

BOLETIN  
DE LA  
**Sociedad Nacional de Minería**

DIRECTORIO DE LA SOCIEDAD

Presidente  
**Cárls Besa**

Acuña, Guillermo  
Aldunate Solar, Cárls  
Blanquier, Juan  
Barriga, Cárls  
Elguin, Lorenzo

Directores Honorarios  
**Cesáreo Aguirre**  
**Cárls G. Avalos**

Gandarillas, Javier  
Ghigliotto Salas, Orlando  
Koerting, Berthold  
Lanas, Cárls  
Lezaeta A., Eleazar

Secretario  
OSVALDO MARTÍNEZ C.

Vice-Presidente  
**José Luis Lecaros**

Lira, Alejandro  
Malsch, Cárls  
Pinto, Joaquín N.  
Yunge, Guillermo

**El procedimiento Haber para la síntesis industrial  
del amoniaco**

por

**ALEJANDRO BERTRAND**

Ingeniero Civil i de Minas de la Universidad de Chile.

I.—EVOLUCION DEL PROCESO TÉCNICO.

No nos proponemos repetir aquí la historia de las tentativas de laboratorio hechas desde un siglo atrás para realizar la síntesis química del amoniaco partiendo de sus elementos (1). Esa historia ha sido escrita desde diversos puntos de vista por *Norton*, *Beruthsen* i *Knox* (2). Mencionaremos de paso que el químico francés *Le Chetelier* ha comunicado recientemente a la Academia de Ciencias que él habia efectuado esa síntesis i patentado el procedimiento en 1901.

Siendo nuestro presente objetivo dar a conocer el procedimiento industrial, sólo recordaremos, de la evolucion de su técnica, lo que ha tenido influencia permanente en aquél. Conviene tener presente desde *ab-initio* cuáles han sido las determinantes materiales del éxito de esa evolucion, las que han sido espuestas por *Norton* en términos de insuperable precision:

(1) Recordaremos que el amoniaco puro se compone, en peso de  $14/17=82.36\%$  de ázoe i  $3/17=17.64\%$  de hidrójeno. En volúmen, a la presión atmosférica, de 1 de ázoe i 3 de hidrójeno, siendo la densidad de este último (como su peso atómico) 14 veces inferior a la del primero. Un resumen de la terminología química i datos numéricos pertinentes al ázoe i sus derivados inorgánicos se hallará en el Apéndice I de nuestra monografía «Industria i Comercio de Substancias Azoadas».

(2) Al fin de este artículo damos algunos apuntes bibliográficos de Haber, sus colaboradores i divulgadores, i como apéndice al final, dos noticias bibliográficas con los títulos i características de las obras i escritos a que se hace referencia en el texto.

«Fué debido, en parte al reconocimiento de estar pendiente un problema del ázoe, en parte a que mui recientemente la industria química ha podido disponer de ázoe i de hidrógeno comparativamente puros i con un costo relativamente insignificante. La liquefaccion del aire, la produccion de gas de jenerator (gasójeno) i de gas de agua; el rápido progreso de la aeronáutica, con su insistente demanda por hidrógeno barato i finalmente los progresos de la química electrolítica, han sido todos factores contribuyentes a esta última condicion (la baratura) que es fundamentalmente esencial como base de un proceso técnico». (Norton, páj. 29).

\* \* \*

De las prolijas relaciones de los esperimentos anteriores a los de *Haber* hechas por *Gnclin-Kraut* i *Abegg*, i despues de aquéllos por el mismo *Haber* i sus colaboradores *van Oordt* i *le Rosignol*, por *Nernst* i *Jost*, coordinadas más tarde por *Bernthsen* i *Knox*, nos ha sido posible formar un resúmen de las condiciones, en parte contradictorias, cuya realizacion fué necesario procurar para llegar a la solucion práctica de la síntesis del amoniaco. Despejado de todo tecnicismo irreductible al lenguaje comun i de toda prolijidad no esencial, hemos reducido dicho resúmen a la siguiente espesicion de hechos correspondientes a las diversas fases del problema.

\* \* \*

1.—*Teoria de la reaccion de síntesis*.—En las combinaciones químicas de elementos gaseosos intervienen a la vez leyes físicas i químicas. En el caso particular del ázoe i del hidrógeno, de los que supondremos contenidos en un recipiente de capacidad 4, un volúmen del primero i 3 del segundo, existe para cada temperatura (dentro de ciertos límites extremos) la posibilidad de formarse por combinaciones de esos gases elementales, cierta proporcion o porcentaje (respecto al contenido total) de amoniaco; proporcion determinada por una lei llamada de «equilibrio móvil» de van't Hoff.

Esta reaccion de síntesis es «exotérmica», es decir que se efectúa con *desprendimiento de calor*, a razon de 12 calorías por cada molécula-gramo de amoniaco (1) formado; al mismo tiempo hai *reduccion de volúmen*, ocupando el amoniaco sólo la mitad del que ocupaban sus elementos en simple mezcla a la presion atmosférica.

El estudio teórico de las relaciones o ecuaciones del «equilibrio móvil» hacia prever, i los esperimentos de laboratorio lo confirmaren, que en el caso de un recipiente que contiene una mezcla de ázoe, hidrógeno i amoniaco, las temperaturas bajas son favorables a la *estabilidad* del amoniaco existente en la mezcla i las altas a su *disociacion*; la esperiencia demostró además que para que se produzcan las reacciones químicas, tanto de *descomposicion* como de *síntesis* a una temperatura dada (es decir para que disminuya o aumente el porcentaje de amoniaco inicial), tiene que intervenir una causa exterior, sea la accion de un cuerpo que obre por presencia o contacto (*catálisis*), sea un aumento o disminucion de *presion*, o ámbas

causas a la vez. Las cosas pasan como si el efecto de esta acción exterior fuere el de provocar la cesación del estado de «reposo químico» de la mezcla gaseosa, favorecido por cierta «viscosidad» de los gases, la que impide a la reacción potencial salir de lo que se llama su «zona de frotamiento».

2.—*Influencia de la temperatura a la presión atmosférica.*—Como punto de partida conviene tener presente la siguiente correlación teórica entre las temperaturas extremas en que pueden existir en la mezcla gaseosa porcentajes apreciables, de los gases elementales i de amoníaco respectivamente supuestas realizadas las demás condiciones para que se efectúen las reacciones, a la presión atmosférica:

Temperaturas.....	27°	327°	627°	927°	1,020°
Concentración (AzH <sup>3</sup> %)	98.51	8.72	0.21	0.024	0.012

3.—*Influencia de la presión a altas temperaturas.*—Demostraron numerosos experimentos que el cuadro que antecede no es aplicable en la práctica, a las temperaturas bajas; por cuanto la «viscosidad» que se opone a la combinación química del ázoe e hidrógeno es precisamente mayor en las temperaturas bajas a las que corresponden mayor porcentaje teórico de amoníaco, disminuye con la elevación de temperatura i sólo desaparece con el calor rojo cuando ya no se forma proporción industrialmente apreciable de amoníaco a la presión atmosférica.

Por otra parte, la reducción espontánea de volumen que acompaña a la reacción de síntesis, era una indicación de que los incrementos de presión habían de ser favorables a esta síntesis, i se emprendieron nuevas series de experimentos en este sentido, con los resultados que hemos consignado en el siguiente cuadro que indica la «concentración» obtenida en la mezcla; espresada en porcentaje de amoníaco a temperaturas comprendidas entre 400° i 1000°, i para presiones de 1, 30, 100 i 200 atmósferas.

## ATMÓSFERAS DE PRESION

TEMPERATURAS	1	30	100	200
400°.....	0.48 %	...	...	...
500°.....	0.13 %	...	10.7%	18.1%
550°.....	...	...	7.0%	12.2%
600°.....	0.048 %	...	4.5%	8.3%
650°.....	...	...	3.0%	5.8%
700°.....	0.021 %	0.654%	2.1%	4.1%
750°.....	0.015 %	...	...	...
800°.....	0.011 %	0.344%	...	...
850°.....	0.0091 %	...	...	...
900°.....	...	0.207%	...	...
930°.....	0.0065 %	...	...	...
974°.....	...	0.15 %	...	...
1,000°.....	0.0048 %	...	...	...

(1) Molécula-gramo = peso molecular espresado en gramos. Para el amoníaco (AzH<sub>3</sub>), siendo Az=14 i H=1, es de 17 gramos.

Demuestra este cuadro que sólo la combinación de temperaturas inferiores a 600° i presiones superiores a 100 atmósferas, permitía obtener concentraciones en amoniaco compatibles con un rendimiento industrial del procedimiento. Por otra parte los nuevos experimentos demostraron también que otra condicion muy importante desde el punto de vista industrial, la *rapidez* de la reaccion para obtener esas concentraciones si aumentaba con la presion, disminuía con la temperatura, coexistiendo así dos condiciones contradictorias de la eficiencia del proceso. Además se observó que la *rapidez* de la reaccion de síntesis estaba en razon inversa de la *concentracion* ya efectuada o sea del porcentaje en amoniaco de la mezcla; de manera que en un recipiente con un contenido inmóvil de ázoe e hidrójeno, i en las condiciones mas favorables para la reaccion ésta, se iniciaria con su *rapidez máxima*, la que iria disminuyendo a medida que se cargaba la mezcla en amoniaco.

4.—*Influencia del catalizador*—Así como fué la accion de *presiones* superiores a la atmosférica la que hizo posible la obtencion i subsistencia de porcentajes apreciables de amoniaco a temperaturas compatibles con otras condiciones del proceso (desaparicion de la «viscosidad»); así fué la accion *catalítica* (que sólo se ejerce a partir de cierta temperatura) la que permitió alcanzar una *rapidez de concentracion* compatible con una marcha industrial.

Ensayados como catalizadores el *Hierro*, el *Platino*, el *Manganeso*; despues el *Cerio*, el *Wolfram*, el *Rutenio*, el *Uranio* i el *Osmio*, resultaron estos dos últimos los mas eficaces.

Con temperaturas comprendidas entre 490° i 610° i bajo presiones de 117 a 190 atmósferas, se obtuvieron porcentajes variables de amoniaco de 3 a 12%, segun la velocidad de la corriente gaseosa, de la que trataremos separadamente.

Fuera de las circunstancias ya referidas, la eficacia de cada catalizador resultó ser dependiente de otras imprevistas, complejas i hasta ahora inesplicables. La presencia de ciertos cuerpos estraños, sea en el catalizador, sea en los gases elementales, *promueve* i *acelera* o bien en otros casos *retarda*, *estorba* o *anula* la accion catalítica. Así probaron obrar como *activantes* bases alcalinas o alcalino-terreas agregadas al catalizador i como *venenos* respecto del mismo, el *azufre*, el *arsénico*, el *selenio*, el *teluro*, el *boro* i los gases *hidrójeno sulfurado*, *arseniado* i *fosforado*, hasta en proporciones de una millonésima parte de la mezcla i en menor grado del óxido de carbono.

5.—*Influencia de la velocidad de la corriente gaseosa*.—Ya espusimos, bajo el N.º 3, que supuesta iniciada la reaccion en una mezcla gaseosa en estado de inmovilidad, la *rapidez* con que se produce dicha reaccion va dis-

minuyendo a medida que aumenta la concentracion de la mezcla, hasta cesar completamente cuando se alcanza al máximo de concentracion correspondiente al equilibrio químico. De aquí la necesidad de operar con una *corriente* de los gases elementales bajo presion.

A este respecto ocurrió que nuevamente los esperimentos pusieron demanifiesto condiciones contradictorias a la eficiencia de la operacion; pues las velocidades adecuadas para alcanzar las concentraciones que se perseguian resultaban demasiado lentas para un proceso industrial, i con velocidades mayores no se alcanzaba, por una parte, a obtener concentraciones convenientes, i por otra, la proporcion de gases elementales contenida en la mezcla evacuada era demasiado fuerte para que conviniera dejarlos perderse. Se hizo, pues, necesario buscar un dispositivo para *separar* el amoniaco producido i *restituir* el ázoe i el hidrójeno arrastrados al surtidor primitivo.

6.—*Influencia de la presion a bajas temperaturas.*—El hecho físico del que se valió el inventor para idear el dispositivo apropiado a efectuar esa separacion, fué la gran diferencia que existe entre las temperaturas de los *puntos críticos* (paso del estado de gas al de líquido) del amoniaco (40° bajo cero a la presion atmosférica) i de los gases ázoe e hidrójeno (próximos respectivamente a 200° i 250° bajo cero a la presion ordinaria, i siempre mui distantes del punto crítico del amoniaco bajo fuertes presiones).

Este hecho permite la eliminacion, bajo forma líquida a temperaturas bajas, del amoniaco de una mezcla en que el ázoe i el hidrójeno permanecen al estado gaseoso. Esta eliminacion no es, sin embargo, perfecta, pues la «viscosidad» de los gases hace que éstos retengan pequeños porcentajes de aquél, que disminuyen con la temperatura i en razon inversa de la presion.

El siguiente cuadro indica la correlacion teórica de las temperaturas *bajo cero* i de los porcentajes de amoniaco retenidos bajo presiones, respectivamente, de 150 i 200 atmósferas.

Temperaturas.....	0°	-10°	-20°	-30°	-40°	-50°	-60°	
AzH <sup>30</sup> %	{ 150 atmósferas	2.7	1.9	1.2	0.76	0.47	0.25	0.13
	{ 200 atmósferas	2.0	1.4	0.9	0.57	0.35	0.19	0.10

7.—*Influencia de los materiales constituyentes de la cámara de reaccion.*  
—Las condiciones de temperatura i presion en que habia que operar suscitaron dificultades de otro órden que las enumeradas. Por una parte, a temperaturas superiores a 400° el acero pierde su carbono, el hierro se pone permeable al hidrójeno i susceptible de ser atacado por el amoniaco. Por otra parte la pureza de los gases elementales, ya necesaria desde el

punto de vista de la reaccion, se hacia indispensable desde el de la seguridad de los operarios, dado los peligros de esplosion inherentes a la existencia de oxígeno o siquiera introduccion de aire a la mezcla gaseosa.

\* \* \*

Esperamos sea suficiente el resúmen que antecede para dar una idea de la complejidad del problema industrial que quedaba por resolver una vez solucionado el problema físico-químico de la síntesis del amoniaco.

Considerado bajo el aspecto práctico, aquel problema se subdividia en los siguientes de carácter técnico-industrial:

1.º Obtencion de *ázo*e e *hidrógeno* en estado de pureza i a bajo precio;  
 2.º Determinacion del ajente *catalítico* mas apropiado para la reaccion en condiciones industriales a grande escala, de los *promotores* mas adecuados para activar esa reaccion; de los *venenos* que deben evitarse o eliminarse por completo de los gases elementales i del catalizador;

3.º Procurar la fabricacion en condiciones i escala industrial de cámaras de reaccion susceptibles de resistir a las tempeaturas i presiones que requiere el proceso;

4.º Realizar una disposicion de los aparatos con reguladores de presion, temperatura, recuperadores de calor i frio, llaves de comunicacion a prueba de gas en esas condiciones escepcionales, velocidad de corriente gaseosa, etc., que correspondan a la vez a los mayores rendimientos industriales, a un funcionamiento automático en lo posible i a la seguridad de los operarios.

\* \* \*

La esposicion de cómo se han obtenido en la práctica esos resultados, formará la materia de la segunda parte de este estudio; en la tercera, nos ocuparemos de los factores económicos del precio de costo de la unidad de amoniaco; en la cuarta i última, de las fuerzas financieras que están empeñadas en la industria del amoniaco sintético.

Antes de pasar adelante, i estando ya el lector impuesto de la magnitud i complejidad de los problemas envueltos en esta cuestion, creemos deber satisfacer un interes natural, ilustrándolo someramente acerca del inventor del actual procedimiento de síntesis del amoniaco, de sus colaboradores principales i de los divulgadores de su obra.

Como documentacion del presente trabajo, daremos en un *Apéndice* final, dos noticias bibliográficas descriptivas de todas las publicaciones

concernientes al Amoniaco Haber que han llegado a nuestro conocimiento; la primera de las hechas en el extranjero, i la segunda de lo publicado en Chile.

Ademas del objetivo jeneral de llevar al conocimiento de nuestros colegas las fuentes de informacion de que nos hemos valido, obedecemos al propósito de poner de manifiesto en este caso concreto la evidente influencia que una oportuna i precisa literatura técnica ejerce sobre el progreso científico e industrial de los descubrimientos modernos. Hácese palpable ademas que esa literatura, que es en primer lugar un *efecto*, suscita colaboraciones e investigaciones colaterales i pasa así a ser *causa* de progresos subsiguientes.

Al presentar separadamente las Notas concernientes a las publicaciones hechas en Chile i al dar de éstas extractos mas comprensivos, queremos dejar establecido que no tiene excusa la ignorancia que, respecto al procedimiento Haber, han manifestado articulistas que hacen frecuentes referencias a él en la prensa diaria, no estimando que les correspondía imponerse siquiera de lo que se habia publicado en el pais en que escriben—i aun asimilarse el contenido de esas publicaciones—antes de exhibir un escepticismo estemporáneo i de emitir opiniones inconsistentes con hechos que son ya notoriedad pública.

*El Profesor Haber i sus colaboradores.*—El profesor Dr. Fritz Haber, director del Instituto Electro-técnico «Kaiser Wilhelm» en Berlin (antes del Politécnico de Karlsruhe), inició sus investigaciones sobre la síntesis del amoniaco junto con G. van Oordt en el laboratorio de dicho Instituto el año 1904. Ambos publicaron los resultados obtenidos en 1905 i 1906. Nuevas investigaciones practicadas por Haber con la colaboracion de R. le Rossignol fueron publicadas en 1907 i 1908.

Este último año entró el profesor Haber en relaciones con la gran empresa «Badische Anilin und Sodafabrik» (1) con cuya ayuda prosiguió sus esperimentos a escala industrial, los que dió posteriormente por terminados en 1909 i de los que hizo un resúmen completo que publicó con diagramas ilustrativos en 1910.

Solucionadas satisfactoriamente las dificultades técnicas-industriales que hemos señalado, la «Badische» resolvió en 1912 la construccion en Oppau de la primera fábrica de amoniaco sintético a la que se dió una capacidad inicial de 35,000 toneladas anuales (espresadas en sulfato) con aumentos prospectivos hasta alcanzar 130,000 toneladas en 1915.

Miéntas tanto el Dr. Haber continuaba con su antiguo colaborador le Rossignol sus esperimentos para perfeccionar las soluciones ya alcanza-

(1) Noticias detalladas sobre esta Empresa daremos en la 3.<sup>a</sup> 4.<sup>a</sup> parte de este estudio.

das, i con otros nuevos el Dr. *Mittasch*, las investigaciones sobre la accion catalítica de una gran variedad de substancias. El Dr. *Karl Bosch* fue el encargado de estudiar i resolver las dificultades concernientes a la fabricacion de aparatos i a las instalaciones siendo—segun la expresion de Haber— el verdadero *creador* del actual plantel de Oppau cerca de Ludwigshafen.

En el curso de estos trabajos publicaron todavía *Haber* i le *Rossignol* en 1913 nuevas Notas técnicas que incluían el informe completo presentado a la «Badische» en 1909, i mayores precisiones industriales que las anteriores. Por fin, en vísperas de la guerra, a principios de Junio de 1914, el Dr. *Haber* hizo en Bonn, ante la Asamblea Anual Jeneral de la «Asociacion de Químicos Alemanes» una Conferencia en la que anunció a sus colegas que habian quedado definitivamente vencidas las últimas dificultades que se oponian al completo éxito industrial i económico de su procedimiento.

*Los divulgadores del procedimiento Haber.*—El primer divulgador del nuevo procedimiento—despues del autor i sus colaboradores—i el primero entre todos en describir con algun detalle sus características industriales i en entrar en sus aspectos económicos, fué el químico [norte-americano] Dr. *Thomas H. Norton*, antiguo estudiante en Alemania, un tiempo colaborador en laboratorios químicos de ese pais, director industrial en Francia, profesor de química por 17 años (1883-1900) en la Universidad de Cincinnati (Estado de Illinois) i Cónsul de Estados Unidos en Chemnitz (Sajonia) de 1909 a 1914. El Dr. *Norton* fué comisionado en 1911—en cumplimiento de una reciente resolucion del Congreso de Estados Unidos (Marzo 4) que autorizaba al Ministerio de Comercio para hacer investigaciones sobre las condiciones industriales en el extranjero, para estudiar especialmente las industrias químicas. En cumplimiento de esta Comision visitó los principales centros industriales de toda Europa i a principios de 1912 remitió a su Gobierno una Monografía titulada «Utilizacion del Azoé Atmosférico» que fué mandada publicar oficialmente en Abril del mismo año.

En esta obra, que continúa despues de 5 años siendo el texto mas completo sobre la materia de su título; *Norton* no sólo resumió de una manera tan concisa como completa la tecnología del procedimiento Haber, dando cifras inéditas, sino que entró en interesantes pormenores sobre los diversos procedimientos para producir hidrójeno barato.

Poco despues de publicada la monografía de *Norton*, tuvo lugar en Washington i Nueva York (Setiembre de 1912) el 8.º Congreso Internacional de Química Aplicada, en una de cuyas sesiones el Dr. *Bernsthsen*, director de la «Badische» dió una conferencia sobre el amoniaco sintético que contiene una tan interesante como auténtica relacion de los trabajos de *Haber* i sus colaboradores. Creemos suficiente mencionar aquí esta con-

ferencia, por haber sido publicada en Chile una traducción in-extenso de su texto, según se indica en la bibliografía.

Las publicaciones que preceden son todas anteriores a la memoria más completa de *Haber* (1913). Después de esta fecha, i aprovechándose de las informaciones contenidas en ella, se han publicado en Inglaterra dos nuevas monografías. La primera de carácter técnico publicada en Abril de 1914 tiene por autor John *Knox*, conferencista de Química Inorgánica en Aberdeen, i comprende la teoría de los diversos procedimientos de «Fijación del ázoe atmosférico». La segunda, debida al conocido tratadista de Química Industrial *Geoffrey Martin*, salió a luz en Julio de 1915; su materia es los «Compuestos industriales del ázoe» i entra en detalles de fabricación i precios de costo.

Finalmente se han publicado sucesivamente en Alemania i en Inglaterra (Setiembre de 1916) la 5.<sup>a</sup> edición del tratado clásico sobre el «Alquitran i Amoniaco» del químico G. *Lunge* de Zúrich, que contiene detalles industriales i concernientes a las patentes tomadas para la explotación del procedimiento *Haber*.

En Chile, si bien se han publicado en la prensa diaria i revistas técnicas varios artículos en que se hace referencia al procedimiento *Haber*, i en las «Circulares de la Asociación Salitrera» numerosas traducciones de revistas europeas (de las que se hallarán extractos en el Apéndice final), no tenemos conocimiento sino de dos exposiciones de alguna amplitud sobre este tema, debidas a autores nacionales, escritas casi simultáneamente, la una en Valparaíso por el Dr. Luis *Mourgues* i la otra en París por el autor del presente trabajo. Las informaciones suministradas por el Dr. *Mourgues* en forma de reportaje a *El Mercurio* (Junio 24, 1915) aunque conciernen casi exclusivamente al aspecto económico del procedimiento, eran dignas de mayor atención i divulgación de las que tuvieron, por su exactitud i el completo conocimiento de la cuestión que revelaban. Creemos, por estas razones, conveniente hacerlas reimprimir como Apéndice a la parte tercera de nuestro estudio, junto con uno del señor L. Nordenflycht que contiene noticias del mayor interés.

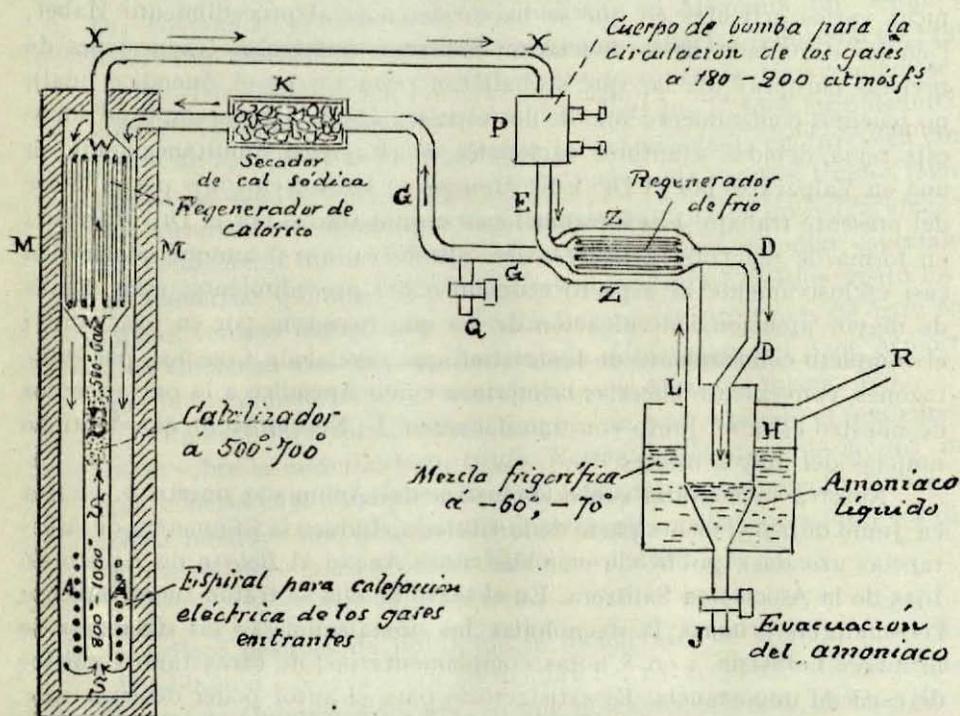
Nuestra monografía sobre «Industria del Amoniaco sintético», escrita en Junio de 1915, forma parte de la titulada «Industria i Comercio de sustancias azoadas», publicada en Chile como Anexo al *Boletín* de Agosto de 1915 de la Asociación Salitrera. En el texto de ella se tratan sucesivamente las «materias primas», la «tecnología», las «instalaciones» i las «finanzas» de la nueva industria, i en 8 notas complementarias, de otros tantos puntos de especial importancia. Es satisfactorio para el autor poder declarar que, pasados dos años durante los cuales han visto la luz nuevas monografías en que se han aprovechado datos más recientes, subsisten los nuestros en

su integridad, según le es fácil a los lectores cerciorarse por medio de la comparación con el presente trabajo.

## II.—TECNOLOGIA E INSTALACIONES

En esta parte trataremos, primeramente de las disposiciones adoptadas por Haber para efectuar la síntesis del amoniaco en su plantel experimental, tal como la describió el autor en 1913; en segundo lugar de los escasos detalles que se han llegado a conocer acerca de la construcción material de los aparatos, de la cámara de reacción, del catalizador, etc.; por último de los métodos industriales actualmente empleados para la preparación del óxido de hidrógeno, elementos de dicha síntesis.

I.—*Descripción esquemática de la marcha de la operación.*—La instalación consta de tres partes esenciales correspondientes a las tres operaciones distintas que hai que efectuar: *reacción, compresión, enfriamiento*, que en el diseño ocupan respectivamente la izquierda, la derecha superior y la derecha inferior.



*Esquema de la Circulación de los gases.*

*Marcha de las operaciones; trayecto seguido por los gases.*—Suponiendo ya formada i sometida a la presión de 180 a 200 atmósferas la mezcla gaseosa de 1 volumen de Azoe i 3 de Hidrógeno, sigamos la corriente de esta mezcla desde su entrada por el tubo **F** al resistente cilindro de acero **MM**. Después de pasar por la parte *exterior* de un cierto número de tubos capilares metálicos **W**—los que sirven para intercambio i recuperación de calórico según luego se explicará—la mezcla gaseosa baja por el espacio anular ocupado por las flechas en el dibujo, hasta encontrar el conductor en espiral **AA** cuya resistencia eléctrica produce el calor necesario para elevar la temperatura de los gases a 800° o 1,000°. Llegados al extremo **S** del tubo interior que constituye la verdadera *cámara de reacción*, los gases ascienden por dentro del tubo **SS** donde se encuentran con el cuerpo catalizador **B**—que tienen que atravesar i cuyo contacto provoca la reacción de síntesis—i en seguida, en el ensanche que forma el extremo superior del tubo **SS**, con los tubos capilares **W**, por cuyo *interior* llegan ahora al tubo **XX**, que los conduce al cuerpo de bomba compresora **P** que funciona a 180 o 200 atmósferas. Impelida por esta bomba la corriente gaseosa pasa por el tubo **E** a un nuevo juego de tubos capilares **Z** i de allí, por el conducto **DD** al recipiente **H**, que está rodeado de una mezcla frigorífica de éter i ácido carbónico en estado sólido (1) a 60° o 70° bajo cero, a cuya temperatura el gas amoníaco contenido en la mezcla pasa al estado líquido, i puede ser evacuado por la llave **J**, quedando nuevamente compuesta dicha mezcla de los gases elementales azoe e hidrógeno. Estos son entónces evacuados por el conducto **L** i su ensanche, rodeando por el *exterior* el sistema de tubos capilares **Z**, i por medio del conducto **G**, a un disecador **K** que contiene cal sódica, cuya salida es el punto de partida de nuestra descripción.

*Funcionamiento de los aparatos.*—La mezcla de gases fríos, al entrar por **F** al recipiente **MM** se calienta al pasar por entre los tubos capilares **W**, por cuyo interior suben los gases calientes que vienen del catalizador; de manera que la mezcla llega al espacio anular calentada a 400° o 500°, absorbiendo prácticamente todo el exceso de calórico del gas saliente que ha pasado por **B**, de manera que este gas, al llegar al conducto **X** ha bajado prácticamente a la temperatura ambiente; mientras tanto el gas entrante, cuando llega al conductor eléctrico **AA** está ya a una alta temperatura, no ocurriendo así pérdida alguna de calórico, por cuya razón el órgano **W** se llama el recuperador o «rejuvenador de calor». Como ya se ha dicho el gas que baja ya caliente por el exterior del tubo **S**, alcanza por el contacto de la espiral **AA** una temperatura de 800° a 1,000°, que le sirve para mantener

(1) Temperatura crítica del ácido carbónico—30°, se solidifica a—80° a la presión atmosférica.

la substancia catalizadora **B**, al atravesarla, a la temperatura de 500° a 700°. Aquí se produce la *reaccion de síntesis*—segun esplicamos en la 1.<sup>a</sup> parte de este estudio—en proporciones tales que un 3% a 7% de la mezcla saliente es ahora *amoníaco*. Al ascender, como se dijo, por el interior de los tubos capilares **W**, esta mezcla amoniaca saliente entrega casi todo su calórico a la corriente fria entrante de gases elementales que vienen de **F**. La mezcla amoniaca saliente, ya fria sigue por el conducto **XX** hasta la bomba **P**, que funcionando a 180 o 200 atmósferas, la fuerza a escurrirse por el interior del segundo sistema capilar **Z**, por cuyo exterior circula la mezcla fria de gases elementales a 60° bajo cero que viene del recipiente **H**. Aquí tiene lugar un nuevo intercambio de temperaturas, de manera que al bajar por el conducto **D** al recipiente **H** la mezcla *amoniaca* apénas si tiene una temperatura superior a la de la corriente elemental que sale del mismo recipiente por el conducto **L** i que esta última, despues de absorber por fuera de los tubos capilares **Z** el calor de la primera, sale por el conducto **GG** pasa por **K** i llega a **F** casi a la temperatura ambiente. Por esto el sistema **Z** se llama el «regenerador de frio».

Segun ya se ha indicado, al llegar al recipiente **H**, donde prevalece una temperatura de 60° a 70° bajo cero, la mezcla gaseosa saliente, el amoniaco que contiene en la proporcion de 3 a 7% asume la forma líquida (siendo su temperatura de ebullicion 40° bajo cero), que se presta a su evacuacion por la llave **J**.

El amoniaco tambien puede evacuarse al estado gaseoso haciendo pasar la mezcla saliente ya enfriada—abriendo una válvula o llave **R**—por otro recipiente donde entra en contacto con un ácido absorbente, como el ácido sulfúrico, formándose así directamente sulfato de amoniaco.

Al evacuar el amoniaco, se introduce por la llave o válvula **Q** una cantidad correspondiente de ázoe i de hidrójeno, de modo que la operacion forma un ciclo continuo.

2.—*Algunas características de los aparatos.*—Este procedimiento, por las condiciones reunidas de presion i temperatura que requiere, implica novedades en construcciones técnicas. Hasta ahora operaciones químicas a grande escala bajo presiones de 200 atmósferas han sido desconocidas. La industria de los gases comprimidos i liquefactos, cuyos recientes progresos han sido tan rápidos, ha demostrado que, por ese lado, no existen grandes dificultades. Las cámaras de reaccion necesariamente tendrán un pequeño diámetro. Recipientes de acero de 5 milímetros de grueso i unos 7 centímetros de diámetro interior soportan fácilmente presiones de 200 atmósferas. Bombas para operar a estas presiones, con llaves, válvulas i otros accesorios, son ya de construccion corriente.

Segun lo insinuamos en la primera parte, la principal dificultad con-

sistia en que, a las temperaturas de mayor actividad catalítica en que se produce la reacción, el acero pierde su carbono i gran parte de su resistencia mecánica; el fierro deja de ser impermeable para el hidrógeno, que mezclado al aire exterior puede provocar graves explosiones; además la acción del amoniaco puede dar lugar a la formación de azoturos i deteriorar rápidamente las paredes de la cámara de reacción catalítica.

Segun lo espresó el Dr. Haber en su conferencia de Bonn (Junio de 1914) «la síntesis del amoniaco tuvo la suerte de ser realizada en un momento en que la industria del acero habia llegado a estar en aptitud de satisfacer las mayores exigencias técnicas». Si bien las fórmulas precisas mediante las cuales han sido vencidas las dificultades aludidas son naturalmente mantenidas en reserva por la «Badische», el estudio de las especificaciones publicadas por las oficinas de patentes permite penetrar algunos detalles interesantes. Así aparece que, para evitar la acción del hidrógeno sobre el acero, el cuerpo externo de la cámara de reacción está provisto de un revestimiento interior, i que el ázoe necesario para la reacción es introducido en el intervalo entre este revestimiento i la parte central de la cámara o tubo que contiene el catalizador (limitado por dos tapones de asbesto) de modo que se forma un «colchon» o chaqueta de ázoe sometido a la presión de la mezcla circulante, que protege las paredes exteriores del recipiente de acero.

Asimismo se utilizan aceros especiales, aleados con cromo, vanadio, tungsteno, etc. Parece que se han obtenido los mejores resultados con un acero que contiene 18% de tungsteno, 5% de cromo i nada de carbono.

Respecto del peligro de explosiones, debido a deterioros i debilitamientos de las paredes de las cámaras o retortas i a la acción de la presión interior, se ha observado que lo que se produce en tales casos es mas propiamente un *estallido* con una «ruptura limpia» de la pared metálica, sin producción de fragmentos; al contrario cuando hai introducción de oxígeno o aire a la mezcla gaseosa, se produce una verdadera *explosion*. Para atenuar los efectos de tales explosiones, se colocan ahora las retortas de reacción en pasajes o pozos subterráneos, separados de los cuerpos de edificio.

3.—*Producción i recuperación del calórico i del frío*.—Ha resultado en la práctica que el sistema de calefacción por la resistencia eléctrica adolece de inconvenientes, i en las nuevas instalaciones de Alemania se le ha substituido por uno de combustión interna, merced al cual se produce i mantiene casi automáticamente la temperatura requerida.

