

# INGENIERIA QUIMICA

Organo del Centro de Estudiantes de la Escuela de  
Ingeniería Química de la Universidad de Antioquia.

DIRECCION:  
Junta Directiva  
del Centro  
Apartado Nal. 20-36

ASESORES  
Los profesores  
internos

GERENTE:  
A. Velásquez Arana.  
Tel. 177-10

REDACTORES  
Angel Zapata  
Manuel Toro Ochoa  
Carlos López P.

---

AÑO 1º      Medellín, noviembre de 1947      — VOLUMEN I —      NUMERO 2

---

Tarifa postal reducida. — Licencia N° 1718 de Ministerio de Correos y Telégrafos

La Dirección no asume responsabilidad por los conceptos que emiten sus colaboradores, a través de sus artículos.

---

## ORIENTACION

### Nuestros Profesionales

Nuestra Escuela se enorgullece en dar para el progreso patrio, los primeros profesionales que habrán de entrar en el grupo de los prospectadores de nuestro progreso industrial.

Un núcleo de jóvenes valores, dispuestos a dar lo mejor de sus capacidades en pro de nuestro adelanto en el campo de la tecnificación de la industria, es lo que nos complacemos en presentar a través de estas cuartillas a los rectores del progreso colombiano, que hoy tienden a mirar por caminos de sólidos prospectos.

Colombia, como país que tiene acuñada riqueza a lo largo de sus hondonadas y cimas, necesita, como ninguna otra, elementos que estén a la altura de su capacidad productiva, a fin de que con plena conciencia del cometido a llenar, inicien las labores tendientes a ir consolidando nuestra independencia en el campo de nuestro propio abastecimiento.

Por primera vez en el país, la Universidad de Antioquia, siempre alerta para tomar el paso de avanzada, saca los primeros Ingenieros Químicos, como producto del cumplimiento de un pénsun básico, sabiamente estructurado en el campo de las realidades patrias, y que a bien tuvimos publicarlo dentro de una síntesis informativa en nuestra pasada entrega. La Universidad, al sacar este tipo de profesionales, es obvio, no va a hacer un ensayo; no es una cuestión para entrar a considerar en fase experimental, sino que con plena conciencia de su cometido, brinda nuevas capacidades, aptas para desempeñar papeles fundamentales en la industria, mediante una capacitación científico-técnica, la cual ordena y determina de una manera precisa la estructuración de un plan definido de Ingeniería Química. Porque hemos de tener en cuenta, que la Ingeniería Química como tal, "es una rama de la Ingeniería que trata del diseño, desarrollo y aplicación de un proceso en el cual hay cambios físicos y químicos. Estos procesos pueden ser usualmente resueltos en series coordinadas de operaciones y procesos unitarios".

Es de anotar, que a nuestra industria, de una manera general, le falta técnica en los procesos que efectúa. No es el caso de producir por producir. Es indispensable acomodarse a planes definidos de operaciones, mediante sabia disposición, a fin de obtener, claro está,

los mayores rendimientos, los mejores productos, para que así se establezca un buen abastecimiento de los mercados y entren a competir con las propias necesidades de nuestro pueblo, con calidad y cantidad superadas, a la vez que con precios de razonable adquisición. Esto último se consigue procurándose mayores rendimientos en las operaciones que encierran un proceso determinado.

La cuestión económica ha de desempeñar un juego importante en el estudio de procesos y operaciones unitarios, porque se hace indispensable, que para proyectar riqueza futura, prosperidad general, tengamos en cuenta el estudio detenido de los mayores rendimientos con los menores costos. No queremos hablar, eso es claro, de una economía de hambre, que a todo trance busca maneras amorales para perjudicar la calidad de los productos, con tal de obtener las más jugosas ganancias, sino de una economía bien dirigida según las propias necesidades de las operaciones requeridas.

Una empresa industrial que verdaderamente sea consciente de su alta función, no debe escatimar gasto alguno en el propósito de procurarse los mejores medios tendientes a tecnificar de la mejor manera su desenvolvimiento.

Para lástima del país, muchas de nuestras empresas no comprenden lo anterior. Quien obtener los mejores rendimientos del capital, pero sin poner cuidadoso empeño en la mejora de los productos, mediante la introducción de maquinarias y de todos aquellos elementos que lleven a ese propósito. Conocemos industrias, que en el marco de nuestro progreso juegan papel importante, en donde el dinero no ha sido eficientemente empleado. Poco o nada atiende a los pedidos de la mejor tecnificación, mucho en cambio a la inconciencia de los procesos. Una economía mal entendida, una función industrial mal operada.

Estamos confiados en que nuestros primeros profesionales sabrán estar a la altura de las circunstancias. Estamos seguros que ellos abrirán brechas saludables en las diferentes industrias en que les toque actuar. Que ellos, con sentido de la responsabilidad que han de llevar, habrán de demostrar, llegado el caso, que tal o cual proceso requiere modificaciones de tal o cual índole, a fin de obtener mejores beneficios.

A nuestros profesionales, desde estas columnas, les pedimos que desempeñen en todo momento una función activa. No es el hecho de cobrar un sueldo, la cuestión es, aprovechar el tiempo en la prospectación técnica de nuestra industria.

Ya muchos de nuestros compañeros al terminar el mes, se distribuirán en el país según los pedidos formulados por varias empresas. Otros ya se encuentran operando con gran eficiencia, cosa que nos satisface profundamente y por lo cual auguramos mayores éxitos.

Queremos despedir desde estas cuartillas a los compañeros; que la ventura del mejor éxito corone sus esfuerzos y que en donde quiera que estén, el nombre del Alma Máter deje huella de saludable impresión.

---

## INGENIERIA QUIMICA

# Cálculo del Porcentaje del exceso de aire en un Horno para Cemento

Por Rafael Giraldo  
*Alumno del último año.*

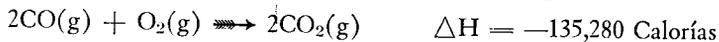
En todo horno, con relación al término de la combustión, se presentan tres casos:

1º).—Que la combustión sea completa, suministrando estrictamente la cantidad de aire necesario para la combustión. Hay combustión completa cuando los compuestos formados representan el mayor grado de oxidación de los elementos que intervienen en la constitución química del combustible. Puede reconocerse por la ausencia de CO u O<sub>2</sub> en los gases de la combustión, comprobado por el análisis en el aparato Orsat. Este es el caso ideal y el mayor acercamiento a él es la preocupación de los diseñadores de hornos.

2º).—Que en la combustión haya defecto de aire, es decir, que éste sea suministrado en cantidad inferior al teóricamente necesario para la combustión completa. Se reconoce por la presencia en los gases de la combustión de CO y aún de partículas de carbón, que dan a éstos un color negruzco.

El escape a la atmósfera de CO y de partículas de Carbón, representan una gran pérdida de calor, (como calor de combustión). Estas pérdidas debe el ingeniero químico trabajar por evitarlas, hasta donde sea posible, siempre que se presenten.

Para el mayor entendimiento de lo anterior veamos lo siguiente:



Esto significa que 2 moléculas de CO se oxidan completamente para formar 2 moléculas de CO<sub>2</sub> con un desprendimiento de 135,280 Calorías. El signo negativo antes de la cifra que representa el calor de combustión (H) significa que el calor es desprendido por la reacción.

$$135,280/(2) (28) = 2415.7 \text{ Kcals/Kgr.}$$

Esto significa que por cada Kgr. de CO que se escapa a la atmósfera con los humos hay una pérdida de 2415.7 K cal.

De la misma manera puede verse que por cada Kgr. de carbón no quemado se pierden 7835 Kcal.

3º).—Es el caso en que la combustión es completa pero con exceso de aire. Se reconoce por la presencia de O<sub>2</sub> en los gases de la combustión. En este caso también se pierde una cantidad apreciable de calor sensible en el exceso de aire, como se demuestra por lo siguiente:

$$Q = \int_{T_1}^{T_2} C_p dT \quad (1)$$

En donde Q representa el calor sensible llevado por cada Kgr. de aire a la atmósfera.

$C_p$  es el calor específico o capacidad calorífica a presión constante del aire.

$T_1$  Temperatura de referencia, por ejemplo, 18°C.

$T_2$  Temperatura de salida de los humos, 300°C.

Como el aire es una mezcla de 21% de  $O_2$  y 79% de  $N_2$  aproximadamente, el calor específico de éste será la suma del calor específico del  $O_2$  multiplicado por 0.21 y el del  $N_2$  por 0.79.

Como el calor específico es una función de la temperatura es necesario calcularlo por medio de la siguiente expresión:

$C_p = a + bT + cT^2$  en donde T es la temperatura en °K, a y b son constantes que dependen del compuesto en cuestión.

Para  $O_2$              $a = 6.13$              $(b)(10^3) = 2.99$              $(c)(10^6) = -0.806$

"  $N_2$                  $a = 6.30$              $(b)(10^3) = 1.819$              $(c)(10^6) = -0.345$

$C_p$  para el  $O_2 = 6.13 + (2.99)(10^{-3})T - (0.806)(10^{-6})T^2$  Kcal/Kgr.mol.

$C_p$  para el  $N_2 = 6.30 + (1.819)(10^{-3})T - (0.345)(10^{-6})T^2$  Kcal/Kgr. mol.

$C_p$  para aire =  $0.21 [(6.13) + (2.99)(10^{-3})T - (0.806)(10^{-6})T^2] + 0.79 [(6.30) + (1.819)(10^{-3})T - (0.345)(10^{-6})T^2]$  Kcals/Kgr. mol.

Reemplazando este valor en la ecuación (1) tenemos:

$$Q = \frac{1}{29} \int_{T_1}^{T_2} \{ 0.21 [ (6.13) + 2.99(10^{-3})(T) - (0.806)(10^{-6})T^2 ] + 0.79 [ (6.30) + (1.819)(10^{-3})T - (0.345)(10^{-6})(T^2) ] \} dT \text{ Kcals/Kgr. mol.}$$

En donde 29 es el peso molecular del aire.

$$Q = \frac{1}{29} \int_{291}^{573} [ (1.286) + (0.629)(10^{-3})T - 1.692(10^{-6})T^2 + 4.97 + 1.433(10^{-3})T - 0.272(10^{-6})T^2 ] dT$$

$$Q = \frac{1}{29} \int_{291}^{573} [ (6.25) + 2.062(10^{-3})T - 1.964(10^{-6})T^2 ] dT$$

Integrando, tenemos lo siguiente:

$$Q = \frac{1}{29} \left[ (6.25)T + \frac{(2.062)(10^{-3})T^2}{2} - \frac{(1.964)(10^{-6})T^3}{3} \right]_{291}^{573}$$

291 y 573 son las temperaturas absolutas de referencia y de entrada de los gases respectivamente.

