

La gasificación subterránea del carbón

Por el Dipl. Ing. D. v. Kolübakin
Tomado de "Scientia"

La idea de gasificar el carbón directamente es muy antigua, pero su realización práctica en escala industrial bastante reciente y fue incitada por la observación de los diversos incendios grandes de minas.

El incendio de mina de Planitz cerca de Zwickau en Sajonia, que duró desde principios del siglo XVI hasta fines del XIX, no pudo ser extinguido por ningún medio durante casi 400 años.

Como segundo ejemplo de incendio de mina, que dañó enormemente tanto la industria alemana como la inglesa y norteamericana, mencionaré la mundialmente conocida "montaña ardiente" cerca de Dudweiler, en el Saar, que aun hoy arde y que ya ha sido descrita por Goethe hace más de 150 años.

El primero en concebir la idea que la gasificación subterránea y el aprovechamiento de los gases de escape podrían abrir nuevas perspectivas en la minería del carbón, fue el conocido químico ruso D. I. Mendeleeff, al observar los incendios de minas en la región del carbón del Donetz. Tres decenios más tarde, los americanos A. G. Betts (1909) y el británico W. Ramsay (1912) estudiaron este problema. Pero ninguno de estos tres ha llegado hasta la realización de sus planes. Recién muchos años más tarde, fueron otra vez los rusos los que llevaron los primeros ensayos a la práctica. La inmensa industrialización del país, con que el Soviet empezó su época de planes quinquenales, demandaba cantidades enormes de carbón y gas. Todos los métodos posibles para el aprovechamiento de estratos industrialmente no explotables fueron examinados por una sociedad de estudios fundada en el año de 1933, y la primera planta industrial de gasificación empezó a funcionar el 4 de Febrero de 1938 en Gorlowka (región del Donetz). Esta fecha se puede considerar como el día de nacimiento de

la gasificación subterránea del carbón, aunque los primeros pozos de prueba en que se efectuaron ensayos en pequeña escala, ya datan del año 1932. Estos habían sido construídos en Lissitschansk, en la región del Donetz. De esta época datan algunos trabajos en revistas técnicas rusas y alemanas, pero no tenían carácter científico y generalmente no eran más que narraciones escritas a manera de corresponsal. Más publicaciones fueron evitadas por la guerra del 39. A consecuencia de las operaciones bélicas en la Ucrania (ocupación de la región del Donetz), los alemanes encontraron material que sus científicos supieron aprovechar. Estos materiales fueron estudiados y ordenados en Berlín en el "Reichsamt für Bodenforschung", y el autor pudo obtenerlas en 1943 para estudiarlas. Solamente debido a este material se supo del enorme éxito que había alcanzado la investigación rusa en este campo. A base de modelos rusos fueron hechos algunos ensayos en unas minas de Silesia, y todos dieron resultados satisfactorios. Así se había comprobado, pues, que la realización económica de la gasificación subterránea era completamente posible. Pero entonces, la realización estaba sujeta a condiciones de muy distinta índole. Era posible sólo para un tipo de yacimientos muy especial. Recién los trabajos posteriores, de los cuales tengo a disposición los resultados de Alemania, EE. UU., Francia y Checoslovaquia, gradualmente vencieron las diversas dificultades relacionadas con la gasificación del carbón y de esquistas oleaginosas, llevando todo el problema hacia una solución definitiva y dándole una sólida base científica y económica.

Antes de tratar los distintos métodos de gasificación, debemos ocuparnos de los yacimientos de carbón que no sean explotables por los métodos de extracción normales y que por lo tanto están predestinados para una gasificación subterránea del carbón.

Como primer factor nombraremos aquí la hondura límite del estrato, para la cual es posible aún un rendimiento satisfactorio. Este factor depende tanto del grado de desarrollo de la técnica, como también de los límites naturales dados por el grado de hondura geométrica. Un papel importante le cabe también a regularidad, pureza y espesor del estrato, y a la influencia de las condiciones de presión y agua en el pozo. El grado de hondura geométrica en las minas europeas es ca. 28 m/°C. Las condiciones en Norte y Sudamérica no son tan unitarias porque, especialmente en el sur, hay irregularidad debido a la actividad plutónica y tectónica, que aun no ha concluído. Empero, atengámonos a los datos europeos. Son generalmente mucho más favorables que los americanos. Llegamos entonces a la conclusión, que para una hondura de 1.200 m ya hay que esperar una temperatura mínima de 43° C. Es fácil para cualquier perito en minería, imaginarse

los equipos de ventilación y enfriamiento que se necesitan para bajar la temperatura a un grado soportable. Algunos pozos europeos ya han alcanzado esta hondura, y otros están por alcanzarla. Muy diverso y a veces mucho más inconveniente se presenta el laboreo de estratos a menos hondura, pero que están altamente impurificados, o de estratos que están bajo empuje de terreno especialmente elevado. Muchas veces se designa como no económicos a carbones que, aunque tengan un poder calorífico muy alto y procedan de pequeña hondura, por las consideraciones arriba mencionadas presentan una cantidad demasiado elevada de escombros.

Una gasificación de estratos situados muy debajo del nivel del mar, cuya extracción está ligada a más dificultades aún, podría ser de interés especialmente para Chile. Respecto a la posibilidad de gasificar sólo una parte aislada de la mina y extraer el resto según métodos corrientes, las opiniones son diferentes. Los antagonistas a este método Duplex (franceses y checos) no niegan la posibilidad, pero dudan de un rendimiento económico, considerando el elevado costo de medidas de seguridad que son necesarias para llevarlo al efecto. Rusos, alemanes y estadinenses niegan estas dificultades; los últimos, basándose más en experiencias extrañas que en propias. Mi propia experiencia me hace asentir a un camino intermedio: la rentabilidad del sistema Duplex no puede asegurarse siempre. Sirve sólo en la mayoría de los casos, y bajo condiciones especialmente delicadas hay que abstenerse de este método. Por lo demás, en los últimos años se ha demostrado en Alemania que este método es practicable también para la gasificación de esquistas oleaginosas. Estos resultados aparentemente no son conocidos por mis colegas del ramo checos y rusos.

Para comprender con mayor facilidad la evolución de los diversos métodos de gasificación subterránea del carbón, es indispensable conocer las bases de la gasificación en un generador a gas, como también tener bien en claro las diferencias entre los dos procesos. Ante todo hay que tratar de obtener una gasificación lo más completa posible. Esto significa una gasificación no sólo de los componentes volátiles, sino también de los sólidos, que deben evacuar el pozo en estado gaseoso. Esta es la diferencia esencial entre la gasificación subterránea y el proceso lento de coquificación, en el cual también se obtienen gases. Es indeseable la producción de coque porque después no se puede extraer.

Un generador de gas normal alimentado con carbón produce gases ricos en CO. Se llama gas pobre y tiene un poder calorífico de más o menos 1.211 kcal/m³. Debido a este valor bastante bajo, se apli-

ca especialmente como combustible para diversos motores o para hornos industriales y caseros.

Si se deja pasar vapor de agua sobre el carbón incandescente, se obtiene como resultado de la gasificación una mezcla rica en hidrógeno, con un poder calorífico de ca. 2.500 kcal/m³, el llamado "gas de agua". La producción del gas de agua está ligada a la presencia de un lecho de carbón incandescente, porque sólo la cantidad de calor allí acumulada es capaz de efectuar la reacción endotérmica de disociación del vapor de agua y de producir así la mezcla rica en hidrógeno. Por eso, la mayoría de los generadores a gas trabajan según el "proceso de dos fases". Durante la primera fase, se sopla aire y se obtiene gas pobre, y en la segunda fase, se cambia a vapor de agua. El lecho de carbón que durante la primera fase ha llegado hasta estado de incandescencia, en la segunda fase entrega su calor acumulado. Los gases provenientes de la primera fase se usan, además de las ya mencionadas aplicaciones como fuentes de calor y energía mecánica, para la obtención del vapor de agua necesario para el proceso, como también para el calentamiento de las calderas y sistemas de sobrecalentamiento. Las plantas más modernas de gas pobre trabajan según un proceso continuo. Con una obtención ininterrumpida de gas de agua se hace posible soplar simultáneamente oxígeno y vapor de agua.