A este respecto es de observar que, siendo uno de los mayores factores del costo la producción de presión, de calor i de frío, reductible toda a gasto de combustible i energía, el *gasto efectivo* dependerá principalmente en de-

finitiva de la perfeccion de los ajustes i de los aparatos de recuperacion, i en menor grado de la rapidez de la reaccion.

En efecto el proceso Haber consiste, en su conjunto, en la *circulacion* a traves del catalizador a alta temperatura, de la bomba compresora, i del frigorífico, de una corriente gaseosa, en la que se forman porcentajes de 5% (promedio) de amoniaco, el que es abandonado en forma líquida, i substituido por un volúmen equivalente de gases elementales. Lo que se pierde en cada período circulatorio es la presion i las calorías (frigorías) con que sale el amoniaco al ambiente i las nuevas calorías con que se eleva la temperatura de los gases entrantes en substitucion del amoniaco evacuado.

El paso repetido i alternativo del 95% de la mezcla gaseosa circulante por las temperaturas extremas de  $+1,000^{\circ}$  i  $-60^{\circ}$  no ocasionaria gasto alguno si los aparatos recuperadores fueran perfectos i no hubiera pérdidas por radiacion.

A procurar la máxima realizacion práctica de ambas condiciones se han consagrado principalmente los esfuerzos de los constructores.

4.—*Resultados de la esperiencia en catalizadores.*—De todo lo que se ha publicado a este respecto, se desprende en primer lugar que los catalizadores mas eficaces entre los metales de los grupos Fierro i Cromo son los de mayor peso atómico. El que dió mejores resultados desde los primeros esperimentos de Haber, fué el *Osmio*; pero este metal no existe aun en cantidad suficiente para servir de base a un procedimiento industrial (1). En seguida venia el *carburo de Uranio* finamente pulverizado; pero éste ofrece el inconveniente de que no provoca la síntesis si los gases elementales están en estado de absoluta sequedad, i de que por otra parte la presencia de la proporcion infinitesimal de vapor de agua necesaria para que se desarrolle la actividad catalítica, provoca tambien la oxidacion superficial del uranio que le hace perder luego esa misma actividad.

Las especificaciones de patentes mas recientes (1915) mencionan una masa catalítica compuesta de 98% de hierro i 2% de alúmina; otra de molibdato de amonio, i otra (Mayo 1916) de Cerio obtenido por reduccion del óxido. Tambien se ha experimentado con buenos resultados la accion *acumulativa* de dos o mas «promotores» agregados a la masa del catalizador principal; en el caso del óxido de Cerio, de otros metales raros como el Lantano, el Didimio i el Itrio.

5.—*Las materias primas: el ázoe.*—El ázoe que forma mas del 75% del aire atmosférico, puede ser aislado fácilmente de éste por la absorcion del oxígeno que forma el 25% restante, mediante su contacto con cobre

(1) *Auer von Welsbach* estima que todo el Osmio existente en la costra terrestre no pasa de 150 kilogramos.

llevado al calor rojo. Hai formacion de óxido de cobre i rejeneracion ulterior de éste por una corriente de «gas de agua» (1). Este sistema se empleaba todavía no ha mucho en la fábrica de Cianámidas de Niágara Falls, en que funcionaban retortas que conténian 5 toneladas de masa de cobre, produciendo 60,000 metros cúbicos de ázoe al dia.

En vez de aire, el Dr. *Caro* ideó un procedimiento en que separaba el ázoe del «gas pobre» (1) haciéndolo pasar por una mezcla de cobre metálico i óxido cúprico.

Todavía indica *Florentin* que se obtiene ázoe a bajo precio como residuo de la preparacion de los formiatos por la accion del mencionado «gas pobre» sobre la soda caústica.

Pero la demanda creciente de oxígeno en los últimos años i el perfeccionamiento por *G. Claude* i *Karl de Linde*, de los procedimientos de liquefaccion del aire i destilacion fraccionada de sus elementos (siendo el punto de ebullicion del ázoe de 195° i el del oxígeno de 183°, bajo cero), ha hecho dar la preferencia a este último método para obtener el ázoe, donde quiera que haya demanda de oxígeno.

El método jeneral del fraccionamiento del aire líquido, imaginado por *Pictet*, ademas de los perfeccionamientos indicados, orijina constantemente otros nuevos, especialmente para librar cada gas ya separado, de los porcentajes del otro i de otras impurezas. Existen a este respecto innumerables patentes (*Norton*, pp. 153/4; *Dr. Maxted* en «Chem. Tr. J.» de Julio 21, 1917, p. 50); *Waser* en «Chem. Ztg.», 1915).

Ya se deja ver con esto que la industria del amoniaco sintético, si bien es teóricamente susceptible de ser instalada en cualquier parte—hasta «en el desierto» como lo han propuesto algunos en Chile—es en la práctica dependiente, para su mayor o menor rendimiento pecuniario de otras industrias conexas. Entraremos en mayores detalles a este respecto en la parte subsiguiente de este estudio, al ocuparnos de su aspecto económico.

6.—*Las materias primas: el hidrójeno.*—Conviene anticipar aquí, para justificar el tanto mayor interés que ofrece la provision de hidrójeno que la de ázoe, en la obtencion del amoniaco por sintesis de esos dos gases, que, si bien entran en este último 4 veces más ázoe, en peso que hidrójeno, i 3

(1) *Gas de Agua i Gas Pobre.*—Se ha solido hacer confusion entre estos dos gases cuya composicion es mui distinta:

El Gas de Agua que resulta de la reaccion del vapor de agua sobre la hulla o el coke elevados al calor rojo, contiene 48% de hidrójeno (hasta 51%, el *Dellwick Wasergas*) i sólo 4% de ázoe (Cf. «Ind. Com. Subs. Az.», cuadro de la p. 122), siendo por consiguiente una materia prima conveniente para la produccion de *hidrójeno*.

El Gas Pobre (o gas de aire; en inglés «generator gas») que resulta de la combustion incompleta de la hulla en columna espesa en los jeneradores de ciertos gasójenos (gas producers), no contiene hidrójeno, i en cambio hasta 66% de ázoe, siendo por esto una materia prima adecuada para obtener este gas a poco costo.

veces mas hidrógeno que ázoe, en volúmen, entran de 6 a 8 veces mas hidrógeno, con los costos actuales, que ázoe, como valor pecuniario. En efecto, como se verá, el costo del hidrógeno ha constituido hasta ahora un 30% i mas del precio de costo del sulfato fabricado con amoniaco sintético, i cualquier rebaja en este factor tiene que repercutir sensiblemente en el costo total.

Las fuentes potenciales de hidrógeno que ofrecen la naturaleza i las industrias primarias son, en órden de su lei decreciente de hidrógeno:

E gas de Alumbrado.....	53 a 60% de H.
El gas de Agua Dellwick.....	51% »
El gas de agua comun.....	48% »
El gas Metano o Formeno.....	25% »
El agua natural.....	11% »
El gas acetileno.....	8% »
La Celulosa, en la preparacion del ácido oxálico.	

Enumeraremos, mencionando rápidamente sus características, los procedimientos industriales que se emplean en la actualidad para producir hidrógeno de estas fuentes.

*Electrólisis del Agua.*—Se practica en solucion de carbonato de potasio o de potasa cáustica, con gasto de 6 Kwh por metro cúbico de hidrógeno; este hidrógeno contiene 1% de oxígeno, i el oxígeno separado contiene 2% de hidrógeno.

*Sub-producto del ácido oxálico.*—En la fabricacion del ácido oxálico por medio de la fusion de aserrin de madera o de espigas desgranadas (corontas) de maíz con álcalis cáusticos, se liberan grandes volúmenes de hidrógeno, que es hasta ahora perdido.

*Gas de alumbrado.*—Existen varios procedimientos para eliminar el óxido de carbono i disociar el metano (gas de los pantanos) que contiene este gas, sea por medio de la liquefaccion de éstos, o con la intervencion de agentes catalíticos. Se obtiene primero un gas con mas de 80% de H., el que se somete al procedimiento Linde.

*Mezcla de aire i vapor de agua.*—Se ha propuesto obtener directamente de esta mezcla otra compuesta de ázoe e hidrógeno en las proporciones de volúmen requeridas para la síntesis del amoniaco (1 a 3).

*Acetileno.*—Este gas se puede descomponer por la corriente eléctrica en hidrógeno i carbono pulverulento, por el que se obtiene buen precio en el mercado.

*Gas de Agua.* (Gaz à l'eau, water-gas wassergas).—Es actualmente una de las fuentes mas económicas de hidrógeno. Los óxidos de carbono que contiene pueden eliminarse, sea por absorbentes adecuados, como cloruro de cobre, carburo de calcio, etc., o mejor por los métodos Linde i Claude. El hidrógeno resultante contiene todavía 2% de óxidos de carbono i 1% de oxígeno, habiendo varios procedimientos patentados para eliminar estos porcentajes, utilizando los gases distintos del hidrógeno en diversos usos industriales. Existen todavía otras patentes para enriquecer en hidrógeno el gas de agua, haciendo pasar una mezcla de este gas con vapor de agua por un catalizador, que provoca la formacion de ácido carbónico que se liquida fácilmente. Otros todavía hacen intervenir el vapor sobrecalentado, la cal viva i diversos catalizadores.

*Disociacion del vapor de agua por hierro candente.*—Este método descubierto por Giffard en 1878, ha sido objeto de numerosísimas patentes, i acaba de ser adoptado por las autoridades militares de Alemania *con exclusion de todas las demas*. Entraremos por esto en mayores detalles de las diversas fases del funcionamiento e instalaciones de los aparatos *Messerschmitt*, protegidos por 6 o 7 patentes en 1914 i 1915.

En la primera fase se hace pasar una corriente de vapor de agua sobre fierro (o piritas) al calor rojo. El agua se descompone en sus elementos, combinándose el oxígeno con el hierro para formar óxido de hierro i liberándose el hidrógeno. En la segunda fase se rejenera el hierro de su óxido por medio del gas de agua como reductor. Las únicas materias primas *que se gastan* son el coke i el agua.

El aparato *Messerschmitt* está dispuesto de tal manera que el calentamiento, oxidacion i reduccion del hierro, i la jeneracion del gas de agua se hacen alternativamente en un mismo horno. La dificultad principal del procedimiento, que ha sido vencida en estos aparatos, consiste en elevar i mantener toda la «masa de contacto» ferrujinosa, en el estado esponjoso indispensable a una reaccion intensa, a la temperatura de 700 a 800° sin que se produzca fusion de las partes, lo que entorpece la operacion.

Los aparatos mas recientes suministran 600 m<sup>3</sup> de hidrógeno (54 kilogramos) por hora. El gas a su salida pasa por aparatos lavadores i purificadores que lo entregan con 99.2% de pureza.

Para la síntesis del amoniaco, se puede obtener con poco costo adicional, mediante modificaciones de detalle, hidrógeno con 99.9% de pureza.

Las breves esplicaciones que anteceden son suficientes para dar una idea del interés considerable que se ha suscitado entre los técnicos e industriales, especialmente en Alemania, para perfeccionar la produccion de hidrógeno barato.

Las Notas bibliográficas descriptivas contenidas en el *Apéndice Documentario* de este trabajo facilitarán la consulta de las fuentes (principalmente *Norton* i *Barnitz*) a los que quisieran conocer estos procedimientos con mayores detalles.

7.—*Literatura de las patentes.*—Para formarse concepto de la iniciativa i actividad técnica e industrial desplegadas en el campo de la síntesis del amoniaco durante los últimos años, basta hojear la seccion de privilegios exclusivos de las Revistas Técnicas pertinentes, especialmente la «*Chemiker Zeitung*» i «*Zeitschrift für angewandte Chemie*» en Alemania, «*L'Industrie Chimique*» en Francia, el «*Journal of the Society of Chemical Industry*» en Inglaterra, el «*Chemical Abstracts*» en Estados-Unidos, etc.

Además las monografías de *Lunge*, *Norton*, *Martin* i *Florentin* i especialmente uno de los artículos de *Bruno Waser* («*Chem. Ztg.*» de Noviembre 27-1915) mencionan por su número las principales patentes otorgadas a la «*Badische Anilin und Sodafabrik*» para los dispositivos, catalizadores i otros detalles de esta industria, en los países arriba enumerados.

\* \* \*

De las descripciones e informaciones que preceden resulta que son conocidas de un modo bastante completo: la tecnología i detalles de instalacion i operacion para la produccion de las dos materias primas con cuya síntesis se forma el amoniaco, el ázoe i el hidrójeno; así como los procedimientos hoy empleados para obtener ámbos gases en el estado de pureza requerido por la accion catalítica, que es uno de los factores técnicos del proceso Haber.

Resulta tambien que se conocen, sino con la misma precision, por lo ménos suficientemente, en su disposicion jeneral i en su funcionamiento, las diversas partes constituyentes de las instalaciones esenciales de síntesis del amoniaco por el método de Haber, para la perfecta comprension de cada una de sus fases, para darse cuenta del grado de eficiencia a que ha alcanzado, i de los perfeccionamientos, todavía importantes, de que es susceptible.

Lo único que no es conocido hasta ahora en sus detalles son las dimensiones, materiales i forma exactas de las retortas o cámaras de reaccion, la fórmula precisa de la masa de contacto, etc.; detalles todos que, teniendo grande importancia para los que proyectan instalaciones de esta clase, ronos interesan en el mismo grado a los que al divulgar las características del método sólo perseguimos el objetivo de darnos cuenta cabal de su capacidad potencial de competencia respecto del salitre de Chile.

## III.—FACTORES ECONÓMICOS

Los factores del precio de costo del *amoníaco* obtenido por el procedimiento Haber son:

1. El precio del ázoe,
2. El precio del hidrógeno,
3. El costo de la energía dinámica i calorífica,
4. El interes i amortizacion sobre el costo de las instalaciones,
5. Los costos de fabricacion distintos de la energía.

Ademas, como el objetivo final de esta fabricacion es de obtener, sea *sulfato*, sea *fosfato*, sea *nitrate* de amonio, sea *ácido nítrico*, hai que agregar eventualmente uno de los factores siguientes:

6. Costo del ácido absorbente, sea sulfúrico o fosfórico,
7. Costo de la oxidacion del amoniaco a ácido nítrico,
8. Costo de su transformacion en nitrate de amonio.

Antes de entrar al estudio de cada uno de estos factores, renovaremos una observacion de carácter jeneral, ya insinuada en una publicacion anterior («Ev. Ind. Az.» pp. 31-32): Cuando no se espese lo contrario, todas las cifras i precios que mencionaremos se entienden referidos a las condiciones económicas e industriales normales prevalecientes en 1914. La anarquía que reina actualmente en materia de cambios monetarios i de condiciones anormales de produccion no permiten considerar otras. Por lo demas prevalece la opinion de que la alza que persistirá despues de la guerra será jeneral, subordinada probablemente ante todo al valor mercante en oro de los cereales en los mercados de consumo, de manera que pueden aceptarse, a falta de otro criterio i de otra indicacion las cifras básicas de 1914 afectadas de un coeficiente comun (incógnito por ahora), superior a la unidad.

Segun se desprende de lo espuesto en las partes anteriores del presente estudio los factores del costo del amoniaco por este sistema son susceptibles de gran variacion segun las condiciones locales. Por esto trataremos de establecer para cada factor un valor *máximo* i un valor *mínimo*, dentro de los límites prácticos de las modernas condiciones industriales de produccion en grande. Principiaremos por dar extractos, en lo posible testuales (1), de las autoridades técnicas (citadas en las notas bibliográficas finales), que han estudiado especialmente los respectivos factores, para que se pueda juzgar con completo conocimiento de causa del valor de nuestras deducciones.

(1) *Unidades monetarias i de ázoe*.—En estas citas ocurrirán diversidad de unidades. Damos aquí una Tabla de los valores pertinentes, en conformidad a los coeficientes aceptados por el Instituto Internacional de Agricultura de Roma.

Ademas de las cifras que han sido publicadas en esta materia, estamos en posesion de recientes datos fidedignos, de que haremos mérito, sin que las circunstancias actuales nos permitan designar nominalmente sus autores.

1.—*El precio del ázoe.*

Datos de *Norton* (1912):

«El ázoe es suministrado para propósitos industriales por los métodos de *Linde*, *Pictet*, *Claude* i otros, a precios sumamente bajos. En Francia estos precios varían de 2 a 10 céntimos por kilo (0.18 a 0.9 cent. por libra). En Alemania 3 Pfs. por kilo (0.32 cent. por libra) es precio corriente. Herr *Linde* dice que sus maquinarias mas pequeñas que rinden 100 m<sup>3</sup> por hora (1 m<sup>3</sup>=35.314 piés<sup>3</sup>), pueden entregar ázoe de 99.5% de pureza (0.5% de oxígeno) por 6 Pfs. el m<sup>3</sup> (=1.25 kilo) sea 0.648 cent. por libra». (*Norton*, p. 32).

«Con una máquina *Linde* especialmente construida para las necesidades de la industria de la Cianámidá, que produce 300 m<sup>3</sup> por hora, el costo del ázoe (sin incluir interés i castigo por deterioros) es  $\frac{1}{3}$  Pf. por m<sup>3</sup> (0.15 cent. por libra). Una máquina con capacidad de 3,000 m<sup>3</sup> por hora produce ázoe por la mitad de este costo». (*Norton*, p. 153).

En un escrito reciente dice *Norton* (1917).

«Antes de la guerra el ázoe que entra en 1 libra de amoniaco costaba (en Alemania) \$ 0.0045, el hidrógeno \$ 0.0211, sea los dos 2.56 cents., i ahora ménos de 2 cents.» («*Sc. Am.*», Abril, 17-1917).

Dato de *Haber*, aceptado por *Florentin* (1913):

3.6 céntimos el kilo de ázoe («*Génie Civil*»,—2/VI/17).

MONEDAS

	Frs. oro
Chelin (sh).....	= 1.26
Libra esterlina (£).....	= 25.22
2 peniques (d).....	= 0.21
Marco (Mk).....	= 1.23
30 Pfenings (Pf).....	= 0.37
Dollar (\$).....	= 5.18
5 Centavos (Cts.).....	= 0.26

PESOS

	Kgs.
Tonelada inglesa de 2,240 lbs. (IT).....	= 1,016
Tonelada americana de 2,000 lbs. (ST)	= 907.2

UNIDADES DE AZOE

	Azoe en Kgs.
Gran Bretaña (1% de IT) (22.4 lbs).....	= 10.16
Estados-Unidos.—Azoe. (20 lbs).....	= 9.07
(1% de ST)	
Estados-Unidos.—Amoniaco (20 lbs).....	= 7.46

Abreviaturas: Kilowatt-año=KWY.; Kilowatt-hora=Kwh.; Caballo-año=HPY.

Reducidas las cifras anteriores a céntimos de franco oro por kilogramo de ázoe, resultan variar entre 1.7 a 10. Descartando la producción a pequeña escala, i teniendo presente que 3,000 m<sup>3</sup> de ázoe de producción continua por hora equivalen a 26,000 toneladas de ázoe al año, que son las que entran en 32,000 toneladas de amoniaco i en 160,000 toneladas de *sulfato* amónico, cifra inferior a la capacidad de la última unidad instalada por la «Badische» en Ludwigshafen, puede afirmarse, que para capacidades de producción de 40,000 a 200,000 toneladas de *sulfato* al año, el precio del ázoe elemental oscilará entre 4 i 2 céntimos el kilogramo. Por lo demás, repetiremos que el precio en cada localidad, i permaneciendo las demás circunstancias iguales, será función de la demanda local de oxígeno.

## 2.—El precio del hidrógeno.

Datos de Norton (1912):

«El hidrógeno se vende actualmente en Griesheim i Bitterfeld en Alemania a 10 Pfs. por m<sup>3</sup> (=89.9 gramos); esto es alrededor de Mk. 1.116 por kilo (12 cents. la libra). Como el hidrógeno constituye 17.6% en peso del amoniaco, la cantidad requerida para producir 1 libra de amoniaco costaría 2.11 cents., i para producir 1 kilo 4.65 cents. o 19.5 Pfs.» (Norton, p. 32).

«Hidrógeno comprimido en recipientes de acero, bajo presión de 150 atmósferas se vende en Alemania de 50 a 90 Pfs. por m<sup>3</sup> ( $\frac{1}{3}$  a  $\frac{3}{5}$  cents. por pié<sup>3</sup>) entregados en una estación ferroviaria. En muy grandes cantidades el precio baja hasta 20 Pfs.» (p. 33).

Se ha visto, por la cita reciente de Norton, dada en el N.º 1, que en Alemania el ázoe i el hidrógeno que entran en 1 libra (453 gr.) de amoniaco, cuestan juntos, menos de 2 cents.; suponiendo para el ázoe el costo mínimo de 2 céntimos el kilo, los 373 gramos de ázoe que entran en 1 libra de amoniaco costarían 0.75 céntimo=0.15 cent., lo que dejaría para los 80 gramos de hidrógeno 1.85 cents.=9.6 céntimos, lo que corresponde a fr. 1.20 el kilo, en vez de fr. 1.33, cifra que resulta de la de Norton para 1912.

*Florentin*, basándose en el precio dado por *Haber* en 1913, calcula sobre fr. 1.25 el kilo.

*Barnitz* dice, en Octubre de 1916: «El costo actual del gas hidrógeno es función del precio del coque i de otros materiales, i de la capacidad de los aparatos instalados. El costo calculado en un plantel (del nuevo sistema *Messerschmitt* cuyas unidades producen de 100 a 600 m<sup>3</sup> de hidrógeno por hora) instalado en Estados-Unidos, es en promedio de 40 a 45 cents. por 1,000 piés<sup>3</sup>, incluyendo interés sobre el capital, castigo o amortización, materias primas i mano de obra». Reducidas estas últimas cifras a céntimos oro por kilo de hidrógeno resultan equivalentes de 78 a 93.

Puede afirmarse, en conclusión, que en condiciones normales de precios de hulla i coque, i tratándose de cantidades proporcionadas a las que hemos

supuesto en el caso del ázoe, el costo del hidrógeno elemental debe oscilar actualmente entre 80 i 120 céntimos el kilogramo, lo que corresponde de 17 a 25 céntimos por los 214 gramos de hidrógeno que se combinan con cada kilo de ázoe en la formacion de amoniaco.

### 3.—*El costo de la enerjía dinámica i calorífica.*

Segun se ha espuesto en la II<sup>a</sup> parte los gastos de enerjía que requiere este procedimiento son:

Fuerza motriz para el compresor.

Resistencia eléctrica u otro método de calefaccion para elevar la temperatura de los gases a 550° o mas.

A los que hai que agregar las pérdidas de calor por radiacion de la cámara de reaccion i de la cámara de refrigeracion i las que pueden ocurrir por interrupciones o imperfecciones en el funcionamiento del «rejenerador de calórico» i del «rejenerador de frio». Por otra parte la suma de estas pérdidas debe disminuirse en el total de las calorías liberadas por la reaccion de síntesis que segun se esplicó en la I<sup>a</sup> parte, es *exotérmica* i a razon de 12 calorías por cada 17 gramos (sean 700 calorías por cada kilo) de amoniaco producido.

*Norton* (1912) no hace cálculo de estos gastos, sólo dice que a no ser que la marcha sea mui lenta, el costo de combustible tiene que ser mui inferior al de las materias primas, i que segun los datos que le suministró *Haber*, una vez que la fabricacion se hiciera en grande escala, esos gastos serian un factor insignificante.

Segun *Summers*, el procedimiento de Haber sólo requiere como fuerza eléctrica, «fuera de la que se gasta en la preparacion del ázoe e hidrógeno elementales, compresion i refrigeracion de los gases, 1.5 kilowatt-hora por cada kilogramo de ázoe que entra en la combinacion final producida.»

Los estudios directos recientes a que hemos hecho referencia reducen aun esa cifra a 1.37 Kwh por kilo de ázoe producido.

*Maxted* (1917) computa en unidades comunes todo el gasto de calórico i enerjía empleados en el procedimiento, inclusive la produccion del hidrógeno, la separacion del ázoe del aire, el calórico para la reaccion de síntesis, la compresion i refrigeracion. Estimadas en *combustible* valoriza el gasto total en 5½ a 7 toneladas de hulla i coke i *en enerjía eléctrica*, en 1.2 KWY. por cada tonelada de ázoe combinado. Estas cifras corresponden por *kilo de ázoe a*

5.5 a 7 Kg. de hulla i coke, i 1.865 Kwh.

Volveremos a considerar estas cifras mas adelante.

\* \* \*

El valor pecuniario del factor que aquí consideramos depende, pues, ante todo, del costo local de las fuentes de energía i calórico empleadas. El costo de la hulla que es en épocas normales i en la bocamina de 13 a 16 francos la tonelada en el Continente, de 12 francos en Gran Bretaña, de 8 francos en Estados-Unidos (Launay, p. 174), se recarga con 10, 15, 20 50% i mas segun la distancia, tarifas ferroviarias, etc., aplicables a cada unidad productora. Lo mismo acontece con el costo de la energía eléctrica, variando, la derivada de la hulla, entre 1 i 3 céntimos el Kwh. La «Badische» estima (1915) que en Alemania se obtiene el Kwh, con lignita a 1.6 céntimos, lo que daría (segun la cifra de *Maxted*, de 1.865 Kwh) un gasto de apenas 3 céntimos por kilo de ázoe para este factor, incluyendo la energía i combustible empleados en la producción de ázoe e hidrógeno, contada ya bajo los Núms. 1 i 2. Parece sin embargo, que tal precio de costo del Kwh, no sería aplicable sin un fuerte coeficiente por diferencia entre los rendimientos teórico i práctico de la hulla en energía eléctrica.

Si se toma por base el gasto total de combustible cifrado por *Maxted* resultan (avaluados a precios tan extremos como 10 i 30 frs. la tonelada de hulla) de 7 a 21 céntimos, de los que habría que deducir el gasto de energía que corresponde a los factores 1 i 2.

Por otra parte, segun las informaciones directas a que hemos hecho referencia, el gasto total de energía (incluyendo la correspondiente a la producción de ázoe e hidrógeno) ascendería a 20 céntimos por kilo de ázoe obtenido en combinacion de los cuales corresponderían 4 céntimos a los 1.37 Kwh empleados como resistencia eléctrica en la cámara de reacción.

Apreciando prudencialmente estas informaciones, estimamos que las cifras de 6 i 15 céntimos pueden tomarse como representativas de los gastos *mínimo* i *máximo* respectivamente, en los casos de extrema baratura i carestía de la hulla i energía, dentro de límites industrialmente razonables. Se incluyen en este gasto total los de energía calorífica i dinámica que exige (por cada kilo de ázoe combinado) el procedimiento Haber en el proceso circulatorio que se ha descrito en la IIª parte de este estudio; es decir, para el funcionamiento de la bomba compresora, de la resistencia eléctrica (u otro modo de calefacción) i para el frigorífico i suponiendo que los gases elementales entran al aparato a la presión atmosférica.

Debe tenerse presente que el factor «energía» es eminentemente susceptible de disminucion con la mayor rapidez de la reacción, con el perfeccionamiento de los aparatos, i que la mayor parte del costo de la compresión queda incluido en los factores 1 i 2 cuando el ázoe i el hidrógeno son entregados en recipientes de acero bajo presión de 150 atmósferas.

#### 4.—*El costo de las instalaciones.*

Segun *Maignon* (Cf. «Ird. Com. Subs. Az.» pp. 31, 77, 78), el costo de las primeras instalaciones salia a razon de 1,000 francos por tonelada de capacidad anual de produccion en *sulfato*. Como era de prever, para las instalaciones mas recientes i de mayor capacidad, el capital de instalacion requerido es mucho mas bajo. Segun cálculos detallados hechos en 1915 para erijir en Estados-Unidos un plantel del sistema *Haber*, con capacidad anual de 30,000 toneladas de sulfato, el capital requerido por tonelada era de \$ 75 sea alrededor de frs. 400 (cerca de 2,000 frs. por tonelada de *ázo*) de los cuales un 24% correspondia a edificios i un 76% a la maquinaria. Contando un 10% de amortizacion sobre los primeros i 5% sobre esta última, resultarian por amortizacion total fr. 17.60 por tonelada. (\*)

Alguna reserva cabe hacer, respecto a este factor, sin embargo, por cuanto no son aun bien conocidos—debido a lo corto de la esperiencia, i a las condiciones anormales de guerra—ni la rapidez de la reaccion, que influye en el rendimiento anual, ni la duracion de los aparatos que influye en la amortizacion.

Prudencialmente se pueden adoptar cifras *mínima* i *máxima* de 16 i 18 céntimos por kilo de *ázo*, para capacidades no inferiores a 30,000 toneladas de sulfato al año.

#### 5.—*Gastos jenerales, imprevistos.—Costos varios de fabricacion.*

Dentro de la clasificacion de los factores del precio de costo dada mas arriba, entrarian a este ítem, ademas de todos los gastos jenerales de direccion de la fábrica i de la mano de obra, los de esperimentacion tendientes a mayores progresos, el gasto en catalizadores que, si bien teóricamente no sufren desgaste alguno, en la práctica, pierden poco a poco su eficacia debido a la obstruccion de sus poros, oxidaciones, accion de «venenos» existentes en proporcion infinitesimal, etc., gasto pequeño, sin duda, pero que escapa, por ahora, al cálculo de apreciacion.

El ítem mas importante de este factor es indudablemente el «pago de operarios», i sobre este particular tampoco existen datos precisos, fuera de saber que el número de operarios es mui reducido para un rendimiento relativamente considerable. Como lo observa *Summers*, en cambio, la clase de trabajo de estos operarios será de la llamada «highly skilled», es decir, mui especializada, i por consiguiente mui bien remunerados.

(\*) Segun informaciones publicadas despues de escrito el texto, extractadas en el *Apéndice Bibliográfico*, el costo de instalacion por tonelada de *ázo* producido en la nueva fábrica Norte-Americana de *Azoe Sintético* (en ereccion) de la «Compañía Jeneral de Química» sería de 1 640 francos, de donde resultaria por amortizacion en las condiciones anunciadas en el texto, fr. 14.40 por tonelada de *ázo* producido.

Datos procedentes de la fuente directa a que hemos aludido nos permiten asignar límites de 6 a 8 céntimos por cada kilo de ázoe combinado, al valor de este factor.

*Resumen de los factores 1 a 5*

Estos factores constituyen el precio de costo del *amoniaco sintético* tal como sale del aparato en que se hace la circulacion de los gases. Resumiendo los datos anteriores, por

KILÓGRAMO DE ÁZOE COMBINADO

		Mínim.	Máxim.	Promedio %
1.—Costo del ázoe (1 Kg.).....	Cénts. oro	2	.4	5%
2.—Costo del hidrógeno (gr. 214).....	»	17	25	35%
3.—Costo de energía dinámica i calorífica..	»	6	15	18%
4.—Amortizacion de edificios i maquinaria.	»	16	18	30%
5.—Gastos jenerales, imprevistos i varios..	»	6	8	12%
Total céntimos.....		47	70	100

Se observará que el menor de estos precios es bastante superior al de 30 a 37 céntimos que *Maxted* cree posible obtener en Gran Bretaña (£ 10 a £ 12 por tonelada de amoniaco). En efecto, segun hemos insinuado, el gasto *total* de energía (factor 3) que este especialista estima en 1.865 Kwh. por kilo de ázoe no calza con los datos obtenidos de otras fuentes ni parece tampoco concordar con su estimacion de 5½ a 7 toneladas de combustible por tonelada de ázoe combinado; pues aun a un precio bajísimo, como seria al de 12 francos la tonelada de hulla, siempre resultarían mas de 8 céntimos el Kwh. precio excesivo en cualesquiera condiciones industriales de produccion *a grande escala*.

Con todo, debe tomarse nota de que autoridades como *Norton* han afirmado recientemente («Sc. Am.» Abril 21-1917), que «es posible que el costo total de produccion del amoniaco sintético no exceda de 3 cents. por libra» i que «El método Haber bajaria el costo del amoniaco a \$ 63.93 la tonelada americana», cifras que corresponden a 42 i 44 céntimos el kilo de ázoe combinado i se acercan mas que la de *Maxted* al mínimo obtenido por nosotros. (1)

(1) Segun la autoridad citada en la Nota anterior (*Parsons*), el costo de produccion en un plantel de una capacidad anual de 10,000 toneladas de Amoniaco sintético (equivalente a 50,090 toneladas de Sulfato), no excederia de 4 cents por libra de amoniaco (inclusive amortizacion del capital), equivalente a fr. 0,57 el kilo de ázoe, casi exactamente el promedio de las cifras máxima i minima dadas en el texto.

6.—*Costo del ácido absorbente.*—La forma comercial prevaleciente en que se ha usado hasta ahora el ázoe amoniaco como abono, ha sido la de *sulfato*, debido en parte al bajo precio, en parte a la abundancia como sub-producto en ciertas fábricas, del *ácido sulfúrico*.

Antes de la guerra la fuente mas económica de producción del ácido sulfúrico eran las piritas (sulfuros de fierro; Cf. «Ind. i Com. Subs. Az.» Notas 32 i 34), variando su costo de francos 65 a 32, i bajando aun hasta 25 i 20 frs. en casos escepcionales (V. en el *Apéndice* las cifras del Doctor *Mourgues*).

Es mui probable que, en el porvenir se produzcan nuevas bajas en el costo de producción de este ácido, debido a la explotación de nuevas fuentes, o por lo ménos fuentes no aprovechadas ántes i que lo han sido durante la guerra por los químicos alemanes privados de piritas, principalmente el yeso (sulfato de calcio, la «kieserita» (sulfato de magnesio, Cf. «Ind. i Com. Subs. Az.» Nota 102) i la hulla misma, que contiene un porcentaje de azufre mayor que el necesario para producir el ácido sulfúrico capaz de absorber el amoniaco derivado de la misma fuente (Cf. «Ev. Ind. Az.» p. 27).

Segun las cifras anteriores, sabiendo que se necesitan 3.6 kilos de ácido sulfúrico de 98% para absorber la cantidad de amoniaco en que entra un kilógramo de ázoe, este factor representaria para cada kilo de ázoe, de fr. 0.10 a fr. 0.20 (de 15 a 25 céntimos dijimos en «Ind. i Com. Subs. Az.» p. 44) segun las condiciones de producción i cercanía a las fuentes de ácido sulfúrico.

Durante la guerra se ha experimentado en Alemania la absorcion del amoniaco por ácidos distintos del sulfúrico, formando sea *cloruro*, sea *carbonatos* de amonio («Ev. Ind. Az.» p. 30); pero desde el punto de vista «fertilizante» la tentativa mas interesante es la de producir *fosfatos* o *superfosfatos* amoniacoales (l. c. pp. 31 i 126/7, 253, 261) que contendrian dos principios fertilizantes—el ázoe i el ácido fosfórico—en vez de uno, i cuyo valor mercante por tonelada seria, por consiguiente, la suma de los valores mercantes del ázoe i del ácido fosfórico contenidos. Los resultados de estos nuevos productos como abono nos son ya conocidos (l. c.), pero no existen datos sobre sus precios de costo.

7. *Costo de la oxidacion del amoniaco (AzH<sup>3</sup>) a ácido nítrico (AzO<sup>3</sup>H).*—Segun datos fidedignos que hemos publicado anteriormente («Circ. As. Sal.» N.º 68, p. 79) este costo ascenderia en la «Badische», mediante el procedimiento Ostwald, a fr. 0.22 por kilo de ázoe. Segun otros datos publicados en 1913 («Met. Chem. Eng.» p. 438-42) el costo de la tonelada (907 Kg.)

de ácido nítrico puro (22.2% ázoe) obtenido del licor amoniacal, sería de \$ 40.00 (sea próximamente 1 fr. el kilo de ázoe, lo que en el supuesto de fr. 0.22 como costo de oxidación, dejaría fr. 0.78 como valor del kilo de ázoe amoniacal). Según un estudio detallado posterior publicado por *Zeisberg* en 1916 (Cf. «Ev. Ind. Az.» p. 124), el costo de la conversión, por libra de ácido nítrico puro sería de 1.19 cent. (equivalente a 12 céntimos por kilo de ázoe contenido). Por fin, según los datos más recientes de *Norton* (Abril, 1917) la tonelada americana de ácido nítrico puro producida del amoniaco Haber con energía a \$ 7.50 el HPY., sólo saldría a \$ 33 (equivalente a fr. 0.84 el kilo de ázoe).

