

Transporte hidráulico de concentrados de residuos industriales en Huelva

Miguel Ortiz Mateo. Ingeniero Técnico de Minas, Ingeniero de Minas y Doctor Ingeniero por la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de la Universidad Politécnica de Madrid. Funcionario del Cuerpo Superior Facultativo de la Junta de Andalucía y Profesor Asociado de la Escuela Superior de Ingeniería de Huelva

El autor en este artículo pretende dar a conocer de una manera didáctica la técnica de transporte hidráulico de concentrados de residuos industriales, pero sin ningún interés en abrir un debate en relación a un tema tan sensible y polémico, ya que de él no depende autorizar proyectos ni aprobar declaraciones de impacto ambiental. Se estudian diversas soluciones a este problema medioambiental y de seguridad, siendo la solución más adecuada llevarlos a una mina abandonada. Tomada esta decisión se analizan diversos medios de transporte, llegándose a la conclusión de que el único sostenible ambiental y económicamente es por tubería. El agua de retorno a la marisma se aprovecharía para traer concentrados de mineral a la fundición de cobre y al puerto de Huelva. También se han determinado los diámetros de las tuberías, sus espesores y la potencia de las bombas (ida y retorno).





Foto nº 1 – Vista aérea de los fosfoyesos. Fuente: Mesa de la Ría

En la marisma de la Ría del Tinto hay acumuladas 120 millones de toneladas de fosfoyesos depositadas en balsas que ocupan una superficie de 1.200 Has., generadas como residuo de la producción de ácido fosfórico durante más de 40 años de actividad de dos empresas del Polo Químico de Huelva (Foto nº 1).

Estos 120 M tm de fosfoyesos son una fuente de contaminación de los acuíferos subterráneos, debido a las aguas de lluvia que percolan por el subsuelo. También contaminan las aguas de la Ría del Tinto, como consecuencia de las mareas y la interfase agua dulce-agua salada, y en la superficie los vientos hacen inevitable el arrastre de polvo.

Vamos a demostrar en las líneas que siguen que existe una solución medioambiental y económicamente sostenible.

¿QUÉ HACER CON LOS FOSFOYESOS?

Tenemos varias alternativas a esta pregunta:

1º. Cargarlos en barcos para verterlos en alta mar.

Esta opción ya la utilizó anteriormente otra empresa del Polo Químico para deshacerse de sus residuos. Trasladaríamos el problema al medio marino, no siendo el mar una cloaca donde verter residuos; la sociedad tampoco aceptaría esta solución. Por tanto, descartamos esta «solución».

2º. Verterlos a la ría.

Ya se hizo no hace muchos años por las dos empresas que los generaron. No sería lógico volver a hacerlo, ni la sociedad lo aceptaría.

3°. Cubrir los fosfoyesos con una capa de tierra vegetal.

Con esta opción la superficie aparecería con un aspecto deslumbrante, pero el problema seguiría pues las aguas de lluvia percolarían por su superficie así como el agua de las mareas, produciéndose los fenómenos contaminantes ya mencionados, además la erosión haría que de nuevo aflorasen los fosfoyesos. Por lo que también la descartamos.

4°. Dejar los fosfoyesos como están para ir retirándolos conforme haya demanda.

Según indica en una entrevista (ABC de Sevilla de 30/11/2015) el catedrático de la Universidad de Sevilla Dr. D. Antonio Delgado García, se han recuperado para la agricultura 40.000 has. de las 100.000 posibles, de las marismas del Guadalquivir gracias a la desalinización que desde los años 70 del siglo pasado se viene realizando con el uso de fosfoyesos, el fosfoyeso es una fuente de calcio efectiva para desplazar el exceso de sodio que tenían los suelos, además tiene la ventaja de ahorrar el abonado con fósforo de los terrenos. Los agricultores aplicaron 25 tm/ha cada dos o tres años hasta el año 2005, lo que no quita que esporádicamente se lo sigan llevando, esto hace un total de fosfoyesos retirados de 14 M tm equivalentes a 5,93 M m³.

Dado que su utilización en la construcción es nula (por el rechazo social existente) y al no existir la posibilidad de seguir regenerando la marisma del Guadalquivir para su uso agrícola, por ser el resto humedales protegidos, descartamos también esta alternativa.

5°. Llevar los fosfoyesos a un hueco en la superficie mayor de 50,9 M m³.

