

## Uso del oxígeno líquido como explosivo en la minería de Pachuca, 1921-1925

Javier Ortega Morel\*<sup>1</sup> y Patricia E. Aceves Pastrana<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Ciencias Sociales y Humanidades. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Tel: +01-771-71 720 00 ext. 5226. ortegaj@uaeh.edu.mx

<sup>2</sup> Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco. Calzada del Hueso 1100, Col. Villa Quietud, México 04960, D. F.

**Resumen.** Después de la crisis de abastecimientos ocurrida por la Revolución Mexicana (1910-1920) y la Primera Guerra Mundial (1914-1918), La *Compañía De Real del Monte y Pachuca* intentó producir oxígeno líquido para utilizarlo como explosivo, y dejar de depender de la dinamita adquirida a proveedores. Se buscaba tener mayor seguridad debido a que el oxígeno se volatilizaba después de un cierto tiempo, perdiendo su capacidad explosiva. En esta contribución se revisa la instalación y operación de la planta, y la forma de preparar los cartuchos que utilizaban hollín como medio absorbente. Este último fue obtenido por un proveedor local. El empleo de oxígeno líquido como explosivo fue exitoso, pero fue abandonado ante el auge económico de la empresa, la regularización de suministros y cierta incompreensión de los dirigentes y del personal.

**Palabras clave:** oxígeno líquido, minería, explosivo, Pachuca.

**Abstract.** After the supply crisis produced by the Mexican Revolution (1910-1920) and the First World War (1914-1918), *Real del Monte and Pachuca Company* attempted to produce liquid oxygen for use as an explosive, and stop the use of dynamite bought from suppliers. They were looking for having a greater security because oxygen was able to volatilize after a certain time, losing its explosive ability. This contribution reviews the installation and operation of the plant, and the procedures to prepare cartridges using soot as absorbent. This absorbent was provided by a local supplier. The use of liquid oxygen as an explosive was successful, but it was abandoned due to the economic rise of the company, the regularization of supplies and some misunderstandings of the leaders and staff.

**Keywords:** liquid oxygen, mining explosive, Pachuca.

### Introducción

La acción de separar el mineral de su matriz rocosa requiere de un esfuerzo considerable. Desde la antigüedad se vio la necesidad de utilizar herramientas que ayudaban a conseguir quebrar el material y obtener los trozos más valiosos. Las herramientas de hierro fueron tomando formas específicas: picos, barretas, cuñas y otras que permitían hacer el arranque de una manera más fácil. También se definieron herramientas especiales para recogerlo: las palas.

La aparición de la dinamita (nitroglicerina en tierra de diatomeas) a partir de los trabajos de Alfredo Nobel (1833-1896) en 1866, permitió contar con un explosivo mucho más poderoso que la pólvora (nitrato de potasio, carbono y azufre) y a la vez facilitó de manera notable el manejo del explosivo. Para encender ese explosivo se requería de un detonador, consistente en una cápsula o fulminante con un compuesto como el fulminato de mercurio, el cual se introducía en uno de los cartuchos y se encendía por una mecha convencional. La electricidad también aportó la posibilidad de encendido de los explosivos, en 1875 se reportó lo siguiente sobre este sistema:

[...] Con este fin existe en el exterior de la mina o en cualquier punto del interior, una pequeña máquina eléctrica [...] La inflamación no es directa sino que se verifica por el intermedio de un fulminante con su cubierta metálica; el cual se encuentra en contacto con las extremidades de dos alambres muy delgados de cobre, que se prolongan fuera del capul.

Nosotros tuvimos ocasión de observar en Acosta un disparo, perfectamente simultáneo con el acto de oprimir el botón de la pequeña máquina, no obstante que la electricidad tuvo que recorrer un espacio de dos kilómetros [1].