8. *Costo de la transformación del amoniaco en nitrato de amonio.*—En publicaciones anteriores («Ind. y Com. Subs. Az.» pp. 5, 22, 27, 38, 97, 108, 147, 206/7) hemos llamado la atención sobre la importancia del *nitrato de amonio* como competidor potencial del salitre, posibilidad que desde 1910 había suministrado a los señores *Mourgues* i *Cortes* (l. c. p. 147) la idea de combinar esa producción con la del salitre.

Según se desprende de lo explicado en una de esas referencias (l. c. p. 38) el costo de la transformación del amoniaco gaseoso liberado del aparato Haber, en *nitrato de amonio* ha de ser inferior al costo de su transformación en *ácido nítrico*, puesto que la operación consiste esencialmente en el empleo del procedimiento *Ostwald*, «regulando la rapidez de la corriente gaseosa, presión, temperatura, etc., de manera que sólo la mitad del amoniaco se convierta en ácido nítrico, el que se combina con la otra mitad para formar nitrato de amonio». Según lo hace notar *Norton*, «Este es uno de los pocos procedimientos químicos en que no hay pérdidas ni subproductos... Una cuadrilla de 12 operarios es suficiente para mantener una producción no interrumpida de 15 toneladas de nitrato de amonio por cada 24 horas», (*Norton*, pp. 56/57). Esta ha sido i es seguramente la manera como funciona el procedimiento *Ostwald* en Alemania durante la guerra, como fuente de producción de las enormes cantidades de nitrato de amonio, que es la base de los explosivos de alta potencia.

De las cifras dadas en el número anterior se deduce, pues, que el costo de transformación del amoniaco Haber en nitrato de amonio no excederá, en todo caso, de fr. 0.20 a fr. 0.22 por kilo de ázoe.

#### *Resumen del precio de costo del sulfato i nitrato de amonio sintéticos*

Resumiendo las cifras *mínimas* i *máximas* que dejamos espuestas, resulta:

	Por kilo de ázoe
Costo del amoniaco (factores 1 a 5).....	Céntimos 47 a 70
Costo del ácido sulfúrico (factor 6).....	» 10 a 20
<hr/>	
Costo del sulfato, por kilo de ázoe.....	Céntimos 57 a 90
Costo del amoniaco (factores 1 a 5).....	Céntimos 47 a 70
Costo de la oxidacion (factores 7 u 8).....	» 12 a 22
<hr/>	
Costo del ácido nítrico o nitrato de amonio, por kilo de ázoe contenido.....	Céntimos 59 a 92

Cifras perfectamente compatibles con las publicadas por la «Badische» desde ántes de la guerra: céntimos 65 por kilo de ázoe en el amoniaco sintético, i 75 en el sulfato derivado de aquel.

*Resúmen comparativo de opiniones competentes sobre el precio de costo del amoniaco sintético i sus derivados*

Las cifras estremas a que hemos arribado son basadas, segun se puede comprobar por sus fuentes, en observaciones o indagaciones personales de los que las han publicado. El hecho de que los resultados de las diversas informaciones no sean concordantes no significa en modo alguno que unos sean mas exactos que otros; segun se ha visto, el costo de los determinantes primarios de cada factor es mui variable segun las condiciones locales; especialmente acontece esto con la *hulla*, la *enerjia* mecánica i calorífica, con el *hidrójeno* i con el *ácido sulfúrico*.

No puede haber duda actualmente de que una fábrica de amoniaco Haber de gran capacidad, ubicada en un distrito hullero e industrial, a proximidad de planteles que le suministren hidrójeno i ácido sulfúrico elaborados como subproductos i libres de gravosos fletes, puede producir, supuesto el regreso a condiciones normales, el *sulfato amónico* alrededor de 60 céntimos el kilo de ázoe contenido.

Fuera de las informaciones directas de que hemos hecho mérito, los que no se consideren preparados para apreciarlas i discutir las por sí mismos no pueden razonablemente negar el peso que merece concederse a las opiniones recientemente emitidas por los profesionales que se han especializado en esta materia, quienes han considerado verosímiles cifras aun inferiores a las que hemos aceptado como *mínimas* dentro de las condiciones industriales corrientes.

El resumen siguiente, cuyas fuentes se hallarán en las Notas bibliográficas finales, permite hacer de una ojeada la comparacion aludida.

Año	Autoridad	Dato orijinal	Reducido al kilo de ázoe en sulfato (Céntimos)
1915.	<i>Ehrenberg</i> ,	costo del ázoe en sulfato, 50 Pf, por kilo.....	62
	(«Badische»),	inf. privado. Mk. 120 la ton. de sulfato...	75
	<i>Martin</i> ,	£ 2.6.6 la tonelada de sulfato.....	29
1916.	<i>Bagley</i> ,	£ 2.10.0 la tonelada de sulfato.....	31
	<i>Fleurent</i> ,	el kilo de ázoe en sulfato.....	63 a 70
	<i>Matignon</i> ,	el kilo de ázoe en sulfato.....	75
1917.	<i>Florentin</i> ,	el kilo de ázoe en sulfato.....	75
	<i>Maxted</i> ,	£ 10 a £ 12 la tonelada de amoniaco.....	40 a 50

\* \* \*

Finalmente, conforme lo anunciamos en la primera parte, reproducimos a continuacion, a título de *Apéndice*, un artículo de prensa fechado dos años atras debido al Dr. Luis E. *Mourgues* i cuyas cifras es especialmente interesante comparar ahora con las contenidas en publicaciones recientes. Se comprueba con esta comparacion que las cifras publicadas en Chile por el Dr. *Mourgues* a mediados de 1915 (precisamente en la fecha en que terminábamos nuestro estudio sobre «Substancias Azoadas» cuyo testo fué leído por su autor ante la Colonia i en la Legacion de Chile en Paris, el 2 de Julio de ese año) coincidian notablemente con las nuestras, circunstancia que bastaria para relegar al archivo de las leyendas el concepto tantas veces repetido en Chile de que «el precio de costo del amoniaco Haber es un secreto de guerra» i que «todos los datos que se publican al respecto son pura conjetura». El análisis que dejamos hecho prueba, por el contrario, que sean cuales fueren las reservas que subsisten respecto a los detalles de construccion i funcionamiento de los aparatos i composicion del catalizador, no son de tal naturaleza que su divulgacion pueda afectar sensiblemente el precio de costo cuyos factores son perfectamente investigables.

Como complemento al artículo del Dr. *Mourgues*, incluimos las partes pertinentes de otro anterior de don L. Nordenflycht, que ofrecen actualmente interes en conexion con aquel.



## Apéndice a la parte III.

Reimpreso de *El Mercurio* de Valparaiso. 14/VI/1915.

(2.º Artículo)

### «El Gran Problema Nacional.»

POR EL DR. LUIS E. MOURGUES.

«El método de síntesis directa del amoniaco, conocido con el nombre de procedimiento Haber, es el último llegado a la meta industrial, siendo tambien el que mas nos interesa, pues permite obtener el ázoe activado a un precio ínfimo contra el cual el salitre de Chile no podrá luchar en las condiciones actuales de elaboracion i de entrega al mercado.

«Además, el proyecto de estanco de los productos azoados imaginado en Alemania ; sobre el cual se ha venido preocupando la prensa en estas últimas semanas, está fundado en el éxito industrial de este procedimiento que es otra de las maravillas de la ingeniería química.

«La marcha ascendente de este procedimiento desde los estudios de alta ciencia de Haber i sus colaboradores sobre la termodinámica de las reacciones gaseosas a alta temperatura hasta la instalacion de la fábrica en Oppau por la «Badische Anilin und Sodafabrik», todo esto en ménos de 5 o 6 años, es talvez un caso único en los anales de la tecnología química.

«A causa del interes considerable que tiene para la industria de Chile este procedimiento, voi a dar sobre él algunos dátos i detalles.

«La enerjía necesaria para fijar un kilógramo de ázoe al estado de amoniaco por este procedimiento, incluyendo la preparacion del ázoe i del hidrójeno puros, la compresion a 200 atmósferas i la refrigeracion, es solo de 1,5 Kwh. (1)

«Esta cantidad de enerjía tan ínfima es un factor trascendental i que desde luego augura favorablemente para el futuro desenvolvimiento, aplicabilidad i jeneralizacion del método.

«Veamos ahora el costo de las materias necesarias para obtener un kilógramo de ázoe activado al estado amoniacal i fijado en forma de sulfato de amonio. Se precisan:

«800 litros de ázoe

«2,381 litros de hidrójeno

«3,571 gramos de ácido sulfúrico de 98%.

«El ázoe se retira de la atmósfera mediante la liquefaccion del aire por los sistemas de Linde i principalmente por los de G. Claude, quien ha llevado al máximum de perfeccion la industria del aire líquido.

«El metro cúbico de ázoe cuesta por estos procedimientos de 2,5 a 4 céntimos; por consiguiente i tomando el costo mas elevado, los 800 litros costarán fr. 0.032.

«El hidrójeno fué durante mucho tiempo un elemento costoso de obtener; pero las necesidades de la navegacion aérea por dirigibles ha hecho buscar procedimientos por

(1) En nuestro estudio esta cifra no incluye el gasto de enerjía en la preparacion de los gases. A. B.

todas las reacciones imaginables, i en estos últimos tiempos la «Griesheim Elektron» ha industrializado un método que le permite obtener el metro cúbico de hidrógeno a 6.5 céntimos, o sea para los 2.381 litros, fr. 0.15.

«El ácido sulfúrico se estima jeneralmente a 5 céntimos el kilogramo i con esta estimacion la cantidad necesaria para fijar el kilogramo de ázoe amoniaco costaria fr. 0.18.

«Conviene observar desde luego que este precio de 5 céntimos el kilogramo para el ácido sulfúrico es excesivo, sobre todo con referencia a la «Badische», que es la firma mundial que produce mas ácido sulfúrico i en condiciones escepcionalmente bajas de costo; su precio no alcanza a 2 céntimos por kilogramo.

«A mayor abundamiento puedo decir que una gran firma francesa puede vender su ácido sulfúrico a fr. 25 la tonelada o sea 2.5 céntimos el kilogramo.

«Pero aun fijando para el ácido un precio mayor que el doble se obtiene, en definitiva, como precio total de las materias primas para fijar un kilogramo de ázoe amoniaco, un valor de fr. 0.362.

«Agregando la enerjía que sabemos es de 1.5 Kw. i atribuyendo a ésta tambien un precio mui elevado de fr. 0.10 el Kwh. tendremos fr. 0.512.

«Queda naturalmente por agregar la mano de obra, los intereses i amortizaciones, las reparaciones, etc., etc., las que se estiman en fr. 0.138 para alcanzar el precio de fr. 0.65 que se ha dado por los ingenieros de la «Badische» como precio de costo del kilogramo de ázoe activado por el procedimiento Haber.

«En realidad el precio de costo es seguramente inferior.

«Cabe aquí hacer de paso una observacion. Este gran éxito de la ciencia i de la técnica de los químicos de la «Badische» ha podido ser alcanzado gracias a los medios de trabajo i a los millones de la Compañía Badense. La industria salitrera tiene mas millones que la «Badische», pero no ha querido organizar los poderosos elementos de investigacion que se necesitan para su perfeccionamiento.»

«La produccion de amoniaco por el método Haber ya salió del laboratorio de investigacion; en Setiembre de 1912, durante la reunion del 8.º Congreso Internacional de Química Aplicada en Washington i Nueva York, Bernthsen, director técnico de la «Badische Anilin und Sodafabrik de Ludwigshafen» al hacer una conferencia sobre el procedimiento Haber, hizo funcionar dos pequeños aparatos que daban algunos kilogramos de amoniaco liquido por hora i anunció que en esos momentos se elevaban las murallas de la fábrica que la Compañía Badense construia con el objeto de lanzar al mercado su amoniaco sintético.

«Desde los comienzos de 1913, entró este amoniaco al mercado, primeramente en forma de amoniaco anhidro liquido, para el uso de los compresores de las fábricas de hielo i demas establecimientos frigoríficos, en donde a causa de la pureza del cuerpo reemplazó inmediatamente al amoniaco de la recuperacion.

«En seguida apareció el sulfato de amonio en competencia del Sindicato de «Bochum», lo que trajo una pequeña baja en el precio del sulfato de amonio, que llegó a 20 marcos por tonelada.

«Luego la «Badische» obligó al sindicato de «Bochum» a asociarla, quedando con una cuota de 40 a 50 mil toneladas. En cambio, la «Badische» tomaba el compromiso de no vender licencias para la explotacion por terceros de sus patentes sobre el amoniaco sintético.» (Cf. «Memoria de la Inspeccion Fiscal de la Propaganda Salitrera» para 1913 en «Circular Trimestral de la Asociacion Salitrera», N.º 62, p. 283.)»

Reimpreso de *El Mercurio* de Santiago, 24/VII/1914.

«**La Industria Salitrera y los peligros que la amenazan.**»

POR L. NORDENFLYCHT.

(Extractos pertinentes al procedimiento Haber.)

.....  
 «No trato de demostrar que el procedimiento Haber no sea un competidor del salitre, sino todo lo contrario; deseo confirmar el hecho, pero con aseveraciones verdaderas, i no espuestas a contradicciones, ya que mis estudios en la materia me permiten espresarme con completo conocimiento de estas cosas.

«Hace dos meses que he regresado de Europa, en donde permanecí mas de dos años estudiando i trabajando, bajo la direccion de nuestro compatriota el doctor don Luis E. Mourgues, cuanto pudiera relacionarse con la tecnología del salitre, cuanto pudiera aportar una mejora en los procedimientos actuales de su explotacion i elaboracion i, al mismo tiempo, cuanto pudiera amenazar el porvenir de nuestra gran industria.»

.....  
 «Ya he dicho en qué consiste este procedimiento; ahora voi a agregar algunos datos personales cuya autenticidad garantizo: A mediados del año pasado, tan pronto como tuve conocimiento que la «Badische Anilin und Sodafabrik» habia ordenado a la Sociedad Linde, Frank i Caro, la construccion de un aparato para producir 2,000 metros cúbicos de hidrójeno por hora, segun el procedimiento de los constructores, que está fundado sobre la separacion del óxido de carbono en el gas de agua por liquidacion, capacidad de hidrójeno que correspondia a una síntesis capaz de producir 30,000 toneladas de sulfato de amonio, escribí inmediatamente a la «Badische Anilin und Sodafabrik», preguntándoles i pidiéndoles datos para saber en qué condiciones podriamos implantar en Chile el procedimiento Haber para una produccion anual que les fijé.

«Les propuse tambien compras, arriendos, concesiones de patentes o asociaciones con capitales chilenos. Me contestaron que no podian entrar en negocios con Chile respecto al procedimiento Haber. Poco despues supe los motivos de esto, pero indirectamente, siendo uno de ellos el que, estando completamente resuelto por Haber el problema de la fabricacion del amoniaco, a partir de sus elementos i, obteniendo este producto a un precio de costo alrededor de fr. 0.65 por kilógramo de ázoe al estado de amoniaco, la Sociedad Badense, con sus enormes recursos, se cree capaz de suministrar todo el ázoe amoniaco para el consumo mundial, sin necesidad de espatriar ni una pequeña parte de los derechos sobre el procedimiento, por lo cual han resuelto considerarlo como un bien absolutamente nacional. De aqui proviene el gran secreto en que se mantienen respecto al verdadero catalizador empleado i al verdadero *modus operandi*.

«El peligro que presenta para la industria del salitre la fabricacion del amoniaco sintético por el procedimiento Haber, parece bastante serio.»

.....  
 «Los otros procedimientos creo que no deben alarmarnos; pero el que avanza con pasos amenazadores, es el de Haber, i es contra éste que debemos prepararnos.

«Ahora bien; ¿Cómo defenders... cuando se ve que, aun consiguiendo bajar un poco el precio de costo del salitre, el procedimiento Haber puede seguir haciendo una ruda

competencia? Aunque patentado en Chile, en sus jeneralidades el procedimiento Haber debe ser instalado en Chile para poder mantener sus privilejios; vencido el término de implantacion, éstos caen en el dominio público. Como la «Badische Anilin und Sodafabrik» no quiere instalar en Chile el procedimiento Haber, sus patentes caducarán i todo el mundo será libre para fabricar en nuestro pais el amoniaco por dicho procedimiento, siempre que éste sea conocido a fondo; pero como los detalles se guardan en el mas absoluto secreto, de aquí la dificultad para que otro, que no sea Haber, lo implante en Chile. Entónces parece llegado el momento en que nuestro Gobierno se haga parte en los sacrificios que tantos particulares se imponen por salvar al salitre i con éste al pais.

«Comisiónese a algunos técnicos competentes o especializados en estas cuestiones, ya sean chilenos o extranjeros, para que estudien en Europa o Estados Unidos i traten de descubrir los secretos que encierra el actual procedimiento Haber. Una vez conseguido esto, lo que no es imposible en vista de que son cosas que otros hombres hacen, se podría fabricar amoniaco mas o ménos en las mismas condiciones que en Alemania.

«Pero mis lectores se preguntarán: ¿qué tiene que ver la fabricacion de amoniaco en Chile, para salvar la industria del salitre? Me voi a permitir darles una respuesta categórica: La salvacion del salitre depende de la fabricacion en Chile del amoniaco sintético a bajo precio.

«Actualmente existe patentado en nuestro pais un invento netamente nacional, que consiste en lexiviar en frio los caliches i transformar el salitre obtenido en las disoluciones en nitrato de amonio i bicarbonato de sodio, necesitando, por consecuencia, disponer de amoniaco i ácido carbónico. Para no estenderme en tecnicismos, me limitaré a decir que el referido procedimiento permite dar un valor efectivo al metal sodio del nitrato de sodio o salitre, que hoi dia no tiene ningun valor, porque, con el bicarbonato de sodio producido se obtendrá el carbonato de sodio o soda, cuyo consumo mundial actual pasa de cuatro millones de toneladas anuales, con un precio medio de fr. 110 por tonelada. El nitrato de amonio que se fabricaria, es el abono ideal, por cuanto es aprovechado completamente por las plantas i contiene 17.5% de ázoe nítrico i 17.5% de ázoe amoniacal, o sea, en total, 35% de ázoe. He tenido la suerte de seguir mui de cerca i aun trabajándolos personalmente, todos los estudios i esperiencias de practicabilidad e industrializacion que se han hecho del invento en cuestion. Todos, incluso algunas modificaciones aconsejadas por la esperiencia, han sido ampliamente satisfactorios i terminantes; pero, hasta ahora, hace falta en Chile la fabricacion de amoniaco sintético que nos permita transformar el nitrato de sodio en nitrato de amonio, abono con el cual seria imposible competir si se logra fabricar en nuestro pais el amoniaco al mismo precio de costo que el que se fabricará en Europa.

«Entónces, la situacion se ve bastante clara: El Gobierno debe provocar a la «Badische Anilin und Sodafabrik» para que se instale en Chile para fabricar amoniaco en grandes cantidades o, en todo caso, contratar algunos técnicos, facilitándoles los medios necesarios, para que hagan la luz en lo que actualmente Haber mantiene en la oscuridad. Una vez que podamos disponer del amoniaco barato, la fabricacion del nitrato de amonio será una hermosa realidad i las rentas de nuestro pais quedarán a salvo.

«Testigos de la seriedad de los trabajos i de los sacrificios que importa hasta hoi a sus propietarios el invento a que acabo de referirme, son nuestros ministros en Paris i Bruselas, doctor don Federico Puga-Borne i don Jorje Huneeus G., respectivamente, don Rafael Sotomayor, don Beltran Mathieu, don Alejandro Bertrand i muchos otros de nuestros compatriotas que, en repetidas ocasiones, han honrado con sus visitas al laboratorio especialmente instalado por el doctor Luis E. Mourgues en Paris, en una de las salas del «College de France» amablemente proporcionada por el Profesor de Quimica Mineral de dicho establecimiento, señor Camille Matignon, quien, especializado

en todos los estudios referentes al ázoe, ha contribuido en todo tiempo con sus valiosísimos conocimientos, su buena voluntad i mucho entusiasmo, a salvar las no pocas dificultades técnicas que se presentaban en el curso de los estudios en cuestion.

«Creo haber dejado bien establecido i lo mejor esplicado que me ha sido posible, sin profundizar demasiado, cuáles son los verdaderos peligros para el porvenir del salitre, i uno de los medios de defensa con que podemos precavernos.»

Al reproducir el escrito precedente que tiene ya tres años de fecha nos parece oportuno insistir en dos observaciones:

La primera es que, segun las publicaciones mas recientes parece que no sólo los «secretos» concernientes a los «catalizadores» i «modus operandi» han sido penetrados en gran parte por ingenieros químicos ingleses, sino que éstos investigan por su cuenta nuevos perfeccionamientos.

La segunda es que, del análisis que hemos hecho del precio de costo, se desprende que los factores «ázoe», «hidrójeno», «energía», «combustible», i por consiguiente su total, habrian de ser necesariamente mas caros en Chile que en Alemania e Inglaterra, miéntras no sufran una modificacion substancial las condiciones industriales prevalectentes en nuestro país.

#### IV.—FACTORES FINANCIEROS.—ORGANIZACION.—PRODUCCION.

En el estudio publicado en Junio de 1915 por el Dr. Luis E. *Mourgues*, reproducido como Apéndice al final de la parte que antecede, observaba este competente profesional, refiriéndose al proceso Haber, que:

«Este gran éxito de la Ciencia i de la Técnica de los Químicos de la «Badische» ha podido ser alcanzado, *gracias a los medios de trabajo i a los millones de la Compañia Badense*. La industria salitrera tiene mas millones que la «Badische»; pero *no ha querido organizar los poderosos elementos que se necesitan para su perfeccionamiento.*»

La profunda verdad de la observacion del Dr. *Mourgues* viene siendo reconocida universalmente, i sea para él una satisfaccion el saber que acaba esta misma observacion de ser formulada en Francia, dos años despues que él (Junio 2-1917), por otro profesional, el Ingeniero *Florentin*. Refiriéndose a la comunicacion a la Academia de Ciencias del profesor *Le Chatelier*, de que habia patentado ya en 1901 un procedimiento para la síntesis industrial del amoniaco, escribe este ingeniero en «Le Génie Civil»:

«Fué solamente siete años mas tarde cuando el Dr. *Haber* reconsideró un procedimiento semejante en Alemania, logrando su éxito definitivo gracias, no sólo a la perseverancia de este profesor, sino tambien a la vasta utilería i a los *inmensos recursos de la Badische Anilin und Sodafabrik*. Aun cuando el sabio frances hubiera desplegado la misma tenacidad como la de su rival aleman, es poco probable que *a falta de un organismo tan poderoso a su disposicion*, hubiera podido alcanzar en tan corto plazo el éxito de su procedimiento.»

Bastarian las dos citas que anteceden para que se comprendiera que el presente estudio seria incompleto si no incluyera siquiera una sumaria exposicion de las características técnicas, industriales i financieras de la vasta empresa cuyo desenvolvimiento ha superado bajo todo concepto lo que implica su modesto título de «Fábrica Badense de Anilina i Soda» (1). Pero dicha exposicion se hace mas necesaria aun, desde otro punto de vista mas amplio que el meramente financiero, porque envuelve para la industria i comercio del salitre lecciones objetivas de tan obvia aplicacion al porvenir salitrero que el desentenderse de ellas mereceria ser calificado como el colmo de la inconsciencia.

\* \* \*

Fundada ahora 60 años con el objetivo esencial de explotar la nueva industria de las materias colorantes derivadas del alquitran de la hulla— así como las materias auxiliares i productos intermediarios—los directores de la BASF. parece que hubieran tenido desde entónces la vision de lo que significaba en el progreso industrial la explotacion mas i mas perfecta de las fuerzas i riquezas encerradas en la hulla; que despues de suministrar calórico, enerjía mecánica, luz a la industria, la hulla estaba destinada a proveer al mundo con innumerables tintes de inagotable variedad en substitucion de los escasos de oríjen vegetal que estaban entónces en uso.

Esta comprension se manifestó en la adopcion por la BASF., desde el principio, de la *investigacion científica* como base de todo nuevo procedimiento, i la atencion preferente consagrada al *laboratorio de investigaciones* ántes que a la *fábrica*.

Así es como principiando por la fabricacion de la *fucsina* i del *azul de anilina*, la BASF. fué utilizando uno a uno todos los descubrimientos científicos de este ramo para estraer nuevos tintes de los hidrocarburos obtenidos en la destilacion del alquitran, el Benzeno, el Tolueno, el Naftaleno el Antraceno, etc.; ocupándose al mismo tiempo en preparar todos los productos auxiliares requeridos para dicha fabricacion: los *ácidos, clorhidrico, nitrico, sulfúrico*, e introduciendo en 1889 la fabricacion de este último por la reunion *catalítica* directa de los gases, en substitucion del método de las cámaras de plomo. Asimismo, aprovechándose de los progresos de la electroquímica, la BASF. instaló la produccion electrolítica del *cloro* i de la *soda cáustica*.

Poniendo los inmensos recursos de sus laboratorios a la disposicion, aun de investigadores ajenos a ella, fué como la BASF. adquirió, puede decirse, el monopolio de la explotacion de descubrimientos trascendentales

---

(1) Designada en este artículo por sus iniciales BASF.

en el ramo de las materias colorantes, como el de la *alizarina artificial*—en substitucion de la «*garance*»—sus derivados (1878) i las nuevas series llamadas de *resorcina*, los colorantes *azóicos*, los del *azufre* (1894) en substitucion de la cochinilla, de la curcuma, de la flavina, del campeche, etc., i del *índigo sintético* (1897) en substitucion del añil vegetal, cuya produccion, que era en esa fecha de 6 millones de kilos con un valor de 80 millones de Marcos, ha quedado reducida ahora, por la competencia del producto sintético, a la décima parte.

El resultado de esta lucha entre los colorantes naturales i los sintéticos fué que ántes de la guerra, Alemania, en vez de importar del extranjero colorante alguno, los producía por valor de 300 a 400 millones de Marcos; se habia hecho proveedora de ellos para las industrias textiles i papeleras del mundo entero, con el consiguiente ingreso de capitales.

Una parte preponderante en este resultado le cabia a la BASF., cuyo número de operarios que era de 30 a su fundacion, alcanzaba a mas de 10,000 en 1914 (1).

Obedeciendo a la tendencia jeneral de la industria alemana de independizar al pais de las importaciones del extranjero (2) la BASF. decidió desde principios del siglo, no confinar ya sus esfuerzos al campo de las materias colorantes, i casi al mismo tiempo que los noruegos *Birkeland* i *Eyde* (1902-1904) varios de sus investigadores espermentaron la fabricacion sintética del ácido nítrico con los gases de la atmósfera; en 1905 la BASF. patentó el horno *Schönherr*, erijió el mismo año, una fábrica espermental en Fiskaa (cerca de Christianssand, Sur de Noruega) i en 1907 formó, en union de la «Baeyer» i la «Berlin Anilin» (3) una combinacion financiera con las compañías Franco-Noruegas, suscribiendo el grupo aleman cerca

(1) Las cifras que da Cambon son 11,000 obreros, 280 químicos, 300 técnicos.

(2) Esta tendencia fué proclamada, entre otros, por el entonces Director del «Deutsche Bank», Dr. Karl *Helfferrich* (Ministro Imperial de Hacienda i Vice-Canciller, durante la guerra), en su folleto, «La Prosperidad Nacional de Alemania de 1888 a 1913». Especialmente dice allí:

«Durante mucho tiempo hemos tenido que importar bajo la forma de salitre de Chile... el ázoe para abonar nuestro suelo... El desarrollo de la electrotécnica ha permitido ahora estraer este ázoe de la atmosfera.»

Es instructivo, en conexion con el porvenir de nuestra industria salitrera, darse cuenta del papel que han desempeñado segun lo expone esta alta autoridad, en la «Organizacion económica» de Alemania la «cooperacion de las enerjias humanas», la «concentracion del trabajo» i de la industria en grandes unidades, principios que el autor del presente estudio viene afirmando ser *condiciones de vida* para la industria salitrera, desde 1910.

(3) ABREVIATURAS.—En esta parte de nuestra esposicion emplearemos las siguientes: BASF. = Badische Anilin und Sodafabrik en Ludwigshafen.

FFBC. = Farbenfabriken Baeyer und Co. de Elberfeld i Leverkusen.

AGAF. = Aktien Gesellschaft fur Anilin Fabrikation de Treptow i Dessau.

El Consorcio de estas tres grandes empresas se acostumbra designar en Alemania con la abreviatura «Dreibund».

Otro Consorcio entre las dos empresas «Hochster Farbwerk» i «Leopold Casella und Co.» es conocido por «Zweibund».

de 40 millones de Marcos en acciones para la explotación en común de las patentes de los respectivos hornos (Cf. «Ind. Com. Subs. Az.» p. 21 i cuadro de la Nota 53), con el objetivo principal de asegurarse una fuente propia de nitrito de sodio que se requiere en gran cantidad para la producción de los tintes azóicos.

Sin embargo, al mismo tiempo la BASF. se interesaba en las investigaciones del Dr. *Haber* para la síntesis del amoníaco i desde que en 1909 dió éste por resueltas las dificultades técnicas, manifestó la gran empresa mayor interés por esta síntesis que por la del ácido nítrico.

Ya a fines de 1911 retrocedió a las compañías Franco-Noruegas una gran parte de sus acciones (Norton, p. 72) i se desprendió de la mayor parte de las restantes en 1913 (Cf. «Ind. Com. Subs. Az.» pp. 21, 138), en cuya fecha sólo retuvo Mk. 5.000.000 en acciones i un préstamo de Mk. 15.000.000 que ha sido cancelado durante la guerra. En 1914, la BASF.—cuyo capital se componía entónces de 36 millones de Mk. en acciones i 25 millones en bonos—decidió aumentar su capital-acción a 54 millones i formó un «Konzern» con las empresas FFBC. i AGAF. que también aumentaron proporcionalmente sus capitales—en 40 millones de Marcos en total—para explotar el procedimiento *Haber*.

En una publicación anterior hemos insistido en la importancia que le atribuimos desde el primer momento a esta actitud de las mayores empresas alemanas de productos químicos respecto a los diversos procedimientos del azoe sintético, para augurar su porvenir en relación con la industria salitrera. (Cf. «Ind. Com. Subs. Az.» pp. 31-32; Notas 77 i 78 (1)).

Esta prevision ha sido i continua siendo plenamente justificada. Desde el principio de la guerra el gobierno alemán decidió recurrir para la producción nacional de azoe que debía substituir al salitre, a los dos procedimientos sintéticos que habían hecho sus pruebas, el de la Cianámidá i el del amoníaco Haber (Cf. «Ind. Com. Subs. Az.» p. 132).

La cifra exacta de los subsidios fiscales a cada una de estas industrias no es conocida; pero las informaciones publicadas (Cf. «Ind. Com. Subs. Az.» p. 132 i «Ev. Ind. Az.» pp. 10, 21, 108, 110, 188, etc.) permiten coleccionar que el total no es inferior a 500 millones de francos, de los cuales mas de 100 millones corresponden al *amoníaco Haber*, a cuya capacidad de producción se le atribuye, según las autoridades mejor informadas, el desarrollo siguiente:

1913-14.....	35,000 tons. Sulfato =	7,000 tons. azoe
1914-15.....	150,000 » » =	31,000 » »

(1) Este criterio ha sido constantemente el de las revistas i autoridades técnicas mas competentes, según es fácil comprobarlo por las numerosas citas de ellas que ocurren en nuestro reciente volumen «Evolución de las Industrias del Azo» (v. los números de página respectivos en la Nota Bibliográfica relativa a este libro, al final).

1915-16.....	300,000 tons,	sulfato = 63,000 tons.	ázo
1916-17.....	540,000 »	» = 114,000 »	»
1917-18.....	840,000 (1) »	» = 180,000 »	»

\* \* \*

Al mismo tiempo que se desarrollaba en esta forma la producción de guerra de amoniaco sintético, la nueva industria se incorporaba al vasto movimiento de «preparedness» para la paz que vienen realizando las mayores empresas alemanas de productos químicos.

El 3 de Mayo de 1916 se formó un consorcio cooperativo por 50 años entre los dos grupos ya conocidos bajo los nombres de «Dreibund» i «Zweibund», a los que se agregaban dos importantes firmas i mas tarde una octava no ménos importante. En el nuevo consorcio cuyo capital en accion i bonos es de 300 millones de Mks. fuera de 100 millones en reservas, corresponde al «Dreibund» mas de un 60% (BASF.=75 millones; FFBC.=79 millones; AGAF.=28 millones), al «Zweibund» un 27% (Hoechst=60 millones; Kalle =9 millones) i a las dos firmas restantes un 13% (Weiler-ter-Meer=10 millones; Griesheim-Elektron=18 millones) (2).

(1) Esta producción, segun nuestras informaciones, se repartiria como sigue:

Primera fábrica Ludwigshafen, Sulfato.....	450,000 tons.
Nueva fábrica Ludwigshafen, Sulfato (1917).....	200,000 »
5 instalaciones en Leverkusen, Lech (Lorena), Mannheim, Hoechts., Griesheim, con capacidad total de.....	190,000 »
Capacidad total reducida a sulfato.....	840,000 tons.

(2) Las cifras sobre las que descansa la «combinación» de las 7 grandes firmas alemanas de productos químicos, celebrada el 3 de Mayo, publicadas el 24 de Mayo de 1916 por el «Chem. Ztg.» son las siguientes:

## CAPITAL (Marcos)

FIRMAS	ACCIONES	RESERVAS	OBLIGACIONES
—BASF.....	54.000,000	24.500,000	21.000,000
Dreibund.....—FFBC.....	54.000,000	28.300,000	25.000,000
—AGAF.....	19.800,000	10.500,000	7.820,000
Zweibund.....—Hoechster FF.....	54.000,000	25.000,000	6.750,000
—L. Casella.....	20.000,000	.....	.....
Kalle i Cía.....	6.000,000	1.200,000	3.670,000
Weiler-ter-Meer.....	8.000,000	2.600,000	2.560,000
Totales Mks.....	215.800,000	92.100,000	66.800,000

Este convenio está vijente desde Enero 1.º de 1916; en Junio de 1916 se adhirió a él la firma «Griesheim Elektron» (a partir de Enero 1.º de 1917) que jira con un capital (acciones i obligaciones) de 36 millones de marcos.

Durante la guerra estas empresas han repartido dividendos anuales de 20% en promedio.

Los objetivos i programas de este vasto consorcio, segun lo hemos espuesto ya en otra ocasion (Cf. «Ev. Ind. Az.» p. 36) obedecen a la siguiente fórmula:

«Si bien en el pasado una producción económica i la calidad de los productos han asegurado el éxito de la industria química alemana», se propone ahora agregarles «el beneficio que procura la fabricación colectiva, hasta llegar a ofrecer al consumidor extranjero productos a tal precio i de tal calidad que no sea posible obtenerlos de otra procedencia.

«Para alcanzar este objetivo se realizará entre las diversas fábricas que forman el nuevo consorcio un intercambio constante de resultados de investigaciones i experimentación que redundará en el interés comun de la Asociación... Se mantendrá la independencia i libertad comercial de cada empresa, i persistirá la competencia entre las distintas fábricas; pero debido a la organización especial del consorcio, esta competencia no se traducirá sino en progresos que favorecerán la industria química alemana en jeneral.»