Los primeros ensayos de gasificación subterránea se hicieron bajo las mismas condiciones básicas que se usaron para un proceso de generador de gas. Pero fallaron por completo. En un generador de gas se trabaja con una capa de combustible que es llevada a la combustión dentro de un tubo vertical y en un estado mullido. Se inyecta aire, vapor de agua u oxígeno a este tubo por abajo o por los lados. Por eso se trató de conseguir este estado mullido por medio de explosiones, pero pronto se vió que en primer lugar esto era insuficiente y en segundo lugar demasiado costoso y lento. Pero también se vió que la soltura debida a grietas térmicas es mucho más completa. Los primeros ensayos resultaron difíciles por la falta de un fulminante adecuado. Primero se usó carbón de leña, que se encendía con oxígeno. Recién mucho más tarde se inventó la bomba de Termita y con ella el fulminante adecuado. Así se ha llegado a la conclusión, después de largos y costosos experimentos, que lo único correcto y económicamente bueno es una gasificación subterránea que gasifique el carbón en su estado natural.

Para el aprovechamiento de esquistas oleaginosas se presentaron otras dificultades: como factor principal resultó muy inconveniente el bajo contenido de aceites en muchos yacimientos. Sólo raras veces pudo asegurarse un aprovechamiento racional en la extracción y com-

bustión lenta en los hornos, porque las cantidades de escombros que se extraían eran demasiado grandes. En los años 1942 y 43 se hicieron los primeros ensayos para gasificar subterráneamente la esquista de posidonomías, de la cual hay grandes yacimientos en Württemberg. El proceso fue llamado combustión lenta y subterránea, pero en sus

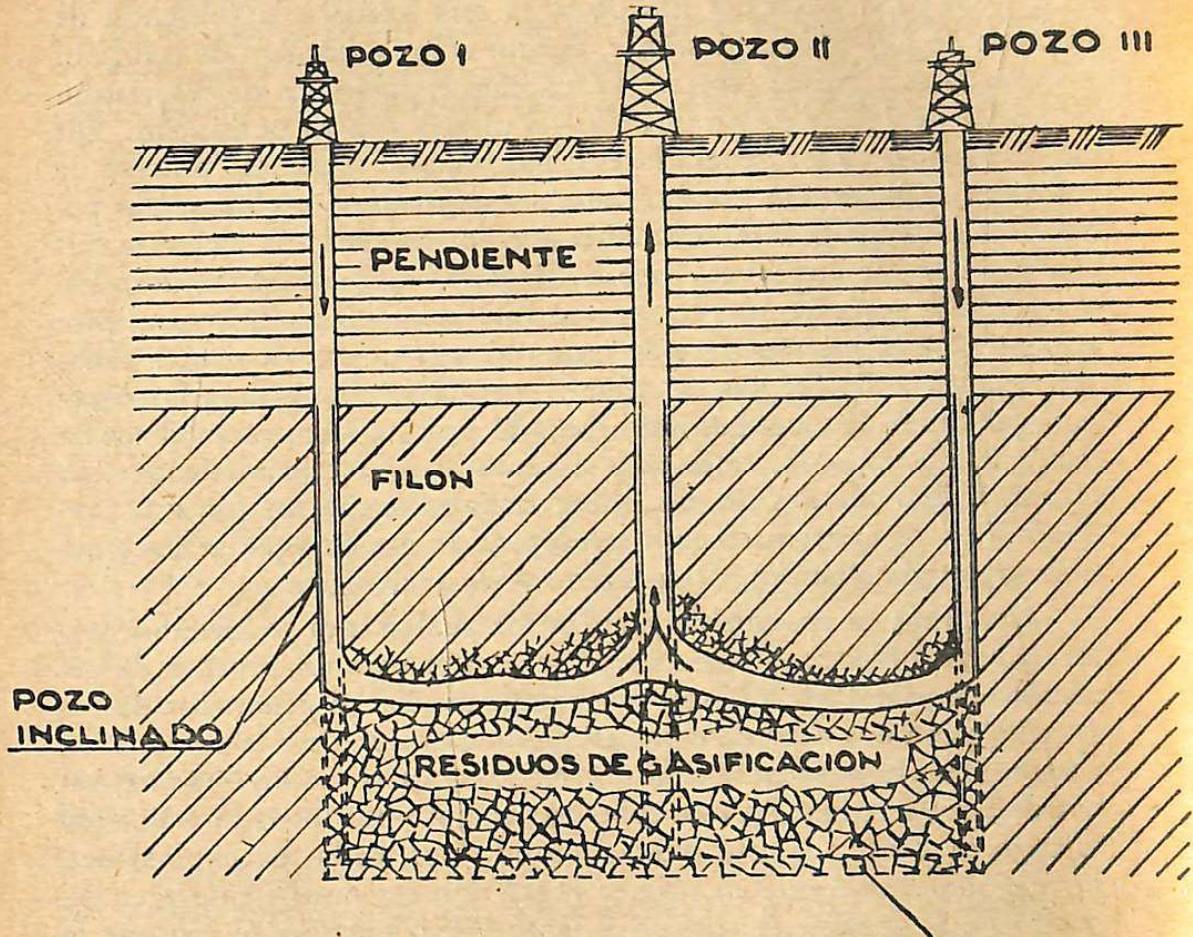


Figura 1

partes esenciales es idéntico al proceso de gasificación del carbón. La diferencia principal reside en los productos obtenidos: la gasificación del carbón de exclusivamente gases no condensables, y la combustión de esquistas oleaginosas de gases que en parte son condensables a aceite. Si en la gasificación del carbón se quieren obtener combustibles líquidos, hay que someter el gas obtenido por el proceso de gas de agua a una síntesis según Bergius o Fischer—Tropsch. La igualdad de ambos procesos es entonces evidente.

Rusos y alemanes proyectaron tres variantes de gasificación del carbón, que pueden ser aplicadas para casi todos los tipos de yacimien-

tos del carbón. En todos los ensayos, especialmente en los que necesitaban horadación horizontal, se apoyaron en el invento del norte-americano Leo Ranney, cuyos trabajos iniciadores fueron aplicados con buen resultado en Alemania por el autor. Sus investigaciones fueron comentadas en publicaciones más antiguas en Austria y Alemania. Lectores que deseen informarse más sobre estos trabajos, remitimos por eso a los artículos del autor aparecidos en la prensa técnica austriaca, cuya nómina está al final del trabajo presente. Las publicaciones hechas en Alemania durante la guerra, no pudieron circular a causa de las circunstancias reinantes. Fueron impresas por la sección Petróleo y Carbón como boletín informativo, y por eso son inalcanzables para la generalidad.

Los tres procesos arriba mencionados son: el método del flujo (aplicable para la gasificación de estratos verticales); el método de hendiduras (aplicable para la gasificación de estratos horizontales); y el proceso universal de filtración (aplicable para ambos casos).

Los ensayos americanos más recientes han llevado a una combinación de los tres métodos, de la que nos ocuparemos al final de la enumeración de los ensayos más recientes.

