

---

# ANALES

## DEL

# INSTITUTO DE INGENIEROS DE CHILE

---

### El Procedimiento Haber para la Síntesis Industrial del Amoníaco

POR

ALEJANDRO BERTRAND

---

### III.—Factores económicos

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

- 1.—El precio del Azoe;
- 2.—El precio del Hidrógeno;
- 3.—El costo de la energía dinámica y calorífica;
- 4.—El interés y amortización sobre el costo de las instalaciones;
- 5.—Los costos de fabricación distintos de la energía.

Además, como el objetivo final de esta fabricación es de obtener, sea *Sulfato*, sea *fosfato*, sea *nitrato de amonio*, sea *ácido nítrico*, hay que agregar eventualmente uno de los factores siguientes:

- 6.—Costo del ácido absorbente, sea sulfúrico o fosfórico;
- 7.—Costo de la oxidación del amoníaco a ácido nítrico;
- 8.—Costo de su transformación en nitrato de amonio.

Antes de entrar al estudio de cada uno de estos factores, renovaremos una observación de carácter general, ya insinuada en una publicación anterior («Ev. Ind. Az.» ps 31 32): Cuando no se exprese lo contrario, todas las cifras y 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 y de condiciones anormales de producción no permiten considerar otras. Por lo demás, prevalece la opinión de que la alza que persistirá después de la guerra será general, 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 y de otra indicación, las cifras básicas de 1914, afectadas de un coeficiente común (incógnito por ahora), superior a la unidad.

Según se desprende de lo expuesto en las partes anteriores del presente estudio, los factores del costo del amoniaco por este sistema son susceptibles de gran variación según las condiciones locales. Por ésto trataremos de establecer para cada factor un valor *máximo* y un valor *mínimo*, dentro de los límites prácticos de las modernas condiciones industriales de producción en grande. Principiaremos por dar extractos, en lo posible textuales (\*) 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.

Además de las cifras que han sido publicadas en esta materia, estamos en posesión 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 y 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 más pequeñas que rinden 100 m<sup>3</sup> por hora (1 m<sup>3</sup> = 35.314 pies<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 y castigo por deterioros) es 1½ 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).

(\*) *Unidades monetarias y 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.

| MONEDAS              | Frs. oro                                                  | PESOS | Kgs.  |
|----------------------|-----------------------------------------------------------|-------|-------|
| Chelín .....         | (sh) = 1.26 Tonelada inglesa de 2 240 lbs... (IT) =       |       | 1 016 |
| Libra esterlina. (L) | = 25.22 Tonelada americana de 2 000 lbs. (sT) =           |       | 907.2 |
| 2 peniques..... (d)  | = 0.21 Unidades de Ázoe.....                              |       |       |
| Marco... .. (Mk)     | = 1.23 Gran Bretaña (1 % de IT) (22.4 lbs. = Ázoe en Kgs. |       | 10.16 |
| 30 Pfennig..... (Pf) | = 0.37 Estados Unidos. — Ázoe... (20 lbs.) =              |       | 9.07  |
| Dollar... .. (\$)    | = 5.18 (1 % de sT)                                        |       |       |
| 5 Centa..... (cts)   | = 0.26 Estados Unidos. Amoniaco (20 lb.) =                |       | 7.46  |

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

En un escrito reciente dice NORTON (1917.:

«Antes de la guerra el ázoe que entra en 1 libra de amoniaco costaba (en Alemania) \$ 0.045, el Hidrógeno \$ 0.0211, sea los dos 2.56 cents, y ahora menos de 2 cents». («Sc. Am.» Abril 17-1917).

Dato de HABER, aceptado por FLORENTÍN (1913. 3.6 céntimos el kilo de ázoe («Génie Civil», 2.VI/17).