Introduciendo los límites de temperatura, tenemos:

$$Q = \frac{1}{29} \left[ 6.25(573-291) + \frac{(2.062)(10^{-3})}{2} (573^2-291^2) - \frac{(1.964)(10^{-6})}{3} (573^3-291^3) \right]$$

$$Q = 1/29 (1764 - 250 - 107) = 65.8 \text{ Kcals/Kgr. mol.}$$

Cada Kgr. mol. de aire en exceso del necesario es de 65.8 Kcals.

Para calcular el porcentaje de aire tomamos como base el  $N_2$  tal como lo da el análisis

de los humos, pues si se hace caso omiso de la pequeña cantidad de éste que procede del combustible, es el mismo que entra en el horno con el aire para la combustión.

Llamemos, X = porcentaje de CO<sub>2</sub> o sea la fracción de la muestra de los gases que se absorbe en el tubo de soda del Orsat.

Z = porcentaje de O<sub>2</sub> o la fracción de la muestra absorbida por el tubo con ácido Pirogálico del Orsat.

N = porcentaje de N<sub>2</sub> (obtenido restando de la muestra total los porcentajes de O<sub>2</sub> y CO) o sea (100-X-Z) ya que siempre se toma un volumen de 100

Y = porcentaje de exceso de aire.

$$Y = \frac{\text{oxígeno libre en los humos}}{\text{oxígeno necesario para la combustión perfecta.}} \times 100$$

El oxígeno necesario para la combustión perfecta, es igual al oxígeno suministrado con aire menos oxígeno en los humos, o sea:  $21/79N-Z$

$$Y = \frac{Z \times 100}{\frac{21}{79}N - Z} = \frac{Z \times 100}{\frac{21}{79}(100-Z-X) - Z}$$

$$= \frac{Z}{\frac{2100}{79} - \frac{21X}{79} - \frac{21Z}{79} - Z} \times 100$$

$$= \frac{100Z}{26.6 - 0.266X - 1.266Z} \quad (2)$$

Esta ecuación da el porcentaje de exceso de aire en términos del CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> obtenidos del análisis de los humos.

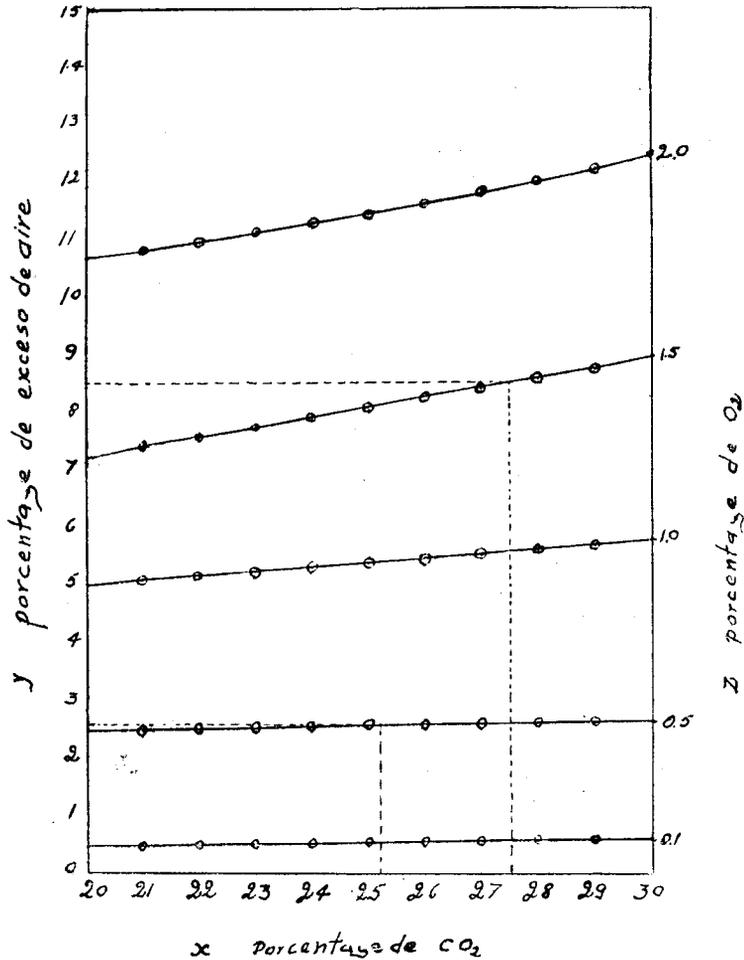
Para llevar al gráfico esta ecuación puede usarse un sistema de coordenadas cartesianas. En las abscisas representamos el % de CO<sub>2</sub> y en las ordenadas representamos el % de exceso de aire. El porcentaje de O<sub>2</sub> es el parámetro variable.

Los límites de variación son los siguientes:

- X de 20 a 30
- Y " 0 a 15
- Z " 0 a 2

Para Z = 0.1		Para Z = 1	
Y	X	Y	X
0.470	20	4.96	
0.478	21	5.07	20
0.484	22	5.14	21
0.491	23	5.20	22
0.497	24	5.28	23
0.504	25	5.35	24
0.511	26	5.42	25
0.518	27	5.50	26
0.525	28	5.60	27
0.533	29	5.67	28
0.540	30	5.75	29
			30

Los valores de las tablas anteriores fueron obtenidos para los valores asumidos de Z, variando X.



La manera de consultar el gráfico es muy sencilla: se obtiene en las abscisas el % de  $\text{CO}_2$ , se asciende verticalmente hasta tocar la curva correspondiente al % de  $\text{O}_2$  y se sigue horizontalmente hasta tocar el eje de las ordenadas; la lectura da directamente el % de exceso de aire.

#### REFERENCIAS

- Chemical calculations, Hougen and Watson
- Graphical and Mechanical comp. Lipka
- Chemical Engineers' Handbook, J. H. Perry.

# Desarrollo de una nueva Planta Química

Por: **Orlando Camargo Q.**  
*Alumno de último año.*

El desarrollo de una nueva planta química comprendè las siguientes etapas:

a)—**Etapa de Laboratorio.** Consiste en dar los primeros pasos en el estudio de los principios técnicos que deben regir el proceso y las operaciones de Ingeniería Química. Se llevan a cabo numerosos ensayos con equipo de Laboratorios, anotando minuciosamente las condiciones de los ensayos, sus ventajas y desventajas. Es claro que de las anotaciones obtenidas no se pueden deducir conclusiones definitivas para el campo de la práctica, pero sí capacitan o dan buena orientación al Ingeniero Químico, para establecer los principios fundamentales que contribuirán a la realización de un buen desarrollo del proyecto.

Las condiciones óptimas del proceso deberán ser determinadas mediante ensayos y de acuerdo con un estudio muy riguroso llevado a cabo en libros y revistas técnicas.

Se determina, además, si las condiciones comerciales básicas del lugar y sus alrededores son favorables; es decir, si las materias primas se pueden obtener a precios aceptables y en buena cantidad para un abastecimiento satisfactorio, si se puede encontrar un mercado permanente de magnitud comercial y estabilidad para el producto.

Desde un punto de vista práctico, parece inútil gastar tiempo y dinero en un proceso sin importancia comercial; pero si inspeccionamos cuidadosamente la historia de la Era Industrial, encontramos que los fracasos más lamentables en la Industria Química han tenido como causa principal el deseo erróneo de nacer grandes.

b)—**Modelo de planta pequeña.**—Esta segunda etapa tiene por objeto facilitar un estudio más detenido del proceso y de cada operación. El diseño de un modelo de planta pequeña, en general, no es muy costoso; debe ser simple y flexible de tal manera que se pueda acomodar a la gran variedad de ensayos que deben estudiarse para determinar las condiciones de ope-

ración óptimas. Con dicha planta se puede obtener suficiente cantidad de producto para estudiar, más que todo, su calidad. Es ésta la etapa más crítica en el desarrollo de una planta química, ya que se trabaja con materias primas comerciales y se estudia el efecto de las impurezas, así como la mejor manera de evitar que comprometan la pureza del producto. De esta etapa, por consiguiente, depende el éxito del proceso.

c)—**Planta piloto.**—En esta etapa también se requiere flexibilidad en el diseño. Ya se emplean unidades de un tamaño lo suficientemente grande para obtener una buena información y el mayor número de observaciones, cuando se varían las proporciones y las condiciones de operación.

Para determinar el capital que debe invertirse en la planta comercial, se hacen estudios de órden económico. Por ejemplo, se determinan costos de operación, de transporte, de materiales, de equipo e infinidad de ítems incluidos en los costos de pre-construcción.

En la planta piloto deben resolverse todos los problemas relativos a impurezas y al uso de materiales de construcción. Hay que averiguar las características de corrosión de las materias primas y el peligro que pueda ofrecer alguna operación. Se hacen consideraciones sobre velocidades de reacción, tiempo, temperatura, transmisión de calor. Se busca solución a los problemas de almacenamiento. Del producto obtenido se pueden sacar muestras al mercado.

Una vez instalada la planta comercial, la planta piloto debe conservarse para ensayar posibles sistemas mejores o posibles cambios en el proceso.

d)—**Planta semicomercial.**—Se emplean unidades más grandes que las de la planta piloto para obtener una producción regular. En esta etapa se acaba de perfeccionar el proceso buscando una mejor eficiencia.

e)—**Planta comercial.**—Se pasa luego a la etapa de planta comercial, si el proceso ha tenido éxito en las etapas anteriores y si existe la seguridad de poder obtener un producto de buena calidad, con un costo de producción mínimo.