Método de Flujo

Como se ve en la figura 1, son necesarios trabajos de alineación y de preparación, la cavadura de tres galerías y de una así llamada "galería de fuego". Dos de las tres galerías pueden ser substituídas por perforaciones de gran diámetro, hechas a la manera de las galerías de salvamento (comunes en la minería del carbón y en la minería subterránea del petróleo). Esto es posible, porque sólo hay extracción de material durante la horadación de las galerías, y las pequeñas cantidades de material debidas después a la cavadura de la galería de fuego, pueden ser transportadas por otra galería mayor.

Al principio, en los primeros ensayos rusos, la distancia entre las galerías variaba entre 200 y 250 m. Más tarde se vió que para distancias menores se obtenían resultados más favorables, lo que justificó los gastos más elevados. Esta distancia siempre dependerá especialmente de las condiciones geológicas y dinámicas del yacimiento.

Las galerías arriba mencionadas se horadan verticalmente hasta alcanzar el estrato, y después inclinadamente. La galería de fuego se hace en el estrato mismo y comunica las tres galerías entre sí. Después de terminar todos los trabajos preliminares arriba mencionados, se hace el encendido en la galería de comunicación, incendiando así el carbón que está encima. Por las dos galerías exteriores se inyecta aire

respectivamente vapor de agua, y por la galería del medio se chupa el gas producido por la gasificación. El cerramiento del vacío producido por la gasificación se efectúa automáticamente por el empuje del terreno. Como ya mencionamos anteriormente, este proceso sólo es posible para estratos verticales. En la figura 2, que presenta un corte por un estrato de carbón, es bien visible la división de algunas zonas en el techo de la "galería errante de fuego". Encima del hogar, en la figura está dibujada una zona de coquificación, seguidos por una zona de

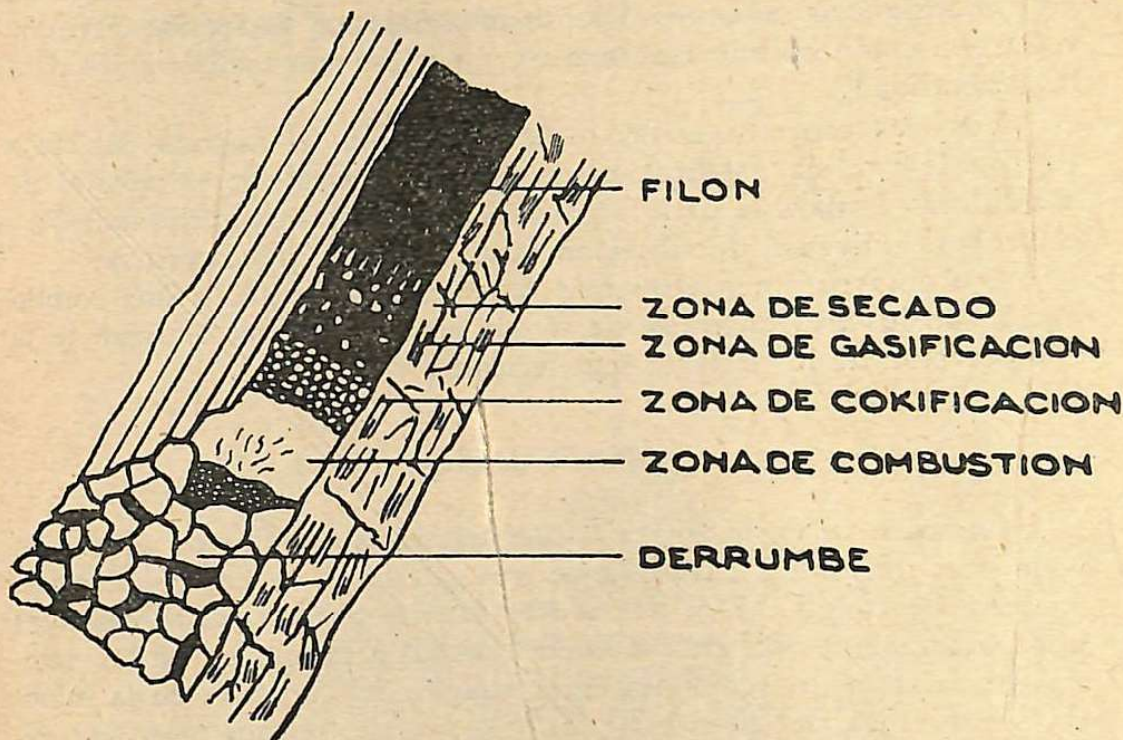
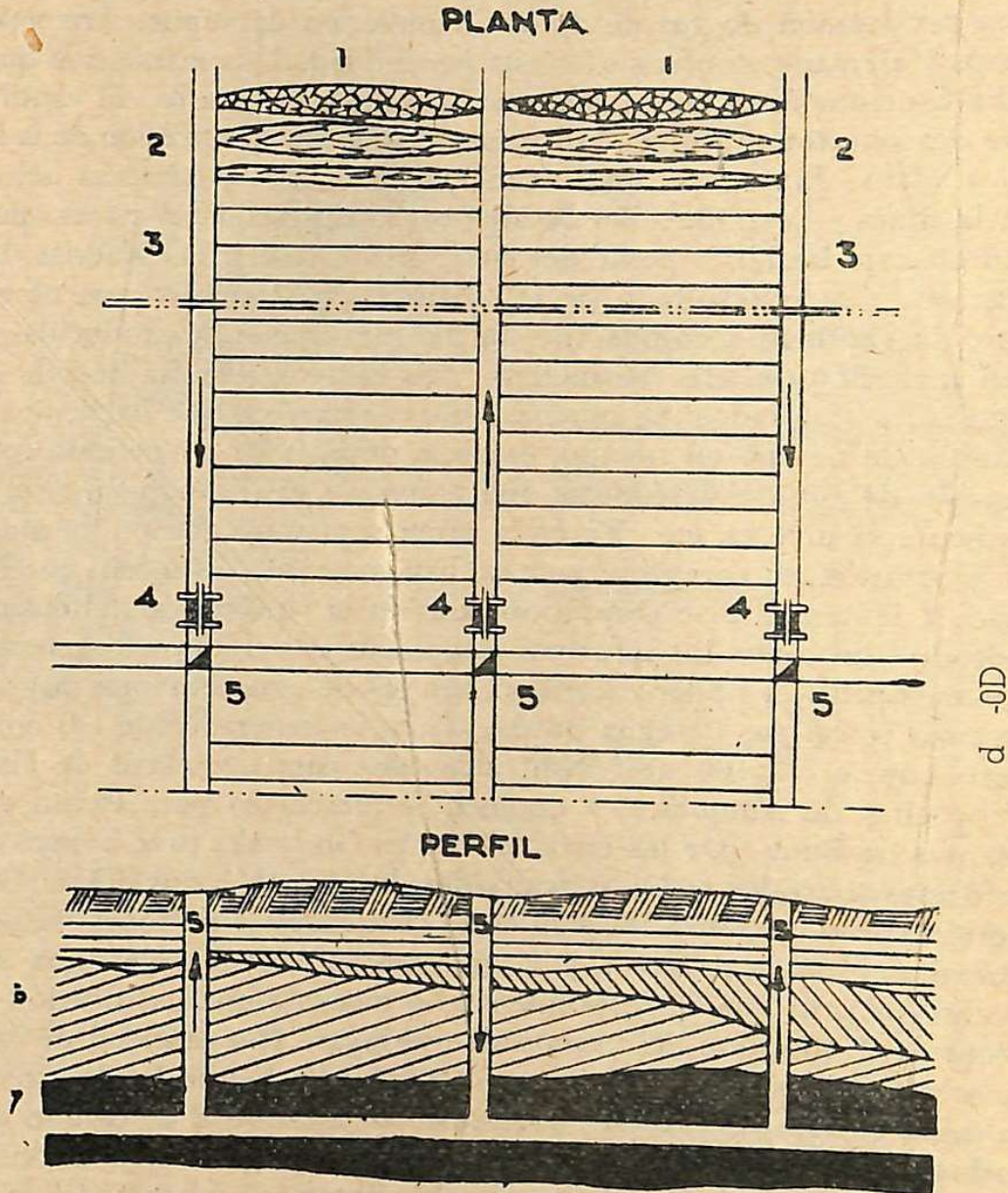