Reducidas las cifras anteriores a céntimos de francos oro por kilogramo de ázoe, resultan variar entre 1.7 a 10. Descartando la producción a pequeña escala, y 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 (XX) toneladas de amoniaco y 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 y 2 céntimos el kilogramo. Por lo demás, repetiremos que el precio en cada localidad, y 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 y Bitterfeld en Alemania a 10 Pfs. por m<sup>3</sup> (= 89.9 gramos; esto es, alrededor de Mk. 1 116 por kilo (12 céntimos la libra). Como el hidrógeno constituye 17.6% en peso del amoniaco, la cantidad requerida para producir 1 libra de amoniaco costaría 2.11 céntimos, y para producir 1 kilo 4.65 céntimos 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> (1, a 3 1/2 céntimos por pie<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 Azoe y el Hidrógeno que entran en 1 libra (453 gr.) de amoniaco, cuestan juntos, menos de 2 céntimos; 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 céntimos = 0.15 céntimos, lo que dejaría para los 80 gramos de Hidrógeno 1.85 céntimos = 9.6 céntimos, lo que corresponde a fr. 1.20 el kilo, en vez de francos 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 coke y de otros materiales, y 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 céntimos por 1 000 pies<sup>3</sup>, incluyendo interés sobre el capital, castigo o amortización, materias primas y mano de obra». Reducidas estas últimas cifras a céntimos oro por kilos de hidrógeno, resultan equivalentes de 78 a 93.

Puede afirmarse, en conclusión, que en condiciones normales de precios de hulla y coke, y tratándose de cantidades proporcionadas a las que hemos supuesto en el caso del ázoe, el costo del hidrógeno elemental, debe oscilar, actualmente, entre 80 y 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 formación de amoniaco.

### 3.— *El costo de la energía dinámica y calorífica.*

Según se ha expuesto en la 2.ª parte, los gastos de energía que requiere este procedimiento, son:

Fuerza motriz para el compresor.

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

A los que hay que agregar las pérdidas de calor por radiación de la cámara de reacción y de la cámara de refrigeración y las que pueden ocurrir por interrupciones o imperfecciones en el funcionamiento del «regenerador de calórico» y del «regenerador de frío». Por otra parte, la suma de estas pérdidas debe disminuirse en el total de las calorías liberadas por la reacción de síntesis que, según se explicó en la 1.ª parte, es *exotérmica* y a razón 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 muy lenta, el costo de combustible tiene que ser muy inferior al de las materias primas, y que, según los datos que le suministró Haber, una vez que la fabricación se hiciera en grande escala, esos gastos serían un factor insignificante.

Según SUMMERS, el procedimiento de Haber sólo requiere como fuerza eléctrica, «fuera de la que se gasta en la preparación del ázoe e hidrógeno elementales, compresión y refrigeración de los gases, 1.5 kilowatt-hora por cada kilogramo de ázoe que entra en la combinación final producida».

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

MAXTED (1917), computa en unidades comunes todo el gasto de calórico y energía empleados en el procedimiento, inclusive la producción del hidrógeno, la separación del ázoe del aire, el calórico para la reacción de síntesis, la compresión y refrigeración. Estimadas en *combustible* valoriza el gasto total en 5¼ a 7

toneladas de hulla y coke y *en energía eléctrica*, en 1.2 KWY. por cada tonelada de ázoe combinado. Estas cifras corresponden por *kilo de ázoe a*

5.5 a 7 kgs. de hulla y coke y 1.865 Kwh.

Volveremos a considerar estas cifras más adelante.



El valor pecuniario del factor que aquí consideramos, depende, pues, ante todo, del costo local de las fuentes de energía y calórico empleadas. El costo de la hulla que es en épocas normales y en la boca-mina 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% y más, según 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 y 3 céntimos el Kwh. La «Badische» estima (1915) que en Alemania se obtiene el Kwh. con lignita a 1.6 céntimos, lo que daría (según la cifra de MAXTED, de 1.865 Kwh.) un gasto de apenas 3 céntimos por kilo de ázoe para este factor, incluyendo la energía y combustible empleados en la producción de ázoe e hidrógeno, contada ya bajo los números 1 y 2. Parece, sin embargo, que tal precio de costo del Kwh. no sería aplicable sin un fuerte coeficiente por diferencia entre los rendimientos teórico y práctico de la hulla en energía eléctrica.

