

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

XVIII CONGRESO CHILENO DE HIDRÁULICA

**CANALETAS EN LA MINERÍA CHILENA,
UNA ALTERNATIVA AL USO DE TUBERÍAS PARA EL TRANSPORTE
HIDRÁULICO DE SÓLIDOS.**

**FERNANDO CALLE GARDELLA¹
RAMÓN FUENTES AGUILAR²**

RESUMEN

El uso de canaletas para el transporte de sólidos en la gran industria minera de Chile, ha sido una práctica que se ha masificado en fuertemente desde la segundo mitad del siglo XX dados sus beneficios técnicos-económicos, especialmente para el transporte de relave desde las unidades de procesamiento a los tranques de disposición final.

Las magnitudes de las canaletas mineras chilenas son comparables con los grandes sistemas de transporte de pulpa mineral por tubería, como son los casos Black Mesa y Samarco. Hoy en día se transportan por canaletas cerca de 200 [MTon/año] de minerales en Chile, totalizando alrededor de 8 [m³/sec] como flujo de pulpa.

La conveniencia del uso de canaletas para el transporte hidráulico de sólidos, depende de las características particulares de cada requerimiento, asociado a variables del tipo producción, condiciones ambientales y factores técnicos-económicos.

El presente trabajo contiene una breve reseña histórica del uso de canaletas en la industria minera para el transporte de sólidos, la magnitud y nivel de desarrollo que ha alcanzado el uso de este tipo de obras en Chile y los principales factores que, a opinión de los autores, resultan ser relevantes de considerar en la toma de decisiones al momento de proyectar e implementar una obra civil de este tipo, versus un sistema a presión.

¹ Ingeniero Civil. JRI Ingeniería. fcalle@jri.cl

² Ingeniero Civil - Doctor en Física. JRI Ingeniería. rfuentes@jri.cl

1 INTRODUCCIÓN

Dadas las características geográficas en donde se desarrolla preferentemente la actividad minera en Chile, el uso de sistemas gravitacionales para el transporte hidráulico de sólidos ha tenido un importante impacto en dicha actividad.

Comúnmente, la ubicación de las instalaciones asociadas a la industria minera en Chile presenta un fuerte “gradiente geográfico”. Esquemáticamente, la Figura 1 muestra este gradiente.

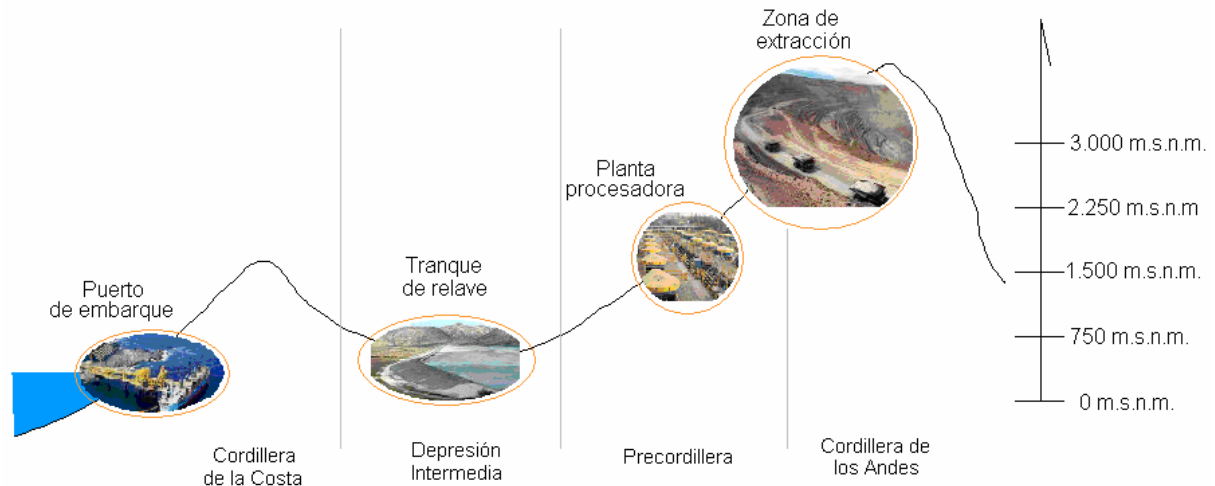


Figura 1 – Perfil del Relieve en la zona norte de Chile

Aprovechando este gradiente geográfico, se han instalado y operado numerosos sistemas hidráulicos de transporte de sólidos que operan gravitacionalmente.