Figura 2

combustión lenta y una "zona de secado" más hacia arriba. La gasificación sigue el camino normal: primero la oxidación del carbón, formación de mezclas ricas en CO_2 y después la reducción de los gases según la fórmula clásica $\text{CO}_2 + \text{C} \rightleftharpoons 2 \text{CO}$. El secado de las partes con carbón situadas más arriba produce una contracción acompañada por hendiduras térmicas, que facilitan la gasificación. La potencia de la instalación se puede considerar hasta cierto grado función de la cantidad inyectada de aire o vapor, y debido a eso puede ser regulada fácilmente dentro de amplios límites. Para asegurar la continuidad de la gasificación, en los primeros ensayos se ha invertido de tiempo en tiempo el sentido de flujo. De los ensayos más recientes ha resultado que esta inversión no es de gran importancia, y que fácilmente puede

prescindirse de ella. El poder calorífico de los gases obtenidos según este método está algo debajo de los valores teóricos para gas de aire respectivamente gas de agua. Las mediciones de los primeros ensayos dieron 1.000 kcal/Nm³ para gas de aire y 2.300 kcal/Nm³ para gas de agua. En las últimas instalaciones modernas, empero, estos valores se van acercando más y más a los valores teóricos, especialmente los para gas de agua. Como casi siempre los yacimientos de carbón contienen agua, ya en los primeros ensayos se ha contado con la posibilidad de una producción de gas de agua sin inyección de vapor. Los ensayos rusos y alemanes confirmaron esta posibilidad. Una instalación que estaba funcionando a plena carga se hizo trabajar sin aire. El ventilador fue desconectado y aumentado considerablemente la presión de la bomba a vacío. El sistema siguió funcionando. La vaporización del agua en la mina y la conducción de aire por las grietas en el estrato posibilitaron este hecho, a pesar del cierre hermético en las galerías de inyección. Como resultado de tal gasificación se obtuvo gas de agua, pero la cantidad recogida fue mucho menor que la producida antes con inyección de aire. Se hicieron más ensayos, y se ha llegado a los siguientes resultados: en muchas minas se ha visto que lo mejor es un cambio de tiempo en tiempo, es decir, después de un período con inyección de aire, se desconecta ésta y se sigue gasificando sin aire; nuevamente se inyecta, etc. Ya en la primera gran instalación de pruebas, en Gorlowka, se comprobó que no hay que temer disturbios en el proceso, y lentamente se comprobó también la absoluta rentabilidad del método. En todos los informes estudiados por el autor, de instalaciones europeas, el poder calorífico del gas de agua obtenido así nunca alcanzó el del gas de agua producido en un generador de gas normal; pero con sus 2.100 kcal/Nm³ alcanzaba para la síntesis de Fischer-Tropsch y de Amoníaco, y también se presentaba para el uso en las plantas de Buna. De las instalaciones en Gorlowka tuve a disposición informes sobre los trabajos realizados durante 11½ años. Durante este período se obtuvieron las siguientes cantidades: 7 millones m³ de gas pobre (1.100 kcal/Nm³) y 2 millones m³ de Gas de agua 2.000 kcal/Nm³), lo que corresponde más o menos a una gasificación completa de 2.500 ton. del carbón de ese lugar. (La cantidad de carbón tuvo que ser calculada, por que los ensayos no fueron hechos como en la mina Gorgas de EE. UU. para calcular la cantidad de carbón gasificado). En Gorlowka tenemos un estrato con gran inclinación. Con todo lo arriba mencionado se puede aceptar que el método de gasificación de estratos verticales y de gran inclinación es servible y practicable. Para la manera como se empleó este método en Rusia y Alemania, con distancias relativamente grandes entre las galerías, el mé-

todo es impropio para estratos horizontales. La fácil ruptura de los techos puede exigir una presión de inyección demasiado elevada y por lo tanto no económica. Los ensayos de post-guerra más recientes en Francia, U. S. A. y Checoslovaquia, tienden a extender el método de flujo también a estratos horizontales. Los resultados obtenidos en los EE. UU. pueden considerarse positivos, pero por lástima están acompañados de tanta propaganda, que conclusiones absolutas



- 1 Residuos de gasificación
- 2 Perforación en combustión
- 3 Perforación antes de la combustión

- 4 Puerta de seguridad de ventilación
- 5 Pozo
- 6 Pendiente
- 7 Filón

no han sido posibles hasta la fecha. Pero trataremos más adelante los interesantísimos ensayos de la mina Gorgas algo más detalladamente.

El método de hendiduras

La figura 3 muestra un esbozo esquemático en elevación lateral y perfil de una instalación de gasificación subterránea según el método de hendiduras. Los trabajos preliminares y de alineación son algo más complicados y mucho más amplios que para el método recién descrito. Pero el método de hendiduras se puede emplear para estratos horizontales, y sus demás propiedades son preferibles en su mayoría a las del método anterior.

Los trabajos mineros adicionales son la excavación de las así llamadas "galerías paralelas" y la horadación de los "pozos de conexión". Se pueden emplear con éxito las innovaciones del norte-americano Leo Ranney, inventor del método de horadación horizontal y de los aparatos correspondientes. Casi todo el trabajo bajo tierra puede hacerse según su método de horadación pura. Al final de este estudio nos ocuparemos detenidamente de la labor de Ranney, aquí sólo la mencionaremos, porque los ensayos realizados en Europa (Alemania y Rusia) no se basaron en sus teorías poco conocidas en estos países y por lo tanto desapercibidas. La práctica alemana y rusa coinciden en sus rasgos esenciales con este método, de manera que podemos tratarlas juntas. Correspondientemente a la figura 3, deben ser cavadas tres galerías y tres galerías paralelas a una distancia de ca. 100 m y comunicadas entre sí por perforaciones horizontales. La distancia entre las perforaciones deben ser ca. 5 m y su diámetro no menor de 100 mm. Estos datos naturalmente se refieren a un manto de estrato de 300 m. de ancho. Para la gasificación de formaciones más anchas, son necesarias más galerías, que en este caso pueden ser substituídas por perforaciones de mayor diámetro, ya que estas galerías se usan sólo para ventilación, inyección o succión, y no como galerías de extracción. Un aparato horador Rotary es capaz de hacer un hoyo con cañería con una luz de 70 cm. Con la instalación de compuertas para fuego y ventilación, con este método se puede conseguir una gasificación simultánea de dos o más, normalmente hasta 4 secciones, aumentado naturalmente la potencia en forma considerable. Casi el problema más difícil es la necesidad de transitar por las galerías después del comienzo de la gasificación, para regular la ventilación. Esto requiere un especial cuidado en la construcción de las compuertas de fuego y ventilación y en muchos otros trabajos secundarios necesarios en minas que extraen muy cerca de un foco de combustión. La gasificación empieza en la galería de más afuera y se propaga hacia la ga-

lería principal. Su sentido está indicado en la fig. 3 por flechas. Los hoyos de comunicación horizontales hacen el papel de canales de fuego. Se ensanchan más y más y al final comprenden todo el estrato. Por medio de una regulación especial, que puede hacerse por fuera, se conectan paulatinamente más galerías. El papel importante de las galerías recién descritas en este método de gasificación también le ha dado otro nombre: "Método de fabricación de gas con galerías".