Si se toma por base el gasto total de combustible cifrado por MAXTED resultarían (avaluados a precios tan extremos como 10 y 30 frs. la tonelada de hulla) de 17 a 21 céntimos de los que habría que deducir el gasto de energía que corresponde a los factores 1 y 2.

Por otra parte, según 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 combinación, 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 y 15 céntimos pueden tomarse como representativas de los gastos *mínimo* y *máximo*, respectivamente, en los casos de extrema baratura y carestía de la hulla y energía, dentro de límites industrialmente razonables. Se incluyen en este gasto total los de energía calorífica y dinámica que exige (por cada kilo de ázoe combinado) el procedimiento Haber en el proceso circulatorio que se ha descrito en la 2.<sup>a</sup> parte de este estudio; es decir, para el funcionamiento de la bomba compresora, de la resistencia eléctrica (u otro medio de calefacción) y para el frigorífico y suponiendo que los gases elementales entran al aparato a la presión atmosférica.

Debe tenerse presente que el factor «energía» es eminentemente susceptible de disminución con la mayor rapidez de la reacción, con el perfeccionamiento de

los aparatos, y que la mayor parte del costo de la compresión queda incluido en los factores 1 y 2 cuando el ázoe y el hidrógeno son entregados en recipientes de acero, bajo presión de 150 atmósferas.

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

Según MATIGNON, (Cf. «Ind. Com. Subs. Az.» pp. 31, 77, 78), el costo de las primeras instalaciones salía a razón de 1 000 francos por tonelada de capacidad anual de producción en *Sulfato*. Como era de prever, para las instalaciones más recientes y de mayor capacidad, el capital de instalación requerido es mucho más bajo. Según cálculos detallados hechos en 1915 para erigir 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 *Ázoe*) de los cuales un 24% correspondía a edificios y un 76% a la maquinaria. Contando un 10% de amortización sobre los primeros y 5% sobre esta última, resultarían por amortización total fr. 17.60 por tonelada (\*).

Alguna reserva cabe hacer, respecto a este factor, sin embargo, por cuanto no aún son bien conocidos—debido a lo corto de la experiencia, y a las condiciones anormales de guerra—ni la rapidez de la reacción, que influye en el rendimiento anual, ni la duración de los aparatos que influye en la amortización.

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

#### 5.—*Gastos generales, imprevistos.—Costos varios de fabricación.*

Dentro de la clasificación de los factores del precio de costo dada más arriba, entrarían a este ítem además de todos los gastos generales de dirección de la fábrica y de la mano de obra, los de experimentación 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 obstrucción de sus poros, oxidaciones, acción de «venenos» existentes en proporción infinitesimal, etc., gasto pequeño sin duda, pero que escapa, por ahora, al cálculo de apreciación.

El ítem más importante de este factor es indudablemente el «pago de operarios», y sobre este particular tampoco existen datos precisos, fuera de saber que

---

(\*) Según informaciones publicadas después de escrito el texto, extractadas en el APÉNDICE BIBLIOGRÁFICO, el costo de la instalación por tonelada de ázoe producido en la nueva fábrica Norte-Americana de AZOE SINTÉTICO (en erección) de la «Compañía General de Química» sería de 1 640 francos, de donde resultaría por amortización en las condiciones enunciadas en el texto, fr. 14.40 por tonelada de ázoe producido.

el número de operarios es muy 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, muy especializada, y, por consiguiente, muy bien remunerados.

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 circulación de los gases. Resumiendo los datos anteriores por

#### KILÓGRAMO DE ÁZOE COMBINADO

|                                                       | Mínimo    | Máximo    | Promedio                       |
|-------------------------------------------------------|-----------|-----------|--------------------------------|
| 1.—Costo del ázoe (1 Kg.) . . . . . centimos oro      | 2         | 4         | 5 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>  |
| 2.—Costo del hidrógeno (grs. 214) . . . . . »         | 17        | 25        | 35 <sup>0</sup> / <sub>0</sub> |
| 3.—Costo de energía dinámica y calorífica . . . . . » | 6         | 15        | 18 <sup>0</sup> / <sub>0</sub> |
| 4.—Amortización de edificios y maquinaria . . . . . » | 16        | 18        | 30 <sup>0</sup> / <sub>0</sub> |
| 5.—Gastos generales, imprevistos y varios . . . . . » | 6         | 8         | 12 <sup>0</sup> / <sub>0</sub> |
| <b>Total céntimos . . . . .</b>                       | <b>47</b> | <b>70</b> | <b>100</b>                     |