Estos sistemas de transporte han sido implementados tanto a presión (tuberías) como a superficie libre (canaletas). La decisión de qué tipo de sistema de transporte utilizar está sujeto a la combinación de un conjunto de factores, tales como las características del fluido, magnitud del flujo de producción, longitud del sistema de transporte, gradiente gravitacional, características topográficas y condiciones ambientales, entre otros.

El uso de canaletas para el transporte de sólidos en la gran industria minera de Chile, ha sido una práctica que se ha masificado en fuertemente desde la segundo mitad del siglo XX dados sus beneficios técnicos-económicos.

2 BREVE HISTORIA

El uso de canaletas para el transporte de pulpa a superficie libre para la minería tiene su origen en la España, bajo el dominio del Imperio Romano hace cerca de 2.000 años (Rodríguez, 2004). El modo de operación fue similar al empleado por los españoles, cerca de 1.500 años después, en las minas de oro de Barbacoa, al NE de Quito (Ecuador): se encauzaban las aguas captadas hasta la parte alta del frente de la explotación y, desde allí, esta crecida artificial transformaba el macizo rocoso (plausiblemente fracturado y poco resistente) en un alud de piedras y lodo que se recogía en estanques, donde, con ayuda del agua, se iban

eliminando los barros en suspensión, quedando en el fondo los elementos más densos, entre ellos las pepitas de oro (CEHOPU, 1993).

En Europa, durante el siglo XVI, G. Agrícola escribió un libro llamado “De Re Metallica”, el que daba el estado del arte de los fundamentos técnicos de la minería de aquel entonces. Su libro ejerció una enorme influencia. En lo que se refiere a transporte hidráulico de pulpas de aquel entonces, abordaba los temas de canaletas cortas para lavado y separación de partículas (Figura 2).



Figura 2



Figura 3

En Estados Unidos, a partir de los descubrimientos de oro en California a mediados del siglo XIX se requirió desarrollar técnicas de transporte hidráulico de variadas formas, empleando por ejemplo canaletas para transportar sedimentos auríferos (Wilson, 1980) (Figura 3).

Plausiblemente la primera gran canaleta para el transporte hidráulico de sólidos a superficie libre corresponde a la construida por Braden Copper Company. Esta canaleta tenía como objetivo transportar los relaves producidos por la mina El Teniente (actual División de Codelco-Chile) hasta los tranques de disposición final Cauquenes y Coligües (Fuentes, 2004). Esta canaleta fue construida en madera y requirió aproximadamente 100 obreros, entre carpinteros, mecánicos y patrulleros, para su inspección y mantenimiento. La canaleta fue operada continuamente desde 1936 hasta 1960. La extensión de la conducción alcanzó los 65 Km., señalada como la más larga canaleta de pulpas en el mundo en 1986 (Faddick).

La Figura 4 muestra la sección transversal de esta canaleta.

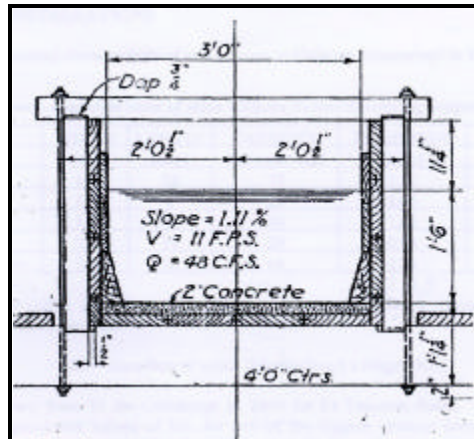


Figura 4

En Chile, el uso de canaletas para el transporte de sólidos es ya una práctica consolidada en la industria minera, especialmente para el transporte de relave desde las unidades de procesamiento a los tranques de disposición final. Hoy en día se transportan por canaletas cerca de 200 [MTon/año] de minerales en Chile, totalizando cerca de 8 [m³/sec] como flujo de pulpa.