El método de filtración

Este proceso trata de eliminar completamente el trabajo bajo tierra. El método, tal como es conocido en Europa, se basa en teorías y ensayos de Ramsay y Betts, que son anteriores a los dos procedimientos antes descritos. El proceso es bien entendible si miramos la fig. 4, pero necesita algunas explicaciones.

El método es propio para estratos verticales y horizontales, y es sumamente adecuado para la gasificación de capas muy delgadas de carbón, que sobrepasan la cantidad límite de escombros que hace económico un laboreo desde el exterior. Estas propiedades presentan justamente muchos yacimientos pequeños. Condiciones hidráulicas desfavorables, es decir, demasiada afluencia de agua, muchas veces dificultan el laboreo en minas casi horizontales. El método de filtración

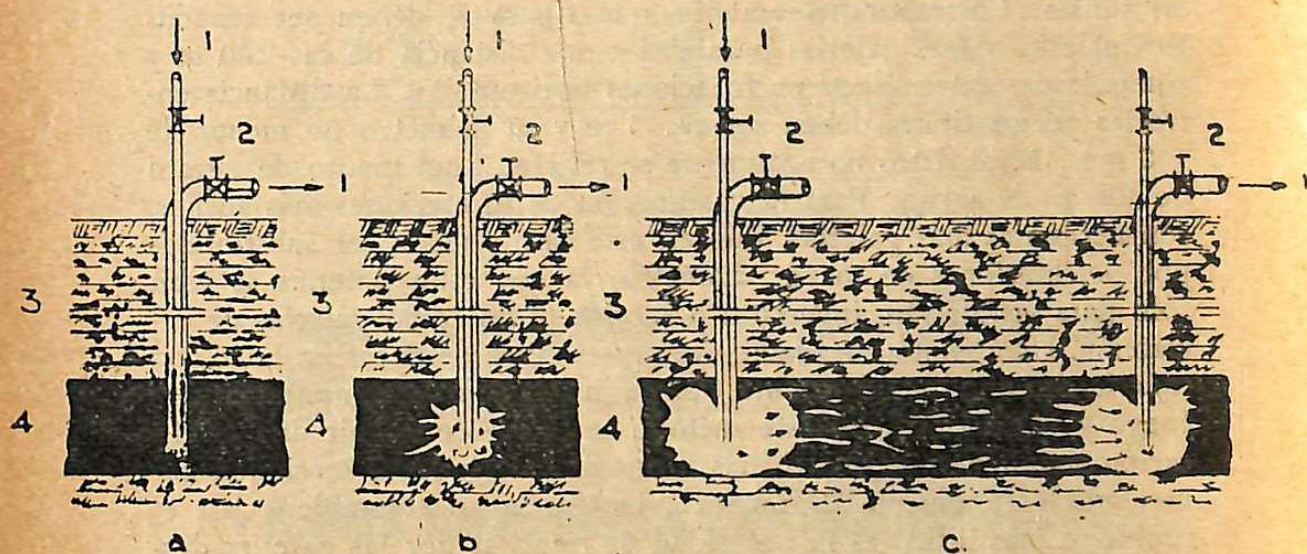


Figura 4

LEYENDA:

1 Sentido de la circulación 2 Llave de circulación 3 Pendiente 4 Filón

EXPLICACION DE LAS TRES FASES: a, b, c.:

a. Fase de encendido, ambas llaves abiertas. b. Gasificación individual, ambas llaves abiertas.
 a. Gasificación forzada del par de pozos ordenados en grupo, las llaves correspondientes reguladas abiertas o cerradas.

elimina todos estos inconvenientes. Estratos horizontales muchas veces también presentan una capa superior muy suelta. Poca firmeza contra presión a veces multiplica los costos de extracción de tal manera que pone en duda la economía de la planta entera—también esto trata de evitarse con el método último.

Los trabajos preparativos para una gasificación según este método consisten en la horadación de algunos hoyos, a los que en seguida se introducen tubos dobles. Estas perforaciones se hacen llegar hasta el centro del estrato. La inflamación se consigue mediante insuflación de oxígeno al tubo interior llenado con carbón de leña. En los últimos tiempos, se aplica la bomba de Termita, que inflama el carbón del estrato. Después de un cierto tiempo de combustión, se disminuye la entrada de aire en una de las perforaciones y el escape de gases en otra vecina. El carbón cerca de la cavidad quemada durante la primera fase de combustión, que con esto se agrieta, ya no puede resistir a la succión respectivamente presión, y se produce una circulación continua de gas entre la tubería de aire de presión y el tubo de succión de los gases. En las plantas de pruebas, se tenía una distancia de 30-40 m. entre las dos perforaciones. El esquema de las horadaciones puede ser realizado en forma de tablero de ajedrez, anular, etc., y depende de las condiciones particulares del caso por eso puede ser predestinada.

Defectos naturales de este método son la necesidad de presiones elevadas durante el vencimiento de las resistencias a la circulación, como también resultados poco satisfactorios e irregulares al comienzo de los trabajos en una planta. Pero grandes cualidades compensan bien estos defectos: sencillez del método de trabajo, exclusión de los trabajos dentro de la mina, y la posibilidad de gasificar también estratos casi horizontales. El aprovechamiento del método de horadación horizontal ideado por Leo Ranney no sólo puede eliminar muchos inconvenientes, sino que puede también hacer resaltar muchas cualidades aún no conocidas.

La práctica de los últimos tres años difiere bastante de los métodos clásicos descritos. De especial interés son los ensayos realizados en los EE. UU. Se puede decir que son una especie de combinación de los tres métodos: los trabajos preparatorios corresponden al "proceso de la corriente", los de alineación al método de filtración, y la gasificación misma se desarrolla según el procedimiento de hendiduras algo modificado. El encendido, basado en la invención de la bomba de Termita, que asegura temperatura de combustión e intensidad de llama mucho mayores, sobrepasa ampliamente el método antiguo de inflamación mediante carbón de leña e insuflación de oxígeno. Ade-

más, en los ensayos más recientes se emplearon turbo-ventiladores mucho más potentes que antes. Finalmente, se aprovechó hasta lo último de los adelantos obtenidos en horadación horizontal, y todo esto en conjunto ha revolucionado ampliamente la manera de trabajar.