En 1901 se organizó en el estado de Durango, México, la Compañía Mexicana de Explosivos, que fabricó dinamita a partir de 1906 para abastecer el mercado nacional. Esta empresa dispuso de una posición de control de la importación, fabricación y distribución de explosivos en el país [2]. A fines de 1906 la compañía *Real del Monte y Pachuca* había colocado pedidos para explosivos a esa compañía [3]. Pese a que los precios que ofrecía eran inferiores a los explosivos importados y la calidad era comparable, las empresas mineras trataron de evitar a ese proveedor alegando una posición monopólica. Debido al trastorno provocado por la Revolución, se suspendió desde julio de 1913 la producción regular, y se mantuvo ésta de manera esporádica cuando había peticiones del mercado y posibilidades de abastecimiento [4]. En el reporte del Boletín Minero de noviembre de 1916 se menciona al respecto:

*Ya para cerrar esta información recibo la noticia que se van a reanudar los trabajos de la fábrica [de dinamita] dentro de pocos días, pues los jefes actuales han recibido instrucciones para atender pedidos de importancia que hacen las negociaciones mineras de Real del Monte, Estado de Hidalgo y El Oro, Estado de México. Estos pedidos proporcionarán trabajos para un período de dos meses aproximadamente [5].*

Un gran problema de la dinamita eran los accidentes que se producían durante el movimiento del explosivo. En 1921 ocurrió el peor de ellos al chocar en el interior de la mina de Rosario un tren que conducía dinamita. El saldo fue de varios muertos y causó una gran conmoción [6]. La empresa debía mantener polvorines bajo fuerte vigilancia para evitar robos y también enfrentar sustracciones a pequeña escala de explosivos por parte de trabajadores quienes lo vendían en el mercado

negro, siendo muy demandados por los “metaleros” o ladrones de metales.

### La experiencia del oxígeno líquido

El proceso comercial y la maquinaria para la obtención de aire líquido fueron desarrolladas por Carl von Linde (1842-1934) en 1895. Linde propuso el empleo de explosivos a partir de sus desarrollos denominándolos comercialmente “oxiliquit” y se emplearon por primera vez en la construcción del túnel alpino del Simplón (entre Suiza e Italia) en 1899. La separación del oxígeno y del nitrógeno la consiguió el mismo investigador en 1902. Durante la Primera Guerra Mundial y ante la escasez de explosivos convencionales ocupados en el esfuerzo bélico, en Alemania se desarrolló el uso de oxígeno líquido como sustituto a la dinamita en minería y otras aplicaciones.

En 1921 la Compañía de Real del Monte y Pachuca se abocó a una serie de proyectos de racionalización, entre los cuales estaba la producción y uso de oxígeno líquido como explosivo. Los encargados de poner en práctica la idea fueron dos altos empleados. En Pachuca el impulsor del proyecto fue Michael H. Kuryla quien había llegado como asesor metalurgista [7]. En Estados Unidos el responsable fue el jefe de ingenieros del consorcio Galen H. Clevenger. La correspondencia entre ellos y la publicación de los resultados de la experiencia, permiten enterarnos del desarrollo de su labor. La puesta a punto del uso del oxígeno líquido como explosivo por la empresa la colocó como la primera en utilizarlo fuera de Europa, lo que implicó atender cuatro aspectos principales: la producción del oxígeno líquido, el transporte del oxígeno líquido a las minas y frentes de trabajo, la preparación de los cartuchos explosivos y el ensayo del oxígeno líquido como explosivo y su comparación con la dinamita.

El primer punto se consiguió a partir de una planta productora de oxígeno líquido adquirida a través del representante de la firma alemana Linde en la Ciudad de México. Aunque se desconoce el precio, se sabe que terminó de instalarse en agosto de 1921 en un paraje despoblado; que ocupó una construcción de madera y lámina de una planta de  $13 \times 7.5$  metros de superficie, próximo a las minas de Paraíso y Santa Ana; y que inició de inmediato su producción [8]. Debe señalarse que se tenía conciencia del riesgo que implicaba la producción del oxígeno como lo corrobora, la correspondencia entre Clevenger y Kuryla, donde se comentan varios accidentes ocurridos en diversos sitios donde se producía o trabajaba con aire u oxígeno líquido:

*Ha estado en mi pensamiento que los fabricantes de explosivos pudieran irse contra nosotros utilizando los argumentos [de los accidentes] en contra del uso de explosivos de oxígeno líquido. Conforme previamente especifiqué, no hay absolutamente nada que nos indique que pudiéramos estar haciendo en Pachuca algo que pudiera causar un desastre. Yo creo que nosotros debemos entender desde el principio que **aceite y grasa deben estar escrupulosamente excluidos de los compresores y otros equipos accesorios utilizados en la producción del oxígeno líquido** [9].*

Pese a los riesgos, la producción fue el aspecto que menos problema presentó, ya que bastaba un operador y un ayudante por turno para la operación del equipo.