Es de advertir que, si bien la distribución de las ganancias está prevista en proporción a los capitales aportados, se exceptúa durante cierto período las ganancias debidas a productos especiales—entre los cuales figura en primera línea el *amoniaco Haber*—las que quedan reservadas las empresas que los producen (1).

#### RESÚMEN JENERAL

Del conjunto de los hechos concernientes a la nueva industria del amoniaco sintético basada en las investigaciones del Dr. Haber, en los adelantos de la químico-física i de la electro-técnica, se desprenden enseñanzas i conclusiones que conviene precisar, por cuanto pueden ser aprovechadas bajo mas de un aspecto en las industrias chilenas en jeneral i en la industria salitrera en particular.

Las siguientes cifras (redondeadas a millones de marcos) representan las características financieras de la «Badische» desde que comenzó a producir amoniaco sintético.

	1913	1914	1915	1916
Capital (acciones i bonos).....	58			76
Utilidades (ménos amortización).....	38	23	20	26
Dividendos repartidos.....	28	19	20	20 + 8
Total de utilidades (1913-1916) 107 millones de marcos.				

(1) Los órganos de la industria química inglesa i francesa se han preocupado estensamente de la «Combinación técnico-financiera» de las fábricas alemanas de productos químicos, segun se puede ver en «Chem. Tr. JI.», Mayo 13, 20; Julio 1.º-1916; Mayo 19-1917; i en «Industrie Chimique», Mayo de 1916 (p. 410); Junio (p. 426); Agosto (p. IV); Setiembre (p. XX); Diciembre (p. 525); Enero 1917 (p. 544); Febrero (p. 568); Marzo (p. 586); Junio (p. 660).

Los «Commerce Reports» de Washington contienen dos informes Consulares sobre esta materia, fechas Mayo 27-1916 i Julio 30-1917.

En primer lugar, cabe dejar constancia de que durante la fase de las investigaciones de laboratorio no pretendió el inventor ni sus colaboradores obtener resultado industrial alguno, concretándose al estudio científico, metódico, separado i combinado de cada una de las complejas circunstancias que intervienen en las reacciones de síntesis i de disociación del amoníaco: temperatura, presión, duración, acción catalítica, etc.

Sólo después de establecida sobre numerosos i prolongados experimentos de laboratorio la importancia de cada uno de estos factores, las condiciones susceptibles de favorecer, acelerar, atenuar o anular su acción, i de haberse cerciorado de que por una apropiada combinación de esas condiciones sería *posible* obtener en escala industrial concentraciones tales en amoníaco que aseguraran un rendimiento final compatible con un procedimiento remunerativo; solamente entonces buscó el inventor el apoyo financiero i material que le era necesario para estender sus investigaciones en todos los sentidos en que pudiera tener proyecciones la nueva industria, i al mismo tiempo para apreciar, prever i vencer los inconvenientes prácticos que pudiera encontrar el funcionamiento en grande de las disposiciones estudiadas por él en su laboratorio (1).

A este respecto cabe insistir en que el papel de la «Badische» en la creación de la nueva industria no se ha limitado al aporte de capitales. Tanto o más que su cooperación financiera ha contribuido al éxito la *cooperación técnica* de un personal especialmente preparado para la solución de problemas técnico-industriales, i el hecho de tener a su disposición en cada momento i sin pérdida de tiempo un material i «outillage» de investigación aplanado i montado con arreglo a los más recientes adelantos de la ciencia moderna.

Por otra parte—según lo demuestran los esfuerzos hechos por la «Badische» desde 1904 a 1911 en la síntesis del ácido nítrico—esta empresa, al interesarse de una manera tan decisiva en el éxito de la síntesis del amoníaco, no perseguía un resultado comercial aislado, sino un doble i más importante objetivo.

En primer lugar el estudio comparativo de los rendimientos teóricos potenciales demostraba la superioridad de la síntesis del amoníaco sobre

---

(1) Recomendamos, a este respecto, la lectura de un artículo del ingeniero Victor Cambon, titulado «*La Mentalité Chimique*» (publ. p. «Industrie Chimique», Agosto 1916 i reproducido por la prensa técnica mundial). Dice allí:

«Los progresos salen del *laboratorio de investigaciones industriales*. En eso residía la incontestable superioridad de la técnica química alemana... que tiene por principio que en la mayor parte de las industrias todo principia en la química por el laboratorio para terminar en los aparatos mecánicos en el taller.»

la del ácido nítrico, desde el punto de vista «nacional». El éxito de la industria del ácido nítrico sintético aparecía ligado a un bajo precio de energía eléctrica que no era posible obtener en Alemania; mientras que la del amoníaco sólo requería la cuarentava parte de esa energía («Ind. Com. Subs. Az.» p. 98).

No cabe, pues, duda alguna—tanto menos que existen declaraciones explícitas de la «Badische» sobre este punto (1)—de que los directores de esta gran empresa se propusieron, desde principios del siglo, realizar respecto de los compuestos inorgánicos del azoe, lo que ya habían realizado respecto de las materias colorantes, es decir fabricar en el país, con materias primas allí existentes, todos aquellos compuestos.

Aparece no menos claramente que la compañía «Badische», ciñéndose a un criterio ya legendario en ella, se abstuvo de lanzarse definitivamente en esta nueva empresa hasta no haber encontrado un procedimiento que satisficiera todas las exigencias del caso, i haberlo sometido a la prueba de una producción preliminar a grande escala. Esta prueba sólo la realizó con el amoníaco Haber en 1913-1914.

Si alguna duda pudiera subsistir respecto a la existencia de este plan preconcebido para el desarrollo de un concepto verdaderamente grandioso, bastaría para disiparla el testimonio retrospectivo del Dr. Norton a quien eran familiares las industrias químicas de Alemania desde muchos años, cuando escribía en 1911:

«El proceso de Haber es ahora controlado por la «Badische Anilin und Sodafabrik» de Ludwigshafen, la principal fábrica de productos químicos de Alemania, la que *está consagrando preferente atención a la cuestión del azoe*. Prosigue activamente el perfeccionamiento del proceso sintético con el objeto de *tenerlo listo para propósitos técnicos cuando llegue el momento psicológico*.

«Esta misma política—continúa Norton—fué la que siguió despues de perfeccionar la fabricación sintética del índigo, ántes de lanzar al mercado mundial ese producto comercial (1897). Ha invertido grandes sumas en el desarrollo de los procesos para estraer ácido nítrico i nitratos de la atmósfera, i *es muy posible que estime conveniente a sus intereses retardar la aparición sobre el mercado de un nuevo competidor*.» (Norton, p. 30).

Esta opinión publicada hace ya mas de cinco años, procedente de una autoridad que poseía un conocimiento tan íntimo de la empresa en cuestión como de la materia misma, no sólo arroja luz completa sobre los antecedentes, sino que bastaría para producir por sí sola la convicción de que, cuando en Mayo de 1914 la «Badische» hizo publicar la combinación financiera iniciada por ella bajo el nombre de «Anilin Konzern», para proseguir la fabricación en grande escala del amoníaco sintético, es porque poseía ya

(1) En el folleto-prospecto de la «Badische» publicado en francés en 1910, p. 24.

las pruebas suficientes de que este nuevo procedimiento era económicamente superior a los que habia experimentado en Noruega i de los que se habia desinteresado parcialmente en 1911 i casi completamente en 1913.

Por fin corrobora i afirma la existencia i prosecucion de esa política a la vez nacionalista i financiera, la actitud tan decidida en el fondo como terminante en la forma, que asumió la «Badische» en 1915 ante el proyecto presentado por el gobierno alemán al Reichstag para la implantacion de un «Monopolio Comercial del Azoe». Hemos tratado detalladamente este punto en obras recientes («Ind. Com. Subs. Az.» pp. 50-51, 144 «Ev. Ind. Az.» p. 241). Solo recordaremos aquí estas frases del Memorial presentado por la «Badische» al Reichstag en Mayo de 1915:

«Somos incondicionalmente opuestos a todo Monopolio... tenemos completa confianza en nuestro éxito en una lucha de libre competencia... Asi como hemos desalojado la garance i el añil vejetales i hemos hecho tributario nuestro para estas dos tinturas al mundo entero, esperamos tambien ganarnos el mercado en todos los países cultivados del mundo para los abonos producidos por nosotros, somos capaces de independizar completamente en el futuro a la agricultura alemana del abono de salitre extranjero.» (Trad. en «Ev. Ind. Az.» p. 238 i 241 v. extracto de la parte pertinente en el Apéndice Bibliográfico al presente estudio).

Segun ya lo hemos hecho notar, estas declaraciones de la «Badische» eran tomadas a lo serio en Francia, en Inglaterra i en Norte-América; su pasado respondia del porvenir i el solo hecho de las cuantiosas inversiones consentidas por el «Dreibund» en la nueva industria se consideraba como una prueba anticipada de la efectividad del éxito.

No entra en los propósitos del presente estudio—ni seria esta Revista el lugar apropiado para ello—la investigación, bajo sus diversas fases, de la política que corresponderia iniciar i fomentar en Chile para contrarrestar en lo posible la de competencia potencial a nuestro salitre. Si nos hemos detenido en esponer aquí la prevision i amplitud de esta última de parte de los promotores de la produccion sintética de azoe, ha sido principalmente con el fin de dejar bien establecido i de manifiesto el papel inicial i siempre preponderante que han sabido asumir en la evolucion de las respectivas industrias los profesionales de la químico-física i de la electro-técnica en Alemania, i de provocar entre nuestros colegas compatriotas un exámen de conciencia respecto a la casi completa abstencion de interés en los círculos correspondientes de Chile por la tecnología salitrera, i a la aparente falta de preparacion del actual cuerpo de profesionales en Chile para desempeñar el papel que el país reclama i tiene derecho a esperar de ellos en los momentos gravísimos que son de prever para el ramo de sus finanzas procedente de una rama de riqueza nacional cuya explotacion recae dentro de nuestra competencia.

Durante ya cerca de cuatro decenios han vivido i progresado nuestra Universidad de Estado i sus Laboratorios técnicos de los fondos aportados al presupuesto fiscal por el salitre.

¿Qué han hecho a su turno durante esos cuarenta años la Universidad i sus Laboratorios en favor del progreso técnico del beneficio del salitre?

¿Dónde están los resultados obtenidos en ese beneficio por los especialistas formados con la enseñanza universitaria durante 10 años de la «Tecnología salitrera»?

¿Cuántos son, entre el competente cuerpo de ingenieros que han seguido los cursos de Minas, los que han contribuido a «mejorar esos métodos arraigados por una rutina ciega que podría conducir el salitre a su ruina? (1)

A falta de iniciativa oficial ¿qué han hecho las Sociedades Nacionales que cuentan en su seno tantos profesionales distinguidos como el Instituto de Ingenieros i la Sociedad Nacional de Minería?

¿Qué plan, qué accion concertada, o qué acciones individuales han comenzado a desarrollarse por iniciativa de esta última despues del último Congreso de Minas en que tuvo por lo ménos un eco la voz del «instinto de conservacion» al que apeló allí el decano de los técnicos salitreros nacionales? (2)

¿Cuántos entre éstos últimos, han respondido a la «rogativa» del decano de los técnicos salitreros extranjeros, de aportar sus esfuerzos para «sacar el problema salitrero del estado de *somnolencia* que lo caracteriza i para solucionarlo definitivamente»? (3)

Al formular esta serie de interrogaciones, no es porque desconozcamos la «potencialidad» del movimiento de progreso técnico salitrero iniciado dentro de los últimos años, sólo queremos llamar la atencion de nuestros colegas sobre las escasas manifestaciones ilustrativas de esa potencialidad en comparacion, por una parte con la importancia nacional de la materia i por otra con la abundancia de manifestaciones análogas en cuanto se han reflejado en la literatura técnica europea i norte-americana en el caso reciente del amoniaco Haber (4).

Repetidas veces han clamado competentes profesores e industriales en Chile por la creacion de una «Revista Técnica de la Industria Salitrera» (5). Nunca como ahora ha sido tan urgente esa necesidad, como único medio

(1) El ingeniero don Mannel A. Prieto en el vol. VIII (p. 8) del «Congreso de Minas de 1916».

(2) Ver cita anterior.

(3) El ingeniero británico don Santiago Humberstone en el vol. VI (p. 118) del «Congreso de Minas de 1916».

(4) Esto quedará de manifiesto en el Apéndice bibliográfico del presente estudio.

(5) v. «Evolucion de las Industrias del Azoe», pp. 145-155.

de coordinacion i cooperacion de todos los esfuerzos aislados, sean individuales o corporativos, en favor de mejoras sustanciales en las diversas fases de la tecnología salitrera.

\* \* \*

Hemos creído hasta ahora en Chile que teníamos derecho a calificar de industria nacional la del salitre, por el mero hecho de que es ella la que da la mayor parte de sus rentas al Fisco de la Nación i que esta sustancia es estraída de nuestro suelo por operarios en su mayor parte chilenos. Miétras tanto i a pesar del gran progreso de la mayor empresa chilena en los últimos años, cerca de los dos tercios de los capitales salitreros aun son extranjeros, como lo son en proporcion quizás mayor los directores técnicos de las oficinas de elaboracion.

Repetidas veces se ha abierto campaña de «nacionalizacion» compulsiva a fuerza de leyes i decretos.

Pero hasta ahora nadie, que sepamos, ha parado mientes en que para que sea genuina la «nacionalizacion» de una industria, tiene que ser el resultado de varios factores, entre los cuales figura, en primera línea, el estado de «preparacion económica i financiera» de los respectivos elementos nacionales, i entre éstos, ante todo, el estado de «preparacion técnica» de aquellos hijos del país a quienes por su profesion incumbe la organizacion i funcionamiento de los planteles de estraccion i beneficio del salitre.

A este respecto, como en muchos otros, la actual guerra ha traído consigo duras lecciones—cuya asimilacion viene siendo reconocida como necesaria por aquellos mismos que han sido nuestros primeros maestros en tecnología salitrera—en cuanto a lo que verdaderamente constituye una «Industria Nacional» segun el criterio mas autorizado en el país donde se producen ya en mayor escala que en todo el resto del mundo, las sustancias competidores del salitre.

Ese concepto fué formulado en los primeros meses de la guerra por el reputado Dr. Otto N. Witt, profesor de tecnología química en la Universidad de Charlottenburg, en los términos siguientes, reproducidos del «Chemiker Zeitung» por la prensa química inglesa, como una enseñanza de severa pero imperativa verdad en la que deberia inspirarse la industria postbélica de Gran Bretaña:

«La creacion de una industria nacional es *un acto nacional de la mas alta importancia, un acto en el que todo el pueblo está implicado* i al que todos deben colectivamente cooperar». (Cf. «Ev. Ind. Az.», p. 43).

La relacion sumaria que hemos hecho, bajo sus diversas fases, de la evolucion del método *Haber*, desde sus orijenes técnicos hasta sus desenvolvimientos financieros, las citas que hemos dado de la abundante lite-

ratura técnica que ha cooperado de una manera tan eficaz a esa evolucion, corroboran en este caso particular el alcance i la exactitud práctica del concepto del Dr. Witt.

A los profesionales chilenos de la ingeniería química es a quienes toca —porque, fuera de otros incentivos, son los que tienen mejor oportunidad de prepararse para ello— poner en juego ese importante factor de la *cooperacion colectiva* que menciona el profesor alemán.

A los Ingenieros chilenos que se hayan especializado en ese ramo i a los que se especialicen en el futuro, es a quienes incumbe el honroso papel de orientar i afirmar los primeros pasos de la industria salitrera en el único camino que puede llevarla a ser lo que todos deseamos que sea: una verdadera *Industria Nacional en Chile*.

(Continuará.)



## Relacion entre la Jeolojía i la Minería

---

La lectura del discurso presidencial ante la Institution of Mining and Metallurgy, suministra una oportunidad en cierto modo única. No sólo por el hecho de tener amplia libertad en la eleccion del tema, sino tambien porque la ocasion es privilegiada por cuanto en ella no se abre discusion, i, el llamado a un alto momentáneo hácia la consideracion de tópicos de interes inmediato, da tiempo para hacer inventario de alguna de las numerosas ramas que abarca nuestra vasta profesion, para pasar revista de sus últimos progresos, apreciando su situacion actual i pronosticando su futuro desarrollo

Establecido esto, el nuevo Presidente elijirá, naturalmente, su tema de la rama con la cual su trabajo profesional ha estado mas relacionado. Puesto que en mi carrera de ingeniero de minas los conocimientos jeolójicos me han sido de tan gran utilidad, no ha podido ser mas acertada la eleccion del tema de mi mensaje: «Relacion entre la Jeolojía i la Minería».

La Jeolojía tuvo en gran parte su oríjen en las observaciones de los mineros. Los conceptos jeolójicos fundamentales, como afloramiento, rum-

bo, manto, pendiente i yacente (1), así como tambien un sin número de detalles mineralógicos i petrográficos fueron suministrados por el trabajo de los mineros primitivos, mientras por otra parte, el estudio minucioso de las relaciones estratigráficas de los mantos carboníferos, que ya constituía una exigencia para la explotación provechosa de éstos, formó la base de la moderna Estratigrafía. Fournet, al escribir sobre yacimientos metalíferos en 1835, dice: «C'est a l'étude de leurs gisements, de leurs liaisons avec les substances voisines et de leurs rapports avec certains accidents du sol encaissant, que la Géologie doit sa naissance» (2). En tales términos reconocieron los primeros jeólogos su deuda para con la minería. Pero en nuestros días la situación es inversa: La deuda está de parte de la Minería (3). Así, mediante la aplicación de los principios jeológicos, mantos i vetas importantes, aun cuando están perturbados por intrusiones ígneas o han sido dislocadas por fallas, se siguen hasta gran distancia de sus primeros afloramientos conocidos, i fenómenos que tienen lugar en profundidad se interpretan científicamente; tambien levantamientos jeológicos detallados de distritos mineros son de la mayor utilidad para los exploradores, i a veces conducen a nuevos descubrimientos. Actualmente, en las grandes minas de fierro i cobre de los Estados Unidos de Norte América, se confía a los jeólogos, no sólo el estudio de los yacimientos, los trabajos de explotación constituyen una de sus tareas. Por medio de un sistema de trabajo práctico organizado con éxito en algunas de dichas minas, se determina la relación que tienen vetas i bolsones descubiertos por diversos niveles; chimeneas, estocadas i estaciones de bombas se disponen en las situaciones mas convenientes segun las condiciones jeológicas; i yacimientos perdidos en zonas de dislocación se vuelven a encontrar i se determina la magnitud del salto, la cual se toma en cuenta al proyectar los trabajos de niveles inferiores de la mina (4).

Ejemplos típicos de la aplicación eficaz de los conocimientos jeológicos a los trabajos mineros pueden citarse naturalmente un gran número, pero unos pocos bastarán para el objeto del presente trabajo.

(1) Véase el interesante apéndice a la traducción inglesa de Mr. i Mrs. Hoover, de la obra «De Re Metallica», Lóndres, 1913, p. 603.

(2) «Études sur les dépôts métallifères. Traité de Géognosie». A. Burat, vol. III, p. 383, Paris, 1835.

(3) Cp. Knox (Eng. & Min. Jour., vol. 75, 1903, p. 849). «En los últimos diez años los jeólogos han derramado mas luz sobre los problemas fundamentales de la minería que la emanada de todas las demás fuentes combinadas. Es imposible para el ingeniero de minas poder determinar con exactitud su deuda a la ciencia pura, pero si la Jeología no ha hecho nada para sí, salvo en el sentido de eliminar supersticiones i falsas teorías, su trabajo ha sido grande».

(4) Excelentes ejemplos de trabajos de esta clase véanse en Linforth, «Applied Geology in the Butte Mines». Trans. Amer. Ins. Min. Eng. 1913.

En este país la prueba de la estension subterránea de los campos carboníferos debajo de rocas mas modernas que los rodean, es de capital importancia para su prosperidad industrial. Uno de los primeros trabajos en este sentido, resultó del admirable levantamiento del campo carbonífero de Midland por Beete Jukes, miembro distinguido del Geological Survey of England and Wales. La completa exactitud de sus teorías fué demostrada por Henry Johnson despues de la perforacion de un taladro profundo en Sandwell Park, con la cual se dió la primera prueba definida de la prolongacion del campo carbonífero de Staffordshire hácia el este, debajo de las capas de rocas rojas sobrepuestas.

De un modo análogo, el descubrimiento de un campo carbonífero cubierto en el sureste de Inglaterra, fué el resultado directo de un razonamiento puramente deductivo. Goodwin Austen (1) sostiene que los plegamientos del Paleozoico, los cuales han determinado la existencia de depresiones carboníferas, pueden descubrirse aun estando cubiertos por capas de rocas mas nuevas de gran espesor, porque una línea de perturbacion tectónica, sea proveniente de fallas o de plegaduras, una vez establecida, tiende a convertirse en la línea de orientacion de movimientos posteriores, i de este modo, prolonga su huella hasta las estratas mas nuevas. La exactitud de este principio tectónico fué demostrada por sondajes llevados a cabo con éxito en la vecindad de Dover (2), primero por Sir Edward Watkin, i posteriormente por las Compañías Burr bajo la dirección científica del Profesor W. Boyd Dawkins i otros jeólogos. Estos sondajes mostraron que, a gran profundidad, debajo de las capas del Mesozoico i del Terciario, existe un campo carbonífero, situado en la misma línea que conecta los mantos que se trabajan en el norte de Francia i Béljica con los de South Wales i Bristol; i no parece improbable que puedan encontrarse otras zonas carboníferas si la Jeología subterránea segun esta línea fuese estudiada sistemáticamente. Este descubrimiento de campos carboníferos profundos en Inglaterra es mui satisfactorio en el sentido de que significa una adición a las reservas de carbon respecto de las cuales, opiniones anteriores se habian manifestado mas bien pesimistas.

Otro notable ejemplo en que tambien se ha aplicado con éxito la Jeología a la Minería, lo suministra el establecimiento de la continuacion hácia el sur i el este del sub-afioramiento del manto de conglomerado del Rand, bajo una cubierta de capas mas modernas discordantes que alcanza un espesor de 1,200 piés (3). Las investigaciones que condujeron a este resul-

(1) Godwin-Austen: «La posible estension de las capas carboníferas hasta la parte Sur-este de Inglaterra.» Quart. Jour. Geol. Soc. vol. II, 1856, p. 38.

(2) M. Burr: «Los campos carboníferos del Sur-este: Su descubrimiento i desarrollo.» Science Progress vol. III, 1909, p. 379.

(3) Especialmente la Dolomita con sus cuarcitas basales de la formacion del «manto negro» (Black-reef.) (Potchefstroom o sistema de Transvaal) i las capas carboníferas de Beaufort o Ecça (Sistema Karroo).

tado, se basaron en un levantamiento geológico de la zona comprendida entre Boksburg, the Springs i Heidelberg, i los primeros resultados de ellas me hicieron pensar en la posibilidad de que el conglomerado de Van Ryn, que desaparece cerca de Springs debajo de las capas carboníferas de Karroo, i el conglomerado de Nigel, que aflora cerca de Heidelberg, fuesen geológicamente idénticos, a pesar de encontrarse separados por una estensa zona cuya superficie está constituida por Dolomita i capas del período Carbonífero (1). A medida que mi trabajo avanzaba, la suposición de que los dos afloramientos, con manteos opuestos o contrarios, eran las faldas norte i sur de una estensa, pero poco profunda depresión sinclinal, llegó a convertirse casi en certidumbre, i taladros profundos practicados en la zona intermedia vinieron a confirmar la exactitud de la teoría de la manera mas satisfactoria (2).

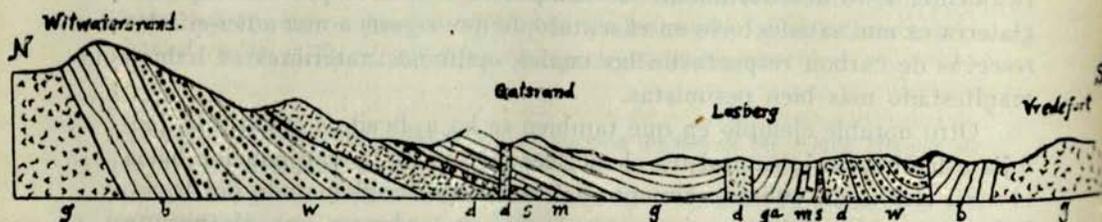
El éxito de estas investigaciones agregó al campo aurífero de Witwatersrand (A) una enorme superficie minera en la cual el conglomerado

(1) «Gold Mines of the Rand», Lóndres, 1895, p. 17. Un levantamiento previo que hice a pedido del que fué W. I. Campbell, habia mostrado que las capas de Van Ryn del Este de Rand eran representantes de las series del «manto principal» (main-reef) de la parte central del distrito minero de Rand.

(2) Hatch: «Las capas que se extienden hácia el oriente de Witwatersrand» Trans. Geol. Soc. S. A., vol. VII, 1904, p. 57.

(A) Nota explicativa debida a la amabilidad del Profesor señor Berthold Koerting.

Los mantos de conglomerados auríferos que son base de la principal industria minera de la Union de Sud Africa, se encuentran depositados, al parecer, en forma de una cuenca, suave, de seccion horizontal mas o menos elíptica, cuyo eje mayor corre de E. a O.; el manto es hácia el centro de la cuenca. La ciudad de Johannesburg está situada en el borde septentrional de ésta, en un punto en que se encontraron las zonas mas enriquecidas del gran yacimiento. En esta parte, el rumbo de los mantos es de E. a O., i el manto hácia el S.



Perfil trasversal de la cuenca de Witwatersrand, segun Molengraaff.

g Granito i esquistas cristalinas.—b Pizarras arcillosas i cuarcitas de la formacion de Barberton.—w Formacion de Witwatersrand con mantos de conglomerado aurífero.—d Diabas amigdaloide.—s Manto negro.—m Dolomita Malmani.—g i ga Granito i cuarcita del Gatsrand.

La base de la formacion que contiene los conglomerados auríferos está compuesta de granito i esquistas cristalinas (véase el perfil adjunto) i de pizarras arcillosas i cuarcitas sobrepuestas, que constituyen las series de Barberton. Sobre estos estratos descansa la formacion propia del Witwatersrand, que consiste de pizarras ferruginosas i cuarcitas con mantos auríferos intercalados. Entre estos mantos se encuentra el sistema del Main-Reef, que se ha probado explotable a lo largo de 42 millas inglesas (68 km.) segun su corrida. El perfil completo de los mantos de conglomerados auríferos desde abajo hácia arriba es el siguiente:

no está mui profundo para hacer su explotacion, en caso que su lei media en oro sea suficientemente elevada para permitir una extraccion económica, un hecho que, como es natural, seria de desear con la mayor devocion, pero que sólo se puede demostrar por profundizacion de pozos i labores de reconocimiento, ya que los resultados de análisis de testigos de sondajes no se pueden adoptar como promedios. El taladro mas profundo de la serie (1) bajo mi inmediata supervijilancia, es decir, el que se practicó en el deslinde de los fundos Grootvlei i Daggafontein, estaba prácticamente en el eje del sinclinal, i cortó el «main reef» a una hondura de 5,540 piés (o a 4,880, correjida la desviacion). Este perforó 1.140 piés de Dolomita ántes de entrar en la formacion de Witwatersrand, pero dió un corte mui instructivo de esta última, i cortó los bancos de conglomerados de Kimberley, Bird, Modderfontein i Van Ryn o Main Reef, como tambien las estratas asociadas a ellos de cuarcitas, pizarras i filones intrusivos de diabas amigdaloides. Durante el sondaje todos los testigos que sumaron una milla de largo mas o ménos, se rotularon i guardaron cuidadosamente en la pertenencia en una casa construida especialmente para este objeto.

El tiempo limitado de que dispongo no me permitirá recapitular sino unos pocos de los importantes servicios prestados a la minería por los jeólogos. Pero debo mencionar la labor realizada por E. J. Dunn i T. A. Rickard en el campo aurífero de Bendigo (2), i de su esposicion sobre la verdadera

Du Preez Reef Series.  
 Main Reef Series.  
 Livingstone Reef Series.  
 Bird Reef Series.  
 Kimberley Reef Series.  
 Klippoortje Reef Series.  
 Elsburg Reef Series.

Entre las series de Barbenton i las de Witwatersrand existe probablemente una discordancia, desconocida por mucho tiempo i descubierta por el jeólogo holandés Molengraaff.

Hacia arriba sigue otra vez en discordancia respecto de las capas anteriores, la formacion devoniana del Kaarp que se compone, desde abajo hacia arriba, del sistema del «manto negro» (Black Reef), la Dolomita-Mahmani i las esquistas i cuarcitas del Gatsrand. Estos últimos estratos se comprenden tambien bajo el nombre de «Series de Pretoria». Se sobrepone a estas formaciones, i en muchas partes bien desarrollada, la formacion del Karroo, cuya edad debe encontrarse entre el Carbonífero i el Permiano. En estos estratos se encuentran en muchas partes mantos de carbon.

(1) Profundidad total 5 582 piés, i esta es, la segunda de las mayores profundidades de Rand.

(2) Dunn, «Informe sobre los campos auríferos de Bendigo», Depart. of Mines, Victoria, 1893, i Rickard, Trans. Amer. Inst. M. E., vol. 20, 1892, p. 463, i vol. 21, 1893, p. 686.

naturaleza de los notables mantos anticlinales, cuya estructura tectónica ha determinado un tipo de trabajos mineros preparatorios perfectamente propio a aquella rejion.

Tambien la monografía de S. F. Emmons (1) sobre la estructura i orijen de los minerales de plata i plomo de Leadville, ha sido de inmenso valor para los mineros de Colorado, entre quienes no pocos deben su éxito en aquella rejion a las predicciones del distinguido jeólogo minero cuya muerte ocurrida recientemente debemos todos lamentar. Por otra parte, la teoría sustentada por Emmons de que los minerales provenian de la lexivacion de metales en las porfiritas superiores, i la conclusion consiguiente de que las calizas inferiores serian completamente estériles, han retardado probablemente un tanto el desarrollo del distrito mas a la profundidad. Sin embargo, estos horizontes inferiores resultaron mas tarde mui productivos, como se demostrará en la nueva edicion de la Monografía del Leadville, que está actualmente en preparacion (2). Las investigaciones de Emmons en los yacimientos de plomo arjentífero de Leadville, incidentalmente lo condujeron a desarrollar la teoría de metasomatosis como un factor principal en la formacion de los yacimientos. De esto hablaremos mas adelante.

Otro investigador en el mismo campo, i ademas amigo i por mucho tiempo colega de Emmons en el United States Geological Survey, es George F. Becker, cuyos clásicos estudios de la veta famosa de Comstock i sus fuentes termales de elevada temperatura, han tendido a demostrar la estrecha relacion jenética entre la depositacion mineral i el volcanismo (3).

La Monografía de Becker sobre la Jeolojía de Comstock Lode publicada en 1882, en uno de los primeros capítulos, rinde homenaje al Baron Ferdinand von Richthofen, quien examinó la veta de Comstock en 1865 por encargo de la Sutro Tunnel Co., empeñada en aquel entónces en hacer un socavon a un nivel mas bajo para cortar la veta a una hondura de mas de 1,000 piés verticales mas abajo de los laboreos existentes hasta esa época. El jeólogo aleman tenia una aguda comprension de la tectónica, i aunque la mina, en la época en que escribió Becker, era unas seis veces mas profunda que en tiempos de Richthofen, el primero establece que las opiniones

(1) S. F. Emmons, «Geology and Mining Industry of Leadville, Colorado», U. S. Geol. Surv. Monogr. XII (con atlas), 1886. Segun Boehmer (Trans. Amer. Inst. M. E., vol. 41, 1911, p. 162), los yacimientos de Leadville han producido oro, plata, plomo, zinc i cobre por valor de 350 millones de dollars en 30 años.

(2) «Los depósitos de minerales del distrito de Leadville.—Escrita con ayuda de los apuantes del terreno i diversas notas de S. F. Emmons», por J. D. Irving, 1914.

(3) G. F. Becker: «Geology of the Comstock Lode and the Washoe District» U. S. Geol. Surv. Monogr. III (con atlas), 1882. Segun Spurr (U. S. Geol. Surv., Prof. Paper 42, 1905, p. 270) el valor de la produccion total de la veta de Comstock hasta Junio de 1902, era de 369,5 millones de dollars.

¡ pronósticos de su antecesor respecto al de la veta en hondura, se habian comprobado de un modo notable (1).

Von Richthofen atribuyó, tanto el relleno de la grieta de Comstock como la descomposicion de la andesita del pendiente, a «accion solfatárica» (2), término que usó para designar la influencia alterante de los gases i vapor de agua desprendidos de una intrusion volcánica en el sistema de Comstock. Von Richthofen fué evidentemente un gran defensor de la teoría de deposicion metalífera por emanaciones metálicas, de Elie de Beaumont. Becker (3), por otro lado, aunque reconocia que las fuentes termales encontradas en Comstock Lode, tienen que deberse a calor anormal a la accion de un post-volcanismo, el foco del cual lo suponía colocado entre 2 i 4 millas de profundidad, consideró que estas aguas (a las cuales atribuyó tanto el relleno de la grieta como la propilitizacion de las andesitas) (4) como de origen meteórico i trató de insinuar como fuente (5) de ellas la Sierra Nevada, (distante 12 millas de Comstock).

Los Estados Unidos no sólo son ricos en grandes depósitos de riquezas minerales, sino que tambien son afortunados con sus jeólogos mineros, cuyo poder de aguda observacion i de razonamiento deductivo se adaptan admirablemente al estudio de la estructura i génesis de los yacimientos.

Testimonio de ello son la serie de espléndidas monografías i trabajos profesionales publicados por el United States Geological Survey. Me he referido ya al trabajo de Emmons i Becker; pero hai muchos otros. Para mencionar sólo algunos, citaré los siguientes: R. D. Irving, quien ha escrito sobre las rocas cupríferas del Lago Superior (6); Lindgren, sobre yacimien-

(1) Becker: Monogr. loc. cit., p. 12.

(2) Así él escribe: «Tenemos en los elementos que han emanado durante los dos primeros periodos de solfataras, principalmente, flúor, cloro i azufre, los agentes requeridos para el relleno de la grieta de Comstock. Flúor i cloro son los mas poderosos volatilizantes conocidos, i forman combinaciones volátiles con casi todas las sustancias. Además del silicio, los metales tienen gran afinidad con ellos. Todos los metales que se hallan en la veta de Comstock podian ascender en estado gaseoso en combinaciones uno u otro de ellos. Ellos deben haberse precipitado en las zonas superiores, como óxidos i cloruros metálicos i en estado nativo. Durante el segundo periodo de accion solfatárica, en el cual predominaban los compuestos sulfurados, óxidos i cloruros metálicos, se convirtieron en sulfuros». Tomado de la Monografia de Becker (p. 19), sobre el folleto de Richthofen: «The Comstock Lode, its character and the probable mode of its continuance in depth». San Francisco, 1866.

(3) Becker: loc. cit., p. 243.

(4) En el caso de las andesitas de Comstock, esta descomposicion toma la forma de propilitizacion, es decir, hai una trasformacion de los silicatos ferro-magnesianos en clorita, epidota calcita i pirita, que, segun mostró Becker, puede ser debida a la accion de disoluciones de sulfuros alcalinos o hidrójeno sulfurado.

(5) U. S. Geol. Surv., Prof. Paper N.º 43, 1905.