Esta solución sí es viable, pues en la provincia de Huelva existen explotaciones mineras a cielo abierto abandonadas, como Filón Norte o Sierra Bullones en Tharsis, la corta de la mina La Zarza en el t.m. de Calañas, Corta Atalaya en t.m. de Riotinto. De estas minas abandonadas la única con capacidad suficiente es Corta Atalaya (>217 M m³), una vez puesto en evidencia los

beneficios que reporta su utilización como depósito: seguridad, que ahora no tiene la zona de ocupación de los fosfoyesos, y recuperación de 1200 Has. de alto valor ecológico, y seguridad de la Corta al evitar con los depósitos (los cuales generan presión interior en las paredes) que sigan apareciendo grietas perimetrales, motivo por el cual la Corta no es visitable, por lo que no reporta ningún beneficio económico a la zona, lo que sí sucede por ejemplo con el museo y el tren minero (Foto nº 2).

Elegida esta opción, ¿cuál sería el medio de transporte que sea económica y ambientalmente sostenible?

JUSTIFICACIÓN DEL MEDIO DE TRANSPORTE PARA 20 AÑOS

Vamos a demostrar que el transporte de los fosfoyesos por otro medio diferente a la tubería es inviable.

Por ferrocarril:

El transporte por ferrocarril es muy complejo en su operación, pues tenemos que tener en la zona de fosfoyesos palas cargadoras, en la estación cercana a las balsas, varias tolvas para almacenamiento y carga de los vagones de tren, y además una flota de camiones llevando fosfoyesos a la estación.

En la estación cercana a Corta Atalaya debemos tener tolvas de recepción y camiones para llevar los fosfoyesos a la propia Corta.

Al estar desmantelado el ferrocarril, habría que reconstruirlo, comprar locomotoras y vagones de descarga por su parte inferior o de vuelco, en cantidad suficiente para transportar 6 M tm/año, equivalente a 16.667 tm/día.

Necesitaríamos un equipo de mantenimiento para toda la red, infraestructuras, locomotoras y vagones.

Todo ello hace que sea muy costosa su implantación y operación, aconsejando la lógica desechar esta opción.

Por carretera:

Mediante camiones bañera de 28 tm de capacidad, tenemos que transportar 6 M tm/año





Foto nº 2 – Corta Atalaya. Fuente: Archivo Fundación Riotinto

durante 20 años, lo que supone 595 camiones/día durante los 365 días del año, que colapsaría cualquier carretera, por tanto este medio de transporte no es viable.

Para transportar 16.667 tm/día de fosfoyesos con camiones de 28 tm necesitamos dar 595 viajes de ida, lo que hace 1.190 viajes/día entre ida y vuelta, recorriendo en cada viaje 74 km, que hacen 642.838.000 km. Que para este tipo de camiones con un consumo de 38 litros de gasoil cada 100 km suponen 244.278.440 litros de consumo en 20 años.

Además, para el consumo de 38 l/100km, las emisiones de CO₂ son de 998,4 g/km y por tanto en 20 años se emitirían 641.809 tm CO₂.

Por cinta transportadora:

Transportar los fosfoyesos mediante cintas transportadoras también presentaría grandes dificultades dada la distancia, topografía, meteorología, material húmedo que se pega a la banda de goma, a los rodillos y tambores ocasionando innumerables averías, etc. Ocasiona impacto visual y sonoro.

Por tubería:

El mineroducto realizaría el recorrido Marismas del Tinto a Corta Atalaya llevando la hidromezcla (agua-fosfoyesos) y otra tubería traería de nuevo el agua a la Marisma, reponiéndose la correspondiente pérdida de agua que se produce por evaporación. Pero este retorno del agua

lo podemos aprovechar para traer los concentrados de Cu, Pb-Zn o Cu-Pb-Zn que produzcan las minas, Aguas Teñidas, Magdalena, Río Tinto, Sotiel, etc.

Con esta solución el mineroducto sería económicamente sostenible, y también lo sería medioambientalmente pues **la tubería va enterrada a un metro de profundidad.**

Coste del mineroducto:

El pasado 21/03/2015 apareció en la prensa nacional la noticia de la compra, por parte de la Compañía Logística de Hidrocarburos (CLH) en el Reino Unido, de una red de oleoductos de 2000 km y 16 instalaciones de almacenamiento, con más de un millón de metros cúbicos, por un importe de 113 millones de euros, que corresponde a un coste por kilómetro de 56.500€/km.

Cifra que vamos a extrapolar al mineroducto redondeándola a 60.000 €/km, valor que se supone superior al real, pues un oleoducto incorpora muchas medidas de seguridad que en el mineroducto no son necesarias (el oleoducto transporta gasolina, gasoil y keroseno, que son altamente inflamables). Esto hace que el coste de construcción del mineroducto sea de 9 M € (ida y vuelta).

EXPLOTACIÓN DEL MINERODUCTO MARISMAS DEL RÍO TINTO – RIOTINTO (CORTA ATALAYA) – MARISMAS DEL RÍO TINTO

Para la explotación del mineroducto puede haber diversas fórmulas, vamos a comentar una de ellas, sin que esto implique que no deban estudiarse otras opciones.