Para desarrollar la planta comercial, hay que tener en cuenta los siguientes items:

- a)—Especificaciones de equipo para la selección del equipo comercial según capacidades y eficiencias; equipo para la distribución de materiales y equipo para el proceso mismo. Esta selección y distribución debe hacerse de acuerdo con otros factores, tales como futuro incremento de la producción, distribución económica de vapor y potencia en el proceso, posibles peligros y bienestar del personal.
- b)—Especificaciones de materiales.
- c)—Localización de la planta.
- d)—Selección de personal idóneo.
- e)—Capacidad deseada de la planta y estimación de la capacidad futura.
- f)—Costos de producción por unidad de producto.
- g)—Consideraciones económicas relativas a un estudio de las relaciones entre costos de ventas, costos de materiales y costos fijos.
- h)—Ganancia máxima, mínima, real y probable por unidad de producto.
- i)—Número y variedad de unidades acabadas que deben producirse.
- j)—Secuencia de las operaciones y arreglo de un flujo progresivo de materiales económico y técnico, así como una buena revisión de las operaciones que entran al proceso y ver si hay que aislar algún departamento para efectos de seguridad.
- k)—Empleo de controles automáticos.
- l)—Agrupación de operaciones semejantes, para que los operadores puedan atender a todo el equipo de la misma clase.
- m)—Intercambiabilidad en el equipo para asegurar un máximo de flexibilidad.
- n)—Preferencia por los diseños standardizados.
- o)—Peligro de toxicidad en determinadas operaciones y manera de establecer un sistema especial de ventilación para asegurar buenas condiciones de trabajo.

Es preciso asegurarse de no olvidar items importantes al calcular costos de pre-construcción. Así, se debe dar importancia a los siguientes:

1º)—Costos de producción. Comprende costo de materias primas, potencia eléctrica y mecánica, combustible, material de reparos para equipo

y estructuras, empaques, salarios de trabajadores y gastos generales de los trabajadores.

2º)—Gastos de capital. Se refiere a amortizaciones, depreciación, seguros e impuestos.

3º)—Gastos de Dirección y mercados. Comprende sueldos, arriendos, contabilidad, ventas, servicios legales, gastos generales.

Es importante para las empresas ajustar el presupuesto a una producción variable, y ver cómo varían los gastos totales con la producción.

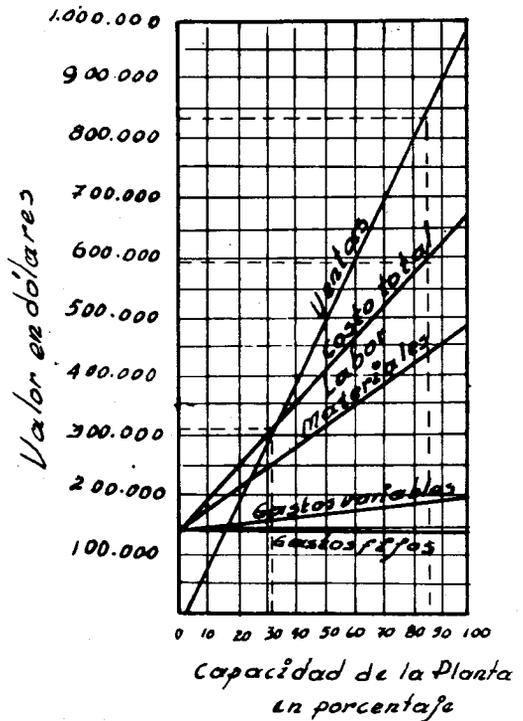
Rautenstrauch, sugiere un método gráfico para determinar el presupuesto exacto en una producción variable, y agrupa los gastos en la siguiente forma:

1º)—Materiales directos que varían directamente con la producción.

2º)—Labor directa que varía directamente con la producción.

3º)—Gastos fijos que no varían con la producción y que son substancialmente constantes, como por ejemplo, los intereses sobre el capital invertido, depreciación, seguros, impuestos.

La figura muestra un gráfico según el método indicado por Rautenstrauch, para una planta química cuya capacidad normal en ventas por año es de U.S. \$ 1'000.000.



Analizando el gráfico vemos que si las ventas por año son inferiores a U.S. \$320.000 se obtien-

drá una pérdida; es decir, que si la planta trabaja a un 32% de su capacidad, los costos totales de labor van a ser iguales a las ventas y no se obtiene ninguna ganancia. En cambio, si se opera a un 85% de la capacidad normal, se obtienen los siguientes resultados:

Ventas por año	U.S. \$ 840.000
Costo total de labor (comprende materiales, gastos variables y gastos fijos)	\$ 590.000
Ganancia por año	U.S. \$ 250.000

### BIBLIOGRAFIA:

“Chemical Engineering Plant Design”, por Vilbrandt. 2nd Edition.  
 “Industrial Economics”, por Kimball.

# Propiedades Termodinámicas del SO<sub>2</sub> a Altas Presiones y Temperaturas

Jesús M<sup>a</sup> Escovar. Alumno del último Año.

Debido a la necesidad de las altas presiones y temperaturas en la mayor parte de las síntesis químicas y en la separación de los gases, es conveniente el conocimiento de las propiedades termodinámicas en estas condiciones.

Algunos de los métodos más importantes para la evaluación de las principales propiedades termodinámicas son: Coeficiente de Joule-Thomson; relaciones entre P, V, T; método gráfico. De éstos, el más exacto es el que se basa en las relaciones entre P, V, y T; en este método lo que más interesa es conocer la ecuación de estado; si se elije el volumen como variable independiente en lugar de la presión, las diferenciaciones e integrales necesarios pueden efectuarse con mayor facilidad; en este caso, como se verá más adelante; P,  $(\partial P/\partial T)_V$  y  $(\partial P/\partial V)$ ; deben ser encontrados en términos de volumen e integrados con relación a él.

La ecuación de estado que se seguirá a lo largo del trabajo será la ecuación de Van der Waal's cuya fórmula matemática es:

$(P + a/V^2)(V - b) = RT$ . Los valores de a y b se pueden obtener por las fórmulas  $a = 27R^2/4P_c$      $b = RT_c/8P_c$ .

### ECUACION GENERAL PARA EL CAMBIO DE ENTALPIA

$$\Delta H = \int_{T_0}^{T_1} C_p dT + \int_{P_0}^{P_1} [V - T (\partial V/\partial T)_P] dP \quad (1)$$

Pero es más fácil encontrar ecuaciones que relacionen el V, P y T explícitas en volumen; se puede, por medio del cálculo integral y diferencial, pasar de una ecuación explícita en presión a una explícita en volumen y al contrario.

Supongamos V como una función de P y T, tenemos entonces la ecuación  $V = f(P, T)$ ; buscando la derivada parcial del volumen, obtenemos:

$dV = (\partial V/\partial T)_P dT + (\partial V/\partial P)_T dP$ . Cuando el cambio de volumen es pequeño podemos asumir que  $dV$  es igual a cero y nos queda:

$$\begin{aligned} (\partial V/\partial T)_P dT &= - (\partial V/\partial P)_T dP \text{ de donde,} \\ - T(\partial V/\partial T)_P dP &= T(\partial P/\partial T)_V dV. \end{aligned} \quad (2)$$

El valor de  $VdP$  se obtiene diferenciando a  $PV$  así:

$$dPV = PdV + VdP \text{ de donde } VdP = dPV - PdV, \text{ integrando:}$$

$$\int_{P_0}^{P_1} VdP = P_1 V_1 - P_0 V_0 - \int_{V_0}^{V_1} PdV \quad (3)$$

$$\text{El valor de } C_p dT \text{ es igual a } [7.70 + (53)(10^{-4})T - (83)(10^{-8})T^2] dT \quad (4)$$

Este valor es válido para valores de temperatura entre 250°K. y 3000°K.

Sustituyendo las ecuaciones (2) y (4) en la ecuación (1), nos queda:

$$\Delta H = \int_{T_0}^{T_1} C_p dT + P_1 V_1 - P_0 V_0 - \int_{V_0}^{V_1} PdV + \int_{V_0}^{V_1} T(\partial P/\partial T)_V dV \quad (5)$$

$(\partial P/\partial T)_V$  se puede hallar de la ecuación de estado diferenciándola a volumen constante.  $dP = dRT/(V-b) - a/V^2$  de donde  $(\partial P/\partial T)_V = R/(V-b)$  (6)

Como en la ecuación (5) aparece  $P$ , que también es una variable, se puede reemplazar por su equivalente  $P = RT/(V-b) - a/V^2$  (7)

Sustituyendo la ecuación (6) y (7) en la ecuación (5) tenemos:

$$\Delta H = \int_{T_0}^{T_1} C_p dT + P_1 V_1 - P_0 V_0 - \int_{V_0}^{V_1} [RTdV/(V-b) - adV/V^2] + \int_{V_0}^{V_1} TRdV/(V-b),$$

Reduciendo a términos semejantes:

$$\Delta H = \int_{T_0}^{T_1} C_p dT + P_1 V_1 - P_0 V_0 + \int_{V_0}^{V_1} adV/V^2 \quad (8)$$

Reemplazando en la (8)  $C_p dT$  por su valor, nos queda:

$$\Delta H = \int_{T_0}^{T_1} [7.70 + (53)(10^{-4})T - 83(10^{-8})T^2] dT + P_1 V_1 - P_0 V_0 +$$

$$\int_{V_0}^{V_1} adV/V^2 \quad (9)$$

La ecuación (9) es la que se utilizará para encontrar la Entalpia a una temperatura y presión determinadas. La Entalpia será un poco por debajo del valor obtenido en unas tablas de propiedades termodinámicas o de un gráfico, a causa de las aproximaciones de la regla de cálculo y debido también a que el gas en cuestión no se comporta exactamente de acuerdo con la ecuación de estado escogida.

Como un ejemplo, avaluemos la Entalpia del  $SO_2$  a 305°F. y 1034 lb./pul. cuadr. partiendo de la Entalpia a 100°F y 84.1 lb./pul. cuadr.

Llamemos entonces:

$$P_0 = 84.1 \text{ lb./pul. cuadr.}$$

$$T_0 = 100 \text{ °F}$$

$$H_0 = 208.1 \text{ B. t. u./lb.}$$

El volumen  $V_0$  se puede encontrar por el método de tanteos y errores; para obtener el volumen por este método basta suponer distintos volúmenes y reemplazarlos en la ecuación de estado. Aquel volumen que más se acomode a la ecuación es el volumen que corresponde al gas en las condiciones particulares.