A continuación se comenta de manera breve el proceso que se aplicaba en la planta. La primera fase se realizaba en un separador de dióxido de carbono que conseguía su función haciendo pasar el aire libre a través de una circulación de una solución de potasa cáustica. Unos bloques de coque servían como elemento inerte para exponer al aire a la acción de la potasa. Para compensar la elevación del sitio sobre el nivel del mar, se disponía de un compresor previo que entregaba el aire a una presión de  $0.42 \text{ kg/cm}^2$ . Enseguida se realizaba una compresión en cuatro etapas hasta alcanzar los  $190 \text{ kg/cm}^2$ . Separadores de humedad y aceite en varios puntos del proceso retiraban parte de esos contaminantes. Después se realizaban enfriamientos sucesivos por la circulación a contra flujo de los productos que se obtenían y finalmente por un refrigerador de amoniaco. Una batería de secadores por potasa cáustica permitía separar restos de vapor de agua, humedad, aceite y otras impurezas. Esta etapa era crítica ya que el aceite o grasa presente podrían ocasionar una explosión; las condiciones eran una temperatura de  $-12^\circ\text{C}$  y una presión de  $178 \text{ kg/cm}^2$ . La licuefacción y rectificación de los gases se conseguía en una torre grande con varios intercambiadores de calor, la clave del proceso era una expansión a presión baja de unos  $0.5 \text{ kg/cm}^2$ , la cual producía el enfriamiento final a  $-195.5^\circ\text{C}$  que permitía alcanzar las condiciones necesarias para pasar los gases al estado líquido. Figura 1.

El nitrógeno con diferente punto de crítico se separaba, y se aprovechaba para enfriar a contracorriente el aire, finalmente se descargaba a la atmósfera. Por su parte, el oxígeno líquido salía de la columna rectificadora directamente a los recipientes termo para su distribución [10]. La planta producía 25 litros de oxígeno líquido por hora, siendo el rendimiento un poco menor al esperado, debido a algunos detalles menores de la instalación que debían ponerse a punto. En el último tercio de 1921 se había iniciado la operación con un turno, en junio de 1922 se trabajaba en tres turnos [11]. Las operaciones de la planta continuaron hasta 1925.

El oxígeno líquido se guardaba y transportaba desde la planta de producción hasta los niveles de las minas próximas en recipientes termo de doble pared, los cuales estaban hechos de latón, en diversos tamaños, de 5 a 100 litros. La forma del recipiente era esférica con un cuello fino y largo, el recipiente estaba rodeado de material aislante térmico y colocado en un contenedor a manera de cubeta con asas a fin de moverlo sin riesgos. El material se tenía a la presión atmosférica y ocurría una evaporación continua. Esta era una limitación del sistema ya que el material no se podía mantener por tiempo indefinido en los recipientes referidos. Se estimaba que una semana era el límite de tiempo para conservar el oxígeno líquido.

La preparación de los cartuchos fue uno de los aspectos más interesantes. Se realizaron toda una serie de pruebas a fin de conseguir el material adecuado para absorber el oxígeno líquido. Las primeras experiencias se efectuaron con material procedente de Alemania, compuesto principalmente de