Formación de una sociedad anónima para su explotación, constituida con el capital de las empresas relacionadas con la minería, metalurgia y fabricación de ácido fosfórico. Los ingresos de esta sociedad procederían del trasiego de productos, concentrados, por la tubería. El problema que se plantea es quién pagaría el trasiego de los fosfoyesos por la tubería, ¿quiénes lo generaron? Van a alegar que con soterrarlos es suficiente, como se ha he-



cho en Florida, pero allí no tienen la suerte de tener minas abandonadas próximas, donde los residuos quedarían confinados en condiciones de total seguridad, posiblemente solo se les podría exigir el transporte del volumen de fosfoyesos que sobrepasaron lo autorizado en la concesión administrativa originaria. Por tanto, para el resto del volumen acumulado tendrían que pagar su transporte la comunidad Autónoma, el Estado, la C.E. o entre todos, en este caso deberían participar en el capital social de la empresa explotadora del mineroducto y financiar en todo o en parte con los beneficios el citado transporte.





El mineroducto tiene las ventajas de:

- No colapsar la carretera.
- Ahorro de combustible fósil, gasoil, de 244,3 M m³.
- Evitamos las emisiones de 641.809 tm de CO₂ a la atmósfera (efecto invernadero).
- Sostenible medioambientalmente.
- Sostenible económicamente.

Diseño del mineroducto:

Se van a transportar 120 M tm de fosfoyesos desde las Marismas de la Ría del Tinto, Huelva, a una mina a cielo abierto abandonada, Corta

Atalaya, Riotinto. Este transporte tendrá una duración de 20 años.

Datos:

a. Material.

- › Tipo: Fosfoyesos.
- › Peso específico: 2.360 kg/m³.
- › Tamaño de las partículas:
- › Maya Tyler 200: 0,074 mm.
- › pH = 3,7.

b. Necesidades de transporte.

- › Capacidad: 120 M tm/20 años=6M tm/año.
- › Operación: 350 días/año; 24 h/día.
- › Averías y mantenimiento: 15 días.

c. Características del trazado.

- › Distancia total a la mina abandonada: 74 km.
- › Altura estación origen: 0 m.s.n.m. (marismas).
- › Altura estación final: 416 m.s.n.m. (mina abandonada).

Otros datos:

- › Temperatura media de operación: 15,5 °C = 60 °F (tubería enterrada a 1 m de profundidad).
- › Presión residual: 4 kg f/cm².
- › Rendimiento de las bombas: 0,80.
- › Rendimiento eléctrico: 0,96.
- › Módulo de elasticidad de la tubería (acero al carbono): $E = 2,1 \cdot 10^{10}$ kg f/m².
- › Módulo de elasticidad volumétrico del agua: $E_B = 20877 \cdot 10^4$ kg f/m².

La hidromezcla la vamos a realizar al 50% en peso de fosfoyeso y agua, que hace que el peso específico de la misma sea de 1,41 tmf/m³.

Una vez que llega el fluido a la mina pasa a las balsas decantadoras, recuperándose el agua que vuelve a la marisma para iniciar de nuevo el proceso. Para que el caudal de agua sea el calculado, tenemos que añadirle el equivalente al agua evaporada en los tanques de decantación.

Pero para el agua de retorno a la marisma de la Ría del Tinto existe una mejor solución que transportar solo agua: ¿por qué no llevar con este agua el concentrado de cobre de las minas de la zona (Aguas Teñidas, Magdalena, Sotiel, Riotinto, etc) al puerto de Huelva, o a la fundición de cobre existente en la Ría del Odiel?

Transporte del concentrado de cobre desde Riotinto al puerto y fundición de cobre en Huelva

- Material a transportar: Concentrado de cobre.
 - › Granulometría: 0,018 mm.
 - › Densidad concentrado seco: 4,1 t/m³.
 - › Composición: Cu = 31%; Fe = 26%; S = 32%; Residuos = 11%.

Vamos a transportar 2 M tm de concentrado de cobre, siendo en este caso la concentración en peso de 25% de concentrado, 75% de agua, lo que hace que el P_e sea de 1,23 tmf/m³, la velocidad de transporte será de 1,5 m/s, en realidad la tubería será un poliducto, pues por ella transportaremos concentrados de Cu, Pb-Zn o Cu-Pb-Zn, para ello aumentaremos la potencia de las bombas un 25%.