En el siguiente cuadro se pueden ver algunos volúmenes y las presiones resultantes al ser reemplazados en la ecuación de estado.

Ecuación:

$$84.1 = 6908/(V - 0.91) - 25500/V^2$$

Volumen	Presión
66	98.8
65	91.92
78	85.40
78.5	84.80
78.57	84.20

Del cuadro anterior se puede ver que el valor del volumen que, al reemplazarlo en la ecuación de estado, se acerca a la presión inicial, es 78.57 pies cúbicos/lb-mol.

El volumen  $V_1$  se puede obtener por el mismo método que se siguió para obtener el volumen inicial.

Ecuación:

$$1034 = 8200/(V - 0.91) - 25500/V^2$$

Volumen	Presión
3.45	1088
3.44	1085
3.82	1047
3.818	1041
3.816	1036

El volumen, que reemplazado en la ecuación de estado, se acerca más a la presión final, es 3.816 pies cúbicos/lb-mol.

$$\begin{aligned} T_1 &= 305^\circ\text{F} \\ P_1 &= 1304 \text{ lb/pulg. cuadr.} \\ H_1 &= ? \\ V_1 &= 3.816 \text{ pies cúbicos/lb-mol.} \end{aligned}$$

$$\int_{T_0}^{T_1} C_{p,d}dT = \int_{T_0}^{T_1} [7.70 + 53(10^{-4})T - 83(10^{-8})T^2] dT$$

Como  $C_p$  está dado en cal $^\circ$ /K es necesario convertir los grados  $^\circ\text{F}$  en grados Kelvin

$$\begin{aligned} ^\circ\text{C} &= 5/9 (F - 32) = 5/9 (100 - 32) = 37.78 = 310.88 \text{ }^\circ\text{K} \\ ^\circ\text{C} &= 5/9 (305 - 32) = 270.00 = 480.30 \text{ }^\circ\text{K} \end{aligned}$$

Desarrollando la ecuación para  $C_p$  tenemos:

$$\begin{aligned} \int_{T_0}^{T_1} C_{p,d}dT &= 7.70 (480.30 - 310.88) + \frac{53(10^{-4})}{2} (480.30^2 - 310.88^2) \\ &\quad - \frac{83(10^{-8})}{3} (480.30^3 - 310.88^3) \\ &= 878.1 + 222.2 - 12.87 = 1087.43 \text{ cal/mol.} \end{aligned}$$

$$P_1 V_1 - P_0 V_0 = 3.816 (1034) - (84.1) (78.57) \\ = -2,660.00 \text{ pié cúbico lb/pulg. cuadr./lb-mol.}$$

Como:

$$1 \text{ pié cúbico} = 28.3 \text{ ltrs.} \quad 1 \text{ ltr. atmosf.} = 0.09612 \text{ B. t. u.} \\ 1 \text{ lb/pulg. cuadr.} = 1/14.7 \text{ atmósferas.}$$

$$P_1 V_1 - P_0 V_0 = 2,660 (28.3) (1/14.7) = 5100.00 \frac{\text{ltr-atms}}{\text{lb-mol.}} = 490.0 \text{ B. t. u./lb-mol.}$$

Integrando a  $adV/V^2$  entre los límites  $V_1$  y  $V_0$  tenemos:

$$\int_{V_0}^{V_1} \frac{adV}{V^2} = -a (1/V_1 - 1/V_0) = -25500 (1/3.816 - 1/78.57) = -1160.0 \frac{\text{B. t. u.}}{\text{lb-mol.}}$$

$$\int_{T_0}^{T_1} C_p dT = 1087.43 (1/252) = 4.34 \text{ B. t. u./lb-mol.}$$

Reemplazando cada una de las expresiones por su valor:

$$\Delta H = 4.34 + 490.0 - 1160.0 = -1,625.66 \text{ B. t. u./lb-mol.}$$

$$= -1,625.66/64 = -25.4 \text{ B. t. u./lb.}$$

$$H = H_0 - 25.4 = 208.1 - 25.4 = 182.7 \text{ B. t. u./lb.}$$

En las tablas con las propiedades termodinámicas del  $\text{SO}_2$  publicada en "Transactions of the American Institute of Chemical Engineers", dan un valor para la Entalpia a las condiciones finales de 196.00 B. t. u./lb.

## ENTROPIA

Otra de las propiedades termodinámicas importantes de un gas es la Entropía. Para encontrar esta propiedad del gas en cuestión y a las mismas condiciones finales del caso anterior, procedemos de al siguiente manera:

$$Q = E + W \tag{10}$$

El trabajo que se hace o hecho por un gas es igual al cambio del volumen por la presión:

$$dQ = dE + PdV \tag{11}$$

Ahora:

$E = H - PV$  por definición. De donde:

$$dE = dH - PdV - VdP \tag{12}$$

Reemplazando la ecuación (12) en la (11):

$$dQ = dH - PdV - VdP + PdV = dH - VdP \\ \text{Pero } dS = dQ/T \text{ ó } dQ = TdS = dH - VdP \tag{13}$$

Haciendo en la ecuación número (1) a P constante,  $dP$  será igual 0 y entonces:

$$dH = C_p dT \text{ ó } C_p = dH/dT \text{ y } dH = C_p dT. \tag{15}$$

Reemplazando la ecuación (15) en la (14) y haciendo a P constante:

$$TdS = C_p dT \text{ ó } C_p = TdS/dT. \tag{16}$$

Igualando las ecuaciones (15) y (16):

$$TdS/dT = dH/dT \text{ y } T \left( \frac{\partial S}{\partial P} \right)_T = \left( \frac{\partial H}{\partial P} \right) \tag{17 y (14) resp.}$$

Diferenciando la ecuación (13) con respecto a T, a presión constante:

$$T \left( \frac{\partial^2 S}{\partial P \partial T} \right) + \left( \frac{\partial S}{\partial P} \right)_T = \left( \frac{\partial^2 H}{\partial P \partial T} \right) - \left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_P \quad (18)$$

Diferenciando la ecuación (17):

$$\frac{T \left( \frac{\partial^2 S}{\partial T \partial P} \right)}{\left( \frac{\partial T}{\partial P} \right)} = \frac{\left( \frac{\partial^2 H}{\partial T \partial P} \right)}{\left( \frac{\partial T}{\partial P} \right)} \quad (19)$$

Sustituyendo la ecuación (19) en la (18):

$$\left( \frac{\partial S}{\partial P} \right)_T = - \left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_P$$

La Entropía (S) es una propiedad y por lo tanto podemos escribir:

$S = f(T,P)$  y de aquí se deduce, por cálculo diferencial, que:

$$dS = \left( \frac{\partial S}{\partial T} \right)_P dT + \left( \frac{\partial S}{\partial P} \right)_T dP \quad (20)$$

Haciendo las sustituciones del caso, nos queda:

$$dS = C_p dT/T - \left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_P dP$$

### ECUACION GENERAL PARA EL CAMBIO DE ENTROPIA:

$$\Delta S = C_p dT/T - \left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_P dP$$

Como un ejemplo encontramos la entropía del  $SO_2$  para las condiciones finales ya indicadas.

Se busca primero el valor  $\left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_P$  lo cual se puede conseguir obteniendo dos vo-

lúmenes del gas a diferentes temperaturas pero a la misma presión.

El volumen a 84.8 lb/pul. cuadr., 100°F y 305°F respectivamente:

Volumen a 84.8 lb/pulg. cuadr. y a 100°F es igual a 78.5 pié<sup>3</sup>/lb-mol.

Volumen	Presión	Temp.
94.0	83.5	305°F
94.5	83.13	"
94.91	83.43	"
94.70	84.84	"

Se puede tomar el volumen a 84.8 lb/pul. cuadr. y a 305°F como igual a 94.70 pié<sup>3</sup>/lb-mol.

$$\left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_P = (94.70 - 78.50)/(305.0 - 100) = 0.0780. \text{ pié}^3/\text{lb-mol.}/^\circ\text{R.}$$

$$dP = (1034.0 - 84.1) = 949.90 \text{ lb/pulg. cuadr.}$$

$$\left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_P dP = 5.03 \text{ (atmsf.) (pié}^3\text{)/lb-mol./}^\circ\text{R} = 13.70 \text{ B. t. u./lb-mol./}^\circ\text{R.}$$

$$C_{Pd}T/T = [7.70/T + (53)(10^{-4}) - (83)(10^{-8})T] dT$$

$$\int_{T_0}^{T_1} C_P \frac{dT}{T} = 7.70 (2.3) (\log 480.3 - \log 310.88) + (53)(10^{-4})(480.3 - 310.88)$$

$$- \frac{(83)(10^{-8})}{2} (480.3^2 - 310.88^2).$$

$$= 3.35 + 0.898 - 0.064 = 4.184 \text{ cal/}^\circ\text{K/gr-mol.}$$

$$= 8.35 \text{ cal/}^\circ\text{R/gr-mol.}$$

$$= 0.0331 \text{ B. t. u./}^\circ\text{R/lb-mol.}$$

Reemplazando los valores correspondientes, tenemos:

$$S_1 = S_0 + (0.0331 - 13.70)/(64).$$

Las tablas de las propiedades termodinámicas del SO<sub>2</sub> dan un valor para la entropía, a las condiciones iniciales, de 0.409 B. t. u./<sup>o</sup>R/lb.

$$S = 0.409 - 0.0214 = 0.375 \text{ B. t. u./}^\circ\text{R/lb.}$$

Las tablas para las propiedades termodinámicas del SO<sub>2</sub>, a las condiciones finales dan una entropía de 0.334 B. t. u./lb<sup>o</sup>R.

Hay otras propiedades termodinámicas aunque menos importantes tales como la fugacidad (f), energía libre(F), contenido de energía interna (E) etc.