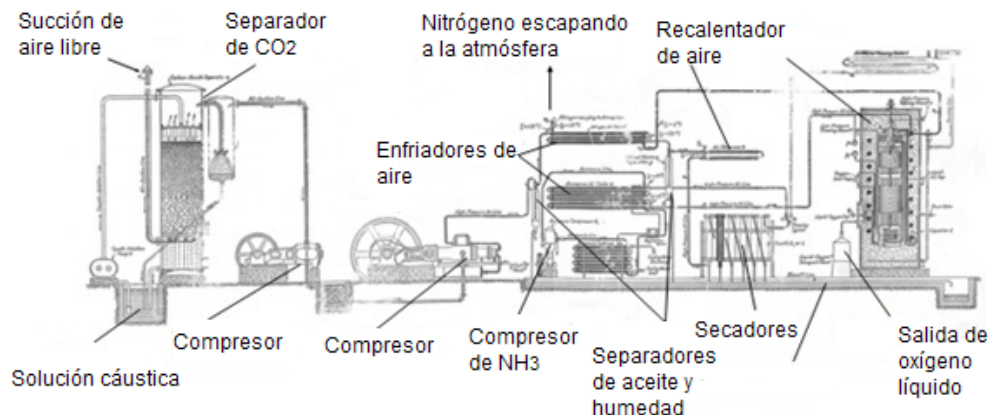


Fig. 1. Esquema simplificado del equipo para producir oxígeno líquido (Fuente: Archivo Histórico y Museo de Minería).

negro de humo. Este “hollín”, subproducto de combustiones incompletas, puede asumirse como carbono con un alto grado de pureza y, por ello, un combustible que servía para producir la detonación. Además de lo anterior se tenían pequeñas cantidades de aceites minerales y de óxido de aluminio. La dificultad de encontrarlo en el mercado y el elevado precio del negro de humo importado constituían limitaciones al proyecto. Un primer proveedor estadounidense de ese material, entregó un material contaminado con alquitrán. Clevenger escribió a Kuryla lo siguiente:

*No me considere pesimista, solo tenemos el negro de humo que como subproducto nos ofrece la Compañía de Gas y Electricidad del Pacífico, de San Francisco California [12].*

En Pachuca se hacían pruebas con aserrín de diversas maderas locales, entre ellas el bagazo de guayule (subproducto de la producción del hule), todo ello con mezclas diversas de negro de humo, keroseno, aceite diesel y otros combustibles. En ocasiones los compuestos añadidos tenían poco efecto en el rendimiento, encarecían el costo y muchas veces disminuían el poder explosivo. Se optó por elegir solo negro de humo producido en México a partir de la quema de chapopote. Comparado con los materiales extranjeros tenía una buena absorción del oxígeno y su costo era adecuado [13].

Se realizaron muchas pruebas a fin de determinar el tiempo óptimo de inmersión de los cartuchos en un recipiente especial, de doble pared como los recipientes para el manejo del oxígeno líquido, pero con una boca amplia para introducir varios cartuchos a la vez durante unos 10 min. El cartucho debía ser aprovechado a la brevedad, por la continua evaporación del oxígeno líquido. Incluso se debía considerar un tiempo óptimo para su detonación ya que si se empleaba antes podía presentarse menos potencia por cierto exceso de oxígeno y una pérdida en energía por la evaporación. Si se detonaba después, se podía presentar emisión de monóxido de carbono por combustión incompleta. Las múltiples pruebas asumieron tiempos de 7 1/2 a 8 1/4 minutos para los cartuchos con negro de humo mexicano. Debe considerarse que la evaporación gradual del oxígeno líquido tenía una ventaja hasta cierto

punto, ya que perdía su peligrosidad después de un tiempo. Los cartuchos que no detonaban, al paso del tiempo, podían ser reprocessados nuevamente sin riesgo de accidentes. Una recomendación de Clevenger indica lo siguiente:

*Me parece bien hacer todo lo posible para hacer las operaciones con oxígeno líquido de manera segura. Por otro lado, me parece inadmisibles crear la impresión que los explosivos de oxígeno líquido son particularmente peligrosos en sí mismos, por la razón de que algunos de los mineros pudieran manifestar temor por su uso [14].*

Uno de los problemas que se presentaron fue el intenso frío de los cartuchos, que causaban lesiones a los trabajadores al sostenerlos en las manos, sin embargo, ellos desarrollaron la técnica de moverlos continuamente para evitar el contacto prolongado con la piel. Otro inconveniente era la evaporación y condensación de la humedad que formaba una neblina fría que se acumulaba abajo, cerca del piso, lo cual implicó el cargar los cartuchos de abajo hacia arriba a fin de no tener problemas de visión generados por la niebla al colocar los cartuchos más bajos [15].