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, según 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 estimación de 5 1/2 a 7 toneladas de combustible por tonelada de ázoe combinado; pues aún a un precio bajísimo como sería al de 12 francos la tonelada de hulla, siempre resultarían más de 8 céntimos el Kwh, precio excesivo en cualesquiera condiciones industriales de producción *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 producción del amoniaco sintético no exceda de 3 céntimos por libra» y que «El método Haber bajaría el costo del amoniaco a \$ 63.93, la tonelada americana», cifras que corresponden a 42 y 44 céntimos el kilo de ázoe combinado y se acercan más que la de MAXTED al mínimo obtenido por nosotros.

6.—*Costo del ácido absorbente.*—La forma comercial prevaeciente en que se ha usado hasta ahora el ázoe amoniacal 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 más económica de producción del ácido sulfúrico eran las piritas (sulfuros de fierro; Cf. «Ind. y Com. Subs. Az.» Notas 32 y 34), variando su costo de francos 65 a 32, y bajando aún hasta 25 y 20 frs. en casos excepcionales (v. en el APÉNDICE las cifras del Dr. Mourgues).

Es muy 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 menos, fuentes no aprovechadas antes y 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. y Com. Subs. Az.» Nota 102) y 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).

Según 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 kilogramo de ázoe, este factor representaría para cada kilo de ázoe, de fr. 0.10 a fr. 0.20 (de 15 a 25 céntimos dijimos en «Ind. y Com. Subs. Az.» p. 44) según las condiciones de producción y cercanía a las fuentes de ácido sulfúrico.

Durante la guerra se ha experimentado en Alemania la absorción del amoniaco por ácidos distintos del sulfúrico, formando sea *cloruro*, sea *carbonato* de amoniaco («Ev. Ind. Az.» p. 30); pero desde el punto de vista «fertilizantes» la tentativa más interesante es la de producir *fosfatos* o *superfosfatos* amoniacales (l. c. pp. 31 y 126 7 253, 261) que contendrían dos principios fertilizantes—el ázoe y el ácido fosfórico—en vez de uno, y cuyo valor mercante por tonelada sería, por consiguiente, la suma de los valores mercantes del ázoe y 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 oxidación del amoniaco* ( $\text{AzH}_3$  a ácido nítrico ( $\text{AzO}_3\text{H}$ )).—Según datos fidedignos que hemos publicado anteriormente («Circ. As. Sal.», N.º 68, p. 79), este costo ascendería en la «Badische», mediante el procedimiento Ostwald, a fr. 0.22 por kilo de ázoe. Según otros datos publicados en 1913 («Met. Chem. Eng.», p. 438 42), el costo de la tonelada (907 kgs.) 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 céntimos

---

(\*) Según la autoridad citada en la Nota anterior (PARSONS), el costo de producción en un plantel de una capacidad anual de 10 000 toneladas de Amoniaco sintético (equivalente a 50 000 toneladas de Sulfato), no excedería de 4 cents. por libra de amoniaco (inclusive amortización del capital), equivalente a fr. 0.57 el kilo de ázoe, casi exactamente el promedio de las cifras máxima y mínima dadas en el texto.

(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.), págs. 5, 22, 27, 38, 97, 108, 147, 2067, 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 y CORTÉS (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, «Éste es uno de los pocos procedimientos químicos en que no hay pérdidas ni sub productos... 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, págs. 56-57). Ésta ha sido y es seguramente la manera cómo 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 y Nitrato de Amonio Sintéticos.*

Resumiendo las cifras *mínimas* y *máximas* que dejamos expuestas, 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        |
| 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 oxidación (factores 7 u 8) . . . . .                                 | » 12 a 22        |
| Costo del ACIDO NÍTRICO O NITRATO DE AMONIO, por kilo de ázoe contenido. . . . . | céntimos 59 a 92 |

Cifras perfectamente compatibles con las publicadas por la «Badische» desde antes de la guerra: céntimos 65 por kilo de ázoe en el Amoníaco Sintético, y 75 en el sulfato derivado de aquél.