3 GRANDES CANALETAS CHILENAS

Las magnitudes de estas conducciones son comparables con los grandes sistemas de transporte de pulpa mineral en el mundo. Para describir gruesamente la magnitud de los sistemas de transporte de pulpa se ha creado el parámetro ML (producto entre el flujo de sólidos y la longitud de la conducción). Los valores de ML de más importantes faenas mineras en Chile que utilizan canaletas de relave para la conducción de relave de cobre son presentados en la Tabla 1.

Nombre	Ancho	Longitud	Flujo de Sólidos	Caudal	ML	Año de Servicio
	[m]	[Km]	[MTon/año]	[m ³ /s]	[]	[]
Codelco Norte	Trapezial	16	66	2,31	1.056	1952
Salvador	Trapezial	20	10	0,50	200	1959
El Teniente	1,4	84	35	1,52	2.940	1983
Collahuasi	1,0	3	25	1,02	75	1998
Quillayes	1,2	9	44	1,66	396	1999
Andina	0,8	87	24	0,91	2.088	1999

Tabla 1 Valores ML para grandes sistemas de transporte de sólidos por canaletas en Chile

Los valores ML para las canaletas presentadas varían desde 75 en Collahuasi a 2.940 para el Teniente.

Dos de los más grandes sistemas de transporte de sólidos por tubería corresponden a Black Mesa (USA) y Samarco (Brasil) (Wasp et al, Marrero) Los valores ML para estas conducciones son presentados en la Tabla 2.

Nombre	Producto Mineral Asociado	ML
--------	---------------------------	----

Black Mesa	Carbón	2.400
Samarco	Concentrado de Hierro	4.752

Tabla 2. Valores ML para grandes sistemas de transporte de sólidos por tuberías

Por lo tanto, la magnitud de las canaletas de pulpas construidas en Chile es comparable con los mayores sistemas de transporte en tuberías.

4 TRANSPORTE HIDRÁULICO GRAVITACIONAL DE SÓLIDOS: CANALETA V/S TUBERÍA

Los principios físicos que determinan el transporte hidráulico gravitacional de sólidos a presión y a superficie libre son los mismos. Sin embargo, el hecho que el primer tipo de sistema confine totalmente el fluido a transportar, mientras que el segundo se encuentra siempre conectado a la atmósfera, genera diferencias relevantes en su comportamiento global. Las diferencias existentes entre ambos sistemas hidráulicos han sido ampliamente abordadas por la literatura técnica (Domiguez, Ven Te Chow).

La conveniencia del uso de un tipo de sistema de transporte, versus el otro, dependerá de las características particulares de cada requerimiento, estando asociado a factores tales como: (1) producción (ritmo de producción, concentración de sólidos en la suspensión, granulometría, etc.), (2) ambientales (topografía, condiciones climáticas, impacto a otras actividades, etc.) y (3) técnicos-económicos (constructibilidad, servicio y suministro, operabilidad, mantención, etc.)