A fin de hacer la comparación con la dinamita, se procedió a cuantificar los costos de uno y otro explosivo, encontrándose resultados favorables al oxígeno líquido en cuanto a costo por tonelada de mineral obtenido. Sin embargo, el inconveniente más importante sería el de que se tenía un tiempo breve para activar, colocar y disparar el explosivo, por lo que ahí se tendría un limitante en el caso de necesitarse muchos cartuchos. Los resultados de las experiencias obtenidas con el novedoso explosivo fueron expuestas en la reunión de la AIMME (American Institute of Mining and Metallurgical Engineers) y publicadas en las actas de 1923. Una separata del artículo que se detalla en la referencia 45, fue ampliamente distribuida entre las compañías mineras, universidades y personalidades del ambiente. Los destinos fueron sobre todo en Estados Unidos, y aunque ninguna institución mexicana aparece en la lista de destinatarios, se sabe que las actas eran recibidas en el Instituto Geológico y en la Universidad Nacional, donde se consultó el artículo por vez primera.

La razón por la que se dejó de usar el oxígeno líquido no queda muy clara. Kuryla expuso las ventajas de este explosivo frente a la dinamita como causal de accidentes durante 1921 y 1922. Señala que hubo nueve y cinco accidentes, respectivamente, con dinamita, que no hubieran ocurrido si se hubiera utilizado oxígeno líquido. En específico se señala que en el primer año ocurrieron dos accidentes por asfixia al haber regresado el personal demasiado rápido al rebaje después de haberse hecho la detonación. En el segundo año hubo dos accidentes, uno por un fulminante que explotó al limpiar un barreno quedado, el otro, causado por un flamazo al encenderse los residuos de un cartucho que no había explotado y que eran manipulados antes de tiempo. A pesar de lo anterior, en el reporte del período se señala que las campañas de seguridad en el trabajo habían disminuido estos accidentes [16]. Además se menciona que no se había presentado un aumento de accidentes por la innovación. En los *Anales del Estado de Hidalgo*, el Profesor Teodomiro Manzano refiere el accidente grave aunque no fatal ocurrido al superintendente de San Juan Pachuca, H.Z. Henderson y a su ayudante, al hacer pruebas con oxígeno líquido. Dos años después, reportó otro accidente con tres muertos y cuatro heridos por una explosión de dinamita en la misma mina [17]. Foto 1.

En 1925, Kuryla comunica que el uso del oxígeno líquido ha empezado a descartarse:

*Nosotros hemos suspendido nuestras operaciones a pequeña escala con oxígeno líquido. Crecientes demandas de*

*parte de los trabajadores locales hubieran necesitado un más cuidadoso estudio en los llamados métodos de eficiencia. El “ruidoso” mayor costo general del oxígeno líquido, nos decidió abandonarlo por el momento, a pesar del pequeño beneficio en el papel [18].*

En la misma carta se menciona que M. H. Kuryla había sido nombrado director de la Real del Monte. Así las cosas, las nuevas responsabilidades del principal promotor del nuevo explosivo, la incomodidad y desconfianza de los trabajadores y el momento boyante de la empresa, posiblemente contribuyeron a que se descartara la nueva alternativa y se regresara al uso de la dinamita. Se desconoce el destino de la planta productora del oxígeno líquido, quizás fue vendida en forma íntegra pues no hay referencias de que algunas de sus partes hayan sido asignadas a otras dependencias.

Correspondió a los ingenieros mexicanos del período paraestatal dar una alternativa al introducir los explosivos preparados a partir de compuestos nitrados, muy similares a los manejados como fertilizantes, los cuales mezclados con aceite Diesel permitieron disminuir sensiblemente el consumo de dinamita de la empresa.

## Conclusiones

El proyecto del uso del oxígeno líquido como explosivo, fue un esfuerzo innovador sostenido por cuidadosas investigaciones.



**Foto 1.** Mineros trabajando en la década de 1920 con máquinas perforadoras de diversos diseños (Fuente: Archivo Histórico y Museo de Minería).

Ante el costo del hollín importado utilizado en los cartuchos, un proveedor nacional cumplió requerimientos de calidad y costo.