Los éxitos obtenidos en plantas de ensayos y en plantas en servicio industrial, aunque dieron derecho a afirmar que el problema de

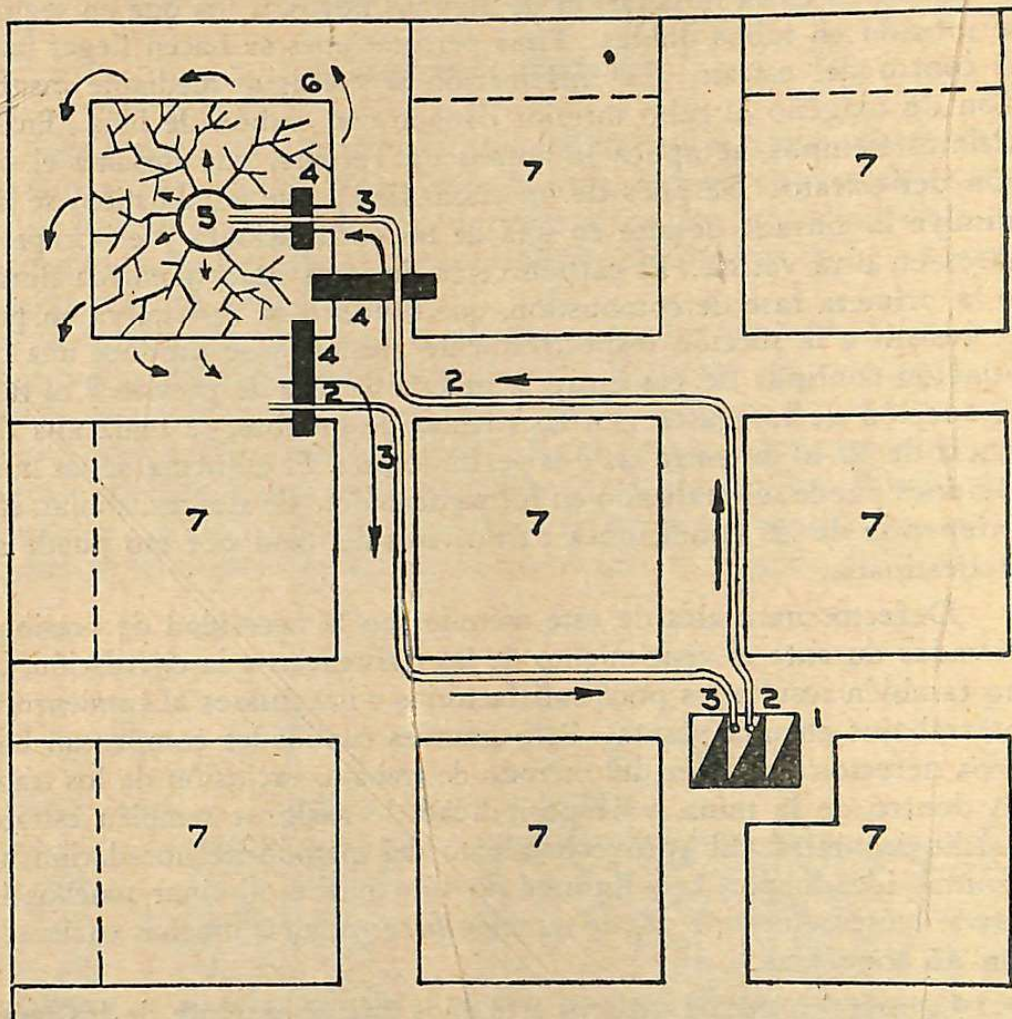


Figura 5
LEYENDA

1 Pozo central. 2 Tubería de presión. 3 Tubería de escape. 4 Puerta de seguridad y de ventilación. 5 Cámara de combustión. 6 Pilar en gasificación. 7 Pilar en preparación.

la gasificación subterránea ha sido resuelto, demuestran claramente que no siempre y para todos los casos, una gasificación subterránea dará los mejores resultados económicos en el aprovechamiento del carbón. Las regiones con muchos estratos que están a poca distancia entre sí, como p. ej. el Ruhr, Alta Silesia, y Aquisgrana, como también yacimientos en distritos muy poblados, no son propicios para la

gasificación subterránea. En los estratos muy seguidos, se corre el peligro de un aprovechamiento malo de las reservas de carbón, y en lugares muy poblados, es imposible por la contracción de las capas terrestres, lo que significa un hundimiento del suelo.

Para las posibilidades ya mencionadas de aplicación de todos los métodos de gasificación, se prestan especialmente estratos de los tipos siguientes: Estratos delgados, impuros, interrumpidos, aislados o separados por capas relativamente anchas, como también estratos a hondura inalcanzable o situados bajo el fondo del mar, cuyo laboreo significaría costos demasiado elevados y medidas de seguridad y de mantenimiento, para un método corriente de extracción.

Para las condiciones reinantes en Chile, la gasificación subterránea de esquistas oleaginosas practicada en Alemania, es de especial interés. Refiriéndome a la figura 5, que muestra esquemáticamente una instalación subterránea de gasificación de esquistas oleaginosas, explicaré los rasgos esenciales de este proceso.

Al igual que en la gasificación del carbón, se trata de obtener un estado mullido térmico, prescindiendo de trabajos con explosivos. Las labores de horadación fueron reducidas a un mínimo: excavación de galerías y rotura del pilar de esquista aislado por perforaciones horizontales. Instalaciones costosas de hornos de combustión lenta fueron reducidas a un mínimo, ya que sólo se gasifica al aire el material recogido durante los trabajos de preparación, y se aprovecha el petróleo obtenido directamente para el comercio, mientras que los gases de escape se soplan otra vez para ser quemados en la cámara de combustión del pilar. Con esta combustión, se vaporiza el agua contenida en la esquista, se calienta la masa hasta la temperatura de combustión y al mismo tiempo se suelta tanto debido a grietas térmicas, que se asegura una buena combustión lenta en el yacimiento. La instalación secundaria sobre tierra da en la gasificación de esquista de posidonimías (poder calorífico de ca. 1.300 kcal/kg) en un sólo proceso: petróleo, gas de calentamiento, vapor y coque hojeado. Por tonelada de esquista se obtienen en Alemania, además del vapor cerca de 40 kg. de petróleo (con ca. 11.000 unidades térmicas) y 250-300 m³ de gas (con más o menos 1.000 un. térmicas), que en conjunto dan aproximadamente 700.000 unidades.

En la instalación principal subterránea se queman los gases obtenidos arriba en la cámara de combustión de la pilastra, hasta que las paredes alcancen una temperatura de más o menos 800°C. Al mismo tiempo, el secado de la pilastra ha progresado hasta el punto en el cual se rompe en sus superficies. Ahora se cierra la entrada de gas y solamente se sigue soplando aire; la zona de combustión lenta se

traslada paulatinamente en dirección hacia el lado frontal del pilar, donde también son chupados los gases producidos.

El método de combustión lenta alemán trabaja con un rendimiento de más o menos 60%. Se obtiene de 1 ton. de esquista (poder calorífico teórico ca. 1.300.000 kcal), más o menos 700.000 kcal, de los cuales pertenecen ca. 400.000 al petróleo y el resto a gas. Las 600.000 kcal que faltan, provienen especialmente del carbono sólido contenido en la esquista, y se necesitan para mantener la temperatura de la combustión lenta. Esta planta recién descrita trabaja con 36% de ganancia.

Los yacimientos chilenos de esquistas oleaginosas son muy poco conocidos y sólo muy superficialmente investigados. Las esquistas oleaginosas de Lonquimay, que son las mejor conocidas, tienen un contenido muy variable de petróleo: de un máximo de 135 litros/ton. (para estratos delgados hasta 30 cm. espesor) hasta 25 litros/ton. (para capas anchas de un espesor que a veces alcanza a 8,5 m). Para el cálculo de las reservas, se consideraron los dos yacimientos mejor conocidos:

1. "Porvenir", con un espesor de ca. 45 cm. y 80 litros/ton.
2. "Estrata 136", con un espesor de ca. 8,5 m. y 25 litros/ton.

Para instalar una planta con buen rendimiento a base de aprovechamiento de esquistas oleaginosas, las estadísticas de esta industria marcan como mínimo un contenido de 80 litros/ton. y un espesor de no menos de 1,6 m. para poder efectuar los trabajos en galerías. Para una explotación al aire se pueden bajar algo estos mínimos.