(6) U. S. Geol. Surv. Monograf. N.º 5, 1883.

tos cupríferos del distrito de Clifton Morenci, Arizona (1); Weed, sobre la Jeología i yacimientos del distrito de Butte, Montana (2); Lindgren i Ransome, sobre la Jeología i yacimientos de oro del distrito de Creepie Creek, Colorado (3); Van Hise i Leith, sobre los yacimientos de fierro del Lago Superior (4).

El trabajo de Willet G. Miller, en el distrito Cobalt Silver tambien es digno de ser mencionado. Su descripcion de los caractéres distintivos de las vetas de plata, en los mismos comienzos de las operaciones mineras de aquella rejion, fué de gran interés; i su rápida comprension de la importancia que tienen las capas de Keewatin, que cubren los conglomerados de cobalto, sobre la vida de las minas, ejerció una influencia moderadora contra el exajerado optimismo de aquéllos, empeñados en el primitivo desarrollo de aquella rejion.

La naturaleza laboriosa de la tarea de coleccionar i confrontar el material para memorias como éstas, se ilustra mui bien en las notas de introduccion al trabajo sobre Butte de Mr. Weed (5). Por la complejidad de la estructura jeológica del distrito de Butte, se necesitaban observaciones detalladas: en cada mina se copiaron en las carteras los mapas de cada nivel, i con éstas en mano el escritor i su ayudante examinaron cuidadosamente las galerías i estocadas i marcaron en los mapas cada deslizamiento, veta o falla, anotando las inclinaciones, corridas i otras características.

Caserones i chimeneas se examinaron de un modo análogo i se hicieron esquemas que mostraban caractéres distintivos o particulares de la estructura de las vetas i su mineralizacion. Mas de cien millas de trabajos subterráneos se examinaron de ésta manera.

Hasta aquí he limitado mis observaciones a la minería de vetas; pero en el campo de la minería de lavaderos el jeólogo minero tambien tiene algun papel que desempeñar. La tarea fascinadora de ubicar o deslindar la parte aprovechable, primero por sondajes i despues por trabajo subterráneo, de arenas auríferas de un antiguo valle, sepultadas a gran profundidad bajo acumulaciones de material mas recientes, las cuales a veces hevan intercaladas gruesas corrientes de lava basáltica como sucede en Loddon Valley, en Ballarat, debe haber exijido un gran ingenio jeológico. Yo no sé a quien corresponden principalmente los primeros descubrimientos de esta naturaleza en Australia i California; pero deben mencionarse los trabajos de Reginald A. F. Murray (6) en Victoria, i R. L. Dunn (7) i Ross,

(1) U. S. Geol. Surv., Prof. Paper N.º 43, 1905.

(2) U. S. Geol. Surv., Prof. Paper N.º 74, 1912.

(3) U. S. Geol. Surv., Prof. Paper N.º 54, 1906.

(4) «La jeología de la rejion del Lago Superior» U. S. Geol. Surv., Monogr N.º 52, 1911.

(5) U. S. Geol. Surv., Prof. Paper N.º 74, 1912.

(6) Murray: «Geology and Physical Geography of Victoria», 1895.

(7) Dunn: «Drift Mining in California» 8th Ann. Rept. Cal. St. Min., 1888, p. 736.

E. Browne (1) en California. Desearia tambien llamar la atencion hácia la notable reconstruccion hecha por Lindgren de la antigua (terciaria) topografía de la vecindad de Nevada City i Grass Valley en California (2).

La ayuda prestada por los jeólogos en la prospeccion para petróleo es bien conocida de todos. Los primeros investigaciones de campos petrolíferos, que datan de mediados del siglo pasado, condujeron a la conclusion que grandes depósitos naturales de petróleo i gases, tienden a formarse a lo largo de los ejes de los pliegues anticlinales i en la parte superior de éstos, en la cúspide; se observó tambien que las condiciones mas favorables a la acumulacion de petróleo son las de plegamientos suaves, pero suficientes para formar gradientes a lo largo de las cuales el petróleo i gases podian moverse en la roca porosa, pero tampoco tan fuertes para llegar a producir fracturas en la cubierta impermeable (3). Debe admitirse que la exactitud jeneral de esta teoría ha sido confirmada por el trabajo de observadores posteriores, i esto tambien se anotará, que la «teoría anticlinal» no es una concepcion tan reciente como algunos de nuestros amigos lo hubieran creído.

No puede dudarse que la busca de estos productos naturales es esencialmente un problema jeológico, i segun mi modo de pensar, las cualidades fundamentales para lo que eufemísticamente se llama «perito en petróleo» (4) son «profundos conocimientos sobre jeología i sentido comun».

Me referiré mas adelante al hecho importante, relativo a la Minería, en especial a la del cobre, de las investigaciones de jeólogos mineros sobre el oríjen de los yacimientos, i notablemente en lo que respecta al fenómeno de enriquecimiento secundario.

Bastante se ha dicho ya para indicar la dependencia en que está la Minería respecto de la Jeología; pero que esta dependencia no es universalmente aceptada, lo evidencia la prevencion que hai contra los jeólogos mineros i el ingeniero académico, los que se encuentran sólo de vez en cuando entre los jefes de minas, por quienes son desfavorablemente comparados con los así llamados «mineros prácticos». Sin embargo, «métodos a la diablo» ya sea en la valorizacion, o en los trabajos de exploracion i preparacion no pueden conducir al éxito; es verdad que, el minero no preparado, mui frecuentemente llega a estimar el valor de los conocimientos jeológicos i se

(1) Ross Browne: «The Ancient River Beds of the Forest Hill Divide, 10th Ann. Rept. Cal. St. Min., 1890, p. 435.

(2) 17th Ann. Rept. U. S. Geol. Surv., Part. II, pl. II.

(3) Sterry Hunt: «Geology of Canada», pp. 522-525, i contribucion a «Chemical and Geological History of Bitumens». Amer. Journ. of Science, vol. XXXV, 1863, p. 157. Höfer: «Petroleum Industrie Nordamerikas», 1877, p. 81. Tambien Econ. Geol., vol. V, 1910, p. 492.

(4) Observo que en América el término «ingeniero jeólogo» se está haciendo de moda en relacion con esta clase de trabajo.

esfuerza por adquirir una especie de conocimientos prácticos de los principios de la geología que le sirvan para vencer las perturbaciones tectónicas mas prominentes que se presentan en profundización i en los trabajos de llevar galerías (1). Pero hombres de esta clase son mas bien una escepcion, i es claro que, *ceteris paribus*, el hombre preparado, que ataca los problemas de la minería, armado con conocimientos profundos sobre los principios mecánicos i geológicos de tales problemas, no sólo parte con ventaja pronunciada, sino tambien está en situación de asimilar detalles prácticos con mayor rapidez i certeza una vez que ha comenzado su carrera.

El sentimiento que llega a convertirse en sospecha, con que la geología es contemplada en algunos círculos, talvez se puede atribuir a las siguientes causas: Primero están los absurdos informes sobre minas i reconocimientos —que la mayoría de nosotros puede contradecir— confeccionados por charlatanes quienes, mediante el empleo de una oscura fraseología geológica, tratan de imponer sus vulgares conclusiones a la credulidad de sus jefes; en seguida están los fastidiosos trabajos periodísticos de irresponsables aficionados, quienes usan las columnas de la prensa local para ventilar sus absurdas teorías geológicas. Sin embargo, no es la geología la única ciencia que sufre con los ignorantes i los majaderos. Otra mas sería inhabilidad se tiene talvez, en el empleo en los trabajos mineros, de jeólogos académicos que no han adquirido aún esperiencia en las minas i no están familiarizados con las condiciones mineras i económicas. Imagínense uno de éstos, posiblemente un hombre de ciencias distinguido en su ramo, trasladado por primera vez a los laboreos, buscando a tientas su camino en una atmósfera sombría, débilmente iluminada por la lámpara minera o la vislumbre de una vela, en un ambiente extraño i a veces desagradable: imagínense a nuestro jeólogo bajo condiciones tales i ante el problema de descifrar las complicaciones de una falla o de predecir la estension de un yacimiento hácia la profundidad. En realidad, las abundantes indicaciones naturales que en la superficie atraen la atención del jeólogo, tienden a escapársele cuando él se interna debajo de ella; puesto que aquí el número de superficies espuestas a la observación, es pequeño, i por eso reducidas; aun mas, por lo jeneral la roca se encuentra en el interior de los laboreos cubierta de polvo, empavonada con hollín i barro. I aun cuando vence estas dificultades iniciales, todavía no es suficiente para garantizar un pleno éxito. Para tener éxito, el trabajo minero debe seguirse paso por paso, puesto que durante su progreso los hechos se borran mui pronto despues de revelarse.

Yo debo dejar perfectamente claro el hecho de que la «Geología Minera» es una rama de la profesion distinta de la geología pura, i que el ade-

(1) Asi escribe Spurr: Eng. & Min. Journ., vol. LXXV, 1903, p. 556 «Jeólogo en Minas es la mejor de las habilidades de cada minero».

lanto en esta rama de especializacion no puede alcanzarse sin una adecuada instruccion en los trabajos subterráneos.

En los Estados Unidos se está creando una tendencia de diferenciacion en las funciones de los profesionales mineros; así se puede observar un uso creciente del término «jeólogo minero» con que se designa a un ingeniero de minas fuerte en conocimientos jeológicos, o lo que es lo mismo, prácticamente, un jeólogo que se ha especializado en minería. Por otra parte, el término «ingeniero de minas» se usa sólo de vez en cuando, mas bien en el sentido restringido de ingeniero mecánico que se ha especializado en maquinaria minera. Es así como el Prof. Munroe de la Universidad de Columbia, al tomar parte en la discusion de un trabajo leído ante esta Institucion (1) dijo que el ingeniero de minas era solicitado para proyectar maquinarias para objetos mineros i para dirigir la construccion i manejo de éstas. El «debe ser capaz», continuó, «de ensayar, entre otras cosas, la eficiencia de calderas, máquinas a vapor o gas, máquinas de aire o hidráulicas i otros motores, bombas i compresores, alumbrado eléctrico i plantas de fuerza, sistemas telefónicos i telegráficos, maquinaria de trituracion, concentracion i amalgamacion i planteles metalúrgicos, i de determinar en cada caso qué sistema de fuerza motriz, con carbon, gas, aire, agua o electricidad, es mas económico, i qué máquinas i dispositivos mecánicos se pueden usar con mayor ventaja. O, si no es este el caso, él debe estar en situacion de poder diagnosticar las perturbaciones e indicar los medios de remediarlas, i determinar las condiciones para obtener la máxima eficiencia i economía». Seguramente al escribir esto el Prof. Munroe debe haber tenido en su imaginacion la aplicacion de la ingeniería mecánica a la minería, olvidando por el momento la parte exploratoria, porque es claro que la minería consiste de dos distintas partes: a) Reconocimiento i desarrollo o preparacion del yacimiento; i b) el arranque i transporte de los minerales a la superficie, siendo el primero un problema en que predominan esencialmente los principios jeológicos, mientras en el segundo, la ingeniería mecánica desempeña un papel principal.

Ya que la expresion «jeólogo minero» parece haber tomado una seccion definitiva en el edificio de la Ingenieria de Minas, será bueno intentar formular una definicion de sus funciones propias.

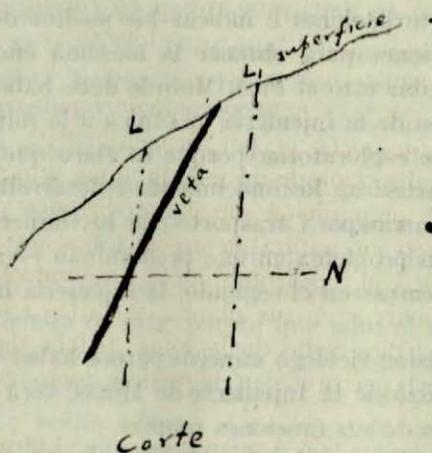
En la rama de Minería Metálica, la jeología minera comprende el estudio de los yacimientos: sus alrededores en cuanto a sus caracteres litológicos, sus enriquecimientos i broceos i sus causas, i finalmente las fallas i filones eruptivos que los atraviesan i sus efectos. Como resultado de tales investigaciones, el jeólogo minero queda en situacion de indicar el afloramiento del depósito mineral; de señalar i definir las columnas metalíferas;

---

(1) H. C. Jenkins, en su «Material de laboratorios para mejorar la enseñanza e investigacion en las industrias minerales». Trans., vol. XIII, 1904, p. 283.

de predecir, definitivamente si las pruebas que posee lo permiten, su estension hácia la profundidad; de diseñar el esquema de los trabajos de preparacion i método de explotacion mas apropiado a la forma, dimensiones, inclinacion i «pitch» (1) i tomando en consideracion cada perturbacion producida de determinar la cantidad i valor del mineral aprovechable a la vista i del que se manifiesta como tal por prospeccion; i de la naturaleza de los compuestos minerales, proponer o indicar la necesidad de eliminar la ganga por algunos de los procedimientos de preparacion mecánica o concentracion mecánica; i finalmente, emitir una opinion preliminar, basada en la composicion de los minerales, respecto de la facilidad de fusion o grado de resistencia a ella, segun sea el caso, del mineral en cuanto a su tratamiento metalúrgico.

Es evidente que el exámen de un nuevo campo minero, o de una veta o yacimiento en el cual no se han efectuado sino trabajos de prospeccion, es esencialmente la tarea del jeólogo minero; i se debe admitir tambien, siempre que ha pasado su periodo de aprendiz, él está instruido en los trabajos de muestreo, i puede estimar con alguna aproximacion los costos de explotacion i beneficio, tambien la inspeccion de una mina en desarrollo o una mina «nueva» puede encomendarse con propiedad al jeólogo minero.



En la fig.  $L$  i  $L_1$  son deslindes i  $N$  sería el nivel mas bajo a que se podría llevar una galería en corrida sin cometer internacion.

En el caso de una mina que ya ha alcanzado su completa preparacion, en la cual todo o prácticamente todo el mineral aprovechable se halla divi-

(1) Se usa «dip» en ingles, para designar la inclinacion de las cajas de una veta respecto de la horizontal contenida en un plano normal a la corrida, i «pitch» para designar la inclinacion de los deslindes de una columna metalifera (que queda dentro de la veta) respecto de la corrida de la veta.

dido en bloques para su arranque, o que está de todos modos, preparada por galerías en corrida que se extienden de un deslinde a otro en el nivel mas bajo posible sin cometer internacion (1), las exigencias son algo diferentes. Lo que en este caso se necesita no es tanto, llegar a conclusiones jeológicas de las formaciones en el pendiente i yacente del yacimiento, sino un correcto avalúo de la ganancia neta que es posible obtener por la extraccion de los minerales considerando las condiciones económicas predominantes. En este caso, fuera de la estimacion de reservas minerales, la consideracion de los métodos de extraccion i beneficio mas adecuados i cuestiones financieras son de la mayor importancia. El ejercicio o práctica actual en la administracion de minas, ayudada por una larga esperiencia sobre exámen de minas bajo las mas variadas condiciones, son aquí los requisitos principales para una buena evaluacion.

Diferencias semejantes existen respecto a la administracion de propiedades mineras. Prospeccion i trabajos de exploracion minera son esencialmente del campo del jeólogo minero. Aun en el desarrollo normal de una mina, surjen problemas que no pueden resolverse sin la ayuda de profundos conocimientos sobre tectónica. Es cierto que en pequeñas minas a menudo se exige que el jereute posea conocimientos de jeólogo minero, ingeniero mecánico i hombre de negocios. Pero las grandes minas están, o deben, organizarse en departamentos, i en tal caso se entrega el control supremo a un hombre elegido principalmente por su habilidad ejecutiva i cualidades de organizacion, no tomando en consideracion otras cualidades. Las maquinarias, como es natural, son controladas por un ingeniero mecánico, los trabajos de beneficio, por un metalurjista, la produccion de minerales está bajo la direccion de un jefe de mina; miéntras los trabajos de reconocimiento i de preparacion son mejor dirijidos por un jeólogo minero. Mensura i Muestreo son naturalmente secciones agregadas al departamento jeológico; i en efecto, el topógrafo minero a menudo es ya un jeólogo competente, que debe marcar en sus planos las fallas i filones eruptivos descubiertos durante el desarrollo de la mina, i debe determinar cuantitativamente el efecto de la perturbacion i la pérdida o ganancia en mineral causada de este modo.

Debe quedar en evidencia, pienso yo, que el punto que deseo establecer es que el rol de la jeología en la minería es mas importante de lo que jeneralmente se admite, i que el reconocimiento de la importancia de tal rol implica una estensa preparacion jeológica por parte del ingeniero de minas o la relegacion de una parte de sus funciones para el jeólogo minero que está familiarizado con los trabajos subterráneos. Despues de todo, que un hombre se llame «ingeniero de minas» o «jeólogo minero» no es cuestion de

(1) Donde la lei del «apex»... existe, no hai tal limitacion en la inclinacion.

importancia (1), el punto importante es que el estudiante que aspira a profesional minero debe recibir la mejor preparacion para este fin, i en esto, yo discuto que la jeología debe tener un lugar prominente. Los dueños de minas, por su parte, deberian tener en todo caso una concepcion clara de lo que es esencial para el desarrollo conveniente de su propiedad, i deberian ser capaces de elegir un hombre cuyos estudios especiales lo hayan hecho apto para el trabajo particular del caso. Si el dueño o jefe de la mina requiere un consejo para esta eleccion, esa es tarea del ingeniero consultor.

Paso ahora a la jénesis de los minerales, una rama mas teórica de mi tema, pero una de la mayor importancia para el ingeniero que se ocupa del exámen de minas, por cuanto es evidente que toda prevision de la continuidad de un yacimiento mas allá de los límites del mineral que se tiene a la vista, si no ha de ser completamente empírica, tiene que fundarse en alguna hipótesis relativa a su oríjen. Este campo de investigaciones, desde el principio de éstas, i durante la segunda mitad del siglo pasado, ha asegurado para sí la atencion de los mejores jeólogos mineros en todas partes del mundo. En efecto, se ha escrito tanto en los últimos años sobre esta cuestion, que una breve reseña del desarrollo de las investigaciones modernas será bien acogida por los miembros de la Institucion. En un lapso de tiempo relativamente corto nuestros conocimientos han progresado a saltos (2) i muchos importantes principios que rijen la deposicion mineral se han establecido de un modo seguro.

Sin embargo, éste fué precedido por un largo período, el eual, aunque fértil en ideas e hipótesis, no fué en realidad de verdadero progreso por cuanto, contra el principio de Bacon (3), las teorías emitidas no se basaban en hechos comprobados. Antes de ocuparnos de las modernas teorías propongo revistar brevemente las mas sujerentes de estas primitivas hipótesis.

Antes del siglo XIII se suponía que el contenido metálico de filones metalíferos habia sido determinado por su orientacion respecto de los pla-

(1) Así Lindgren escribe (Eng. & Min. Jour., vol. 75, 1903, p. 702). «Yo no hago ninguna distincion entre el ingeniero de minas i el jeólogo minero, aunque en su máximo desarrollo, cada uno representa una especializacion técnica o científica del tipo ordinario de la profesion».

(2) Debido principalmente a la introduccion del microscopio para el exámen de secciones delgadas de rocas i relleno de vetas, en luz polarizada transmitida, o cuando los minerales son opacos, de secciones pulidas en luz reflejada. Cp. W. Cambell: «The Microscopic Examination of Opaque Minerals». Econ. Geol., vol. I, 1896, p. 751.

(3) «Non fingendum aut cogitandum sed inveniendum quid natura Faciat aut ferat».

netas; i Agrícola (1) (1494-1555) fué el primero que formuló una teoría jenética racional. La idea de Agrícola, reducida a los mas simples términos, era que canales, formados por erosion, habian sido rellenados por minerales metálicos precipitados de disoluciones. Estas disoluciones, o jugos (succii), como las denomina Agrícola, eran aguas meteóricas que, bajo la influencia del calor habian tomado materia mineral en solucion.

Desde el tiempo de Agrícola hasta fines del siglo XVIII, las minas de Sajonia produjeron casi todos los escritores sobre formacion de vetas. Tales escritores eran Rösler, Becher, Henckel, Hoffmann, Zimmermann, von Oppel, von Charpentier, i von Treba.

Becher (2) i Henckel (3), quienes escribieron a principios del siglo XVIII suponian que los constituyentes metálicos de las vetas habian sido jenerados por la accion sobre rocas i materias terrosas pre-existentes, de vapores subterráneos desprendidos en ciertos procesos de «fermentacion» que tenian lugar en las entrañas de la tierra.

En 1749 Zimmermann (4) adelantó la hipótesis que claramente llevaba en sí el jérmen de la moderna teoría de metasomatosis. El atribuyó el orijen de las vetas a una trasformacion de las rocas en minerales metálicos i sus guías de piedra que las acompañan, segun ciertas direcciones marcadas despues por la corrida de las vetas, i suponía que los disolventes que efectuaron la alteracion, encontraban paso a traves de pequeñas fracturas u otras aberturas de las rocas.

Pero Zimmermann aplicó su teoría indistintamente para esplicar el orijen de todas las vetas, incluso aquéllas que, por comun acuerdo, son actualmente consideradas como un simple relleno de grietas pre-existentes, en que no ha habido metasomatosis. Von Treba (5), al defender la teoría de Zimmermann, insistió particularmente en los lentos cambios efectuados en las rocas por las aguas circulantes, sobre todo cuando es ayudada su accion por la temperatura: «Yo estoi persuadido,» escribia él en 1785, «que

---

(1) Jorje Agrícola: «De Ortu et Causis Subterraneorum», Basel, 1546, Lib. V, cap. VII. Cf. tambien nota en pájs. 46 i 51 de la traduccion de «De Re Metallica» de Mr. i Mrs. Hoover. Antes de la concepcion química basada en la teoría atómica, los escritores sobre formacion de vetas se espresaban en un lenguaje que, bajo nuestro punto de vista actual, parece arcaico i secreto. El uso que hacían de espresiones como «jugos», «humores», «menstruas», «exhalaciones», «fermentaciones», i «transmutaciones», evoca el lenguaje de los alquimistas. He usado una terminolojía mas moderna en las notas siguientes.

(2) Jo. Joachim Becher: «Physica subterranea», Leipzig, 1703.

(3) Joh. Fr. Henckel: «Pyritolojia», Leipzig, 1725.

(4) Carl Ferd. Zimmermann: Obersächsische Bergakademie, Dresden und Leipzig, 1749.

(5) «Erfahrungen vom Innern der Gebirge nach Beobachtungen, gesammelt und herausgegeben von Friedrich Wilhelm Heinrich von Treba». Dessau und Leipzig, 1785.

se está efectuando continuamente en nuestras montañas una variedad de trasformaciones, composiciones i descomposiciones, las cuales no sólo tienen lugar en el presente, sino que continuarán hasta el fin del tiempo».

Segun Gerhard (1), quien escribió en 1781, las aguas que circulan a través de las rocas adyacentes a una veta, toman en solución algunas de las sustancias metálicas i terrosas contenidas en ellas. Al pasar al través de las fracturas e intersticios de las rocas o grietas i fracturas de mayores dimensiones, depositan su contenido mineral en cavidades, las cuales una vez llenadas, constituyen las vetas. Se verá que la hipótesis de Gerhard debe considerarse como la precursora de la teoría mas moderna de «secreción lateral».

Fué von Oppel (2) quien mostró que los filones metalíferos en gran parte eran el relleno de grietas producidas por fallas, principio que en aquel tiempo parece no haber sido claramente reconocido.

A fines del siglo XVIII el mundo minero fué dominado en todas las materias relacionadas con el orígen de los minerales, por el famoso profesor de Freiberg, Abraham Gottlieb Werner (3), quien insistió en que todas las vetas, incluso aquéllas que hoy se llaman «filones intrusivos», han resultado del relleno de grietas de construcción abiertas arriba i conectadas con el océano universal primitivo, el cual segun la doctrina de Werner cubria el globo i contenia en disolución todos los materiales para formar la costra. Estas aguas, al descender en las grietas, depositaron los minerales de las actuales vetas por precipitación química.

Esta idea neptuniana fué a principios del siglo XIX atacada i finalmente destruida por Hutton (4) i su escuela Plutónica o de el volcanismo. Desgraciadamente, los Plutonistas se fueron al otro extremo i no admitian la existencia de filones metalíferos de otro orígen que no fuera ígneo: «Los

(1) Carl Abraham Gerhard: «Versuch einer Geschichte des Mineral-Reiches». Berlin, 1781.

(2) «Essay on the Working of Mines», circa 1749, párrafos 27-42.

(3) Werner: «Neue Theorie von Entstehung der Gänge mit Anwendung auf den Bergbau», besonders den freibergischen Freiberg, 1791. Véase tambien la traducción de Anderson, Edinburgh, 1809. Los siguientes párrafos merecen atención: Cap. III, § 28, (p. 51): «Alle wahre Gänge sind wirkliche, anfänglich (nothwendigweise) offen gewesen, und nachher fast blos von oben herein ausgefüllte Spalten». Ibid. § 30 (p. 52): «Der nämliche nasse Niederschlag, welcher die Lager und Schichten der Gebirgsmassen» Ibid. Cap. IV, § 49 (p. 79): «Zu dergleichen Anfüllungen sind alle Granit, Porphir, Basalt, Grünstein, und dergleichen Gänge zu zählen. Denn, wenn sich diese Gesteine als Gebirgsmassen aus nassen Niederschläge erzeugten, so lässt sich, auch dann wenn sie als Gangmassen vorkommen, kein anderer Ursprung denken».

(4) Hutton: «Theory of the Earth», Edinburgh, 1795, i Playfair: «Illustrations of the Huttonian Theory of the Earth», Edinburgh, 1802.

materiales», escribía Playfair, «que llenan las vetas estaban fundidos i fueron inyectados en las hendiduras i grietas de las capas» (1).

Pero la amplia jeneralizacion de Hutton, aun con las importantes modificaciones de Élie de Beaumont (2), Daubrée (3) i Durocher (4), relativas al hecho de que muchos minerales metalíferos han sido depositados por vapores i soluciones provenientes del magma en enfriamiento, fué mui pronto desechada para dar paso a la teoría de la deposicion por aguas meteóricas (5); i una discusion animada se mantuvo durante medio siglo sobre los méritos de las teorías «descensionista», «ascensionista» i de «secrecion lateral»: o con otras palabras, se discutía sobre si el contenido mineral de las aguas circulantes, agentes de la formacion de vetas, proviene de las rocas superficiales, de fuentes situadas a profundidad, o de las cajas de las vetas mismas.

Los principales sostenedores de la teoría de ascension en su forma modificada a que hemos aludido, i la cual debe distinguirse naturalmente de la teoría de «ascension por emanacion» de Beaumont, fueron Stelzner (6) i Posepny (7). Ellos espusieron que las aguas superficiales (de oriñen atmosférico) descienden por capilaridad a traves de los intersticios de las rocas hasta rejiones profundas, i así a elevada temperatura i presion, por consiguiente, aumentan considerablemente su poder disolvente, con lo cual a su paso a traves de las rocas están en situacion de disolver sustancias minerales finamente diseminadas en éstas. A cierta profundidad las aguas se mueven lateralmente hácia conductos abiertos, al llegar a los cuales ascienden hácia la superficie, depositando su contenido mineral a medida que decrece la temperatura i la presion.

Se ha visto que la teoría de secreción lateral, o de derivacion del contenido mineral de las vetas por lexiviacion acuosa de las rocas de la rejion,

(1) Playfair: «Illustrations of the Huttonian Theory», 1802, p. 601.

(2) Élie de Beaumont: «Sur les émanations volcaniques et métallifères». Bull. de la Soc. Geol. de France, p. 1249, 1847.

(3) A. Daubrée: «Du gisement, de la composition et de l'origine des amas de minerai d'étain». Ann. des Mines, vol. XX, 3.<sup>a</sup> Serie, 1841, p. 65.

(4) Durocher: «Recherches sur les dépôts métallifères et sur leur mode de formation». Comptes Rendus, vol. XXVIII, 1849, p. 607.

(5) Sobre esto escribía Sandberger en 1882: «Die Modification der Ascentions-Theorie, welche nicht Absatz von Erzen durch aufsteigende Mineralquellen, sondern durch Metalldämpfe annimt, wird vielleicht noch von einem oder dem anderen Geologen angenommen aber von der überwiegenden Majorität verworfen». («Untersuchungen über Erzgänge», 1, 1882, p. 17).

(6) Stelzner: «Beiträge zur Entstehung der Freiburger Bleierz und der erzgebirgischen Zinnerz-gänge». Zeits. f. prak. Geol. vol. IV, 1896, p. 377.

(7) Posepny: «Über die Bewegungsrichtung der unterirdisch-circulirenden Flüssigkeiten». Rep. Geol. Congress Berlin, 1885, p. 71. Véase tambien «Genesis of Ore-deposits», Trans. Amer. Inst. Min. Eng., vol XXIII, 1893, p. 197.

fué emitida en una forma rudimentaria allá por 1781 por Gerhard; pero quedó solo como mera hipótesis sin el apoyo de hechos comprobados hasta mediados del siglo XIX, cuando los trabajos químicos de Bishof (1), Forchhammer (2), Sandberger (3) establecieron definitivamente dos hechos importantes en apoyo de la teoría, principalmente: 1.—que la ganga de las vetas varia en relacion con la roca encajadora; i 2.—que de los metales pesados se encuentran en lijeros indicios en ciertas rocas ígneas i sedimentarias que constituyen los terrenos adyacentes a las vetas.

Las investigaciones de Sandberger se dirijieron especialmente en el sentido de probar que los metales pesados (oro, plata, cobre, plomo, etc.) se hallan contenidos en los silicatos ferro-magnesianos comunes (principalmente, micas, hornblenda i augita) de las rocas ígneas; i habiéndole satisfecho en este punto tales investigaciones, fué conducido a estender éstas a las rocas sedimentarias, con el resultado que pequeñas cantidades de metales pesados se encontraron en los sedimentos de todas las edades jeológicas, i especialmente en las pizarras de antiguos sistemas. Sin embargo, la cuestion de si éstos están presentes como constituyentes de fragmentos esporádicos de silicatos ferro-magnesianos provenientes de rocas ígneas, o como sulfuros que han sido introducidos posteriormente durante la mineralizacion secundaria relacionada con la deposicion mineral, no fué satisfactoriamente establecida por las investigaciones de Sandberger (4). Los trabajos mas recientes de Don, efectuados sobre una gran variedad de material, tienden a mostrar que los silicatos ferro-magnesianos no contienen oro o plata en cantidades determinables por el análisis químico. En las rocas examinadas por él i que contenian estos metales, se encontraban éstos como constituyentes de sulfuros, como piritas de fierro, pirrotita, mispickel, chalcopirita i galena, los cuales en muchos casos son de orijen secundario (5).

(1) Bishof: «Physical and Chemical Geology», 1846, 1847.

(2) Forchhammer: «Poggendorfer Annalen», vol. XCV, 1815, p. 60.

(3) Sandberger: «Untersuchungen über Erzgänge I», 1862, II, 1885. Wiesbaden.

(4) Una comision formada por V. Foullon, C. Mann, A. Patera, Posepny i V. Sandberger, que acordó examinar en 1884 las vetas de Prábram con el objeto de comprobar si ellas debian su contenido de plomo platoso a secrecion lateral, informó que pequeñas cantidades de plata, plomo i cobre se encontraban tanto en las rocas eruptivas como en las sedimentarias que forman la rejion de las vetas (El promedio de la lei en Ag era 0.00043% en los sedimentos, i 0.00045% en las rocas ígneas). Pero no se decidió la cuestion de si los metales se encontraban presentes como sulfuros o silicatos. Además, semejantes cantidades de plomo i plata se encontraron en muestras de rocas tomadas en distritos en los cuales las vetas eran estériles en minerales de estos metales. (Véase Neues Jahrbuch für Min. etc. 1888, II, p. 56).

(5) J. R. Don: «The Genesis of Certain Auriferous Lodes», Trans. Amer. Inst. of Min. Eng. vol. XXVII, p. 564.

Pero mucho ántes ya la inaplicabilidad de la secrecion lateral, tal como la concibió Sandberger (1), se habia presentado en apariencia; i la teoría llegó a ser el objeto de vigorosos ataques de parte de Stelzner (2) i Posepny (3).

La secrecion lateral, en un sentido mas amplio, i en combinacion con la teoría ascensionista, fué defendida por Van Hise (4). A esta modificacion de la teoría se hará referencia mas adelante.

En años mas recientes ha habido una reaccion parcial a favor de las ideas del plutonismo. Así se sostiene hoi que ciertas clases de yacimientos deben su formacion a una diferenciacion del magma ántes de su consolidacion (5). Tal es por ejemplo, el oríjen que se atribuye a los yacimientos de fierro titanífero en rocas eruptivas básicas (Ekersund-Soggendal en Noruega, i Taberg i Routivara en Suecia); cromita en peridotitas, pirrotita niquelífera, en norita (Sudbury en Ontario i Lancaster Gap. Pennsylvania); i platino primario en rocas ultrabásicas (Nischne Tagilsk i Mount Solovief en los Urales). De un modo análogo se esplica la formacion de filones de pegmalita i aún algunos de cuarzo; provienen de la consolidacion de soluciones acuo-silícicas, residuos del enfriamiento lento del magma granítico (6).

Pero de mayor importancia en su aplicacion a la deposicion mineral que la «segregacion magmática» es la teoría que Vogt (7) ha fundado basándose en la hipótesis de las emanaciones metalíferas, por medio de la cual Elie de Beaumont i Daubrée (8), han tratado de esplicar el oríjen de los

(1) La «ipsissima verba» de Sandberger al definir la secrecion lateral son: «Eine Auslaugung des die Spalten begränzenden Nebengesteins durch Sickerwässer, welche dasselbe durchdrungen haben und die gelösten Stoffe als Erze und Gangarten in den Spalten desgleichen oder ausnahmsweise auch in solchen des nächsten Nachbargesteins wieder absetzen». («Untersuchungen über Erzgänge». Wiesbaden, 1882, p. 17).

(2) A. W. Stelzner: Neues Jahrbuch für Min. 1883; i, p. 236; *ibid.*, 1886, II, p. 220. *ibid.*, 1888, II, p. 56.

(3) Posepny: «Untersuchungen von Nebengesteinen der Przibramergänge mit Rücksicht auf die Lateral secretions theorie des Professor Dr. F. v. Sandberger». B. u. H. Jahrb. der k. k. Bergakademie, vol. XXXV, 1887, p. 299.

(4) Van Hise: «Some principles controlling the deposition of Ores». Trans. Amer. Ins. M. E. vol. XXX, 1902, p. 339.

(5) Véanse los trabajos de Vogt en el Zeitschrift für Practische Geologie, 1893, 1894, 1895, 1898 i 1900. Véase tambien Trans. Amer. Inst. Min. Eng., vol. XXXI, 1901, p. 125.

(6) Brögger: Zeitschrift f. Kryst. u. Min., vol. XVI, 1890; i Spurr, 18th Ann. Rep. U. S. Geol. Surv., 1897, Part. III, p. 312. Hussak: Zeitsch. f. Prakt. Geol. 1898, p. 345. La idea espresada arriba se orijinoó con la obra de Lehmann: «Die Entstehung der Altkrystallinischen Schiefergesteine», Bonn, 1884.

(7) Vogt: Zeitsch. f. Prakt. Geol., 1894, p. 458; 1895 Núms. 4, 9, 11 i 12.