La aplicación de esta alternativa tecnológica tuvo que enfrentar múltiples inercias laborales y la desconfianza de los trabajadores.

Fue el único caso, fuera de Europa, del uso de oxígeno líquido como explosivo.

La experiencia reafirma la importancia de los líderes de proyectos científicos y tecnológicos.

## Agradecimientos

Se agradece al Archivo y Museo de Minería de la ciudad de Pachuca, Hidalgo, el apoyo para la realización de esta investigación.

## Referencias

1. Cuatáparo, Juan N. "Progresos mineros", en: *El Minero Mexicano*, México, 25 de noviembre de 1875, p. 35.
2. Un comentario sobre la formación de la Compañía Mexicana de Dinamita y Explosivos se puede consultar en: Haber, Stephen H., *Industria y Subdesarrollo. La industrialización en México*, 1890-1940. Alianza Editorial. Colección Raíces y Razones. México, **1992**, pp. 117-119.
3. AHCRdMyP (Archivo Histórico de la Compañía de Real del Monte y Pachuca). Archivo de la Dirección, Correspondencia General, vol. 48, exp. 35, ff. 1 y 12. En tales documentos solicitan 450 cajas de explosivos en noviembre 1906 y enero de 1907.
4. Bancalari, Rafael. "Descripción de la Fábrica Nacional de Dinamita y Explosivos", en: *Boletín Minero*, 15 de diciembre de 1915. pp. 37-40.
5. Oropeza, P. "Reporte de la Fábrica de Dinamita", en: *Boletín Minero*, noviembre de 1916.
6. AHCRdMyP, Actas de la Junta Directiva, 16 de agosto de 1919, f. 211.
7. Michael H. Kuryla se desempeñó en la empresa como consultor metalurgista 1922-1923, asistente del director (1923), director (1924 a 1928) y director gerente (1929 a 1944). En el consorcio de la USSRMCo (United States Smelting and Refining Co.) fue vicepresidente (1944) y presidente del consejo (1946-1947). AHCRdMyP, Informes de la USSRMCo.
8. De acuerdo a las placas del equipo, el licenciatario del proceso era: Oxliquit-Sprengeluft GMBH y el fabricante fue Maschinenfabrik Sürth de la Compañía Linde de Colonia, Alemania. Fue adquirida al agente Enrique Huber de la Ciudad de México. AHCRdMyP.
9. AHCRdMyP, Archivo de la Dirección, Correspondencia de M. H. Kuryla, vol. 57 exp. 13, f. 8, 24 de mayo de 1922.
10. El proceso a detalle de este método puede consultarse en: Tegeder, Fritz; Mayer, Ludwig, *Métodos de la Industria Química*, parte 1, Inorgánica, Editorial Reverté, Barcelona, **1980**, pp. 93-97, 102.
11. Kuryla, Michael H; Clevenger, Galen, H. "Liquid-oxygen explosives at Pachuca", en: *Transactions of American Institute of Mining and Metallurgical Engineers*, Reunión en Nueva York, Febrero de 1923. Separata de publicación, 51 pp.
12. AHCRdMyP, Archivo de la Dirección, Oxígeno Líquido, vol. 59 exp. 13, f. 10, mayo 25 de 1922.
13. *Ibidem*, f. 13, 13 de junio de 1922, f. 44, f. 136, año de 1923.
14. AHCRdMyP, Archivo de la Dirección, Correspondencia de M. H. Kuryla, vol. 57 exp. 13, 14 de junio de 1922.
15. Kuryla, Michael H., Clevenger, Galen H., *op. cit.* pp. 38, 39.
16. AHCRdMyP, Archivo de la Dirección, Correspondencia de M. H. Kuryla, vol. 24 exp. 3, 31 de enero de 1923.
17. Manzano, Teodomiro, *Anales del Estado de Hidalgo*, Gobierno del Estado de Hidalgo, 1927, 10 de junio de 1923 y 24 de noviembre de 1925.
18. AHCRdMyP, Archivo de la Dirección, Correspondencia de M. H. Kuryla, vol. 57 exp. 13, 15 de septiembre de 1925.