*Resumen comparativo de opiniones competentes sobre el precio de costo del amoníaco sintético y sus derivados.*

Las cifras extremas a que hemos arribado son basadas, según 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 más exactos que otros; según se ha visto, el costo de los determinantes primarios de cada factor es muy variable según las condiciones locales; especialmente acontece ésto con la *hulla*, la energía mecánica y calorífica, con el *hidrógeno* y con el *Acido sulfúrico*.

No puede caber duda actualmente de que una fábrica de Amoníaco Haber de gran capacidad, ubicada en un distrito hullero e industrial, a proximidad de planteles que le suministren hidrógeno y ácido sulfúrico elaborados como sub productos y libres de granosos 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 aprehenderlas y 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 aún 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 comparación aludida.

| Año   | Autoridad                                                        | Dato original | Reducido al<br>kilo de Ázoe<br>en Sulfato. |
|-------|------------------------------------------------------------------|---------------|--------------------------------------------|
|       |                                                                  |               | (Céntimos)                                 |
| 1915. | EHRENBERG, costo del ázoe en Sulfato, 50 Pf. por kilo . . . . .  |               | 62                                         |
|       | «Badische» l. inf. privado. Mk. 120 la ton. de Sulfato . . . . . |               | 75                                         |
|       | MARTIN, £ 2.6. 6 la tonelada de Sulfato . . . . .                |               | 29                                         |
| 1916. | BAGLEY, £ 2.10.0 la tonelada de Sulfato . . . . .                |               | 31                                         |
|       | FLEURENT, el kilo de ázoe en Sulfato . . . . .                   |               | 63 a 70                                    |
|       | MATIGNON, el kilo de ázoe en Sulfato . . . . .                   |               | 75                                         |
| 1917. | FLORENTIN, el kilo de ázoe en Sulfato . . . . .                  |               | 75                                         |
|       | MAXTED, £ 10 a £ 12 la tonelada de Amoníaco . . . . .            |               | 40 a 56                                    |

\*\*

Finalmente, conforme lo anunciamos en la primera parte, reproducimos a continuación, a título de APÉNDICE, un artículo de prensa fechado dos años atrás, debido al Dr. Luis E. Mourgues y cuyas cifras es especialmente interesante comparar ahora con las contenidas en publicaciones recientes. Se comprueba con esta comparación 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 texto fué leído por su autor ante la Colonia y en la Legación de Chile en París, el 2 de Julio de ese año) coincidían notablemente con las nuestras, circunstancia que bastaría 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» y 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 construcción y funcionamiento de los aparatos y composición del catalizador, no son de tal naturaleza que su divulgación 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 interés en conexión con aquél

---

## APÉNDICE A LA PARTE III

(Reimpreso de *El Mercurio*, de Valparaíso. 14/VI/1915).

### «EL GRAN PROBLEMA NACIONAL» (2.º artículo)

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 también el que más 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 elaboración y de entrega al mercado».

«Además, el proyecto de estanco, de los productos azoados, imaginado en Alemania y 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

HARRER y sus colaboradores, sobre la termodinámica de las reacciones gaseosas a alta temperatura hasta la instalación de la fábrica en Oppau, por la «Badische Anilin und Sodafabrik», todo ésto en menos de 5 o 6 años, es tal vez un caso único en los anales de la tecnología química».

«A causa del interés considerable que tiene para la industria de Chile este procedimiento, voy a dar, sobre él, algunos datos y detalles».

«La energía necesaria para fijar un kilogramo de ázoe al estado de amoniaco por este procedimiento, incluyendo la preparación del ázoe y del hidrógeno puros, la compresión a 200 atmósferas y la refrigeración, es sólo de 1.5 kwh.». (\*)

«Esta cantidad de energía tan ínfima, es un factor trascendental y que desde luego augura favorablemente para el futuro desenvolvimiento, aplicabilidad y generalización del método».