### NOMENCLATURA:

P	Presión del gas en cuestión lb/pulg. cuadr.
V	Volumen del gas en cuestión pié <sup>3</sup> /lb-mol.
T	Temperatura del gas en cuestión <sup>o</sup> F
T <sub>c</sub>	Temperatura crítica del gas, 430.3 <sup>o</sup> K.
P <sub>c</sub>	Presión crítica del gas, 77.7 atmósferas.
R	Constante universal de los gases, 10.73 (pié <sup>3</sup> ) (lb/pulg. cuadr.)/ <sup>o</sup> R/lb-mol.
a/V <sup>2</sup>	Corrección a la presión; esta corrección es debida a la fuerza de atracción entre moléculas y se conoce con el nombre de "presión interna" o "presión cohesiva", lb/pulg. cuadr.
a	25500 (lb) (pié <sup>3</sup> )/pulg. cuadr./lb-mol.
b	Corrección al volumen total debido al volumen real ocupado por las moléculas mismas, 0.91 pié <sup>3</sup> /lb-mol.
H	Entalpia, B. t. u./lb.
C <sub>p</sub>	Calor específico del gas a presión constante, cal/ <sup>o</sup> K
dT	Cambio de Temperatura, <sup>o</sup> F.

$$\left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_P \text{ Derivada parcial del volumen con relación a la presión permaneciendo constante la temperatura.}$$

$$\left( \frac{\partial V}{\partial P} \right)_T \text{ Derivada parcial del volumen con relación a la temperatura permaneciendo constante la presión.}$$

Q Calor absorbido por el gas, B. t. u./lb.

- E Energía interna del gas B. t. u./lb.  
W Trabajo dado por o hecho sobre el gas (PdV) lb-pié.  
S Entropía, B. t. u./lb/°R.  
Los sub-índices  $0$  y  $1$  indican las condiciones iniciales y finales respectivamente.

### BIBLIOGRAFIA:

- Chemical Engineering Thermodynamics — B. Dodge.  
Chemical Engineers' Handbook — J. H. Perry.  
American Institute of Chemical Engineers (Transactions vol. N° 41).  
Industrial and Engineering Chemistry (revista 1940 marzo).  
Chemical Engineering Progress (revista 1947 enero).

## Notas sobre Evaporación de Jugos Azucarados

El costo de evaporar 1.000 lbs. de agua de una solución cualquiera, varía entre amplios límites. Ello se debe, principalmente, al costo del vapor y al número de efectos que son económicamente factibles. El costo del vapor es un problema relacionado con la generación de potencia, niveles o diferencia de presiones, etc. El número de efectos que debe usarse está sometido a cálculos económicos, y éstos, a su vez, están influídos por la naturaleza de las soluciones y sus vapores, materiales de construcción y costo de instalación y operación.

Las principales características de las soluciones que influyen en el número de efectos económicamente factibles, son:

- 1º)—Viscosidad.
- 2º)—Elevación en el punto de ebullición.
- 3º)—Corrosividad.
- 4º)—Separación, o no, de sales.
- 5º)—Formación, o no, de escamas.
- 6º)—Punto de congelación.
- 7º)—Sensibilidad térmica.
- 8º)—Contaminación del producto.
- 9º)—Formación de espuma.
- 10º)—Naturaleza de los vapores.

Restringiéndonos al caso de evaporación de jugos azucarados, vale destacar:

**Viscosidad.**—Las soluciones de azúcar alcanzan una alta viscosidad en sus márgenes finales de concentración. Nada se sabe, infortunadamente, en cuanto a valores numéricos; ello se debe a que el efecto de alta o baja viscosidad se ha estudiado en los coeficientes de transmisión de calor y no como un tema separado. Puede anotarse sí, que en ningún caso es la viscosidad factor determinante en la selección del número de efectos, pues se han construído evaporadores para soluciones de azúcar, que van desde 2 hasta 8 efectos.

**Elevación en el punto de ebullición.**—Se conocen datos sobre elevación en el punto de ebullición para soluciones de azúcar puro. Sucede, sin embargo, que las soluciones de jugos azucarados en la práctica están lejos de su pureza total y por tanto hay un efecto combinado de azúcares y no azúcares en la elevación del punto de ebullición. Si la ley de Raoult fuera aplicable con exactitud a las soluciones de jugos azucarados, el problema estaría resuelto; pero sucede que experiencias hechas con soluciones reales, muestran que la ley de Raoult da apenas una ligera aproximación.

La elevación en el punto de ebullición influye en la diferencia de temperatura neta disponible en cada efecto, y por consiguiente, limita el uso

de vacío y vapor de calefacción, siendo ella un factor influyente en el diseño.

**Separación, o no, de sales.**—Las soluciones de azúcar más bajas de su punto de cristalización no depositan cristales, como es obvio. En el tacho cristizador el efecto de separación de cristales es definitivo, e influye en el uso de vapor de calefacción, área de calentamiento, valor del coeficiente de transmisión de calor, agitación mecánica de la solución, uso de alto vacío, etc.

**Formación, o no, de escamas.**—Casi todas las soluciones al hervir, depositan suciedades sobre la superficie de calentamiento. Las soluciones de azúcar, en todos sus márgenes de concentración, depositan escamas. Estos depósitos tienen varios efectos: disminuyen el coeficiente general de transmisión de calor; elevan el cambio de temperatura necesario, puesto que son una verdadera resistencia al flujo de calor; exigen limpieza continua de los tubos de calefacción, lo que aumenta el costo de labor; en algunos casos corroen las superficies y traen desgaste del material, etc.

No obstante lo anterior, rara vez la velocidad de formación de escamas dicta el número de efectos. Pero la formación de escamas está, a menudo, relacionada a otros factores más influyentes, y por tanto, se le estudia como una función de aquéllos.

**Sensibilidad térmica.**—Se ha observado que a temperaturas tan bajas como 40°C, el azúcar ya empieza a caramelizar. Sin embargo, las pérdidas por este aspecto a tan bajas temperaturas, son despreciables. Cuando la concentración de la solución de azúcar aumenta por encima de cierto límite, la caramelización es ya un factor decisivo en el proceso. Este factor hay que tenerlo en cuenta especialmente en el diseño del último efecto y tacho cristizador. Pero, puesto que éstos no pueden diseñarse aisladamente del resto de la planta, habrá que coordinar las temperaturas de ebullición en las otras unidades con las concentraciones; y esto a su vez, fija vacíos óptimos y uso de vapor de calefacción adecuado, definiéndose así, en parte, el número de efectos.

Hay, además de los factores mencionados, factores esencialmente económicos, que imponen el número de efectos aún por encima de algunos de los factores técnicos. Entre los factores económicos se destacan:

**Costo anual del vapor.**—Este factor está defi-

nido por el diseño y operación de la planta de potencia. Hay lugares en donde el costo de combustible, agua, operación, etc. es bajo, y esto redundará, como es lógico, en un bajo costo del vapor. Entonces no será preciso hacer el diseño de los evaporadores para muchos efectos, (puesto que la economía de vapor crece con el número de efectos), y así el costo inicial disminuirá.

**Costo anual de agua.**—Esto hace referencia al agua de los condensadores en la planta de evaporación. El consumo de agua en los condensadores está dictado por la temperatura del vapor que se condensa, gasto de vapor por hora que llega al condensador, temperatura del agua de enfriamiento, vacío dentro del condensador, temperatura de descarga del condensador, etc.

**Costo anual de potencia.**—El consumo de potencia en una planta de evaporación lo establece el número de bombas de circulación, bombas de vacío y también el consumo de vapor; pues debe considerarse el vapor usado en las bombas, como potencia equivalente.

**Costos de labor y operación.**—Es claro que éstos crecen con el número de efectos.

Otros factores económicos que no se discutirán individualmente son: interés anual y depreciación; economía de evaporación (lbs. de vapores desprendidos por lb. de vapor de calefacción usado); inversiones extras y accesorios que exija un diseño sobre otro; materiales de construcción (aunque este factor lo fija más bien las características de la solución).

En total, debe usarse el grupo de factores decisivos en el diseño; sin olvidar que las condiciones anteriores y posteriores a la evaporación en el proceso, a veces influyen decisivamente en una u otra solución.

Angel Zapata C.  
Alumno de 5º Año.

#### REFERENCIAS:

Chemical Engineers' Handbook, J. H. Perry  
Cane Sugar, Noel Deerr.  
Evaporation. Webre and Robinson.  
Some aspects of the Economics of Evaporation, publicado en: Transactions of the American Institute of Chemical Engineers, Vol. 42 — 1946. H. B. Caldwell and W. D. Kohlins.

# REFRIGERACION

## Compresión de Vapor en dos Períodos

Por: Manuel D. Mier L.  
Alumno de 4º Año

### PROBLEMA

Se desea enfriar 1.000 galones por hora de una solución de gravedad específica 1.10 y calor específico de 1.05 B. t. u./lb.ºF, desde 50 ºF (10ºC) hasta -14 ºF (-25,5ºC).

Se usarán las siguientes condiciones y suposiciones:

**Refrigerante:** Amoníaco.

Agua de enfriamiento a 68ºF (20ºC), la cual va a subir 12ºF en el enfriador y en el condensador.

Una diferencia de temperatura de 10ºF entre el agua de enfriamiento y el refrigerante en el enfriador y en el condensador. Una diferencia de 10ºF entre la solución enfriada y el refrigerante que se evapora.

Pérdidas de calor al ambiente: 5%.

Eficiencia (general) de los Compresores: 75%.

La compresión es isentrópica.

Los vapores que entren a los compresores están saturados a las condiciones de succión dadas.

La presión intermedia será tal que el trabajo hecho en los dos períodos será aproximadamente igual.

Despréciense las caídas de presión debidas a la fricción, excepto en las válvulas de estrangulación.

Las propiedades del Amoníaco se tomarán del "Chemical Engineers' Hadbook", de J. H. Perry. (págs. 2550, etc.)

### Calcular:

1º).—Cuántas toneladas de refrigeración se necesitan.

2º).—La capacidad necesaria en Lbs. de NH<sub>3</sub>/hora para cada uno de los dos Compresores.

3º).—La potencia necesaria para la compresión.