Gasificación subterránea es mucho menos exigente. Puede emplearse para esquistas mucho más pobres. La planta alemana arriba descrita p. ej., trabaja con esquistas mucho más pobres que el chileno. Aquí es oportuno mencionar que los petróleos chilenos son sumamente valiosos. En una destilación se ganan de ellos: 38% bencina, 29% Kerosén, 12,5% aceites lubricantes, 5,3% aceite de gas, 9,5% parafina sólida, 2,2% grasas sólidas, y quedan 3,5% de residuo. Las reservas chilenas se estiman a ca. 1.000 millones de ton. (según Dr. P. Krassa). Mi opinión es, que se puede efectuar la gasificación subterránea de los esquistas económicamente, pero su aprovechamiento según un método de extracción corriente apenas podrá costear los gastos debido a la gasificación siguiente sobre tierra. Estimo completamente justificado un estudio minucioso de las posibilidades de gasificación subterránea de esquistas oleaginosas chilenas, pero deberían comprender ensayos detallados de minería de combustión lenta, y de destilación, para poder llegar a una conclusión definitiva que conteste al punto de vista económico e industrial.

Para terminar el capítulo sobre la gasificación de esquistas oleaginosas, quiero mencionar los datos poco conocidos sobre combustión lenta y la siguiente destilación de los llamados "esquistas azufrosas" de Puertolano, en España. Los datos que conozco se refieren a los años 1942 y 1943. Se extrajeron como término medio anual más o menos 1.200.000 ton. de esquistas oleaginosas con 10% contenido de petróleo, que fueron quemados y después destilados.

El análisis de los esquistas mostraba como término medio: 25% bencina, 2,5% petróleo de calentamiento, y como resto, creosotas.

Ventajas de la gasificación subterránea en la minería del lignito.

Aunque la parte correspondiente a explotación bajo tierra ha disminuído mucho a favor de la explotación al aire, el punto cardinal de la economía fue y será siempre el aumento de producción en explotación bajo tierra y tiene que ocupar un puesto siempre más importante en los proyectos de minería del lignito. Entre los años 1923 y 1938 la producción de carbón bruto en la minería del lignito subió de 3,65 ton/faena a 13,58 ton/faena en explotación al aire, y sólo de 2,91 ton. a 3,97 ton. en explotación bajo tierra. Estos datos provienen del trabajo del Sr. Dr. Ing. Heinrich Hirz: "Posibilidades del aumento de producción en la minería subterránea del lignito", escrito en 1941 en Halle a. d. Saale; se basan en un amplio estudio hecho por el autor mencionado conjuntamente con el Sr. Dr. Ing. A. Gumprecht (Clausthal), y el Sr. Prof. W Schulz (Clausthal), en los años 1938-1940, y que da un cuadro fiel de las circunstancias reinantes en Alemania en estos años. Cifras correspondientes a industrias norteamericanas son algo más favorables debido a mejores condiciones de minería y mayor mecanización de los trabajos. El estudio del Sr. Dr. Ing. H. Hirz es en muchos aspectos muy pesimista. Estudió todas las posibilidades de aumento del rendimiento y el consiguiente abaratamiento y llegó a la conclusión, que ni siquiera una mecanización máxima podrá traer un mejoramiento considerable de la situación. En ese tiempo, la idea de gasificar subterráneamente el lignito era demasiado revolucionaria y extraña a los círculos generales de la especialidad para influenciar su labor en esta dirección. Las cantidades alcanzadas en los EE. UU. durante la guerra (ca. 5 ton/faena y hombre) deben considerarse como un máximo alcanzable sólo a veces y bajo circunstancias especiales. Datos alemanes, provenientes de minas austriacas y de los Sudetes, para la misma época, están bastante más bajos. Su máximo antes mencionado de 4 ton/faena sólo pudo ser sobrepasado en contados casos. El Dr. Ing. Friedrich Locker pu-

blicó en la revista B. B. Z, N° 6 del año de 1948 (Viena), un artículo sobre la minería del lignito combinada (excavación forzada de galerías) con ayuda de una máquina para cavar galerías circulares con aprovechamiento de 30-40% del yacimiento y gasificación siguiente según el método de hendiduras algo modificado. Este procedimiento es de extraordinario interés, porque sobrepasa ampliamente el rendimiento de las minas estado-unidenses y es aplicable para estratos verticales y horizontales. Hace poco, recibí un trabajo sobre ensayos de gasificación subterránea de Checoslovaquia, en los cuales se había estudiado muy minuciosamente el aprovechamiento de los gases obtenidos. El Dr. Ing. F. Spetl nos informa sobre los ensayos hechos en tiempos de la post-guerra en las minas de la Fa "Cs doly, narodni podnik". Llega a las siguientes conclusiones: Especialmente rentable es la gasificación de estratos delgados y altamente traspasados. Para carbones de gran poder calorífico, especialmente para los que tienen poder de coquificación, este método no es aconsejable, porque se pierden productos como alquitrán, benceno, amoníaco, y naftalina. La gasificación subterránea se puede considerar como complemento de los métodos de extracción usuales, pero no como su substituyente. Debe proporcionar gas para las cámaras de calentamiento de industrias, compañías de electricidad, altos hornos, y materias primas para industrias químicas. Además mostró que los costos de investidura para gasificación son bastante elevados, pero mucho más bajos que los correspondientes a métodos de extracción corriente. Además, el Sr. Dipl. Ing. F. Spetl estudió las instalaciones auxiliares necesarias para la conducción de los gases desde la fábrica hasta el consumidor. Llegó a la conclusión, que el gas de aire, que contiene mucho nitrógeno, no es adecuado para el transporte a lo largo de grandes distancias. Gas de agua, en cambio, es bien apropiado para el transporte a lo largo de grandes distancias, y puede ser conducido económicamente por varios cientos de kilómetros. También discute los mejores métodos de transporte para estos gases. Aquí quiero mencionar que tanto los americanos como los alemanes han solucionado este problema ya tiempo atrás, y yo personalmente he tenido la oportunidad de trabajar en la vía Neusiedl-Zaya—Viena en Austria, como en Kostel—Brünn en la Checoslovaquia. Ambas tuberías fueron construídas para metano. La primera fue terminada durante la guerra y funcionó bien durante 21½ años. La segunda fue terminada por los checos después de la guerra y hoy en día abastece a Brünn con gas proveniente de las sondas cerca de Kostel. Ambas tuberías fueron construídas como tuberías subterráneas de alta presión y gran diámetro y la aislación empleada con asfalto ha dado buenos resultados. De lo recién expuesto se deriva mi opinión, de que no es necesario un traslado

sobre postes, análogo a la cañería para gas de horno, como ha sido insinuado por el Sr. Dr. Ing. F. Spetl, y que es mucho más caro.

Me he preocupado más del problema del uso industrialmente económico del lignito, porque es de especial interés para la industria del carbón del país, ya que los carbones chilenos, al tratarse de gasificación, tienen casi idénticos rasgos a los lignitos de la Europa Central.

Para finalizar este capítulo sobre los ensayos más recientes de gasificación subterránea del carbón, quiero dar algunas referencias sobre ensayos franceses y norteamericanos.