«Veamos ahora el costo de las materias necesarias para obtener un kilogramo de ázoe activado al estado amoniacal y fijado en forma de Sulfato de Amonio. Se precisan:

- « 800 litros de ázoe
- « 2 381 litros de hidrógeno
- « 3 571 gramos de ácido sulfúrico de 98 % ».

«El ázoe se retira de la atmósfera mediante la liquefacción del aire, por los sistemas de LINDE, y principalmente por los de G. CLAUDE, quien ha llevado al máximo de perfección la industria del aire líquido».

«El metro cúbico de ázoe cuesta por estos procedimientos, de 2.5 a 4 céntimos; por consiguiente y tomando el costo más elevado, los 800 litros costarán fr. 0.032».

«El hidrógeno fué durante mucho tiempo un elemento costoso de obtener; pero las necesidades de la navegación aérea por dirigibles ha hecho buscar procedimientos por todas las reacciones imaginables, y 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, generalmente, a 5 céntimos el kilogramo y con esta estimación la cantidad necesaria para fijar el kilogramo de ázoe amoniacal costaría 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 más ácido sulfúrico y en condiciones excepcionalmente 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 aún 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 amoniacal, un valor de fr. 0.362».

«Agregando la energía que sabemos es de 1.5 kw. y atribuyendo a ésta también un precio muy elevado de fr. 0.10 el kwh., tendremos fr. 0.512».

«Queda, naturalmente, por agregar la mano de obra, los intereses y amortizaciones, las

---

(\*) En nuestro estudio esta cifra no incluye el gasto de energía en la preparación de los gases.— A B.

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 observación. Este gran éxito de la ciencia y de la técnica de los químicos de la «Badische» ha podido ser alcanzado gracias a los medios de trabajo y a los millones de la Compañía Badense. La Industria Salitrera tiene más millones que la «Badische», pero no ha querido organizar los poderosos elementos de investigación que se necesitan para su perfeccionamiento».

.....

«La producción de amoniaco por el método HABER ya salió del laboratorio de investigación; en Septiembre de 1912, durante la reunión del 8.º Congreso Internacional de Química Aplicada en Washington y 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 líquido por hora y anunció que en esos momentos se elevaban las murallas de la fábrica que la Compañía Badense construía 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 líquido, para el uso de los compresores de las fábricas de hielo y demás establecimientos frigoríficos, en donde a causa de la pureza del cuerpo, reemplazó inmediatamente al amoniaco de la recuperación».

«Enseguida 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 explotación por terceros de sus patentes sobre el amoniaco sintético». (Cf. «Memoria de la Inspección Fiscal de la Propaganda Salitrera» para 1913 en «Circular Trimestral de la Asociación 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, y no expuestas a contradicciones, ya que mis estudios en la materia me permiten expresarme con completo conocimiento de estas cosas».

«Hace dos meses que he regresado de Europa, en donde permanecí más de dos años estudiando y trabajando bajo la dirección 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 explotación y elaboración y, al mismo tiempo, cuanto pudiera amenazar el porvenir de nuestra gran industria».

«Ya he dicho en qué consiste este procedimiento; ahora voy a agregar algunos datos personales, cuya autenticidad garantizo: A mediados del año pasado, tan pronto como tuve conocimiento que la «Badische Anilin und Sodafabrik» había ordenado a la Sociedad Linde, Frank y Caro, la construcción de un aparato para producir 2 000 metros cúbicos de hidrógeno por hora, según el procedimiento de los constructores, que está fundado sobre la separación del óxido de carbono en el gas de agua por liquidación, capacidad de hidrógeno que correspondía a una síntesis capaz de producir 30 000 toneladas de sulfato de amonio, escribí inmediatamente a la «Badische Anilin und Sodafabrik», preguntándoles y pidiéndoles datos para saber en qué condiciones podríamos implantar en Chile el procedimiento Haber para una producción anual que les fijé».

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

«El peligro que presenta para la Industria del salitre la fabricación del amoníaco 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, y es contra éste que debemos prepararnos».