### Solución:

Calor que debe extraerse:  $(1000) (8.33) (1.10) (1.05) (64) = 616.000 \text{ Btu.}$

Pérdidas al ambiente:  $(0.05) (616.000) = \frac{30.800 \text{ "}}{646.800 \text{ Btu.}}$

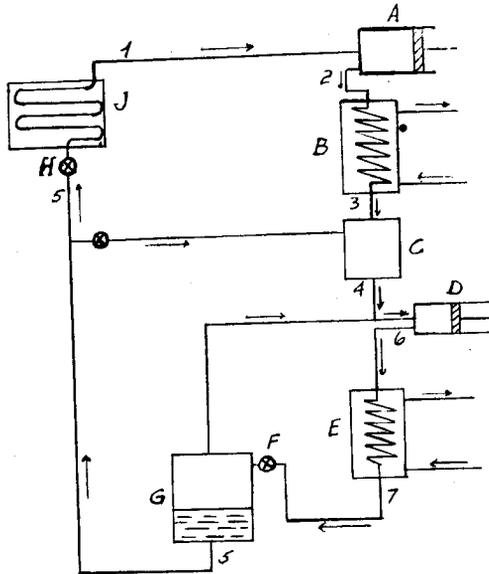
Toneladas de Refrigeración:  $\frac{646.800}{12.000} = 53.9$  1.) ←

Temperatura de condensación del NH<sub>3</sub>  
Temperatura de evaporación

90°F.  
—24°F.

Las dos temperaturas anteriores determinan las presiones de succión en el 1er. Compresor y de descarga del 2º Compresor.

Presión de succión: 16.42 Lbs./sq. in.  
Presión de descarga: 180.6 Lbs./sq. in.



- J Refrigerador.
- A Compresor de baja presión.
- B Enfriador del NH<sub>3</sub> comprimido.
- C Enfriador con NH<sub>3</sub> líquido.
- D Compresor de alta presión.
- E Condensador.
- F Válvula de expansión.
- G Depósito.
- H Válvula de expansión.

El depósito G se mantiene a la presión intermedia de 56 Lbs./sq. in. El vapor que se forma por la expansión Joule-Thomson se regresa al Compresor D, y el líquido se divide: una parte se expande a través de la válvula H. en el refrigerador para producir la refrigeración deseada y otra parte se evapora en C para enfriar el vapor comprimido en A.

La presión intermedia para que haya igual trabajo en ambos compresores aproximadamente, se calcula por tanteos. Unos pocos tanteos indican que 56 Lbs./sq. in. es correcta y aquí la supondremos así.

Las propiedades del Amoníaco que necesitamos usar, se encuentran el Perry y son:

Estado	P Lbs./sq.in. abs.	t °F	S B.t.u./lb°R	H B.t.u./lb.	Notas
1. Vapor saturado	16.42	-24.0	1.3863	603.6	Compresión isentrópica.
2. Vapor sobre-calentado	56.0	119.7	1.3863	673.7	
3. Vapor sobre-calentado	56.0	90.0	.....	657.1	
4. Vapor saturado	56.0	26.94	1.2844	619.7	Compresión isentrópica.
5. Líquido saturado	56.0	26.94	.....	72.3	
6. Vapor sobre-calentado	180.6	175.3	1.2844	690.6	
7. Líquido saturado	180.6	90.0	.....	143.5	

**Nota:** Los números que aparecen en la columna Estado, corresponden a aquéllos que figuran en el esquema del proceso. Para las propiedades 2, 5 y 6 hubo necesidad de hacer interpolaciones.

**Base:** 1 Lb. NH<sub>3</sub> que pasa a través del serpentín del Refrigerador.

Refrigeración por Lb. NH<sub>3</sub>:  
Calor removido en el Intercambiador C:

$$H_1 - H_5 = (603.6 - 72.3) = 531.3 \text{ Btu.}$$

$$H_3 - H_4 = (657.1 - 619.7) = 37.4 \text{ Btu.}$$

$$\frac{H_3 - H_4}{H_4 - H_5} = \frac{37.4}{(619.7 - 72.3)} = 0.0684$$

Lbs. NH<sub>3</sub> necesarias para producir este enfriamiento:

Sea,  $x =$  Calidad del NH<sub>3</sub> después de la expansión en F.

**Balance de calor alrededor de F**

$$H_7 = xH_4 + (1 - x)H_5$$

$$143.5 = 619.7x + 72.3(1 - x)$$

$$x = 0.130$$

Sea,  $m =$  Lbs. NH<sub>3</sub> que entran al Compresor 2º

**Balance de Material:**

$$m = 1 + 0.0684 + 0.130m$$

$$m = 1.228$$

Lbs. NH<sub>3</sub> que circulan por el Refrigerador:  $\frac{646.800}{(603.6 - 72.3)} = 1.218$

Capacidad 1er. Compresor:  $= 1.218 \text{ Lbs. NH}_3/\text{hora}$  ← 2º

Capacidad 2º Compresor:  $m(1.218) = (1.228)(1.218)$

$= 1.496 \text{ Lbs. NH}_3/\text{hora}$  ← 2º

Lbs. NH<sub>3</sub> líquido necesarias para producir enfriamiento en C, Vapor formado por la expansión Joule-Thomson en F, que se regresa al 2º Compresor:  $(0.0684)(1.218) = 83.4$

$(0.130)(1.496) = 194.6$

Balance 2º Compresor:

$$\begin{array}{r} 1.218 \\ 83.4 \\ \hline 194.6 \end{array}$$

$1.496.0 = 1.496 \text{ Lbs. NH}_3$  que llegan al 2º Compresor.

Trabajo en el 1er. Compresor:  $H_2 - H_1 = (673.7 - 603.6) = 70.1 \text{ Btu./lb. NH}_3$   
 $(70.1)(1.218)$

Potencia necesaria en el 1er. Compresor:  $\frac{(0.75)(3.415)}{(0.75)(3.415)} = 33.3 \text{ Kw}$

Trabajo en el 2º Compresor:  $H_6 - H_4 = (690.6 - 619.7) = 87.1 \text{ Btu./lb. NH}_3$   
 $(87.1)(1.496)$

Potencia 2º Compresor:  $\frac{(0.75)(3.415)}{(0.75)(3.415)} = 41.4 \text{ Kw.}$

Potencia total necesaria para la Compresión:  $74.7 \text{ Kw}$  ← 3º

**REFERENCIAS:**

Chemical Engineers' Handbook — J. H. Perry.  
Chemical Engineering Thermodynamics. — B. Dodge.

# INTERMEDIO

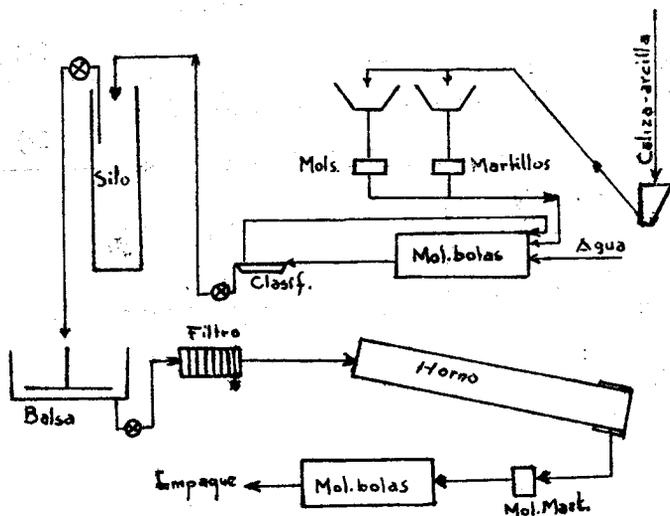
## NUESTRA MONOGRAFIA

### La Industria del Cemento Portland

En el deseo de que el presente trabajo cumpla con amplitud su cometido, quiero presentar, primeramente, una breve reseña histórica de la industria del cemento, lo mismo que el esbozamiento en la forma más exacta que permita esta monografía, del conjunto de operaciones y procesos unitarios que nos demanda, para luego ocuparme de lo que para el país representa tal industria en el rol de su progreso.

La aparición del cemento como producto manufacturado contribuyente efectivo al progreso material de los pueblos, se remonta a los principios del siglo pasado, hacia el año de 1824, cuando el ciudadano inglés Joseph Asp-

A partir de esta fase inicial industrial, el cemento continuó por un buen número de años siendo producido sobre bases estrictamente empíricas, y así se generalizó a Alemania desde 1852 y a Estados Unidos veinte años después de esta fecha; es natural que de la ausencia de principios y leyes que regularan los procesos unitarios de esta industria no podrían derivarse productos homogéneos, de cualidades mecánicas adecuadas y suficientemente bajos en sus costos, razones que en el consumo se traducían en el desplazamiento de ellos por los cementos naturales y aquéllos otros conocidos desde tiempos primitivos. Por otra parte, esta situación era



CEMENTO PORTLAND - Diagrama de Circulación  
C. V. P.

din patentó una fórmula con el siguiente titular: "Un procedimiento mejor para la elaboración de piedra, la cual yo llamo CEMENTO PORTLAND". Esa patente no hacía inclusión de datos técnicos relativos a los fenómenos térmicos y proporción de materiales básicos, sino la relación del proceso efectuado sobre una mezcla artificial de compuestos arcillosos y calcáreos que a la calcinación suministraban un producto que, molido y combinado con agua, presentaba el aspecto de una masa compacta muy similar en su color a la piedra de cantera de Portland, nombre este de una isla próxima a Inglaterra.

agravada por la reducida producción del Cemento Portland.

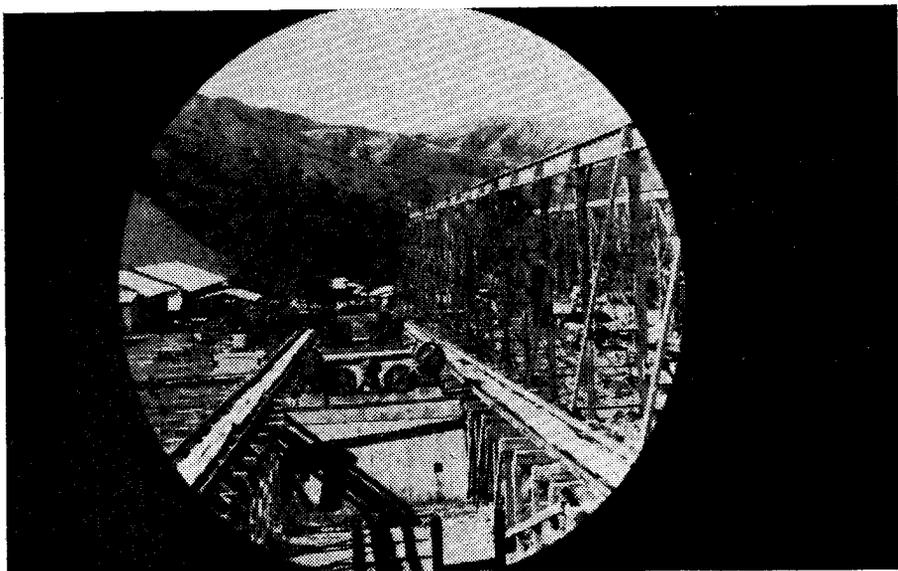
Unos años más tarde, en 1887, el químico francés Henri Le Chatelier, investigador muy notable en el campo de la químico-física, sentó las bases sobre la estructura química de los cementos portland con estudios y cálculos que han sido adelantados y acrecentados por continuadores de su obra y que al presente son la norma de expresión de los diversos módulos y factores del cemento y sus materias primas. Gradualmente esos estudios se perfeccionaron y en la época actual no quedan sino algunos recodos en donde no se ha podido

formular con precisión los fenómenos, como sucede en el cálculo del tiempo de fraguado, que sí puede ser aproximadamente controlado, y la química de la formación del cemento y sus transformaciones en el fraguado que aún es incompleta. En los últimos años el real avance hasta el logro de instalación de las modernas y eficientes plantas de cementos es fruto indiscutible de los progresos en el campo de la Ingeniería Química y del análisis químico, cuyo papel de control de impurezas y proporciones de materiales básicos es importantísimo.

