas el logaritmo de la distancia $\lg L$. Estos resultados fueron obtenidos para antracita clase 6 - 13 mm de la hidromina YANOVSKY en Doniets, URSS, conforme [3].

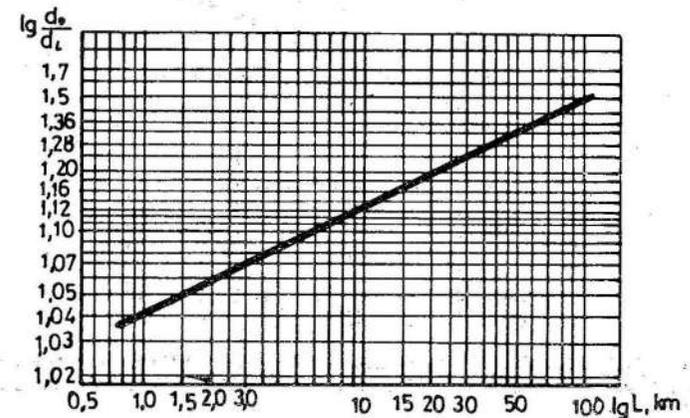


Fig. 7. Gráfico de la relación entre el tamaño de las partículas y la longitud de la transportación. Material: antracita, clase 6 - 13 mm. Según [3].

Por último, múltiples experimentos han demostrado que mientras mayor es la velocidad mayor es la degradación. A manera de ilustración, en la Figura 8 se muestran los resultados obtenidos conforme con [3] para carbón marca Γ de la composición granulométrica que se muestra en la Tabla 1. En estos experimentos las velocidades se tomaron entre 1,4 y 2 m/s.

En las pruebas realizadas con la sal de la salina "Frank País" se utilizó una concentración relativamente elevada del 30 % en peso sólido no disuelto. Las distancias aproximadas de transportación modeladas fueron alrededor de 1 km, mientras que las velocidades se mantuvieron relativamente bajas. Aunque su variación no aportó cambios notables es necesario señalar que estas pruebas se realizaron en un molino y no en la instalación de transporte.

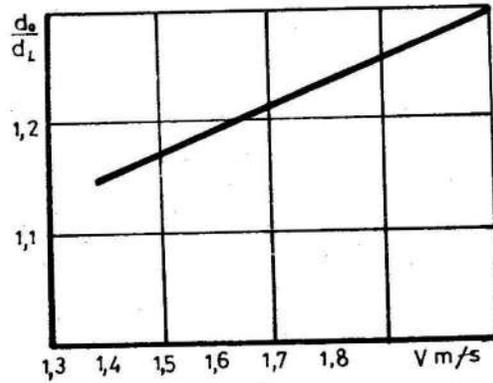


Fig. 8. Gráfico de la relación entre el grado de degradación y la velocidad de la hidromezcla. Material: carbón. Según [3].

CONCLUSIONES

En el trabajo se determinaron experimentalmente las pérdidas de carga en función de la concentración y de la velocidad media del flujo de hidromezclas, formadas con sal de la salina "Frank País" y salmueras saturadas, que se desplazan en tubos de 100 mm de diámetro. Las concentraciones alcanzaron hasta el 33 % en peso con partículas clase - 10 + 0 mm y con un peso específico de 1 830 kg/m³.

La generalización de los datos empíricos sobre la base de trabajos investigativos anteriores y de la experiencia acumulada permitió establecer las pérdidas de carga, la capacidad de transportación y la concentración de las hidromezclas indispensables para fundamentar, proyectar y evaluar una instalación de transporte hidráulico de sal con tubos de hasta 350 mm de diámetro y con productividades desde 5 hasta 620 toneladas por hora; intervalo que incluye las productividades actual y de los próximos años en las salinas cubanas y que abarca el campo de producción tanto global como de áreas parciales en las unidades salineras.

TABLA 1. Composición granulométrica del carbón investigado.

Clase mm	% en peso
- 50 + 25	21,78
- 25 + 13	21,63
- 13 + 6	14,55
- 6 + 3	18,75
- 3 + 1	12,28
- 1 + 0	11,01

La degradación de las partículas, que en el transporte hidráulico frecuentemente constituyen una seria limitante, es menos cuanto más pequeñas sean las mismas y los ensayos primarios demuestran que en el caso específico del transporte de sal clase - 12 + 0 mm con tamaño medio de 6,5 mm, suspensión en sus salmueras saturadas no alcanza valores de gran significación. Por otra parte la utilización de esquemas adecuados de transporte permite atenuar aún más este fenómeno en los casos en los que las exigencias tecnológicas la hagan indispensable.

Los resultados ratifican la posibilidad de aplicar el transporte hidráulico de sal con concentraciones hasta del 30 % en peso. Con esto, las pérdidas energéticas que constituyen el principal elemento de costo no superan las pérdidas del transporte hidráulico de materiales con características semejantes, cuya efectividad ha sido demostrada por muchos años de experiencia.

El trabajo aporta elementos indispensables para la fundamentación, proyección y evolución de las instalaciones de transporte hidráulico de sal. Los resultados aportan datos para la elección de los equipos adecuados y en particular para determinar los parámetros racionales del hidrot transporte de sal para las condiciones concretas de nuestras salinas.

REFERENCIAS

1. PEREZ BARRETO, R. y S. Maliuk: "Algunos resultados de las investigaciones de los parámetros del transporte de sal común suspensión en sus salmueras saturadas" en revista Minería y Geología, no. 2, ISMMMOa, 1983.

2. SMOLDYRYEV, A. E.: Transporte por tuberías. (Fundamentos del cálculo). Gostnauchtejizdat. Moscú, 1971 (en ruso).
3. SPIVAKOVSKIY, A. D. y otros: Transporte hidráulico y neumático en las empresas mineras. Gostnauchtejizdat. Moscú, 1962 (en ruso).
4. Transporte de materiales sólidos por tubos de acero: Traducción del inglés. Ed. Niedra, Moscú, 1966 (en ruso).