«Ahora bien ¿Cómo defenderse cuando se ve que, aún 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 generalidades el procedimiento Haber debe ser instalado en Chile para poder mantener sus privilegios; vencido el término de implantación, éstos caen en el dominio público. Como la «Badische Anilin und Sodafabrik» no quiere instalar en Chile el procedimiento Haber, sus patentes caducarán y todo el mundo será libre para fabricar en nuestro país el amoníaco por dicho procedimiento, siempre que éste sea conocido a fondo; pero como los detalles se guardan en el más absoluto secreto, de aquí la dificultad para que otro, que no sea Haber, lo implante en Chile. Entonces parece llegado el momento en que nuestro Gobierno se haga parte en los sacrificios que tantos particulares se imponen por salvar el salitre y con éste al país».

«Comisiónese a algunos técnicos competentes o especializados en estas cuestiones, ya sean chilenos o extranjeros, para que estudien en Europa o Estados Unidos y traten de des-

cubrir los secretos que encierra el actual procedimiento Haber. Una vez conseguido ésto, lo que no es imposible en vista de que son cosas que otros hombres hacen, se podría fabricar amoniaco más o menos en las mismas condiciones que en Alemania».

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

«Actualmente existe patentado en nuestro país un invento netamente nacional, que consiste en lexiviar en frío los caliches y transformar el salitre obtenido en las disoluciones en Nitrato de amonio y bicarbonato de sodio, necesitando, por consecuencia, disponer de amoniaco y ácido carbónico. Para no extenderme 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 hoy día no tiene ningún 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 francos 110 por tonelada. El nitrato de amonio que se fabricaría, es el abono ideal, por cuanto es aprovechado completamente por las plantas y contiene 17.5 % de ázoe nítrico y 1.5 % de ázoe amoniacal, o sea, en total, 35 % de ázoe. He tenido la suerte de seguir muy de cerca y aún trabajándolos personalmente, todos los estudios y experiencias de practicabilidad e industrialización que se han hecho del invento en cuestión. Todos, incluso algunas modificaciones aconsejadas por la experiencia, han sido ampliamente satisfactorios y terminantes; pero, hasta ahora, hace falta en Chile la fabricación de amoniaco sintético que nos permita transformar el nitrato de sodio en nitrato de amonio, abono con el cual sería imposible competir si se logra fabricar en nuestro país el amoniaco al mismo precio de costo que el que se fabricará en Europa».

«Entonces, la situación 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 obscuridad. Una vez que podamos disponer del amoniaco barato, la fabricación del Nitrato de Amonio será una hermosa realidad y las rentas de nuestro país quedarán a salvo».

«Testigos de la seriedad de los trabajos y de los sacrificios que importa hasta hoy a sus propietarios el invento a que acabo de referirme, son nuestros Ministros en París y Bruselas, doctor don Federico Puga Borne y don Jorge Huneeus G., respectivamente; don Rafael Sotomayor, don Beltrán Mathieu, don Alejandro Bertrand y muchos otros de nuestros compatriotas que, en repetidas ocusiones, han honrado con sus visitas el laboratorio especialmente instalado por el doctor Luis E. Mourgues en París, en una de las salas del «Collège de France» amablemente proporcionada por el Profesor de Química Mineral de dicho establecimiento, señor Camille MATIGNON, quien, especializado en todos los estudios referentes al ázoe, ha contribuido en todo el tiempo con sus valiosísimos conocimientos, su buena voluntad y mucho entusiasmo, a salvar las no pocas dificultades técnicas que se presentaban en el curso de los estudios en cuestión».

«Creo haber dejado bien establecido y lo mejor explicado que me ha sido posible, sin profundizar demasiado, cuáles son los verdaderos peligros para el porvenir del salitre, y 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, según las publicaciones más recientes, parece que no sólo los «secretos» concernientes a los «catalizadores» y «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 «ázo», «hidrógeno», «energía», «combustible» y, por consiguiente, su total, habrían de ser necesariamente más caros en Chile que en Alemania e Inglaterra, mientras no sufran una modificación substancial, las condiciones industriales prevalecientes en nuestro país.