Resultados obtenidos para el transporte

- Línea de transporte de los fosfoyesos:
 - › Capacidad de transporte: 6 M tm/año.
 - › Capacidad de la tubería: 13.912 m³.
 - › Caudal de la hidromezcla: 1015 m³/h.
 - › Velocidad de transporte: 1,5 m/s.
 - › Tubería de acero al carbono conforme a API-5LX-56
 - › Diámetro: 489 mm.
 - › Espesor: 14 mm.
 - › Diámetro exterior: 517 mm.
 - › Presión de descarga de la estación de bombeo: 116,46 kgf/cm².
 - › Número de estaciones de bombeo: 1.
 - › Número de bombas en la estación: 2 bombas centrífugas.
 - › Potencia en la estación:
- Línea de retorno transportando concentrado de cobre, plomo-zinc o cobre-plomo-zinc:
 - › Capacidad de transporte: 2 M tm/año.
 - › Capacidad de la tubería: 10.582 m³.
 - › Caudal de la hidromezcla: 774 m³/h.
 - › Velocidad: 1,5 m/s.
 - › Tubería API 5L Grado A.
 - › Diámetro: 427 mm.
 - › Espesor: 4 mm.
 - › Diámetro exterior: 435 mm.
 - › Presión de descarga de la estación de bombeo: 6,85 kgf/cm².
 - › Número de estaciones de bombeo: 1.
 - › Número de bombas en la estación: 1 bomba centrífuga.
 - › Potencia de la estación:



Pero para el agua de retorno a la marisma de la Ría del Tinto existe una mejor solución que transportar solo agua: ¿por qué no llevar con este agua el concentrado de cobre de las minas de la zona al puerto de Huelva, o a la fundición de cobre existente en la Ría del Odiel?

CONCLUSIONES

Se ha demostrado que existe una solución para el problema medioambiental y de seguridad de los fosfoyesos que es económicamente sostenible, puesto que se amortiza con el retorno del agua de Corta Atalaya a la marisma, que se aprovecharía para traer los concentrados de Cobre, Plomo-Zinc o Cobre-Plomo-Zinc de las minas de la provincia.

Además tiene las siguientes ventajas respecto a los medios convencionales y autónomos de transporte:

1. Escaso consumo de energía.
2. Trazado sensiblemente recto, por tanto menores distancias de transporte.
3. Indiferencia a la meteorología.
4. Movimiento de grandes cantidades de producto.
5. Operación con poco personal.
6. Explotación continua durante 24 horas.
7. Evita la congestión del tráfico por carretera y vía férrea.
8. Carencia de peso muerto, al ser simultáneamente vehículo y vía.
9. Reduce emisiones de CO₂ respecto al transporte por otros medios.
10. Menor sensibilidad a la inflación comparado con otros sistemas.
11. Provoca un impacto ambiental mucho menor (ruidos, polvo, ocupación de terrenos, etc.).
12. Alta disponibilidad, sencillez y automatización.
13. Gran economicidad con el factor de escala – capacidad y distancias. ■

BIBLIOGRAFÍA

ANÓNIMO: «Hydraulic Transport for Minerals». *Mining Magazine*. April, 1972.

ANÓNIMO: «Ficha Técnica, Fosfoyesos, diciembre de 2010».

CABRERA, V.R.: «Slurry Pipeline: Theory, Design and Equipment». Part I and II. *World Mining*. January-March, 1979.

CHARLES, M.E. and VOCADLO, J.J.: «Transportation of Slurries», *CIM Bulletin*. October, 1972.

CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR. DIRECCIÓN TÉCNICA DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA: «Informe para el Defensor del Pueblo, 12 de julio de 2007».

GONZALO Y TARÍN, J.: «Descripción Física, Geológica y Minera de la provincial de Huelva». Imprenta y Fundición de Manuel Tello, Madrid. 1886.

HUSBAND, W.H.W.Ed.: «Slurry Pipeline Manual-Design and Construction». Saskatchewan Research Council. Canada. 1986.

KOCSANYI, L.: «Hydraulic Transport of Solids». *International Mining*. December, 1986.

LÓPEZ JIMENO et al: «Manual de Aranque, Carga y Transporte en Minería a Cielo Abierto». Instituto Tecnológico Geominero de España, Madrid. 1995.

McELVAIN. R.E.: «Selection of Slurry Pumps for Severe Applications». *Mining Engineering*. December, 1976.

RODRÍGUEZ ALONSO, J.M.: «Técnicas de Oleoductos». Compañía Logística de Hidrocarburos, Madrid. 2012.

WARREN SPRING LABORATORY: «Transporting Solids by Pipelines». TSP.

WASP E.J.: «Progress with Coal Slurry Pipelines». *Mining Congress journal*. April, 1976.

WILSON, G.: «Selecting Centrifugal Slurry Pumps to Resist Abrasive Slurries». *CIM Bulletin*. May, 1973.