Mis colegas franceses han estudiado los resultados obtenidos por los estadinenses en los dos primeros años después de la guerra. Francia, que trata de racionalizar su industria de combustibles para acabar definitivamente con sus crisis, han contribuido grandemente en el desarrollo de la investigación sobre gasificación subterránea, en los últimos años. Las conclusiones a que llegaron los sabios franceses, se pueden resumir en breves palabras como sigue: 1. Pérdidas por "carbón restante" no quemado son mínimas y prácticamente desperdiciables. 2. Se puede considerar segura una buena combustión completa para distancias entre hoyos hasta ca. 90 m. 3. Como puede calcularse con un aprovechamiento completo del aire insuflado, hay que suponer corriente turbulenta de gas, sin la cual lo anterior es imposible. 4. La combustión completa del carbón es precedida por una coquificación; una producción constante de gas de aire, respectivamente de gas de agua se puede conseguir fácilmente, haciendo pasar el vapor de aire o de agua por el lecho de coque. Esta uniformidad no sólo se refiere a la cantidad de gas producida, sino también a la composición de la mezcla. 5. Trabajos con presión alta no son dificultados por el derrumbe de la capa superior. 6. Según ensayos franceses, el diámetro óptimo de las perforaciones es de 0,46 m. 7. Un cambio en el sentido de insuflación respectivamente de succión no es necesario: no trae ventajas que mencionar. 8. Agrietamiento térmico producido por gasificación de partes cercanas de estratos es ideal, porque hace necesario sólo una única comunicación entre los dos primeros hoyos. Las hendiduras originadas por el agrietamiento térmico son completamente suficientes para asegurar la gasificación entre los dos hoyos siguientes. La distancia entre estos dos pares de hoyos es función de diversos factores, que en su mayor partes son de naturaleza individual y han de ser determinados empíricamente para cada yacimiento. Estos factores dependen de las condiciones geológicas, físicas y químicas del yacimiento, y son sus características individuales.

Los ensayos aún no terminados completamente, hechos en una planta de gran escala por la Alemania Power Co. en la mina Gorgas

(Alabama, EE. UU.), son dignas de una descripción más detallada, con la cual quiero terminar con lo referente a los ensayos más nuevos. Los primeros trabajos datan de principios de 1947 y por eso pudieron aprovecharse experiencias alemanas obtenidas durante la guerra. Los proyectos para esta planta fueron hechos conjuntamente por los ingenieros de la Alabama Co. y la "Buro of Mines", que es la institución suprema de minas en los EE. UU. En el primer experimento se han aislado ca. 900 ton. de carbón en el estrato. La capa superior fue perforada por 16 hoyos. El encendido se hizo mediante bombas de termita. El experimento se realizó con obtención periódica de gas de calentamiento y gas de agua. Constituyó una repetición algo modificada de los ensayos rusos y alemanes y sirvió como preparación a los ingenieros. Datos más exactos son desconocidos para la mayor parte de la publicidad. Pero fueron satisfactorios y estimularon a nuevos ensayos, que también fueron realizados en la mina Gorgas, y dirigidos por las mismas instituciones. El primer ensayo se empezó con la excavación de una galería en forma de U de las siguientes dimensiones: 46 m. de largo, y 12 m. de distancia entre los dos lados. Se llegó hasta ca. 9 m. debajo de la capa superior. Así se gasificó un bloque de carbón de más o menos 15.000 m³ de volumen, no considerando el lado exterior del pilar de carbón. El encendido se hizo como se mencionó antes. Durante el ensayo, que duró seis días, se obtuvieron ca. 1.300 m³ de gas, con los que se calentaron las calderas de una planta vecina de fuerza. En los ensayos hechos para la obtención de gas de agua, se constató la extraordinaria calidad del gas obtenido y el fácil manejo de la instalación para la producción de las dos clases de gas. En este ensayo se ha cambiado de tiempo en tiempo el sentido de insuflación y succión, para mantener uniforme la gasificación. Después de terminar el ensayo, se refrigeró la galería primero con vapor de agua y después con agua para hacer posible la investigación de los restos de la gasificación. Se vio que ca. 9 ton. de carbón habían sido quemadas a cenizas y 149 ton. se habían coqueificado. Después de sacar conclusiones positivas de estos resultados, en Mayo de 1949 empezó el trabajo continuo de la mina Gorgas. Se incendió un estrato rico de carbón a una hondura de más o menos 48½ m. La gasificación se desarrolló normalmente. Ya después de tres días, la temperatura del foco de combustión alcanzó a 1.650°C. Se estima una gasificación diaria de 50 ton. de carbón. Como el estrato tiene aproximadamente 500.000 ton., se calcula con un tiempo de gasificación de 2 a 3 años. Los gases obtenidos son investigados continuamente. Los resultados de estos trabajos recién podrán ser discutidos por la ciencia de los años venideros.

Y ahora algo sobre el tantas veces mencionado método de Ranney —y sobre el mismo Leo Ranney, uno de los más grandes ingenieros contemporáneos. Leo Ranney se ha hecho mundialmente conocido por sus proyectos de obtención de petróleo mediante perforaciones horizontales. También ha ideado proyectos para la obtención de metano libre de yacimientos de carbón, y para la gasificación subterránea del carbón. La Pittsburg Consolidation Coal, una de las firmas de minería del carbón más grande de los EE. UU., hizo un contrato con Ranney (que es uno de los directores de la Standard Oil Co. de New Jersey) para la comprobación experimental de su método. En este contrato se trata de la obtención de las cantidades libres de metano contenidas en los yacimientos no explotados de carbón. Con la Standard Oil Co. y la otra firma juntas, se hizo un segundo contrato referente a gasificación subterránea del carbón. La Standard Oil Co. proyectaba para eso una planta de licuación de gas, para aprovechar el gas de síntesis. La dirección está en manos de Leo Ranney y de la Pittsburg Consolidation Coal. Se pueden considerar las ideas básicas del proyecto de Ranney como un fundamental mejoramiento del método de filtración ya tratado en este artículo. La idea revolucionaria de la horadación horizontal está en el mejor camino para eliminar los defectos de este método. Según Ranney, se pueden efectuar todos los trabajos desde la superficie de la tierra, aun para estratos horizontales, mediante la "horadación horizontal dirigida y empleo de instrumentos especiales de horadación". Estos instrumentos fabricados para uso especial, permiten en cualquier momento un cambio de dirección e inclinación del hoyo. Los trabajos pueden efectuarse automáticamente o por mañejo a distancia, o colocados antes para una cierta dirección de horadación, desarrollándose luego por controles automáticos sin intervención humana. Acaso y hasta qué grado se ha empleado el método de Ranney en la mina Gorgas, no me ha sido posible determinar de las cortas noticias en "Mining and Metallurgie" (Minería y Metalurgia), y de informaciones de la "U. P.", que fueron mis fuentes principales para la descripción de los trabajos hechos en la mina Gorgas.

Con esta enumeración de los resultados de los ensayos más recientes de gasificación subterránea, quiero dar término a mi trabajo. La gasificación del carbón, la rama más nueva de la minería del carbón, ha salido de su estado de experimentación. Para nuestros primeros trabajos, que tuvimos que realizar en contra de todos los postulados reinantes, aún no teníamos a disposición los inventos recientes, como la bomba de Termita los turbo-ventiladores de alta presión. Además, tuvo que ser comprobada prácticamente la teoría de las grietas tér-

micas. La labor de los años de guerra trajo la solución de todas estas dificultades. Creo que el futuro de la gasificación del carbón está completamente asegurado.

Lista de literatura más reciente sobre la gasificación subterránea del carbón:

1. Dipl. Ing. Friedrich Locker: "Mechanischer Abbau und Restvergasung im Kohlebergbau" (Extracción mecánica y gasificación de los restos en la minería del carbón), revista B. B. Z. N° 6, Viena, 1948 (alemán).
2. Dr. Ing. F. Spetl: "Zpínovani uhli podzemi" (Gasificación subterránea del carbón), Revista Hospodar N° 34, Praga, 1948 (checo).
3. Ing. Josef Schorr: "La Gasification souterraine du charbon" (La gasificación subterránea del carbón), revista Energie, N° 50, París 1948 (francés).
4. Dipl. Ing. V. v. Kolübakin: "Die Untertage-Vergasung der Kohle" (La gasificación subterránea del carbón) revista B. B. Z. N° 4, Viena, 1948 (alemán).