En Colombia esta industria viene desempeñando su función creadora de progreso desde los comienzos de este siglo. En el departamento de Cundinamarca se inició una producción estable de cemento portland cuando en nuestro

y en otros el más empleado: el proceso por vía húmeda.

El cemento portland que se ajusta a las especificaciones internacionales, es un producto de color gris verdoso, finamente pulverizado, obtenido por la fusión incipiente y luego sinterización de una rigurosa mezcla proporcional de materiales arcillosos y calcáreos con subsecuente adición de yeso. Se conocen de él unas cuantas variedades de las cuales son más conocidas y consumidas las siguientes: "regular", para estructuras y labores de condiciones no especiales, es decir, comunes, que son las que mayor producción exigen. "H. E. S." (high early strength), los de esta variedad son cementos con módulo de sílice bajo y alto porcentaje en  $C_3S$  (silicato tricálcico), caracteri-



A través del último tramo del horno, al salir esta entrega ya se encuentra completamente montado, apreciamos una silueta de trabajo.

país apenas se iniciaban obras en concreto de algún alcance. Hasta hace dos décadas esa producción fue lenta en su crecimiento, y por ser justamente más acelerado el ritmo de desarrollo material del país que el suministro nacional de este material de construcción, fue una necesidad obligante el ensanche de su producción hasta llegar a un nivel que como el de hoy, está próximo a solucionar integralmente el problema de la escasez causada por el enorme volumen de construcciones de toda índole.

**Fabricación del Cemento.** En los mercados se encuentra una múltiple variedad de tipos de cemento manufacturado, además del cemento natural. De entre todos ellos, el tipo Portland es el de mayor consumo y por lo tanto el más común y a él especialmente se referirá la parte de este trabajo dedicada a la fabricación por el método que en el país es el único

zados por la rapidez de fraguado con alta producción de calor y pronto alcance de su resistencia a la tensión. La producción de este cemento presenta el peligro de llevarse un exceso de cal libre que se evita con cuidadoso control del proceso y empleo de equipo excelente. El calor desarrollado en el fraguado de este cemento a los 7 y 28 días es de 240 y 286 cal/gramo respectivamente. Otra variedad de portland es aquel que al fraguado, desarrolla un color inferior al HES (en promedio un 20% menor) debido a los altos porcentajes de aluminoferrita tetracálcica y silicato dicálcico ( $C_4AF$ ,  $C_2S$ ). Las otras variedades corresponden a cementos especiales químicos útiles como materiales anticorrosivos.

Los procedimientos standardizados para producción de cementos son dos: el de vía húmeda y el de vía seca. El primero es el más ampliamente practicado en las factorías de Norte

y Sur América y constituye en el total de ellas un 63%; la notable ventaja de trabajar con este sistema es su flexibilidad en la operación de mezclado, que permite un severo control de las proporciones correspondientes a las materias primas. El de vía seca por su parte, presenta mayores facilidades en el manejo de material duro y economía en el consumo de combustible, además de ser el equipo empleado generalmente más pequeño, especialmente los hornos que son 30 a 40% más reducidos que los de aquí. La adopción de uno u otro sistema depende, pues, de las condiciones específicas de las materias primas y de los combustibles.

El diagrama de circulación adjunto es general para las plantas de cementos con sistemas de vía húmeda, como las adoptadas en todas las de Colombia. La secuencia de operaciones y procesos unitarios se describe sobre esa base y es ajustada a una de las plantas que funcionan en Antioquia, en la siguiente forma:

Desde las canteras o caleras se transporta la caliza hasta la planta; ese transporte en algunas es muy corto por estar ubicadas en la zona de explotación, mientras que en otras es de considerables distancias (hasta de 120 kms.), lo que implica empleo de equipo pesado con las consiguientes dificultades de tránsito. La primera operación unitaria la ejecutan las quebrantadoras que reciben la caliza en trozos hasta de 40 cms. con el objeto de reducirlo generalmente a tamaños máximos de 6 cms. La capacidad de este equipo, del cual el más usado es el tipo de quijadas, es un poco superior a la capacidad del horno para producir clinker y así proveer almacenamiento de reducido, operación que se lleva a cabo en tolvas conectadas a las quebrantadoras por bandas sin fin o por simple gravedad; alternativamente la misma banda transporta la arcilla hasta una tolva vecina a la de caliza y a partir de esta batería, arcilla y caliza, por gravedad e independientemente, descienden hacia sendos molinos de martillos en donde ésta sufre una posterior reducción hasta fragmentos de tres centímetros y aquélla queda molida a grano bastante fino. De este sistema de molinos, los materiales continúan en paralelo hasta el primer gran molino, que generalmente es de bolas; estos molinos son de capacidad proporcional a la producción de cemento, cilíndricos, giratorios a unas 30 r.p.m. (dimensiones usuales  $1.50 \times 10$  mts.) movidos por motores independientes hasta de 600 H.P. La mezcla de arcilla y caliza entra en proporción de 1 a 10 aproximadamente y recibe una corriente de agua en el molino que forma una pasta con un contenido de 35 a 40% de humedad. Algunas plantas que funcionan en el país, alimentan a este molino solamente caliza y otras calizas con deficiencia de arcilla, hecho que se observa en aquéllas que transportan desde las caleras no la caliza sino una pasta por medios de cañerías (llamadas regionalmente pastoductos). La descarga de estos molinos, es decir la pasta, la recibe un clasificador que generalmente es uno de Bowl,

el cual selecciona la pasta menos viscosa y el residuo lo recircula al molino de bolas. La pasta clasificada se envía por medio de bombas centrífugas a silos o tanques de corrección y dosificación en donde se ajusta su composición por medio de una pasta diferente. Los silos entregan por gravedad la pasta a un gran tanque cilíndrico de diámetro mayor que su altura, en donde se almacena; por medio de aire comprimido inyectado a los silos y al tanque (balsa), la pasta se hace homogénea y se evita así su decantación. En estas condiciones de composición la pasta queda lista para el tratamiento térmico y para ello se la bombea al horno cilíndrico o ligeramente cónico rotatorio. En las plantas con pastoducto, éste descarga la pasta en la balsa y de ésta por bombeo pasa a un molino de bolas en donde se mezcla a la arcilla para continuar el proceso de corrección anteriormente citado. Hasta aquí las operaciones unitarias en esta parte del proceso.

Los hornos, como se dijo, son ligeramente cónicos o cilíndricos y sus diámetros más usuales son de 1.80 a 4 mts. con longitudes variables de 40 a 120 mts. Las dimensiones de un horno son las bases para el cálculo de producción; sus velocidades varían entre 1/2 a 2 r.p.m. y son movidos por motores independientes y engranajes sobre soportes a distancias de acuerdo con su longitud; todo horno está montado con pendientes que oscilan entre 3 y 4%.

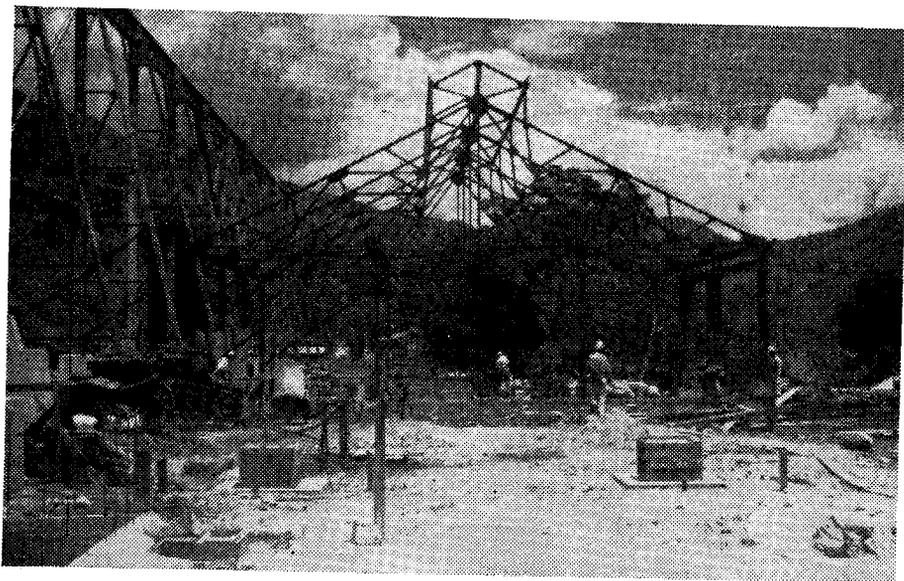
La pasta recorre el horno sometida a las siguientes zonas de transformación: 1ª zona, de evaporación, en la cual las temperaturas varían entre unos 400 a 600 grados C. suficientes para operar la completa eliminación de la humedad en la pasta. En esta zona que alcanza en longitud a un 25% de la longitud del horno están distribuidas una serie de cadenas que movilizan la pasta, contribuyen a uniformidad de circulación e impiden sobre todo la formación de costras sobre la pared refractaria. 2ª zona, de calcinación, es la más larga de todas pues alcanza hasta un 55% de la dimensión total y en ella la temperatura más corriente es de 1100 grados C. La mezcla libre de humedad llega a esta parte central del molino y por calcinación se descomponen sus carbonatos con eliminación de dióxido de carbono, que se incorpora a los productos de combustión que circulan en contracorriente a la pasta, y la mezcla de sílice, alúmina y cal se calienta hasta el rojo incipiente formando pequeñas bolas que ruedan a la zona siguiente. 3ª zona, de clinkerización, en ella la temperatura alcanza su valor máximo por estar rodeando la zona misma de la combustión y el fenómeno de la sinterización tiene el papel final luego de la fusión incipiente; en ésta zona hay un sistema de cadenas similar al de la zona de evaporación con fines iguales. Las reacciones químicas finalizan con la formación de silicatos y aluminatos de calcio. 4ª zona, de enfriamiento. Esta, bien puede ser lateral, adjunta al horno o independiente de él. Su función es enfriar el clinker que recibe a unos 1200 grados C., operación que generalmente

se hace por medio de aire fresco, consiguiendo con ello el doble fin de entregar clinker a unos 200 grados C. y precalentar el aire para la mezcla combustible del horno a temperaturas muy eficientes para la combustión. Este aire caliente atraviesa un molino para carbón que tiene dos zonas usualmente: la primera de secado y la siguiente de molido; en estas condiciones, se alimenta a los quemadores del horno una mezcla de carbon y aire secos y precalentados, que son las condiciones ideales para la eficiencia térmica de la operación. Esto sobre la base de ser hulla el combustible, pues hay plantas que trabajan con fuel oil u otra clase de aceites, y en ellas la circulación será diferente.