(8) Véase loc. cit. en p. anterior.

yacimientos de estaño. Segun la teoría «neumatolítica» (1), ciertos «agentes mineralizadores» como flúor, cloro, azufre, fósforo, silicio i boro, tienen la propiedad de formar con los metales, compuestos volátiles, que se desprenden del magma granítico en forma de gases con baja temperatura crítica (la «aura granítica» de Élie de Beaumont). Estos compuestos ascienden por grietas ya abiertas en las rocas superiores, o se abren paso atacando los minerales que componen dichas rocas. De este modo, por ejemplo, se han depositado casiterita (2), wolfram, turmalina, fluorina, topacio, berilio, axinita, datolita, apatita, etc., en el granito o bien en rocas sedimentarias comprendidas dentro de la aureola metamórfica que rodea a aquél (3).

En íntima relacion con la neumatolisis, en el rol que se les ha atribuido en la deposicion de minerales, están las llamadas «aguas magmáticas», término que está puesto en uso para designar una agua que no es de oríjen atmosférico, sino el agua que se halla disuelta u ocluida en los magmas fluidos, i de los cuales se separa por licuacion o destilacion al descender la temperatura i la presión. En ésta se concentran las sustancias que (a la temperatura reinante) son mas solubles en el agua que en los silicatos del magma (4).

Suess (5), en un trabajo sobre las fuentes de Karlsbad, leído en 1902, llamó la atención hácia la relacion que hai entre fuentes termales, vulcanismo i deposicion mineral. El aplicó la denominacion «hipójena» o «juvenil» a fuentes (como las de Karlsbad) que, teniendo su oríjen en las profundidades de la corteza terrestre, elevan su agua a la superficie por primera vez. Estas fuentes termales son en realidad los últimos vestijios de acti-

(1) «Neumatolisis» es un término introducido por Bunsen: «Unter dieser Klasse von Bildungen sind die manchfaltigen Produkte zusammengefasst, welche aus der Einwirkung der vulcanische Gase und Dämpfe auf Gesteine hervorgehen, Ueber die prozesse der vulcanischen Gesteins-Bildungen Islands», Poggend. Annal., 1851, vol. LXXXIII, 1851, p. 197. Abstract in Neues. Jahrb., 1851, p. 863.

(2) En apoyo de esto, Daubrée ha producido sintéticamente casiterita por sublimacion segun la ecuacion:  $\text{Sn Cl}_4 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{SnO}_2 + 4\text{HCl}$ . Ann. des Mines, 4.<sup>a</sup> Serie, 1948.

(3) Los depósitos de apatita son de oríjen análogo, con la diferencia de que tienen relacion con el magma del gabro, en vez del magma granítico.

(4) Véase Lehmann, loc. cit., Bonn, 1884, pp. 24-58; tambien Reyer: «Theoretische Geologie», 1888, p. 192. Reyer escribe: «Die starren Teile (des Magmas) sind mit Flüssigkeiten (Wasser) durchtränkt und diese sind mit Gasen gesättigt»; i p. 193: Gase sind «in Innern der Erde seit jeher gefesselt».

(5) E. Suess: «Ueber heisse Quellen». Verh. Ges. deutsch. Naturf. u Aerate, Karlsbad, 1902. Véase tambien «Naturwissenschaftliche Rundschau», 1902, p. 558, i un resumen en Geogr. Journ., vol. XX, 1902, p. 517. Compárese tambien «Das Antlitz der Erde», vol. III, 2, 1909, p. 630, o en la traduccion de Sollas: «The Face of the Earth», vol. IV, p. 548. Los trabajos de A. Gautier tienen un objeto parecido: «La genèse des eaux thermales et ses rapports avec le volcanisme». Annales des Mines, Serie 10, vol. IX, 1906, p. 316. (Resumen en Econ. Geol., 1906, p. 688, i Comptes Rendus, vol. CXXXII, 1901, p. 740). Véase tambien Bunsen: «Uber vulkanische Exhalationen», Neues Jarb., 1825, p. 501.

vidad volcánica, son las reliquias de un pasado período de actividad gaseosa (produccion de fumarolas). Su contenido mineral comprende compuestos fácilmente solubles de los elementos alcalinos i terro-alcalinos, junto con, o en parte combinados con azufre, cloro, anhídrido carbónico, mientras los compuestos metálicos menos solubles se han depositado como minerales ya a alguna profundidad en la costra terrestre. Segun Suess los productos posteriores a una erupcion varian con la temperatura; en las primeras fases de emanacion (neumatolíticas) los gases están secos i sus depósitos (como minerales de estaño, i los minerales de boro, flúor, tungsteno i urano que los acompañan) son productos de sublimacion. En un período mas avanzado, se desprenden aguas magmáticas fuertemente alcalinas, i a éstas se pueden atribuir las fases de sulfuros i arseniuros de la formacion de vetas, por ejemplo: la deposicion de pirita de fierro, chalcopirita, bornita i chalcocina primarias, enarjita, galena, blenda, etc.

Una notable ilustracion sobre la formacion de minerales por deposicion de las aguas magmáticas, ha sido dada por Sales (1) en un trabajo reciente sobre los yacimientos de Butte, Montana, los cuales, como es sabido, consisten de minerales de cobre i plata, asociados con dikes de pórfidos cuaríferos que atraviesan el granito. La elevada temperatura de las aguas i su vigorosa actividad química consiguiente quedan indicadas por la intensa alteracion de la roca de las cajas. Se concluye que los constituyentes primarios de las aguas magmáticas eran flúor, azufre, arsénico, antimonio, cobre, zinc, manganeso, plomo, plata, tungsteno i bario, puesto que la mayor parte de estos metales son constituyentes en cantidades minuciosas del granito normal i algunos aun no han sido descubiertos ni por el análisis químico en la roca fresca. Probablemente el azufre se encontraba en su estado orijinal, como hidrójeno sulfurado. La descomposicion del terreno granítico bajo la accion «solfatárica» de las aguas, dejó sodio i calcio libres, los cuales se fueron con las aguas ascendentes en forma de sulfuros alcalinos solubles. De igual modo entran en solucion el fierro i la sílice, para ser depositados despues como piritas i cuarzo; i estos minerales constituyen la ganga principal de las vetas.

Los minerales primarios importantes en las vetas de cobre son chalcocina, enarjita, bornita i chalcopirita, mientras que la galena, blenda i rodocrosita son minerales mas característicos de vetas de plata. La mineralizacion de cobre parece haber tenido lugar a elevada temperatura, condicion que despues ha sido sustituida por la de temperatura mas baja i mayor alcalinidad, puesto que las soluciones se encaminaban hácia las fracturas periféricas, representadas ahora por las vetas de plata con manganeso.

Las conclusiones de Mr. Sales en apoyo del oríjen primario de la chalcocina se basan en los hechos siguientes: la chalcocina hollinienta, cuyo

---

(1) Sales: «Ore-deposits at Butte, Mont.» Trans. Amer. Ins. Min. Eng. vol. XLVI.

oríjen secundario es indiscutible, está limitada a la zona que se extiende desde el nivel inferior de la zona de oxidacion hasta profundidades que varían entre 100 i 1,200 piés. No se ve que sea sustituida por piritas cupríferas pobres, como se dijo anticipadamente, sino por chalcocina compacta, la cual, en mezcla con bornita i enarjita se extiende hasta el fondo de los niveles de las minas a profundidades de mas de 3,000 piés, i, en contraposicion a la chalcocina sucia, no guarda relacion con la topografía de la superficie. El hecho de que estos yacimientos se hallen cortados por antiguas fallas, tambien tiende a mostrar que ellos son de considerable antigüedad jeológica i no están jenéticamente relacionados con la circulacion superficial de las aguas terrestres.

Mereció especial atencion de Mr. Sales el bolsón de Mountain Chief de la veta Jessie, el cual se extiende hasta la superficie. Una pequeña zona de oxidacion con un mineral rico compuesto de cuprita i óxidos de fierro, es continuada por una zona pirítica en la cual los minerales metálicos son pirita, chalcopirita i blenda. La parte superior de esta zona sulfurada muestra enriquecimiento secundario, las piritas i chalcopiritas primarias se hallan cubiertas superficialmente por chalcocina hollinienta secundaria. A 500 piés mas o ménos de la superficie la zona de chalcopirita es reemplazada por otra cuyos minerales son chalcocina, bornita, enarjita i piritas con chalcopirita en completa subordinacion. Por consiguiente podria parecer que, siendo la chalcopirita un mineral de formacion a mas baja temperatura que la chalcocina o enarjita, se ha desarrollado sólo en las partes superiores de las vetas. Sobre este mismo punto se ha observado que tanto la enarjita como la chalcocina, muestran tendencia de trasformarse en bornita i en chalcopirita, i estas alteraciones se pueden atribuir a cambios en las condiciones físicas de las soluciones magmáticas ascendentes.

Yo he insistido por algun tiempo sobre las condiciones de mineralizacion, descritas o consideradas por Sales como predominantes durante la formacion de los minerales de Butte, porque el hecho de que, como se ha mostrado, una gran proporcion de la chalcocina de las vetas de cobre de aquel distrito sea de oríjen primario, i no secundario o proveniente de enriquecimiento secundario (1),—como se habia supuesto anteriormente—es de vital importancia, puesto que debe afectar los cálculos de los ingenieros respecto de la continuidad hácia la hondura de ricos bolsones de cobre en minas de este metal.

Sin embargo, deberia establecerse aquí que la teoría de deposicion mineral por aguas de oríjen magmático no es aceptada universalmente.

(1) A. F. Rogers: (Econ. Geol., vol. VIII, 1913, p. 781) recientemente ha dado nueva luz, basado en estudios microscópicos, tendente a mostrar que en Butte la chalcocina es de tres clases i orígenes principales: 1) Chalcocina primaria formada por soluciones ascendentes, 2) Chalcocina secundaria formada por soluciones ascendentes, i 3) Chalcocina secundaria formada por soluciones descendentes.

Una importante escuela, de la cual podemos tomar como representante a Van Hise, considera todavía a las aguas meteóricas como factor principal en la deposición de minerales. Las ideas de Van Hise pueden resumirse como sigue (1): Las aguas meteóricas, después de penetrar la superficie, se diseminan ampliamente por las rocas en un sin número de pequeñas aberturas al hacer su camino hacia las profundidades de la tierra. Debido al constante aumento de temperatura i de presión, disuelven sustancias minerales. Finalmente, el movimiento hacia abajo produce una componente lateral, por la cual las aguas son conducidas hasta las grandes aberturas. Durante este proceso, también, continúan las aguas tomando material en solución. En las aberturas más grandes el agua asciende con temperatura i presión decrecientes, i allí se depositan los minerales.

Se verá que esta teoría es una combinación de las de ascensión i de secreción lateral, i presupone la existencia de una capa de agua en circulación entre el nivel de aguas subterráneas i el límite inferior de la zona de fractura, i no puede admitir la posibilidad de circulación en la zona superior, «zona de circulación» (zone of flowage). El punto débil de la suposición de Van Hise de «un mar de agua subterránea» está en el hecho de que minas muy profundas se encuentran secas i el desagüe se hace sólo en los niveles superiores. Esto es lo que ha mostrado la experiencia en las minas de cobre del Lago Superior, en las de oro de Rand i en las de Bendigo, por ejemplo (2). Van Hise (3), en respuesta a la crítica, atribuye esta zona seca al cierre de los pasos por cementación; pero la restricción para la circulación de las aguas superficiales es igualmente fatal para la derivación meteórica de fuentes termales de profundidad i otros fenómenos relacionados con el volcanismo.

Pero, como lo hemos visto, aunque las aguas de origen meteórico han sido desplazadas de su elevado puesto en la deposición de minerales, entre los cuales debemos contar los sulfuros primarios, son sin duda los agentes activos en la formación de un número considerable de yacimientos metalíferos, incluso los productos de oxidación, cloración i reducción encima del nivel permanente de aguas, los minerales de enriquecimiento secundario que se hallan comúnmente en seguida de la unión entre la zona de oxidación i la de sulfuros primarios (4). Tan importantes son las funciones

(1) Van Hise: «Some Principles Controlling the Deposition of Ores». Trans. Amer. Ins. Min. Eng. Véase también Le Conte: «The Genesis of Metalliferous Veins». Amer. Journ. of Science., vol XXVI, 1883, p. 1, i Becker: «The Geology of the Comstock Lode». U. S. Geol. Surv., Monogr. III, 1882.

(2) Véase Rickard: Trans. Amer. Ins. Min. Eng., vol. XXX, p. 377, i Kemp: «Igneous Rocks and Circulating waters as Factors in Ore Deposition». Ibid., vol. XXXIII, p. 699.

((3) Van Hise: «Some Principles controlling the Deposition of Ores». Trans. Amer. Inst. Min. Eng., vol. XXVI, p. 292 i «Treatise on Metamorphism». Cap. 12. U. S. Geol. Surv., Monogr. 47, 1904.

(4) Sobre esta cuestión véanse: Penrose: «The Superficial Alterations of Ore-Deposits». Jour. of Geol., 1894, p. 306. Douglas: «The Copper Queen Mine, Arizona». Trans.

de las aguas vadasas (usando el término con que Posepny designa las aguas que circulan a poca profundidad) en la disolución i redeposición a niveles inferiores de los minerales de cobre en una forma concentrada, que se ha establecido confiadamente que la producción mundial de cobre, no sólo en el pasado, sino también en el presente, se extrae de la zona de enriquecimiento secundario (1). Esta idea, talvez aparecerá exajerada a la luz de los resultados obtenidos por Sales en Butte; pero para la mayoría de los grandes yacimientos de cobre del mundo, puede aceptarse sin discusión.

De igual modo, estensos yacimientos de minerales de fierro de alta lei se han formado como resultado de un enriquecimiento secundario, pero bajo condiciones completamente diferentes a las que han determinado el enriquecimiento de los minerales de cobre. Así la hematita del Lago Superior, cree Van Hise, que se han derivado por oxidación i concentración efectuadas por las aguas vadasas, sobre el carbonato de fierro silíceoso de baja lei precipitado oriijinalmente bajo el agua como sedimento químico; i él saca la importante conclusión que «no se puede esperar que los yacimientos se extiendan mas abajo de la profundidad a la cual las aguas descendentes pueden contener oxígeno i precipitar óxido de fierro». El «no duda que en la rejion del Lago Superior se extraerá una cantidad enormemente mayor de minerales de fierro de alta lei de encima del nivel de 1,000 piés de profundidad que de la parte inferior a este nivel. Si esto fuese efectivo, los minerales de fierro de aquel distrito, con mas de 60% de fierro metálico, no son inagotables (2).

También tiene lugar un enriquecimiento de los minerales de oro en la zona de oxidación; pero en el caso de éstos la acción de las aguas vadasas se desarrolla disolviendo los metales mas solubles i de menor valor, dejando una cantidad de material menor, pero mas rico; con otras palabras, la reducción del peso específico de todo el material eleva la lei en oro (3).

Aun mas, hai también un aumento en el grado de fineza del oro debido

Amer. Ins. Min. Eng., vol. XXIV, 1900, p. 532. Emmons: «Economic Geology of the Butte District». Geol. Atlas of U. S., Butte Special Folio, 1897 i Trans. Amer. Inst. M. E. vol. XXXI, 1901, p. 169. Emmons: «Geology and Mining Industry of Leadville, Colorado». U. S., Geol. Surv., Monogr. XII, 1896. Emmons: «The Secondary Enrichment of Ore-deposits». Trans. Amer. Ins. M. E., vol. XXX, 1900, p. 177. Weed: «Enrichment of Mineral Veins by later Metallic Sulphides». Bull. Geol. Soc. Amer., vol. XI, 1900, p. 179.

(1) Knox: Trans., vol. XVIII, 1909, p. 290.

(2) Van Hise: «Iron ore deposits of the Lake Superior region». U. S. Geol. Surv. 21 + Ann. Rep. 1900, Part. III, p. 305, i Van Hise i C. K. Leith: «The Geology of the Lake Superior region». U. S. Geol. Surv. Monogr. 52, 1911, p. 568. Véase también «Genesis of Lake Superior ores». Econ. Geol., vol. I, 1905, p. 47.

(3) El enriquecimiento secundario en la zona de oxidación forma el tema de una comunicación de De Launay: «Rôle des phénomènes et de remise en mouvement dans la formation des gites métallifères». Ann. des Mines, 1897, p. 147.

a la sustracción de una porción de la plata con la cual éste se encuentra aleado (1). La mina de Mount Morgan en Queensland, es un buen ejemplo de un enriquecimiento de minerales de oro efectuado por la circulación de aguas vadasas: aquí la oxidación de una veta de piritas de cobre auríferas, con la lexicivación de los sulfuros de fierro i cobre, produjo una zona superior de cuarzo celular en el cual la relación aumentada entre el oro i el material de la veta fué la «vera causa» de la riqueza de la primera mina de oro del mundo. Pero, como con el aumento de la profundidad los trabajos mineros se han extendido debajo de la zona de oxidación, la producción de cobre ha tomado mayor importancia que la del oro (2).

El conglomerado de Witwatersrand es otro ejemplo. En este caso el mineral primario es la pirita de fierro aurífera diseminada en un conglomerado de cuarzo al cual una intensa silicificación efectuada durante la cementación le ha dado el carácter de una veta de cuarzo. La lexicivación de las piritas de la zona de oxidación, la cual se extiende desde los 200 o 300 pies debajo de la superficie, dejó un mineral enriquecido de oro libre (amalgamable) que dió maravillosa utilidad en las mesas de amalgamación de los primeros molinos de Rand. Desde el agotamiento de estos minerales ricos amalgamables, acaecido mui temprano en la historia de la minería del oro en Rand, se trabajan minerales piritosos de baja ley; i éstos han mostrado un empobrecimiento gradual i constante con la profundidad (3), hecho que viene en apoyo de la idea de que el oro de este yacimiento fué precipitado por aguas termales ascendentes en proporción a su pérdida de temperatura i de presión.

Uno de los progresos mas notables en la ciencia de los yacimientos realizado durante el período que revistamos, es el reconocimiento del importante papel que desempeña la metasomatosis en la formación de yacimientos. El hecho de que las rocas adyacentes al relleno de las vetas a menudo contienen pequeñas cantidades de minerales metálicos semejantes a los que componen las vetas, o se presentan alteradas hasta cierta distancia de éstas, fué observado ya en época remota; pero su significación fué interpretada de un modo diferente. Los partidarios de la teoría de secreción lateral consideran por una parte las diseminaciones de las rocas encajadoras,

(1) J. R. Donn: «The Genesis of certain Auriferous Lodes». Trans. Amer. Ins. M. E., vol. XXVII, p. 606.

(2) La Mont Morgan Gold Mining Company, desde su formación en 1886 hasta el 31 de Mayo de 1913 ha producido oro i cobre por valor de 19 millones de libras esterlinas, de los cuales corresponden 16,4 millones al oro i 2,6 al cobre. Durante el año vencido el 31 de Mayo de 1913 la Compañía produjo oro i cobre por valor de £ 1.130,387, del cual corresponden mas o menos £ 500,000 al oro i £ 600,000 al cobre. (Memoria para el año vencido el 31 de Mayo de 1913).

(3) Véase H. H. Webb: Annual Report para 1913 de la Consolidated Gold Fields of South Africa; i Hatch: Proc. Inst. C. E., vol. 186, 1911, p. 400 i Mining Mag., vol. IX, 1913, p. 450.

como una indicacion del orijen del relleno de las vetas, i por otro lado, la alteracion de dichas rocas, como producida por la leixiviacion que colectó el material del relleno. Pero los partidarios del ascensionismo, sean de la escuela de Élie de Beaumont i Durocher, sean de la de Stelzner i Posepny, reconocieron que las disoluciones de las cuales el material de las vetas se ha precipitado, sean líquidas o gaseosas, tambien han penetrado las paredes i han depositado algun material en la roca misma, minerales metálicos que han reemplazado a algunos minerales disueltos, como es el caso de la casiterita en cristales pseudomorfos de feldespató en la formacion granítica de vetas de estaño (1). Muchas pruebas favorables a esta última idea se han acumulado. Así, Posepny (2) describía en 1873 la metasomatosis de carbonato de calcio por carbonato de zinc en los yacimientos de Raibl; i Pumpelly (3) en el mismo año atribuía el orijen de los famosos yacimientos de cobre nativo de Michigan a procesos metasomáticos.

En 1881, Emmons (4) mostró que los yacimientos de plata i plomo de Leadville se han formado por sustitucion de una caliza por galena, blenda i piritas, alteracion que, aunque químicamente completa, dejó intacta la textura granular, las junturas i otras características de la estructura de la caliza orijinal. El llamó la atencion hácia el hecho de que la semejanza de la roca alterada con la caliza es tan perfecta, que en los frentes de las galerías, cuando éstos estaban cubiertos de polvo, el observador a menudo se engañaba por completo si no quebraba con su martillo un trozo que le dejara ver el brillo metálico de la galena en la fractura fresca.

En un trabajo posterior (5) él dice que muchas de las así llamadas vetas de hendidura no eran simples cavidades rellenas, sino que debian su orijen a una metasomatosis del material de las rocas por sustancias transportadas por soluciones que circulaban a lo largo de grietas ocasionadas por fallas, a traves de zonas de friccion o de zonas estratificadas. En estos casos una veta puede ser formada por sustitucion del material comprendido entre fracturas paralelas contiguas, siendo el verdadero proceso de simple relleno de un carácter mui restringido. Debido a la diferencia de carácter entre fajas de roca que han sufrido metasomatosis i el relleno de las hendi-

(1) Daubrée: «Sur le gisement, la constitution et l'origine des amas de minerai d'étain». Ann. des Mines, 1841, p. 110.

(2) Posepny: «Die Blei und Galmei Erzlagerstätten von Raibl in Kärnten». Jahrb. d. k. k. Geol. Reichsanstalt, vol. XXIII, 1873, p. 317.

(3) Pumpelly: «The Metasomatic Development of the copper-bearing rocks of Lake Superior».

(4) Emmons: Ann. Eep. U. S. Geol. Surv., 1881, p. 201. Este fué un resumen del Report on the Geology and Mining Industry of Leadville, Colorado, de Emmons, publicado como Monografía N.º 12 del U. S. Geol. Surv. en 1886.

(5) Emmons: «The Genesis of Certain Ore-deposits». Trans. Amer. Inst. Min. Eng., vol. XV, 1886, p. 125, i «The Structural Relations of Ore-deposits», ibid., vol. XVI, 1888, p. 804.

duras que las dividen, los yacimientos formados de esta manera tienen una estructura en fajas, la cual se distingue de la «crustification» del relleno de las vetas. Todas estas cuestiones han sido admirablemente tratadas por Lindgren i J. D. Irving en sus bien conocidos trabajos, en los cuales se encontrarán muchas ilustraciones respecto de la influencia de los procesos metasomáticos en la formación de vetas (1).

Un caso importante de metasomatosis que se ha reconocido en los últimos años es el de las grandes lentejas de piritas cupríferas que se trabajan por cobre en el distrito de Huelva, España (Río Tinto, etc.); también en los Montes Urales, en los Estados Unidos del Oeste i en Tasmania (Mount Lyell) se encuentran yacimientos de esta naturaleza. Así, Finlayson (2) ha mostrado que las piritas primarias de los yacimientos de Huelva son la sustitucion de rocas trituradas, i se deben a la accion de aguas magmáticas sobre zonas de deslizamiento a lo largo de planos de fallas, i de derrumbe en la vecindad de intrusiones de porfirita en las pizarras de Culm; aunque deben su importancia económica al enriquecimiento de los sulfuros por las aguas meteóricas. Análogamente Nikitin (3) ha descrito las lentejas de piritas de los Estados de Verk-Issetsk en los Urales, considerándolas como de un sistema ígneo fracturado; i Boutwell (4) ha mostrado que la gran masa pirítica de Highland Boy, en Bingham, debe su origen a una metasomatosis de calizas, cuya estratificacion aún se puede distinguir en medio de las piritas.

Las grandes masas de piritas de Mount Lyell en Tasmania son tambien segun Gregory (5) de origen metasomático, i ocurren en puntos en que las esquistas han sido trituradas i agrietadas por una red de fallas.

En Africa del Sur, la importancia de este factor de depositacion mineral está admirablemente ilustrado por el conglomerado de Witwatersrand, i en pájinas anteriores (6) ya he dicho que el oro de estos yacimientos ha sido introducido junto con las piritas de fierro con las cuales aquél está íntimamente asociado, por un proceso metasomático. La sustitucion debe haber seguido a la silicificacion, puesto que la mayor parte de las piritas ocurre en el cemento, el cual era probablemente más apto para solucion que los guijarros. Sin embargo, de vez en cuando se encuentran cris-

(1) Lindgren: «Metasomatic Processes in Fissure Veins». Trans. Amer. Ins. Min. Eng., vol. XXX, 1900, p. 578, i «The Nature of Replacements». Econ. Geol., vol VII, 1912, p. 512. Véase tambien J. D. Irving: «Replacement Orebodies and Criteria for their recognitions». Econ. Geol., vol. VI, 1911, p. 527 i 619.

(2) Finlayson: Econ. Geol., vol. V, 1910, pp. 357 i 493.

(3) Nikitin: Mem. Russ. Geol. Com., New Series N.º 22 San Petersburgo, 1907.

(4) Boutwell: Trans. Amer. Ins. Min. Eng., vol. XXXVI, 1905, p. 541.

(5) Gregory: Trans. Anstr. Ins. Min. Eng., vol. X, 1905, p. 26.

(6) Hatch: The Auriferous Conglomerates of the Witwatersrand: En «Types of Ore deposits», San Francisco, 1911.

tales de piritas pseudomorfas enrodados de cuarzo (1) i fragmentos de pizarra se encuentran tambien impregnados de pirita (2).

Otros ejemplos de reemplazos metasomáticos nos los dan ciertas areniscas cupríferas i plomíferas del Triásico i del Permiano. Así la arenisca del Permiano en Rusia, que aflora al oeste de los Urales en Orenburg, segun la descripción de uno de los miembros de nuestra Institucion, contiene minerales de cobre de un marcado oríjen metasomático, no sólo el cemento de la arenisca, sino tambien restos de plantas i troncos de árboles que aparecen reemplazados por chalcocina i otros minerales de cobre (3). Estos yacimientos parecen ser casos de deposición a baja temperatura efectuada por aguas meteóricas a poca profundidad.

En el breve resúmen siguiente de las modernas ideas sobre Oríjen de Yacimientos, he llamado la atención sobre dos puntos principales de investigación, el uno referente al vehículo o agente, por el cual los metales han sido colectados, trasportados i depositados en los sitios en que hoy los encontramos, i el otro se refiere a la naturaleza de los concentrados formados en el curso de estos procesos.

Considerando el primer punto: los yacimientos metalíferos pueden ser:

1. Diferenciaciones ígneas (Magmáticos).
2. Rellenos de cavidades pre-existentes.
3. Metasomáticos.
4. Estratificados o sedimentarios.
5. Yacimientos residuales.

De éstos, los yacimientos sedimentarios comprenden los sedimentos marinos, lacustres i acumulaciones fluviales, incluso los lavaderos.

Considerando ahora el vehículo o agente de concentración se dividen los yacimientos en:

- a) Magmas fluidos.
- b) Gases i vapores sobre su temperatura crítica.
- c) Aguas que se hallan a gran profundidad, sean magmáticas, sean de oríjen meteórico.
- d) Aguas vadosas.
- e) Agentes químicos i bacterios en lagos i mares.
- f) Agentes mecánicos, tales como aguas corrientes i viento.

Es posible formular un esquema jenético de clasificación combinando

(1) R. B. Young: Trans. of the Geol. Surv. of South Africa, vol. X, 1907 i vol. XII, 1907, p. 82.

(2) Horwood: Min. and Sci. Press, vol. 107, 1913, p. 611.

(3) Adiassewich: Trans., 1908, p. 509.

# Clasificación de los Yacimientos Metalíferos

NATURALEZA DEL YACIMIENTO	VEHICULO O AJENTE DE LA DEPOSITACION MINERAL					
	A.—MAGMAS FLUIDOS	B.— GASES I VAPORES SOBRE SUS TEMPERATURAS CRITICAS	C.—AGUAS PROVENIENTES DE LA PROFUNDIDAD, DE ORI- GEN MAGMATICO O METEO- RICO.	D.—AGUAS VADOSAS	E.—AJENTES MECANICOS COMO CORRIENTES DE AGUA I VIENTO	F.—AJENTES QUIMICOS I BAC- TERIOLOGICOS, EN MARES, LAGOS I PANTANOS.
Diferenciaciones ígneas.....	Ciertos Minerales de Fierro i Níquel macizos asociados a intrusiones ígneas básicas (ej. Los de Sudbury en Ontario).					
Relleno de cavidades.....	Minerales de estaño inyectados (ej. pegmatitas estaníferas i pórfidos estaníferos en la periferia de intrusiones de granito.)	Relleno de cavidades por Neumatolisis. (ej. vetas de cuarzo estaníferas.)	Relleno hydato-jenético de cavidades (muchas vetas de hendidura.)	Relleno superficial de fracturas, tales como «gash-veins» en calizas i cavidades rellenadas (ej. hematitas de Cumberland.)		
Metasomáticos.....		Reemplazo Neumatolítico (ej. yacimientos de estaño en greisen i muchos yacimientos de contacto.)	Reemplazo hydato-jenético (Muchas vetas i yacimientos macizos, tambien el conglomerado de Rand.)	Algunos minerales de plomo i de zinc en calizas. Minerales de fierro que reemplazan calizas (ej. Cleveland). Algunos minerales de fierro laterítico i yacimientos de manganeso. Enriquecimiento secundario de minerales de cobre.		
Yacimientos estratificados.			Posiblemente algunos yacimientos sedimentarios en los cuales los materiales de cementacion son minerales de los metales.	Algunos minerales de plomo i cobre que impregnan areniscas i esquistas.	Concentrados mecánicos en yacimientos estratificados (ej. lavaderos de oro i platino, lavaderos de casiterita, arenas ferruginosas, lateritas i otras arenas i gravas metalíferas.)	Sedimentos químicos i bacteriológicos (ej. minerales de fierro de lagos i pantanos; arcillas ferruginosas i siderita sedimentaria, manganeso de pantanos i otros minerales sedimentarios de este metal).
Depósitos residuales.....				Depósitos en capas o cubiertas. Ej. minerales pisolíticos i nodulares de fierro (Bilbao, hematitas i limonitas de los Apalaches), de manganeso (psilomelano) i de aluminio (bauxita.)	Arenas gruesas eluviales formadas cerca de los afloramientos de las vetas (ej. Las arenas de oro, casiterita i wolfram, galena i minerales de zinc).	

los hechos manifestados por estos dos puntos de investigación. Por ejemplo, el relleno de cavidades pre-existentes puede ser debido a una inyección ígnea, a gases o vapores sobre su temperatura crítica, a aguas de gran profundidad o a aguas vadosas. Arreglando estas dos series de relaciones en columnas verticales i horizontales respectivamente, todos los diversos tipos de yacimientos metalíferos se obtienen en las cuadrículas; i de este modo he llegado a formar la clasificación que se muestra en el cuadro adjunto.

Se ha dicho ya bastante en el sentido de señalar el gran progreso realizado en los años recientes en la ciencia de los yacimientos, progreso debido en gran parte a la actividad de los jeólogos norteamericanos; porque la cooperación desde este lado del océano ha sido tan escasa, que nos hemos espuesto al reproche de un eminente americano (1): «Considerando el amplio interés mundial de la Inglaterra en la minería de los metales preciosos en todo el mundo, parece mui singular que se esté prestando tan escasa atención a los yacimientos por los jeólogos e ingenieros de aquel país. Es efectivo que hai notables escepciones, pero con ingenieros de minas ingleses repartidos en las mas remotas rejiones del mundo, la contribucion a la ciencia de los yacimientos aparece desproporcionalmente pequeña».

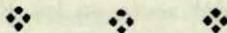
Los jeólogos de este país, ya sea por falta de oportunidad, o por una curiosa falta de gusto por la aplicación práctica de su ciencia, con mui pocas escepciones, no han prestado atención a los yacimientos metalíferos, que son considerados por muchos de ellos estar fuera del campo de la jeología pura; pero esto no explica que los ingenieros de minas ingleses que no están aferrados a prejuicios tales, i están empeñados en el exámen de todos los tipos de yacimientos en todas partes del mundo, hayan contribuido en tan pequeña escala a la producción de literatura sobre la materia. Si aquellos de los miembros de la Institucion que tengan tales oportunidades, publicaran sus observaciones en nuestras «Transactions», la información de este modo obtenida, no sólo ayuda a sus compañeros de trabajo, sino que beneficia grandemente a la ciencia de los yacimientos, i enriquece así el almacen de los conocimientos humanos. Verbum sat sapienti.

F. A. HATCH.

Presidente de la Institution of Mining and Metallurgy.

(Traducción de «Transactions of The I of Mining and Metallurgy», debida al Sr. Juan L. Cortes.)

(1) Lindgren: «Tendencies in the Study of Ore-deposits». Econ. Geol., vol. II, 1907  
P. 745.



## La Evolucion del Horno Eléctrico de Fundicion (\*)

Al comenzar la vijésima centuria hizo su aparicion el horno eléctrico de fundir, que se adoptó en seguida en la industria del hierro i del acero en relativamente gran escala. No puede decirse que fuera recibido con los brazos abiertos, pero su perfeccionamiento se fué operando gradualmente hasta ser hoi de grandísima utilidad i presentándosele un campo mui vasto para sus aplicaciones. Los que mirando al porvenir descubren una esfera aun mayor, creen firmemente que en día no lejano se empleará el horno eléctrico en todas las ramas de la industria del acero i que se podrá obtener este valioso producto de calidad infinitamente superior a cuanto se ha fabricado hasta la fecha.

El simple hecho de que la introduccion del horno eléctrico se ha verificado con éxito i de que ha demostrado su valor de aplicabilidad, prueba que su aparicion no fué casual, sino que vino a suplir una verdadera necesidad, por ser insuficientes los medios con que se contaban entónces para la manufactura de hierro i acero. Sabido es cuán íntimamente relacionadas se hallan en toda industria la parte técnica i la parte comercial, pero difícilmente se comprenderá que un paso de avance en la industria del acero puede deberse a ciertos cambios en las condiciones sociales i hasta políticas, i que, recíprocamente, una mejora en la industria del acero deje sentir su influencia sobre dichas condiciones i afecte hasta la misma propiedad nacional.

Una industria i sus aplicaciones técnicas no constituyen un mundo por sí solas, sino que forman parte de un gran cuerpo a cuyos fines obedecen. El ingeniero electricista que traza los planos de una central de enerjía o de un ferrocarril eléctrico, o el telefónico que estudia la ampliacion de una estacion, tiene forzosamente que tomar en cuenta el carácter i condiciones de la comarca o rejion en que se encuentren. Debe no perder de vista las características de la poblacion i las tendencias que descubre en la vida privada i en la mercantil, pues todos estos factores ejercen decisiva influencia en el éxito de la empresa por realizar. Se mencionan estos puntos para mostrar que el advenimiento del horno eléctrico de fundir se debió aquí a influencias exteriores i en parte al desarrollo de la industria del hierro i del acero en lo demás. Sólo tenemos que echar una mirada retrospectiva sobre la historia de dicha industria en los Estados Unidos, para convencernos de la verdad de tales aserciones.

La industria del hierro i del acero en los Estados Unidos era de poquísima importancia ántes de la guerra civil de 1865, sobre todo comparada

(\*) Tomado del *Boletín de la Sociedad de Fomento Fabril*.—Octubre de 1916.

con la tan perfeccionada de Inglaterra, i sólo comenzó a desarrollarse en una escala mayor en el período de 1868 a 1870. Durante el periodo desde la guerra civil hasta 1900, los medios con que contaba la industria del acero eran mas que suficientes para proporcionar todo el producto elaborado que requería el país. El alto horno, el convertidor, el horno Siemens-Martin i especialmente el crisol, permitían a los fabricantes de acero hacer frente a la demanda de cuantas clases se pedían de dicho artículo. Mas adelante, sin embargo, se observó un cambio que se distingue por ser mas intensivo que extensivo, en contraste con el período precedente. El establecimiento de nuevas industrias, dió oríjen por un lado, a una demanda grande en favor de acero de la mejor clase, i por otra aumentó la competencia, haciéndose evidente que precisaba mejorar aun mas la manufactura del hierro i del acero.