Tabla 3

Factor	Transporte por Canaletas	Transporte por Tuberías
Perfil topográfico longitudinal	Debe ser monótonamente decreciente. Sólo en casos excepcionales pueden aceptarse pendientes adversas y en tramos cortos.	Sólo se requiere que la pendiente media sea decreciente.
Variación de la velocidad	La velocidad de escurrimiento es menos sensible al cambio de caudal. ($V \propto Q^k; k < 1$)	La velocidad del flujo es proporcional al caudal. ($V \propto Q^k; k = 1$)
Restricciones Operacionales	Capacidad máxima de transporte estará dada por velocidades y alturas máximas admisibles.	Capacidad máxima de transporte estará dada por velocidades y presiones máximas admisibles.
Inspección y Mantención	Inspección, detección, reparación y otros problemas son más fáciles de efectuar.	Inspección y mantención es más difícil efectuar generalmente.
Disipación de exceso de energía	Obras hidráulicas requeridas suelen tener grandes dimensiones y pueden ser complicadas de operar	Técnicas de disipación de energía son fáciles de implementar y operar.
Flexibilidad a cambios operacionales	Cambios operacionales están restringidos a factores constructivos (elevación de paredes, etc.), máxima velocidad admisible e inestabilidades	Cambios operacionales están restringidos a la máxima velocidad y presión admisible. Frente a requerimientos de energía adicional

	en el flujo (formación de ondas superficiales).	pueden ser utilizados equipos de bombeo.
--	---	--

Es posible establecer un extenso paralelo entre ventajas y desventajas de utilizar uno u otro sistema de transporte. La Tabla 3 presenta en forma resumida los factores que, a opinión de los autores, resultan ser los más relevantes en la ingeniería del transporte hidráulico gravitacional de sólidos en la minería.

5 CONCLUSIONES

Durante el siglo XX, este sistema de transporte se masificó en Chile, construyéndose canaletas de magnitudes comparables a los más grandes sistemas de transporte de sólidos a presión en el mundo.

El uso de cualquier sistema de transporte hidráulico de sólidos está determinado por factores de producción, ambientales y técnico-económicos. La conjunción de estos tres factores en la aplicación industrial de la ingeniería de transporte hidráulico determina el tipo de transporte más conveniente de utilizar, ya sea a superficie libre o a presión.

Las características geográficas en donde se desarrolló la industria minera y la magnitud de la producción de la gran minería del cobre han hecho atractivo el uso de sistemas de transporte hidráulico de sólidos a superficie libre, preferentemente canaletas.

La decisión final pasará finalmente por una comparación técnica-económica que justifique la implementación de un determinado sistema de transporte hidráulico.

6 BIBLIOGRAFÍA

Agricola, G.: "De Re Metallica", traducido al inglés por H.C. y L.H. Hoover, Ed. Dover, New York, 1950.

CEHOPU (Centro de Estudios Históricos de Obras Públicas y Urbanismo): "Obras Hidráulicas en América Colonial", Madrid, España, 1993.

Chow, V.T.: "Open-Channel Hydraulics", Ed. McGraw-Hill, 1959.

Dominguez, F.J.: "Hidráulica", 4ta edición, Universitaria Editorial, Santiago de Chile, 1974.

Faddick, R.R.: "Slurry flume design", Hydrotransport 10 (10th International Conference on Slurry Handling and Pipeline Transport), Innsbruck, Austria, pp. 143-148 (1986).

Fuentes, R.: "Slurry flumes in Chile", Keynote Address, 16th International Conference on Hydrotransport, Santiago, Chile, April 2004.

Marrero, T.R.: "Freight pipelines: a survey", Keynote Address, 16th International Conference on Hydrotransport, Santiago, Chile, April 2004.

Rodríguez, R.M.: "Ingeniería Minera Romana". Elementos de Ingeniería Romana. Congreso Europeo "Las Obras Públicas Romana". Tarragona, pp.157-189. Noviembre 2004.

State Water Project - History.htm, Department of Water Resources, State of California, USA.

Wasp, E.J., Kenny, J.P. and Gandhi, R.L.: "Solid-Liquid Flow Slurry Pipeline Transportation", Trans Tech Publications, First Edition (1977).

Wilson, K.C.: "Analysis of slurry flows with a free surface", Hydrotransport 7 (7th International Conference on the Hydraulic Transport of Solids in Pipes), Sendai, Japan, pp.123- 132, November 1980.