Si añadimos a esto el hecho de que no se descubrieron por entónces minas importantes de hierro en los Estados Unidos i que ha sido necesario importar mineral de Cuba, Chile i otros países, así como la calidad inferior de la materia prima que ha de usarse, se comprenderá fácilmente cómo habría de imponerse mui pronto un horno nuevo que viniera a eliminar algunas de las dificultades encontradas. No ya el mineral bruto, sino las otras materias primas, el mismo sobrante de las fundiciones, etc., empeoró de calidad, de tal modo, que los fabricantes de acero se vieron forzados a pagar precios mas altos de lo que tenían por costumbre.

Durante el período a que nos referimos es cierto que fueron mui reducidas las adiciones hechas a la red ferroviaria de los Estados Unidos, en extremo inferiores a las de otras épocas, mas el denso tráfico de las grandes poblaciones i el transporte tan voluminoso de mercancías, crearon una demanda importante para rieles de mayor peso i mejor clase. Por otra parte, se viene tratando de construir coches de pasajeros i vagones de carga que sean de menor peso, sin disminuir su resistencia, lo que obliga a emplear acero de una calidad mejor i poseyendo propiedades mecánicas superiores. El peso total de las ruedas motrices de las locomotoras han aumentado de 69,000 libras a que ascendía en 1865 a mas de 180,000 en 1907, año en que llegó a ser de 316,000 libras. El promedio de la carga concentrada en los ejes aumentó durante el mismo período, de 22,000 a 48,000 libras, i el peso de los rieles, por yarda, de 65 o 75 libras, a 85 o 100.

La industria eléctrica, que asumió proporciones inesperadas, requirió de la del acero mayor cantidad i mejor calidad de materia prima. Láminas de baja carburacion, pero elevada proporción de silicio, para reducir las pérdidas por histeresis, eran esenciales en la fabricacion de transformadores i dinamos. Las cubiertas para motores ferroviarios e industriales tenían que hacerse con acero carburado de buenas propiedades magnéticas, i, debido a la mayor velocidad de los turbojeneradores, se hizo preciso emplear

un acero que, poseyendo buenas propiedades magnéticas, fuera al mismo tiempo de una resistencia mecánica extraordinaria.

También esperaron los fabricantes en la manufactura de pequeños motores el perfeccionamiento, de los cuales se debe probablemente a la mejor calidad de material usado para sus partes móviles. Las turbinas de vapor, las bombas rotatorias de alta velocidad i maquinaria por el estilo, contribuyen a aumentar la demanda de acero de clase superior. La industria automovilista ha ejercido una tremenda influencia con sus múltiples demandas, desde la aleacion de acero para ejes, engranajes, árboles de levas i magnetos, hasta las piezas fundidas ordinarias de acero corriente. También debe mencionarse la industria de ferretería con sus variados productos, incluyendo ajustes para tuberías, accesorios i artículos domésticos de clases distintas.

Así, pues, vemos un gran número de industrias, cada una presentando su problema propio i con sus requisitos especiales en cuanto al material preciso, i todas ellas listas para una mejora, mejor dicho, esperándola, en las materias primas en que se basa su progreso. Tuberías de acero para los servicios urbanos de agua potable a alta presión, tubos de varias clases i ajustes para abastos de agua, tuercas, pernos i roblones de mayor resistencia mecánica, son artículos que igualmente merecen citarse.

Los métodos de fabricacion han cambiado i se han mejorado, como era de esperar para hacer frente al nuevo estado de cosas. Las obras hechas en el torno, las de acepillado fresado, han tenido un auxiliar importante en el amolado, gracias al cual puede obtenerse engranajes, ejes i válvulas de metal endurecido. Está admitido, no obstante, que ese método no elimina siempre las dificultades presentes. Producense esfuerzos interiores, que con frecuencia alteran la forma de piezas endurecidas, despues de amoldadas, tanto que un nuevo amoldado no puede volverlas a su primitivo estado.

Este fenómeno demuestra que se sabe aún mui poco acerca de cómo se comporta el acero al someterlo a ciertas condiciones, i hai en esa materia aún mucho por descubrir. El problema que representa podrá resolverse solamente por medio de una investigacion científica mui esmerada, hecha por el químico i el metalúrgico. I para todos cuantos se hallan familiarizados con la industria del acero será evidente que el horno eléctrico de fundir ha de resultar un auxiliar poderoso en la solucion de esos i otros problemas. Esto no queda limitado a los casos en que resulte mas económica la produccion de acero eléctrico, como por ejemplo, el acero de crisol, sino que incluye, además, aquellos ramos de la industria en donde todavía se duda de la superioridad económica del horno eléctrico de fundir.

No se trata de la simple cuestion de precio por sí sola, al ménos en lo que se refiere al acero como materia prima. En un buen número de casos en donde ha de tomarse en cuenta el valor de la mano de obra, puede mostrarse que el empleo de una calidad superior de acero como materia prima

abarata el costo del producto, en vez de aumentarlo de precio. Esto ocurre principalmente en aquellos casos donde las pérdidas causadas por material defectuoso se reducen considerablemente con el empleo de uno de clase mejor, i en cada caso particular será posible determinar el límite i condiciones bajo los cuales podrá utilizarse una materia prima de elevado precio para obtener la producción mas económica.

El horno eléctrico de fundir se ha arraigado en la industria metalúrgica porque parece ser el mejor i porque en no pocos casos ha resultado ser el único que se conoce para producir acero de clase insuperable. Esto no quiere decir que gracias a él pueda esperarse para dentro de mui pocos años la desaparición de todo el acero de clase mediana, sino que en cada una de las ramas de la industria se manufacturará acero de calidad mejor al producido anteriormente. Lo que es mas, tampoco significa que el horno eléctrico de fundir haya de reemplazar a todos los hornos que han venido usándose hasta ahora, sino que vendrá a ser un accesorio de aquellos que se empleará para la refinación i mejora de sus productos.

Muchos se preguntarán: ¿a la acción de qué elemento técnico o físico se deberán los resultados que se obtienen con el horno eléctrico? I la respuesta puede ser dada mui fácilmente. El horno eléctrico de fundir produce una temperatura mucho mas elevada que cualquier otro horno. La produce sin contaminar la «carga» con gases i otras impurezas, i en el caso del horno de inducción, sin contaminación posible por causa del carbono. El horno eléctrico de fundir, i especialmente el horno de inducción, hace posible la regulación de la temperatura dentro de límites que se hallan fuera del alcance de los hornos antiguos. Podrán presentarse dudas sobre si la temperatura es, despues de todo, un factor importante, i para desvanecerlas bastará recordar la forma en que se comportan el silicio i el carbono en el convertidor Bessemer, o el fósforo, azufre, manganeso, etc., en el horno Siemens-Martin.

En realidad sólo hai tres factores fundamentales en la producción del acero: la composición química del material, la temperatura i el tiempo. Cuanto mas perfecta sea la regulación de esos elementos durante el procedimiento, mas perfectos serán los resultados obtenidos.

Con eso se descubre el campo que se presenta ahora al horno eléctrico de fundir, que es inmenso, i sólo resta que el fabricante de acero investigue en forma cuidadosa i detallada las oportunidades que le ofrece. Para ello será preciso que no se limite al caso de fundir, sino que vaya mas allá, a la fundición, al tren laminador, a la forja, al horno de endurecer i hasta al taller de máquinas, para que se informe debidamente de cómo se comporta el acero durante su transformación. En esas ramas de la industria del acero ya ha prestado la electricidad valiosísimos servicios, facilitando la solución de muchos i mui complejos problemas. Hará aún mas en el porvenir i sin lugar a duda, la temperatura del acero en los moldes de fundición,

o mientras esté pasando por los trenes laminadores, quedará rejida por la electricidad, con el fin de influir en el proceso de enfriamiento, que es de no poca importancia en el carácter del producto acabado.

El aumento en el uso del horno eléctrico de fundir ha sido muy rápido, si se recuerda que el procedimiento sólo data de poco más de diez años. El mayor número de hornos que se instalan prueba que no solamente va generalizándose el horno eléctrico de fundir, sino que muchas personas han invertido su dinero para confirmar sus opiniones i están derivando hoy pingües utilidades del capital así colocado. Hasta la fecha no se han hecho instalaciones con unidades mayores de 20 toneladas. Cuando se demostró que el acero «eléctrico» era tan bueno en todo sentido como el de crisol, empezaron a montarse instalaciones con el fin de reemplazar al excelente, pero también muy caro acero de crisol, i los hornos establecidos fueron del tamaño correspondiente a la producción del obtenido en crisol, notándose en seguida que la reducción del costo con el empleo del procedimiento eléctrico dejaba un buen margen de utilidad. En la práctica se vió que las calidades mejores de acero, sobre todo los aceros de aleación, los que, a pesar de producirse en los hornos Siemens-Martin obtenían mejores precios que los aceros de clase ordinaria, podían hacerse aún mejores en el horno eléctrico i con beneficio. El consumidor deseaba la calidad del acero de crisol, pero no podía pagar el precio que se fijaba, si bien estaba dispuesto a pagar algo más que por el hecho en hornos Siemens-Martin, debiéndose a la industria automovilista gran parte de la demanda entonces creada.

La posibilidad de añadir aleaciones al acero, tales como el vanadio, en el horno eléctrico, sin oxidación, i la ventaja de poder también fundir el sobrante de la aleación sin pérdida alguna de ella, compensan a menudo el costo más elevado de operación del horno eléctrico.

Hoy día se emplea el acero manufacturado eléctricamente para artículos tales como llantas, ejes, tubos sin costura i pequeñas piezas fundidas. La particularidad de que el acero eléctrico se presta más fácilmente al tratamiento calórico que otras clases de acero, tanto en lo que se refiere al mayor límite de temperatura como a la ausencia de grietas en la pieza enfriada, i también el hecho de registrarse menor pérdida por causa de material defectuoso, después de trabajada la pieza a máquina en el taller, hacen que sea preferido este acero, aun cuando se cotice a mayor precio.

Otro tipo de horno eléctrico, también muy interesante, es el modelo «Hoskins», del que se han hecho muchas instalaciones en este país, para el temple de herramientas. Por lo regular se montan estos hornos en pares, sirviendo uno de ellos para templar herramientas de acero carburado i para la calefacción inicial de herramientas de acero rápido; el otro horno se dedica exclusivamente al temple de herramientas de acero rápido.

Las ventajas principales que ofrecen estos hornos, sobre los que quemaban combustibles i otros tipos fabricados para el temple de herramientas

de acero, son las de una facilidad grande de regularizar la temperatura con una exactitud extraordinaria; la ausencia de gases perjudiciales de la combustion, i la uniformidad mas completa del calor suministrado.

De todo ello resulta que los aceros para herramientas calentados exactamente a la temperatura precisa para obtener el máximo de resistencia i las mejores cualidades para el uso de cada pieza, se ven ademas libres de incrustaciones i picaduras, i no sufren deformacion alguna. El efecto de un temple tan perfecto se refleja en la superioridad de las herramientas tratadas por calefaccion eléctrica sobre todas las demás, siendo su eficiencia en muchos casos tan grande como de mas del ciento por ciento.

Con el elevado costo del acero rápido que prevalece hoy, resulta muy económico el uso del horno eléctrico, a lo que debe añadirse el bajo promedio de consumo, que en una jornada de 10 horas, es de 70 kilowatio-horas para el horno empleado en el temple de acero carburado, i de 140 kilowatio-horas para el de acero rápido.

En la industria automovilista hace igualmente un importante papel ese modelo de horno eléctrico de templar, que se utiliza en el temple de engranajes i piñones para coches automotores. Debido a las dificultades que presenta el temple de esas piezas, el obtener su produccion en forma económica es algo que ha preocupado seriamente a los fabricantes i les ha costado mas dinero que la de otras piezas del vehículo. La principal dificultad con que se tropieza, es la de evitar que los engranes se deformen al darles el temple, ya que la menor variacion es causa de que funcionen despues con ruido. Cierto es que puede corregirse el defecto provisionalmente, enderezando los engranes, pero si mas tarde reciben un golpe o quedan sometidos a una fuerte carga, volverán a producir ruido.

En los hornos del modelo citado se pueden someter al tratamiento calórico engranes i piñones en grandes cantidades, sin que ocurra deformacion alguna i a un costo no mayor que con los procedimientos ordinarios de templar en hornos de petróleo i de gas.

A causa de la absoluta uniformidad del calor suministrado por los engranes se efectúa en forma tan igual a traves de toda su superficie, que se reduce o elimina el riesgo de deformacion. I debido tambien a que el calor es producido sin combustion, los engranes son calentados sin peligro de que tengan puntos descarbonizados o débiles, mientras que por no emplearse la manga de aire forzado, los engranes salen del horno perfectamente limpios i sin incrustaciones de ninguna clase. El consumo de corriente en esos hornos es de unos 13 kilowatios para un tratamiento de 75 libras de metal por hora.

En muchas fábricas resulta esencial contar con medios prácticos para fundir plomo, estaño, etc., en cantidades mas o ménos grandes. Esto se ha obtenido jeneralmente empleando aparatos calentados por carbon, gasolina, petróleo u otro agente calórico igualmente peligroso i nocivo a la sa-

lud, que ofrece siempre el riesgo de incendio, además de adolecer de otros defectos.

De aquí que deba felicitarse la industria por el crisol, si puede llamarse así, construido por una de las empresas de material eléctrico mas importantes en los Estados Unidos, que obtiene el resultado que se desea sin presentar los inconvenientes ántes citados. Es un utensilio limpio, hijiénico e inodoro.

Su uso no introduce riesgo alguno de incendio i por ello puede adoptarse en cualquier parte, aun donde haya esparcidas substancias combustibles, siendo, además de un gobierno tan fácil i seguro, que puede regularse de modo que mantenga el metal en fusion a la temperatura mas a propósito para el resultado que se desea obtener. Se halla siempre en condiciones de ser usado, bastando mover la palanca de un conmutador para que empiece a suministrar calor.

Tiene aplicaciones mui variadas, pues resulta adecuado para fundir estaño de soldar, metal de antifriccion; para estañar, cubrir o soldar alambres i artículos de pequeño tamaño; tambien se halla de utilidad en fábricas de aparatos telefónicos, talleres de reparar material eléctrico, etc.

El caldero en cuestion consiste en un receptáculo circular de poco fondo, de hierro fundido, con un tazon colocado encima del disco calentador, estando todo dispuesto de manera que la unidad calentadora sea fácilmente accesible.

Hai tres grados de regulacion calórica, consumiendo 200, 400 i 600 vatios respectivamente. El tipo normal de caldero tiene cabida para un máximo de 15 libras i está construido para conectarse a circuitos eléctricos que sean de potencial de 100, 110 o 120 voltios, por medio de una clavija de las jeneralmente usadas para ese objeto.

E. A. HERNANDEZ.



## Fusion i refino del acero en el horno eléctrico<sup>(1)</sup>

CONFERENCIA DADA EN EL INSTITUTO DE INGENIEROS CIVILES POR EL JENERAL CUBILLO EL DIA 23 DE JUNIO ÚLTIMO

Señores:

Sean mis primeras palabras, ántes de entrar en materia, de saludo afectuosísimo a esta culta Sociedad que comprende todas las ramas de la Ingeniería civil española, rogando a sus miembros perdonen mi atrevimiento por venir a distraer su atencion. Desarrollaré un tema que, si bien es ya algo conocido, puede ofrecer alguna novedad en la esposicion de ciertos fenómenos magnéticos que en el interior de determinados hornos se verifican. El tema de la conferencia se circunscribirá a tratar de la fusion i refino del acero en algunos de los hornos eléctricos mas conocidos, dejando el ocuparme de los hornos altos eléctricos para otra ocasion. Comenzaré por una breve reseña histórica.

### HISTORIA

Los espíritus superiores que cultivan las ciencias aplicadas son siempre los primeros en seguir los progresos de las ciencias puras i los que advierten, desde luego, la influencia que en el mejoramiento de la vida humana pueden tener los descubrimientos científicos. No ha sido tan rápida e inmediata la aplicacion de los principios científicos al progreso i desarrollo de las industrias, en tiempos pasados, como lo es en la actualidad, devorado como se siente el hombre por un espíritu de mejora i de progreso, que no sentia con la misma ansia e intensidad que al presente. Así, desde que en 1800, algunos meses despues del descubrimiento, por Volta, de la batería eléctrica, Sir Humphry Davy, en esperiencias con la nueva batería, produjo la primera luz de arco entre las puntas de dos carbones, han pasado mas de cien años hasta aplicar industrialmente este descubrimiento en la metalurgia de uno de los cuerpos que mas importante papel juegan en nuestra civilizacion actual, del hierro. Es claro que en el caso presente de la introduccion de la luz de arco en los procedimientos industriales, se pudo conseguir bien poco, desde el momento en que era preciso utilizar la batería eléctrica para lograr aquélla; pero las cosas cambiaron de aspecto,

(1) De la «Revista Minera Metalúrgica de Ingeniería», Madrid, Julio de 1917.

desde el punto en que se hizo práctica la admirable máquina de transformación de la energía mecánica eléctrica, llamada dinamo.

No debe olvidarse, sin embargo, a aquellos hombres de ciencia, que ántes de esa época trataron de utilizar el calor desarrollado por poderosas baterías, en la reducción de ciertos minerales. Tal, por ejemplo, Napier que en 1845 produjo un pequeño arco, en un crisol de plombajina, i Depretz, que en 1848 ideó un reducido tubo de carbon vegetal de unos 25 a 30 milímetros de longitud, haciendo pasar, a través de él, una corriente eléctrica originada por 600 pares Bunsen. Bien se puede imaginar que si, con los medios actuales de producir la corriente eléctrica, aun nos parecen éstas carísimas, qué no sería cuando Depretz tuvo que emplear 600 pares Bunsen para desarrollar en espacio tan limitado como lo es un tubo de carbon de 25 a 30 milímetros una altísima temperatura. Seguramente que aquellos académicos de la de Ciencias de Paris no pensarían que trascurrido poco mas de medio siglo se habían de fundir mas de 15 toneladas de acero de una sola vez, en un horno de arco, produciendo un metal incomparable, partiendo de otro que, por las impurezas en él contenidas, sólo hubiera tenido aplicación en objetos sin importancia. Después de 1867, en que tomó forma la dinamo, los experimentos para utilizar la energía calorífica del arco son mas frecuentes.

Sir Williams Siemens empezó en 1878 sus experiencias para fundir los metales en un horno de arco, de dos tipos: el primero en el que la corriente pasaba entre dos conductores verticales, i el segundo en el que los electrodos eran horizontales. El cuerpo del horno le constituía, en el primer caso, un crisol de grafito. En el aparato vertical el arco pasa a través de la carga, mientras que en el de electrodos horizontales, el calor obra sobre aquella por radiación. Siguiendo un orden cronológico, apuntaremos que en 1883 Faure obtuvo la patente de un horno eléctrico del tipo de resistencia en el que se enjendraba el calor, haciendo pasar la corriente por conductores sólidos, embebidos en la carga del aparato. Los hermanos E. H. i A. H. Cowles dieron forma a este tipo haciendo pasar la corriente eléctrica a través de grueso polvo de carbon vegetal o gas de esta sustancia. La aplicación que se dió a esta clase de horno fué principalmente la de reducir los óxidos de aluminio, calentando una mezcla de alúmina i carbon con cobre o algun otro metal, que se alie con el aluminio. En el año 1886 Hall i Héroult tomaron patentes para la producción del aluminio, i sus métodos, tal como ahora se emplean, se reducen a hacer pasar una corriente eléctrica a través de los compuestos fundidos de aluminio: la acción electrolítica de la corriente pone en libertad el aluminio contenido en aquéllos. El calor de la corriente los mantiene líquidos. Moisan con sus clásicos experimentos, encaminados a la producción del diamante, dió un paso grandísimo, marcó un progreso considerable en el horno eléctrico. Aspirando a la obtención de altísimas temperaturas, convertía doscientos o trescientos caballos eléctricos, en

energía calorífica, en un volúmen o espacio reducidísimo, de unos pocos centímetros cúbicos. I a la enormísima temperatura producida en su horno, todo se funde o se volatiliza. I naturalmente, debido a estos efectos, el pequeño horno por él empleado, se compone de dos trozos de cal i dos piezas redondas de carbon o electrodos, a los que están unidos los cables de la dinamo.

Con este aparato logró Moissan fundir i poner en estado de ebullicion casi todos los cuerpos. Mas tarde se obtuvieron por Wilson i en un horno de arco los carburos de calcio, el horno era un simple crisol de hierro, cuya base se revestía de carbon. La del crisol estaba unida a uno de los polos de la dinamo o del trasformador, i el otro polo iba a conectarse con el electrodo vertical suspendido dentro del crisol. Además del de calcio, se obtuvieron en el horno eléctrico algunos otros carburos, i entre ellos el mas importante logrado es el carborundo o carburo de silicio, producido por Acheson en un horno de resistencia consistente en dos paredes fijas que soportan, cada una de ellas, un gran *manejo* de barras de carbon, unidas en su extremo exterior al horno a una prensadora de bronce. A estas prensadoras van a parar las puntas de los cables de la dinamo o del trasformador. Entre estremos interiores de los manejos de cilindros de carbon, sirve de conducto a la corriente una alma de carbon en polvo, i no fundiendo la carga del horno, el alma permanece en su sitio hasta el fin de la operacion.

El carborundo se produce, como es sabido, colocando una mezcla de arena i coke con pequeñas cantidades de serrin i sal en la cámara del horno i rodeando el alma de carbon de que ántes hemos hablado. La silice es reducida por el carbono, obteniéndose el silice que luego se combina con el carbono, formando el carburo de silicio o carborundo.

Otra de las mas grandes i útiles aplicaciones del horno eléctrico ha sido la obtencion del ácido nítrico, tomando los elementos de este cuerpo de la atmósfera i uniéndolos químicamente. La combinacion del oxígeno i del ázoe en el horno eléctrico fué descubierta por Priestley i Cavendish hace mas de cien años; i las esperiencias de Crookes en 1893 demostraron la posibilidad de utilizar esta reaccion para fabricar el ácido nítrico i los nitratos que de tan manifiesta utilidad son en las faenas agrícolas i en la fabricacion de pólvoras i esplosivos.

Un gran número de sistemas se ensayaron durante los años de 1895 a 96; mas el que tuvo todos los caracteres prácticos que aseguró su éxito comercial, fué el de Birkeland i Eyde, inventado en 1903 i que se desarrolla con preferencia en Noruega. Mas tarde otros métodos vinieron a sumarse a éste, mui especialmente los de Pauling i Schönherr, i actualmente en muchos países (i tambien en España se disponen de ello) se emplea lo que se llama el método sintético para obtener de la atmósfera el ácido nítrico i mas tarde los fertilizadores del suelo, empleándose en esa obtencion algunos cientos de miles de caballos.

Mas hoy día se ofrece un brillante porvenir al horno eléctrico en el campo de la metalurgia jeneral i muy especialmente en la del hierro. En ese dominio de la metalurgia jeneral se ha demostrado que no hai metal que no pueda ser reducido por el carbono, en virtud de la altísima temperatura en él producida. I si nos fijamos especialmente en la del hierro, observaremos que todos, absolutamente todas las operaciones hoy verificadas en los hornos i aparatos corrientes, desde la reduccion del mineral en el horno alto, hasta el simple calentado para la forja o algun tratamiento térmico sencillo, se pueden efectuar en el eléctrico con notable ventaja del metal, ya que no con la misma economía. Ciertamente es que hasta ahora los aparatos empleados en la electrometalurgia del hierro i del acero no pueden competir en capacidad de produccion con las corrientes de energía calorífica jenerada por un cuerpo combustible, e indudablemente si ha de existir una competencia real i efectiva entre ámbos tipos de aparatos, el eléctrico debe ser de gran capacidad. Quizá la electrometalurgia del hierro i del acero está condicionada por la posibilidad de construir grandes hornos eléctricos, poderosos, de gran produccion i de alta eficacia. Se puede asegurar que el problema de fabricar eléctricamente el hierro colado i el acero, es esclusivamente eléctrico i económico, porque todo cuanto se relaciona con la reduccion de los minerales i el afino i refino del acero, se resuelve mas sencillamente en el eléctrico, libre por completo de las perturbaciones de las atmósferas oxidantes i reductoras, que tanto pueden dañar la calidad del metal. Mas aun, los aparatos eléctricos han demostrado la posibilidad de fundir muchos minerales de hierro, que se manifiestan refractarios en el horno alto, produciéndose, de consiguiente, algunas variedades, hasta ahora no logradas en este último.

Al efecto se pueden citar los experimentos verificados en Sault Ste. Marie, Estados Unidos, con la pirrotita calcinada i la produccion del ferro-níquel: la reduccion electrotérmica del mineral titanífero alcanzada por Mr. A. J. Rossi, de Nueva York, por Mr. Gustavo Gin, por la Comision canadiense, en Sault Ste. Marie, i especialmente los valiosos experimentos con la ilmenita, hechos por los señores A. B. Greene i F. S. Mac Gregor, en el laboratorio electroquímico del Instituto Tecnológico de Massachusetts.

Abandonando ahora estas consideraciones que tendremos ocasion de desarrollar mas adelante, i continuando con la rápida historia del horno eléctrico, diremos que el exceso de produccion sobre la demanda del carburo de calcio, fué motivo de que los fabricantes de este producto tratasen de utilizar sus hornos eléctricos en la obtencion de otras materias, i hacia el año 1900 se verificaron experimentos en Francia i en otros paises, aspirando a producir el ferrocromo, el ferrosilicio i las demas aleaciones del hierro con otros metales, i ocurrió que el éxito mas completo coronó las es-

periencias, resultando en muchos casos el procedimiento eléctrico mas económico que el hasta entónces seguido.

No hai para qué decir aquí la grandísima importancia que en la metalurgia del acero tienen las aleaciones del hierro con otros metales i algun metaloide, i no sólo las empleadas para desoxidar el baño, como el ferromanganeso i el ferrosilicio, sino aquellos otros que como el ferroníquel i el ferrocromo, por su incorporacion al acero fundido de los metales cromo i níquel, exaltan determinadas propiedades del acero al carbono, haciendo posible metales que, con reducidas dimensiones, sean capaces de oponerse a esfuerzos considerables.

Merced a estas aleaciones, i a tratamientos térmicos determinados, ha sido posible fabricar para el material de guerra i marítimo, para los automóviles, para los motores de aviacion, un metal de una resistencia i de unas condiciones que hace treinta años hubieran parecido, si no imposibles, difícilísimas de lograr. I otro tanto se puede decir del ferrotungsteno i del ferromolibdeno. El primero ha tenido desde hace unos cuantos años aplicacion grande para fabricar los cada vez mas usados aceros de herramientas de corte rápido; el ferromolibdeno, ademas de comunicar al acero simplemente al carbono las mismas propiedades que el tungsteno, se utiliza en la fabricacion de proyectiles perforantes i de Artillería. Los hornos eléctricos empleados en la fabricacion del carburo, como estaban revestidos de carbon, pudieron adaptarse a la produccion de estas aleaciones, toda vez que eran productos mui carburados, aunque hubiera convenido que no lo fueran, pues de este modo se incorporaria al acero, exclusivamente, la cantidad de la sustancia que se deseaba, sin ir acompañada de una corta dosis de carbono.

De todos modos fué preciso introducir ciertas modificaciones en aquellos hornos de carburo de calcio ántes de poder utilizarlos en la produccion del acero.

En Francia Héroult i en Suecia Kjellin, lograron adaptar el horno a la produccion de acero de buena calidad, obtenido de chatarra de acero i de hierro colado, consiguiéndose producir buen acero de crisoles i aleaciones especiales de una manera económica. La fecha en la que se tomaron las patentes por estos precursores de la electrometalurgia del acero, solo data del año 1900, un siglo próximamente despues del descubrimiento del arco voltaico. Sin embargo, dos años ántes, el comandante Ernesto Stassano habia obtenido patentes en Italia para un horno eléctrico de fundir minerales de hierro, i al año siguiente demostró la posibilidad de su sistema, aunque se produjo una cierta sorpresa en el mundo técnico al conocer este resultado, porque aun cuando no se dudaba un momento de la posibilidad de fundir los minerales de hierro en el horno eléctrico, se suponía que el costo tan grande que tiene la enerjía eléctrica habia de hacer enteramente prohibitivo este sistema de reduccion i fusion de los minerales de hierro.

Es que la mayor parte de las veces no se percatan las jentes de que el costo de la enerjía eléctrica varía enormemente al ser tomada en pequeñas cantidades o de adquirirla en grande.

Lo cierto es que los trabajos de Stassano, i los de cuantos se ocupaban en Europa en producir las aleaciones del hierro con el níquel, cromo, tungsteno, molibdeno, silicio i otros, llamaron la atencion de los Gobiernos de ciertos países que, como el de Canadá, disponen de grandes saltos de agua, capaces de jenerar la enerjía eléctrica a bajo precio, i en los que sería convenientísimo desarrollar la electrometalurjia, i con tanto mas motivo, cuanto que carecen de grandes yacimientos de combustibles minerales. Este interes movió al Gobierno canadiense a enviar una Comision a Europa, que estudió los procesos electrotérmicos de reduccion de los minerales i de fabricacion del acero en los hornos de Héroult, de Keller, de arco i en el de Kjellin, de induccion. El jefe de la Comision canadiense, que lo fué el Dr. Haanel, convencido, por lo que vió i observó en Europa, de la posibilidad de obtener excelentes resultados en el Canadá, logró del Gobierno de su país que se emprendiesen esperimentos dirigidos por alguno de los inventores europeos. I al Canadá se trasladó mister Paul Héroult, quien durante la primavera del año de 1906 realizó una serie de tentativas en Sault Ste. Marie, fundiendo minerales de hierro canadienses.

Otras dos instalaciones se pusieron en trabajo en América: la una en Héroult-on-the Pitt, en California, i la otra en Welland, en Ontario, Canadá. La instalacion californiana no tuvo una marcha francamente buena: hubieron de hacerse muchas modificaciones en el horno, consumiendo esos tanteos dos años, hasta que se llegó a una disposicion ideada por el profesor D. A. Lion, que tuvo éxito completo. Tampoco el horno de Welland en el Canadá tuvo una buena marcha i hubo de abandonarse la reduccion i fusion de los minerales de hierro para dedicar el aparato a la fabricacion de las aleaciones.

Suecia i Noruega ofrecen condiciones escepcionales para la reduccion i fusion en el horno eléctrico de los minerales de hierro. Ambos países escandinavos, por la abundancia de sus saltos de agua; Suecia, ademas, por sus incomparables minerales. I en Suecia, una vez que fueron conocidos los trabajos del Dr. Haanel, los señores Grönwall, Lindblad i Stalhane estudiaron la manera de montar comercialmente esta fabricacion. Un horno de 700 caballos, en Domnarfvét, en el año 1908, les dió satisfactorios resultados, i dos mas tarde, en 1910, se erijió otro de 2,500 caballos, en Trollhättan, que funciona a completa satisfaccion. Aun se han estendido, tanto en Suecia como en Noruega, hornos de mayor capacidad, que han dado carácter de permanencia i de éxito comercial a esta nueva industria. La obtencion del acero en el horno eléctrico mediante el sistema Martin, es decir, disolviendo en un baño de hierro colado productos ferrosos de la clase de hierro o acero, se viene practicando con éxito comercial desde 1902;

mas bien sea debido a la gran cantidad de energía consumida, precio de fusión de la carga o a otras causas, pero en nuestro concepto a la primera con especialidad, se ha creído mas conveniente emplear el horno eléctrico en el año propiamente dicho de la carga, transfiriendo ésta una vez líquida desde el convertidor o el Siemens al aparato eléctrico. I ya desde 1908 funciona en South Chicago un horno Héroult de 15 toneladas. El de inducción de Kjellin, que era a propósito para fundir el acero, no resultó tan conveniente para el afino; pero mas tarde, en 1907, la invención de otro horno, fundado en el mismo principio, por Rodenhauser, que combinaba la inducción con la resistencia, hizo posible el empleo del aparato de Kjellin en el refinado del acero, extendiendo su empleo en la electrometalurgia de este metal. La producción directa del acero tratando los minerales de hierro en el horno eléctrico, que como ya hemos dicho fué comenzada por Stassano en 1898, no se ha desarrollado tanto como era de esperar. Sin duda ha ocurrido en la electrometalurgia del hierro lo mismo que en la ordinaria, que a pesar del buen éxito de algunos sistemas de obtener el hierro por métodos directos, éstos no se han continuado i sigue predominando el procedimiento indirecto de obtener primeramente un sistema muy carburado, que se afina i refina mas tarde por procedimientos varios en el convertidor Bessemer o en el horno Siemens.

Esto no obsta para que se hayan ejecutado trabajos en la misma dirección que los de Stassano por I. W. Eraus i Stansfield, haciendo augurar buenos resultados las experiencias hasta ahora verificadas. También se ha tratado de fundir eléctricamente los minerales de zinc en el horno por Cowles en 1885, i Laval tomó sus patentes para un aparato destinado a este efecto en 1902. No se han limitado a estas dos tentativas los ensayos. En Suecia trabaja un horno modificado del Laval, pero se asegura que con éxito sólo parcial. W. M. C. A. Johnson, que ha laborado diez años en este problema, pretende que lo ha resuelto. También Stansfield ha hecho algunos trabajos de laboratorio en 1910, por cuenta del Gobierno canadiense, i se está ensayando en escala mayor en las fábricas del Gobierno en Nelson, Colombia británica. Se experimenta también el horno eléctrico en la metalurgia del cobre i del níquel, encontrándosele bastante satisfactorio; al tratar los minerales de cobalto, se han notado dificultades con los arseniuros de plata.

#### EL HORNO ELÉCTRICO

Hecha esta brevísima reseña histórica del empleo del horno eléctrico en la metalurgia, especialmente en la del hierro, haremos ahora una ligera clasificación de los aparatos eléctricos en jeneral, ántes de abordar el objeto principal de este trabajo: el estudio del horno eléctrico, tal como se

emplea en la siderurgia en todos los procedimientos, reduccion i fusion de los minerales para obtener el lingote; reduccion i fusion de estos minerales con produccion directa del acero, i, por último, afino i refino de los productos carburados para obtener los aceros, desde los mas duros de herramientas hasta los extrasuaves. Definiremos primeramente qué es el horno eléctrico. Tomado éste en su significacion mas sencilla, es un espacio mas o ménos grande, limitado por paredes de material refractario i con tan escasa conductibilidad calorífica como sea posible, i en cuyo interior, i mediante órganos apropiados, la energía eléctrica se convierte en calor. Esta conversion, claro está, como destinada a usos industriales, ha de hacerse de manera práctica i conveniente. La conversion i trasformacion de la energía eléctrica puede efectuarse de dos maneras: o haciendo pasar esta corriente a traves del material, que si es conductor de electricidad recibirá el calor i elevará su temperatura, o llevando la corriente a traves del aire mediante dos electrodos colocados cerca del cuerpo, cuya elevacion de temperatura se desea por radiacion. Si bien es una sola la manera de transformar la energía eléctrica en calorífica, los aparatos para operar esta trasformacion pueden ser de tres clases: 1.<sup>a</sup> Aquellos en los que los materiales que han de ser calentados están unidos a los terminales de un jenerador. Los hornos de este tipo se llaman de resistencia. 2.<sup>a</sup> Aquellos en los que la corriente eléctrica pasa de un electrodo a otro, bien atravesando los materiales que han de ser calentados, o trasmitiéndolos el calor por radiacion. Los aparatos de esta clase se denominan hornos de arco; i 3.<sup>a</sup> Aquellos en los que el calor es comunicado, o mas bien enjendrado en la masa por corrientes inducidas, disponiendo el metal de manera que forme el circuito secundario de un transformador. Estos son llamados hornos de induccion.

Aun cabe hacer una clasificacion algo mas detallada de los aparatos eléctricos, dividiéndolos en cinco clases o grupos en la forma siguiente: 1.<sup>o</sup> El horno de resistencia en el cual la corriente es llevada directamente al material que debe ser calentado mediante sólidos contactos que son conductores. 2.<sup>o</sup> Hornos fundados en el de Siemens de crisol en el que la corriente eléctrica va desde un electrodo atravesando la masa que ha de ser calentada i sale a traves del fondo conductor del horno a buscar el otro terminal. 3.<sup>o</sup> Hornos de arco en los que la corriente va desde un electrodo a traves de material conductor, i de éste al otro electrodo, unido al segundo terminal del conductor. 4.<sup>o</sup> Hornos de arco fundados en el pequeño horno Siemens, en el que el arco se forma entre los dos electrodos de carbon, i no atraviesa los materiales que ha de calentar, i, por tanto, el calor recibido por aquellos lo es por radiacion. 5.<sup>o</sup> Hornos de induccion, en los que la corriente que debe ser trasformada en calor es inducida mediante la influencia magnética en la masa que ha de ser calentada o fundida, i que forma de esta suerte la corriente secundaria de un transformador estático. Este tipo de horno, cuya idea orijinal pertenece a Ferranti, fué llevada a

la práctica por Kjellin, primeramente, perfeccionándose mas tarde por otros inventores.

Como dice mui bien el comendador Stassano, conviene hacer notar que en estos aparatos u hornos eléctricos, la energía eléctrica juega un solo papel i en el órden físico exclusivamente el de suministrar calor para fundir o calentar los materiales introducidos en él, i contribuyendo mediante esta elevacion de temperatura a que se verifiquen las reacciones químicas que son requeridas.

I desde el momento en que la trasformacion de la energía eléctrica en calor se verifica siempre de la misma manera, estos aparatos, desde el punto de vista metalúrgico, tienen que estimarse como hornos corrientes i ordinarios. Ninguno de los aparatos ahora en uso descansa en principios que no fueran perfectamente conocidos en el tiempo de su aparicion, i, por lo tanto, su valor comercial i técnico obedece exclusivamente a los detalles de construccion, en tanto que éstos contribuyen a la mejor utilizacion del nuevo orijen de energía calorífica. Sin parar mientes en otras ventajas de los hornos eléctricos, especialmente de los dedicados a la fusion de los metales, resulta en ellos una ventaja importantísima cuando se les compara con los alimentados por combustibles sólidos i gaseosos. No hablemos del de viento antiguo, empleado todavía en la fusion del acero en crisoles, i de otros metales o aleaciones, como el cobre, el bronce i el laton, o el de pudelar, ámbos con eficiencias o rendimientos caloríficos que exceden mui poco de 2 por 100; los hornos Siemens, a pesar de los rejeneradores de calor, aun envian sus gases a la chimenea con temperaturas realmente altas, mui superiores ciertamente a la necesaria para realizar el tiro. Quizá el horno alto moderno sea el que mas se aproxime al eléctrico en su rendimiento calorífico.

I es que en este último no hai gases que llevan consigo, al abandonarle, escepto en los tipos dedicados a la reduccion i fusion de los minerales de hierro, una cierta cantidad de calor: en el eléctrico no hai mas pérdidas de calor suministrado por la energía eléctrica que las debidas a la elevacion de temperatura de las paredes del horno, i a las de conduccion, conveccion i radiacion, a traves de estas mismas paredes. Estas pérdidas son inevitables conviniendo reducirlas a un mínimo, empleando, en la formacion de las paredes, aquellos materiales que, despues de cumplir con las imprescindibles condiciones de ser eminentemente refractarios i apropiados a las reacciones químicas que dentro del horno han de verificarse, reúnan en el mas alto grado posible las de falta de conductibilidad. Las pérdidas de calor de un horno eléctrico dependen principalmente de la conductancia termal de las paredes, modificada por la que se conoce con el nombre de resistencia de contacto, entre el exterior de las paredes del horno i el aire que las rodea, i entre el interior de las paredes i los gases calientes u otros materiales en el interior del aparato. Si, por ejemplo, los gases en el inte-

rior del horno eléctrico tuviesen una temperatura de  $1,500^{\circ}$  C. i el aire exterior la de  $20^{\circ}$  C., el interior de las paredes del horno no se encontraría a  $1,500^{\circ}$  C., sino a una temperatura mas baja, como la de  $1,450^{\circ}$  C. i las del exterior no estarían a  $20^{\circ}$  C., sino a una mas alta temperatura de  $100^{\circ}$  C. por ejemplo.

Las diferencias señaladas entre las temperaturas de los gases i del aire i las de las paredes con las que se encuentran en contacto, son debidas a la resistencia termal en el contacto, i la corriente de calor a través de la pared es menor que lo sería si el interior de la pared del horno estuviese a  $1,500^{\circ}$  C. i la exterior a  $20^{\circ}$  C. Esta pérdida por conduccion es la trasferencia del calor por movimiento molecular a los cuerpos inmediatamente adyacentes, tales como las paredes i el aire que rodea al horno, mientras que la pérdida por radiacion es la salida de calor del horno por vibraciones en el éter luminoso. El calor radiante pasa con pérdida reducida a través del aire i otros gases, pero es reflejado en parte i grandemente absorbido cuando encuentra en su camino sustancias sólidas o líquidas. La pérdida de calor por radiacion es mui pequeña cuando se verifica desde metales pulimentados, i difiere considerablemente, segun las diferentes clases de aquéllos i su grado de pulimento; pero si la radiacion se efectúa desde cuerpos no trabajados, tales como la superficie del hierro colado, como queda en la fusion, i pintado de negro, o la mampostería de ladrillo, de la que se construyen los hornos, la pérdida por unidad de tiempo es casi independiente de la naturaleza de la superficie radiante. Se pueden apuntar dos datos de este particular: 1.º, que la pérdida por unidad de superficie de un cuerpo a la temperatura de  $100^{\circ}$  C. colocado en el vacío, de manera que no haya pérdida por conveccion i rodeado de cuerpos que se encuentran a  $0^{\circ}$  C. es próximamente de 0,015 calorías gramos por segundo i por cada centímetro cuadrado de superficie radiante. Se ha encontrado tambien que la pérdida por unidad es proporcional a la diferencia entre las cuartas potencias de la temperatura absoluta del cuerpo caliente i la de las que le rodean, i de aquí naturalmente se deduce, que es posible calcular la pérdida por radiacion de un cuerpo caliente, si es conocida su temperatura i la de los cuerpos que la rodean i reflejan o radian aquella. En los últimos años se han hecho interesantísimas esperiencias, en cuanto concierne a la determinacion lo mas exacta posible de las pérdidas ocasionadas en los aparatos metalúrgicos, por conduccion, por conveccion i por radiacion; hace quince o veinte años en los estudios de rendimiento calorífico que de los aparatos térmico-metalúrgicos se efectuaban, por falta de datos positivos en que basarse no se determinaban con exactitud las pérdidas por conveccion i radiacion; jeneralmente cuantos se ocupaban en estos problemas se limitaban esclusivamente a fijar las pérdidas por conduccion, que se determinaban por métodos no mui perfectos. Mr. Fitz Gerald construyó un horno experimental de forma cúbica i de 12 centímetros de lado,

las caras interiores i con ladrillos de 64 milímetros de espesor, para determinar las pérdidas de calor a través de las paredes de los hornos. El horno estaba calentado por una resistencia de níquel-cromo, midiéndose su temperatura interna que correspondía a cada medida definida de producción de calor. Se hicieron pruebas con el horno, variando la clase de ladrillos refractarios.

Sabemos que cuando una corriente pasa a lo largo de un conductor se enjendra un campo magnético en el conductor i alrededor de él. El eje de este campo magnético sigue la línea de dirección de la corriente, i desde el momento en que ésta línea es jiratoria, el campo magnético es tambien jiratorio. La figura de forma elíptica nos da la representación gráfica del campo magnético resultante, cuyas ordenadas verticales i horizontales son las verticales respectivamente de las curvas V V i H H. No hai dificultad ninguna en determinar el valor de la resultante en cada momento del ciclo, toda vez que son conocidos los valores de los componentes en función de las líneas trigonométricas, seno i coseno del ciclo i de las resistencias de arco i de la solera. Estas tienen respectivamente como valor:

$$\frac{E}{R_A + R_H} = (\text{sen } \pi - \text{cos } \pi) \cdot i \frac{E}{2 R_A} = (\text{sen } \pi + \text{cos } \pi).$$

El efecto de hacer pasar corrientes alternativas a través de un horno como sucede en el elektrometall, es enjendrar en el baño en campo magnético jiratorio de que acabamos de hablar, i desde que aquel es movible, debe moverse con el campo imprimiendo de esta suerte una circulación vertical en el baño cuyos efectos térmicos, mecánicos i químicos hemos hecho notar anteriormente.

Pasemos ahora a ocuparnos del aspecto puramente metalúrgico en este horno. Describiremos brevemente una operación, siendo ésta la mas común i corriente de aquéllas en que puede ser utilizada. Supongamos que se trata de fundir i refinar la chatarra ordinaria para convertirla en acero de calidad superior. Se comienza por repasar lijaramente el revestimiento del horno, como se hace en los ordinarios despues de colar, e inmediatamente se carga la chatarra de hierro colado o acero, con preferencia esta última de calidad ordinaria, con dosis de fósforo i azufre alrededor de 0,10 por 100. Terminada la carga, se da la corriente, bajándose los electrodos hasta que se establezca el arco entre ellos i la parte superior de aquélla. Se pone especial cuidado en que la corriente permanezca constante, haciendo uso bien de los reguladores a mano o de los automáticos, segun la capacidad del horno. El intensísimo calor local desarrollado por el arco, funde en escaso tiempo el metal inmediatamente debajo i alrededor de cada electrodo, los que se hacen descender a medida que el hueco crece

hasta que se forma un baño de metal fluido en el fondo del horno. Este baño aumenta en profundidad i en estension toda vez que, por efecto de la trasmision del calor, otras porciones de la carga tambien fundidas vienen a sumarse a las primeramente liquidadas. Como consecuencia de esto, los electrodos empiezan a elevarse a medida que el nivel del baño metálico sube, i una vez alcanzado el casi ordinario del baño, el fundidor rejistra con una barra las paredes i suelo del horno, desprendiendo las partes de la carga a ellas adheridas, para que se incorporen a la masa líquida i terminar su fusion. La escoria afinadora del baño se carga unas veces con la chatarra, i otras durante el período de fusion. Destinada a eliminar el fósforo i azufre, tiene que ser forzosamente de naturaleza básica, pues sabido es que una escoria en la que la sílice tiene una dósís alrededor de 30 por 100 es incapaz de retener el fósforo oxidado. La destinada a la separacion del fósforo i azufre se compone de espatofluor, cal, algo de arena, óxido de hierro o escorias procedentes de la forja con martillo. El óxido de hierro está destinado a oxidar el fósforo i azufre, carbono, silicio i manganeso del metal, i la arena a formar el ácido del silicato fusible que ha de constituir la escoria. Esta, como es consiguiente, flota sobre el baño i ejerce su accion química sobre el metal. El óxido de hierro oxida el carbono de la chatarra, formando el óxido de carbono, que por su carácter gaseoso, al atravesar el baño, lo remueve, contribuyendo a un contacto mas íntimo entre el metal i la escoria. El silicio i el manganeso al oxidarse quedan en la escoria disueltos. El fósforo, como ya hemos dicho, por la basicidad de la escoria, i por razon de la escasa dósís de sílice, es retenido en aquélla, formando un fosfato de cal. Una cierta porcion del azufre se oxida asimismo, i se desprende como óxido gaseoso. Pasado un cierto tiempo para que estas reacciones se verifiquen, se corta la corriente i se pone en movimiento el motor que voltea el horno, i se cuela la escoria, es decir, la mayor parte de ella en un caldero, i se acaba de sacarla con una herramienta adecuada. Con esta escoria queda eliminada la mayor parte del fósforo. Claro es que para saber hasta qué punto se ha decarburado el metal o eliminado el fósforo se hacen precisas ciertas pruebas rápidas o análisis colorimétricos.

Eliminada la escoria, se recarbura con adiciones de carburita i se introduce la segunda, destinada a terminar la purificacion del baño i especialmente la separacion del azufre. Esta segunda escoria se compone tambien de cal, espatofluor i arena. Como se ve, difiere de la primera en que no hai materias oxidantes, i funde al poco tiempo de dar de nuevo la corriente, cosa que no es de estrañar, dada la alta temperatura del baño. Debe hacerse notar, que, ademas del azufre, hai en el metal algo de óxido de hierro, orijinado por la oxidacion de la chatarra, durante la fusion, i de la escoria oxidante que se ha empleado para la eliminacion del fósforo. Hai que eliminar estos óxidos, i a este efecto se utiliza la propiedad de ser soluble el de hierro en la segunda escoria, en la que se incorpora hasta que

sea igual la potencia disolvente de los dos fluidos. Se elimina el óxido de la escoria por medio de la adición de carbon en polvo, de granos mui finos, siendo preferido el de antracita, que reduce el óxido de hierro en la escoria, creando al mismo tiempo una atmósfera reductora de monóxido de carbon en el horno. Con estas favorables circunstancias el óxido de hierro en el acero es eliminado progresivamente, quedando al fin libre de tan perjudicial elemento. Al mismo tiempo que la reduccion del óxido de hierro, se verifica la del azufre, obedeciendo a las mismas condiciones determinadas de la escoria. Se puede decir que es eliminado en su totalidad.

Terminado el refino del metal queda únicamente, para colar el acero en las lingoteras, verificar las adiciones de aquellos cuerpos que han de dar al metal las condiciones o propiedades físicas que se desean. La cantidad de la adición, por lo que respecta al carbono, la determina un análisis previo, tomando al efecto una muestra del baño. En cuanto a las de manganeso, silicio, como tungsteno o vanadio, la cantidad no depende sino del peso de la carga. Una pequeña adición de aluminio o una aleación de aluminio se hace al final con objeto de eliminar toda señal de óxidos o gases que aun pudieran quedar en el baño. A continuacion se efectúa la colada, trayendo la cuchara ante la puerta i haciendo oscilar el horno lo necesario.

#### CONDICIONES DEL TRATAMIENTO ELÉCTRICO PARA EL AFINO.—PORVENIR DE ESTOS HORNOS EN SIDERURJIA

Debemos insistir una vez mas en que las admirables condiciones del horno eléctrico para el refino del metal i la eliminacion en grado tan alto, de los tan perjudiciales metaloides fósforòs i azufre, son debidas en primer término al intensivo caldeo de la escoria, que es realmente el lugar donde se verifica el afino. La alta temperatura i la estremada fluidez de aquélla son causas de que la reaccion afinante sea mui grande, a causa de que la velocidad de la reaccion crece rapidísimamente en las altas temperaturas, i no es directamente proporcional a aquéllas. La escoria acentuadamente básica que se puede conservar en un estado mui fluido i la accion del carburo de calcio formado por la del arco en la escoria caliza, actúan ventajosamente para la desulfuracion. I a estas causas hai que añadir las ya anteriormente apuntadas al hablar de las ventajas que ofrece particularmente este horno, a saber: el efecto electromagnético, debido a la disposicion bifásica, produciendo una activa circulacion en el baño de metal fundido que facilita estraordinariamente las reacciones químicas.

No dejaremos de apuntar otra de las buenas condiciones del metal fundido eléctricamente, a saber, la ausencia total de cavidades. Se han atribuido por muchos las causas de estas cavidades, a la presencia del nitró-

jeno, desprendido siempre que se coloca un lingote en el baño i sea cualquiera el método o sistema mediante el cual se hubiera obtenido el acero crisol, horno Siemens o Bessemer u horno eléctrico. Ciertamente, las cavidades contienen ázoe, pero mas bien cabe suponer que sean debidas a la reaccion de los óxidos con el carbono, durante el enfriamiento, i a que el óxido de carbono así formado, a una alta temperatura, determina la formacion de las cavidades, i debido a la disminucion del volúmen, por efecto de lo bajo de la temperatura i de la presion, se produce un vacío parcial, i algun nitrógeno es aspirado del exterior a las cavidades, toda vez que estas se hallan tan inmediatas a las paredes exteriores del lingote. Como en el acero fundido i afinado eléctricamente se han eliminado los óxidos, de aquí que no presente cavidades. Es de advertir de una vez para siempre, que la gran ventaja del horno eléctrico, no es tanta la eliminacion del fósforo i del azufre, como la de los óxidos que contiene en los hornos alimentados con gas; en estos últimos se puede obtener un metal con dósís tan bajas de fósforo i azufre, que no le perjudiquen en sus propiedades físicas, bien se ensaye en caliente o en frio, mas siempre se producirá el acero con óxidos, tan perjudiciales cuando se trata de los cuerpos al choque.

¿Qué porvenir está reservado al horno eléctrico en la siderurjia, especialmente en cuanto se refiere a la fusion i refinó del acero? Por cuanto dejamos dicho, ha quedado demostrada la posibilidad de realizar en los diversos tipos, escepto en el primitivo Kjellin, las operaciones de fusion i refinó del acero hasta el punto de obtener un metal lo mas puro posible i bien sea partiendo del lingote de la chatarra de acero o de una mezcla de ámbos. Al verificarse la fusion i subsiguientes operaciones del refinó, en una atmósfera neutra, i cuando no neutra reductora, sin que jamas llegue a oxidante, la mayor temperatura que en estos aparatos es dado obtener, i su grandísima eficiencia son sus ventajas mas salientes i que permiten en ellos la obtencion de metales, que si bien no se diferencian casi nada de los procedentes de los hornos Siemens i convertidores Bessemer, en sus pruebas de traccion i compresion, son mui superiores en las de choque que ponen tan de relieve la fragilidad del metal.

El único gran inconveniente que se opone a la adopción universal de estos hornos es el elevado costo de la enerjía eléctrica jenerada por la combustion de la hulla; mas el dia que sea posible quemar los carbones menudos a boca mina, i trasportar la enerjía a una alta tension a los centros productores de acero, quizá se la pueda utilizar en condiciones económicas i en la fusion i refinó del acero. Dicho se está que allí donde es posible obtener la enerjía hidráulica a bajo precio, o menor que la orijinada por la combustion de la hulla, allí están indicados los hornos eléctricos, sin discusion ninguna. I así se ve que despues de haber vencido todas las dificultades técnicas que en un principio se ofrecieron, los hornos eléctricos se han multiplicado de tal manera que, como creo haber manifestado

anteriormente, sumaban 471 en Febrero de este año i seguramente que ya pasan de 500. Ya no cabe dudar que allí donde la enerjía es barata como en Suecia o Noruega, los aparatos eléctricos han sido no sólo un éxito técnico, sino comercial tambien. I lo han sido tambien comercial en Sheffield, donde los fabricantes progresivos de acero para útiles, aquellos que no creen en el «cuerpo» que la fusion en crisol comunica al acero de herramientas, han adoptado el horno eléctrico como mas económico que el de viento con su menguada eficiencia que, como la del de pudelar, no pasa mucho de 2 por 100, miéntras que la del eléctrico alcanza la cifra de 76 por 100, no superada ni aun por la del lado horno, el aparato de mas rendimiento calorífico de los que emplean el carbon, como oríjen de enerjía calórica.

Pero la mayor ventaja que puede alegar el horno eléctrico, respecto de los aparatos actualmente empleados en la siderurjia, es la de obtener metales exentos de productos oxidados, ciertamente los mas perjudiciales al acero, difíciles si no imposible de determinar, i cuya presencia se pone de relieve por métodos indirectos. Son óxidos, indudablemente, de hierro, de manganeso, de silicio i de carbono i silicatos de los dos metales. No hai método seguro para la determinacion del oxígeno, i respecto del silicio no está bien determinada su manera de ser en el acero, si en forma de siliciuro de hierro o de manganeso, si como ácido silícico o silicato, formas éstas dos últimas en la que es mas perjudicial.

Hasta qué punto se beneficia el metal por la eliminacion de los productos oxidados, no es fácil determinarlo con exactitud, toda vez que es imposible fijarlos por el análisis químico; en las pruebas de traccion i compresion, ya hemos dicho que es imposible precisarlas; en este ensayo, dos aceros, uno obtenido eléctricamente i otro por los métodos usuales, si tienen la misma composicion química, ofrecen el mismo resultado; sólo en las de choque se manifiesta la superioridad del eléctrico, i en alto grado, como lo demuestran los ensayos verificados en las pruebas de recepcion de los entregados al Gobierno prusiano en 1909. Tambien se hace manifiesta la influencia de estos óxidos en el trabajo en caliente de los lingotes, durante las operaciones de forja i laminado, i causadas por no estar aquellos exentos de sopladuras i de las manchas i otros defectos que aparecen en la superficie i aun en el interior de los lingotes.

En 1908 i en 1909 se hicieron esperiencias en el arsenal de Watertown en los Estados Unidos, con el fin de determinar, si era posible, la naturaleza de pequeñas manchas, de materia estraña, puestas en evidencia, en secciones pulimentadas, por una lente de cierta potencia. Se supuso en un principio que estaban formadas por sulfuro de manganeso, pero mas tarde se atribuyeron, con mayor fundamento, i en gran parte, al ménos, a ser núcleos de los productos oxidados, de que ántes hemos hecho mencion. Eran demasiado pequeñas para reunir algunas i someterlas a un análisis cuantitativo.

Dos hipótesis se adelantaron respecto a la presencia de tal materia en el interior del lingote: la primera, que tomaban cuerpo por la agregación de los productos de la oxidación, i la otra, que se habían mezclado mecánicamente con el metal por mezcla violenta, especialmente la debida a la operación de colar. En el caso de admitir esta hipótesis, los productos de la oxidación están prácticamente disueltos en el acero, o por lo ménos diseminados tan finamente, que sean invisibles. En los lingotes examinados en el Arsenal o Parque de Watertown, el metal del interior, que quizá hubiera permanecido fluido quince minutos mas que el de las primeras capas en contacto con las paredes de la lingotera, tenían sólo unas fracciones por unidad de superficie de las que presentaban las capas inmediatas a las en contacto con la lingotera, indicando con esto que el tiempo actúa de manera beneficiosa i esencial en la eliminación de tan perjudiciales partículas.

Quizás en el Siemens por un tratamiento adecuado del baño i la escoria i prolongando algun tiempo mas la permanencia del metal en el horno, i por supuesto bajo la acción de una atmósfera reductora, podrian rebajarse a un mínimo estos productos oxidados, con notable beneficio de la calidad del metal.

En cuanto se refiere a la eliminación del fósforo, importa decir que el horno eléctrico purifica, en el mas alto grado, al acero de este perjudicial metaloide; mas la diferencia en este punto concreto entre este aparato i los ahora empleados Bessemer u horno Siemens básicos, no es mui grande i conduciendo el refino bien en estos últimos, el fósforo que quede no tiene influencia nociva en las condiciones físicas i mecánicas del metal. En un acero de baja o dosis media de carbono, en el que el fósforo sea 0,01 o 0,02 por 100 no afecta a su calidad. No es lo mismo en los duros i en los de herramientas. Lo mismo puede decirse del azufre. Este metaloide, de tanta influencia durante el trabajo en caliente, casi la tiene mas para el fabricante que para el comprador; sin embargo, para éste no es menor, cuando lo ha de forjar o estampar i trabajarle en caliente de alguna manera.

Estas últimas consideraciones se refieren al acero estructural, al comun i corriente, al que está sometido a no mui altos coeficientes de trabajo; pero aquellos otros destinados a ejes de locomotoras i de vagones, de ruedas para los mismos vehículos, i los consagrados a empleos semejantes, deberian fundirse i refinarse en el horno eléctrico.

No hablemos ya de los aceros de herramientas, sean simplemente al carbono o de corte rápido: para éstos debe emplearse el horno eléctrico sin discusión ninguna. I los aceros especiales, al cromo i al níquel i al vanadio,

de uso cada vez mas estendido, en la Artillería, en la aviacion; en el automovilismo, deben ser fundidos i refinados en el horno eléctrico.

I aquí damos por terminada nuestra labor de hoi, esperando continuárla en ocasion oportuna para ocuparnos de los hornos altos.—He dicho.



## Ultimas leyes promulgadas

### Suspension de denuncios petrolíferos

*Santiago, 6 de Junio de 1917.*

Lei N.º 3242.—Por cuanto el Congreso Nacional ha dado su aprobacion al siguiente.

#### PROYECTO DE LEI:

«ARTICULO ÚNICO.—Se suspende durante dos años contados desde la promulgacion de esta lei, la manifestacion de sustancias petrolíferas en terrenos del Estado o de las Municipalidades.

Es propiedad del Estado el yacimiento petrolífero descubierto en Chintaguay.

Serán igualmente de propiedad del Estado los yacimientos petrolíferos que se descubran en los terrenos del Estado o de las Municipalidades mediante investigaciones hechas por cuenta del Fisco.

La propiedad minera del Estado en los yacimientos a que se refieren los dos incisos precedentes, tendrá la estension superficial que fije el Presidente de la República previo informe de peritos, a fin de que comprenda todo el horizonte petrolífero respectivo.

Esta lei rejirá desde la fecha de su publicacion en el *Diario Oficial*.

I por cuanto, oido el Consejo de Estado, he tenido a bien aprobarlo i

sancionarlo; por tanto ordeno se promulgue i lleve a efecto como lei de la República.

Santiago, a seis de Junio de mil novecientos diez i siete.—JUAN LUIS SANFUENTES.—*Ramon Leon Luco*.—Lo que trascibo a Ud. para su conocimiento.

Dios guarde a Ud.

LUIS SALINAS.

Al Presidente de la Sociedad Nacional de Minería.



# Sociedad Nacional de Minería

Casilla núm. 1807 — SANTIAGO— Moneda 759



## Obras en venta:

### Estadísticas

<i>Egaña.</i> —Informe anual sobre las minas de Chile en 1803.....	\$ 5.00
<i>Hermann, Alberto.</i> —La producción en Chile de los metales i minerales mas importantes, de las sales naturales, del azufre i del guano, desde la conquista hasta fines de 1902.....	5.00
Estadística Minera de Chile.—Volúmen I. Año de 1903.....	5.50
» » » — » II. de 1904-1905....	6.50
» » » — » III. de 1906-1907....	agotada
» » » — » IV. » de 1908-1909....	6.50
» » » — » V. » de 1910.....	6.50

### Padrones de Minas

Padron Jeneral de Minas de 1897.....	\$ 5.00
» » » de 1899.....	5.00
» » » de 1905.....	5.00
» » » de 1911-1912.....	5.00
» » » de 1913-1914.....	5.00
» » » de 1914-1915.....	5.00
» » » de 1915-1916.....	5.00

### Carbon

<i>Brüggen, Dr. J.</i> —Informe sobre las exploraciones jeológicas de la rejion carbonífera del sur de Chile.....	5.00
<i>Brüggen, Dr. J.</i> —Los carbones del valle lonjitudinal i la zona carbonífera al sur de Curanilahue en la provincia de Arauco.	5.00

<i>Brüggen, Dr. J.</i> —Las rejiones carboníferas de Los Alamos i del norte de la provincia de Arauco.....	\$ 5.00
<i>Brüggen, Dr. J.</i> —La formacion de los carbones de piedra i especialmente de los chilenos.....	4.00
<i>Brüggen, Dr. J.</i> —Informe sobre el carbon submarino en la costa de la provincia de Arauco.....	1.50
<i>Schneider, Julio.</i> —Descubrimiento de la hulla en Chile.....	1.50
<i>Gandarillas, Javier.</i> —La produccion i consumo del carbon i su influencia en el desarrollo económico de las naciones .....	5.00

### Cobre

<i>Ugalde, Nicolás.</i> —Preparacion mecánica de los minerales de cobre nativo de Lago Superior (E. U.).....	1.00
<i>Sundt, F. A.</i> —Proyecto para la instalacion de un establecimiento de beneficio de minerales de cobre con una capacidad anual de 6,000 toneladas de cobre fino.....	1.00
<i>Avalos, Cárlos G.</i> —Garantía Fiscal para un establecimiento para tratar minerales de cobre i apartado electrolítico.....	1.00
<i>Gandarillas, Javier.</i> —Bosquejo del estado actual de la industria minera del cobre en el extranjero i en Chile.....	3.00
<i>Díaz Ossa, I.</i> —Química práctica de las fundiciones de cobre.....	6.00
<i>Sundt, F. A.</i> —Énsayes de oro, plata, plomo, estaño i cobre. 2.a edicion.....	3.00

### Hierro

<i>Gandarillas, Javier.</i> —La Industria Siderúrgica i las minas de hierro, Volúmen I del Congreso Chileno de Minas y Metalurjía.....	10.00
--	-------

### Jeolojía i Mineralojía

<i>Sundt, Lorenzo.</i> —Volúmen I.—Estudios jeolójicos i topográficos del Desierto i Puna de Atacama.	7.50
Volúmen II.—Estudios jeolójicos i mineralójicos del Desierto i Cordillera de Atacama.....	7.50
<i>Orrego Cortés, A.</i> —Estudio Jeolójico e Hidrolójico de las provincias de Tacna i Arica.....	3.00
<i>Sundt, F. A.</i> —Monografías Mineras i Metalúrgicas.....	5.00
<i>San Roman, Francisco.</i> —Desierto i cordilleras de Atacama, Volúmenes I, II, i III.....	25.00

### Oro

<i>Orrego Cortés, A.</i> —La industria del oro en Chile.....	3.00
--	------

<i>Doolittle, J. E.</i> —Dragaje de oro en California, traducido por el Ingeniero de Minas, don Guillermo Yunge.....	3.00
--	------

### Petróleo

<i>Felsch, Dr. J.</i> —Informe provisorio sobre las exploraciones jeológicas de los alrededores de Carelmapu i de la Isla de Chiloé. \$	2.00
<i>Felsch, Dr. J.</i> —Informe sobre el reconocimiento jeológico de los alrededores de Punta Arénas i de la parte del noroeste de la Tierra del Fuego, con el objeto de encontrar posibles yacimientos de petróleo.....	3.00
<i>Felsch, Dr. J.</i> —Informe sobre las pizarras bituminosas de Lonquimai.....	2.00
<i>Felsch, Dr. J.</i> —Informe preliminar sobre los reconocimientos jeológicos de los terrenos petrolíferos de Magallanes del sur.	5.00
<i>Felsch, Dr. J.</i> —Informe sobre el reconocimiento jeológico de los indicios del petróleo en la provincia de Tarapacá.....	3.00
<i>Blanquier, Juan.</i> —La Industria del Petróleo.....	2.00
<i>Blanquier, Juan.</i> —Política Petrolífera.....	2.00

### Salitre, borato i sales naturales

<i>Semper i Michels.</i> —La industria del salitre en Chile, traducida del aleman por J. Gandarillas M. i O. Ghigliotto S.....	25.00
<i>Ugalde Nicolás.</i> —Salitre. Contribucion al estudio de su industria, Vol. III del Congreso Chileno de Minas y Metalurjia....	10.00
<i>Prieto, Manuel A.</i> —Elaboracion del salitre i yodo, Volúmen VIII del Congreso Chileno de Minas i Metalurjia.....	5.00
<i>Prieto, Manuel A.</i> —Estudios sobre la elaboracion del salitre.....	2.00
<i>Gandarillas Javier.</i> —La centralizacion de las ventas del salitre i la concentracion mundial de las grandes industrias, Vol. II del Congreso Chileno de Minas i Metalurjia.....	2.00
<i>Sundt, F. A.</i> —Ensayes de Nitratos, Yodo, Cloratos i Percloratos en el caliche i productos de la industria del salitre i yodo.	5.50
<i>García, L. G.</i> —Dosificacion de nitratos en el salitre.....	2.00
<i>Quezada, C. V.</i> —Oríjen del salitre i otros abonos.....	1.00
<i>Díaz Ossa, B.</i> —El salitre sintético.....	1.00
<i>Díaz Ossa, B.</i> —Estado actual de la fabricacion de abonos azoados.	1.00
<i>Lorca C., Eulójio.</i> —La industria del bórax, Vol. IV del Congreso Chileno de Minas i Metalurjia.....	5.00

### Varlos

<i>Puelma, L. N.</i> —Apuntes prácticos para el uso de los mineros.....	1.00
<i>Díaz Ossa I.</i> —Cálculos metalúrgicos.....	1.50
<i>Koerting Berth.</i> —Los informes sobre empresas mineras i las cau-	

sas de sus frecuentes fracasos, Vol. V del Congreso Chileno de Minas i Metalurjia.....	2.00
Vol. VI.—Varios trabajos presentados a las Secciones: I, II, III, IV del Congreso Chileno de Minas y Metalurjia.....	5.00
Vol. VII.—Varios trabajos presentados a las Secciones: V, VI del Congreso Chileno de Minas i Metalurjia.....	5.00



Salida, parte i color animalar

Vol. I del Congreso Chileno de Minas i Metalurjia.....	2.00
Vol. II del Congreso Chileno de Minas i Metalurjia.....	2.00
Vol. III del Congreso Chileno de Minas i Metalurjia.....	2.00
Vol. IV del Congreso Chileno de Minas i Metalurjia.....	2.00
Vol. V del Congreso Chileno de Minas i Metalurjia.....	2.00
Vol. VI del Congreso Chileno de Minas i Metalurjia.....	2.00
Vol. VII del Congreso Chileno de Minas i Metalurjia.....	2.00
Vol. VIII del Congreso Chileno de Minas i Metalurjia.....	2.00
Vol. IX del Congreso Chileno de Minas i Metalurjia.....	2.00
Vol. X del Congreso Chileno de Minas i Metalurjia.....	2.00
Vol. XI del Congreso Chileno de Minas i Metalurjia.....	2.00
Vol. XII del Congreso Chileno de Minas i Metalurjia.....	2.00
Vol. XIII del Congreso Chileno de Minas i Metalurjia.....	2.00
Vol. XIV del Congreso Chileno de Minas i Metalurjia.....	2.00
Vol. XV del Congreso Chileno de Minas i Metalurjia.....	2.00
Vol. XVI del Congreso Chileno de Minas i Metalurjia.....	2.00
Vol. XVII del Congreso Chileno de Minas i Metalurjia.....	2.00
Vol. XVIII del Congreso Chileno de Minas i Metalurjia.....	2.00
Vol. XIX del Congreso Chileno de Minas i Metalurjia.....	2.00
Vol. XX del Congreso Chileno de Minas i Metalurjia.....	2.00
Vol. XXI del Congreso Chileno de Minas i Metalurjia.....	2.00
Vol. XXII del Congreso Chileno de Minas i Metalurjia.....	2.00
Vol. XXIII del Congreso Chileno de Minas i Metalurjia.....	2.00
Vol. XXIV del Congreso Chileno de Minas i Metalurjia.....	2.00
Vol. XXV del Congreso Chileno de Minas i Metalurjia.....	2.00
Vol. XXVI del Congreso Chileno de Minas i Metalurjia.....	2.00
Vol. XXVII del Congreso Chileno de Minas i Metalurjia.....	2.00
Vol. XXVIII del Congreso Chileno de Minas i Metalurjia.....	2.00
Vol. XXIX del Congreso Chileno de Minas i Metalurjia.....	2.00
Vol. XXX del Congreso Chileno de Minas i Metalurjia.....	2.00