El clinker que entregan los enfriadores es conducido a molinos de martillos y de éstos a un molino de bolas en donde recibe el yeso

la conciencia del ensanche de la producción para amortiguar en parte el problema de enorme consumo y favorecer su economía. En breves líneas esbozaremos aquí la realidad y las posibilidades del cemento como industria en Colombia.

**Fábrica de Cemento Samper.** Situada en La Siberia (Cundinamarca). Capital autorizado \$ 7 millones, suscrito \$ 5 millones; producción actual diaria 250 toneladas métricas en un solo horno de  $2.50 \times 3.40 \times 3.00 \times 62$  mts. La compañía ha acordado un futuro plan de producción y ensache así: 600 toneladas a fines del año próximo y 1.600 toneladas luego de cuatro años más con capital autorizado de 12 millones. Fue la primera fábrica montada en el país en 1907 y hubo de transportar su caliza a lomo de mula. La nueva pro-



Las construcciones en la Fábrica de Cementos El Cairo, llevan la celeridad de nuestras necesidades.

y una pequeña cantidad de agua; el producto, molido a polvo muy fino, constituye el cemento portland. Una característica de trabajo de este último molino de bolas, es la refrigeración a que se lo somete con regaderas de agua externas para evitar los efectos térmicos del clinker aún caliente sobre las chapas del molino. El cemento es almacenado sobre tolvas de gran capacidad las que lo descargan sobre la sección de empaque.

#### **Plantas de cemento portland en Colombia.**

Como se dijo anteriormente, esta industria comenzó a desarrollarse en el país en la primera década del presente siglo con ritmo lento hasta hace unos 25 años, después de lo cual el incremento de las necesidades provocadas por el desarrollo material del país creó

la necesidad de la compañía "minas eternas" de caliza, darán materia prima por más de cien años.

**Compañía de Cementos Portland Diamante.** Esta empresa tiene en la actualidad dos plantas en producción: una de ellas situada en La Naveta, Apulo (Cund.) y la otra en Bucaramanga. Cada planta con un horno de  $2.25 \times 2.55 \times 75$  mts. y  $1.9 \times 2.25 \times 59$  mts. respectivamente. Capital \$ 8 millones, producción diaria conjunta: 300 toneladas. Actualmente se están acometiendo grandes trabajos, tendientes a duplicar la producción actual.

**Cementos del Valle, S. A.** En producción desde 1942, su planta situada en Puerto Isaacs (20 kms. de Cali) tiene un horno de  $2.55 \times 2.25 \times 67$  mts. con una producción de 150

toneladas diarias; capital \$ 4 millones. La marca del cemento es "Conquistador". Las minas quedan unos 10 kms. adelante de la planta, tiene una planta termoeléctrica de dos mil KW y el combustible usado es hulla de 6,800 cal/gr. El yeso lo lleva desde Ibagué y Rovira (Sant). Equipo SMITH de Dinamarca. En la actualidad la empresa está montando equipo para ampliar la producción a 450 toneladas.

**Compañía de Cementos Argos.** Tiene su planta en Medellín con un capital autorizado de \$ 5 millones y suscrito de \$ 2.5 millones. Tiene dos hornos de  $1.70 \times 1.90 \times 45$  mts. que producen diariamente 120 toneladas de cemento. Sus minas de caliza están situadas a 100 kms. de Medellín en la línea del Ferrocarril de Antioquia (Pto. Berrío) y el combustible es hulla de Amagá de 6,000 calorías; el yeso es de Santos (Sant.). Consumo en toneladas por tonelada de cemento: yeso 0.3, caliza 1.5 y hulla 0.38. La compañía ha resuelto el ensanche de la planta para un próximo futuro para unas 300 toneladas más. Equipo Smid, danés.

**Mármoles y Cementos del Nare, S. A.** Capital autorizado 5 millones. Esta compañía inició labores en la explotación de mármoles solamente en 1933, y más tarde en producción de cementos con una planta a 3.5 kms. de Pto. Nare en la margen izquierda del Magdalena a 45 kms. de Pto. Berrío, por el río. La producción actual es de 200 toneladas diarias en un solo horno y al presente adelantan trabajos de ensanche que producirán hacia fines de 1948 200 toneladas más. Utilizan un pastoducto de 17 kms. con cañerías de 4" para caliza con deficiencia de arcilla y humedad de 42%. El combustible usado es aceite clase 6 ASTH.

de 10,500 cal/gr. La ubicación de la planta es ventajosa para la distribución y pronto tendrá comunicación férrea directa con Medellín. Posee una planta hidroeléctrica con capacidad para 5 mil KW.

**Cementos El Cairo, S. A.** Está montando una planta en la jurisdicción del Municipio de Montebello (Ant.) en las proximidades del río Cauca a 3 horas de Medellín por carretera. El equipo de esta planta tendrá una capacidad de producción de 600 toneladas diarias, es decir, será una de las más grandes del país. El capital autorizado para esta empresa es 6 millones de los cuales hay suscritos cinco y son de su propiedad las caleras y miñas de carbón de 6 mil calorías. La distribución del equipo se ha hecho para que la circulación sea por gravedad. Desde las canteras se llevará en pastoducto una pasta de caliza de un 50% de humedad hasta la fábrica distante 3.5 kms. (cañerías de 3"). La producción se iniciará a fines del año entrante con 300 toneladas. La planta posee una casa de fuerza proyectada para 8 mil KW de los cuales serán iniciales 4 mil; aprovecha un volumen de aguas de 900 lts./seg. en una caída de 610 mts. y el montaje estará listo para mediados de 1948.

Otra planta en proyección, cuyos trabajos están bastante adelantados, es la Fábrica de Cementos el Caribe, en Barranquilla, que iniciará producción de 300 toneladas hasta normalizarse en 600.

De esta posición de la industria del cemento se deduce su gran desarrollo en los últimos años y la magnífica ampliación para un futuro muy cercano con la consiguiente ventaja para la economía del país.

**Carlos López Pabón.**  
*Alumno de último Año.*

## MISCELANEAS

### Protección del azúcar con Clorito de Sodio.

El Departamento Nacional de Medidas de los Estados Unidos, ha desarrollado un nuevo proceso para tratar el azúcar bruto con clorito de sodio, que inhibe la fermentación y ejerce al mismo tiempo una lenta acción de blanqueo. En vista de que durante el transporte y almacenamiento del azúcar hay una pérdida considerable por la acción de las bacterias, el nuevo proceso promete efectuar una economía substancial en la industria del azúcar.

El azúcar bruto se rocía o se trata con una solución de clorito de sodio, y se deja el clorito en contacto con el azúcar, mientras se le transporta o está almacenado. Durante éste período el reactivo ejerce una lenta acción de blanqueo

y protege el azúcar de la fermentación bacteriológica.

Es curioso observar que el clorito de sodio es mucho más efectivo en este proceso como un inhibidor de la infección bacteriológica que el cloro o el hipoclorito. Tal vez las últimas substancias se vuelven inactivas por la reacción con el azúcar. Sin embargo, el clorito, por ser inerte, permanece en la película que rodea los cristales de azúcar por largo tiempo e inhibe la acción de las bacterias.

El azúcar bruto debe centrifugarse antes de ser empacado para remover la mayor cantidad posible de melazas que se adhieren a los cristales de azúcar, y el clorito de sodio debe aplicarse en este punto del proceso.

## QUIMICA ORGANICA

CATEDRA DEL PROFESOR

## La Manteca de Otoba

L. A. Pérez-Medina, Ph. D.  
*Laboratorio de Orgánica.*

Es muy común en varias regiones de Colombia una manteca vegetal conocida con el nombre de otoba, a la que se atribuyen marcadas propiedades medicinales. Se la usa contra enfermedades de la piel en los animales, muy especialmente para curar las llagas que se forman con frecuencia en el lomo de las mulas y caballos por defectuosa construcción de las ensilladuras u otras causas. Se dice que en estos casos es notable la rapidez con que la lesión desaparece y se restituye el pelo. Se afirma además que ciertas dermatitis de los animales domésticos, e incluso del hombre, responden favorablemente al tratamiento con otoba.

Químicamente la otoba ofrece gran interés. Es muy notable observar que las primeras observaciones analíticas sobre este producto fueron hechas nada menos que en 1854 por el colombiano E. Uricoechea, en la universidad alemana de Göttingen. Muchos años más tarde, en 1921, la Secretaría de Agricultura de los Estados Unidos publicó un cuidadoso estudio analítico, verificado por W H. Baughman y otros, en los laboratorios de química de dicha dependencia oficial.

A continuación traducimos las observaciones de Uricoechea, que aparecen publicadas en los *Annalen der Chemie*. Haremos además un resumen de las conclusiones obtenidas por los investigadores estadounidenses. Para una próxima ocasión nos proponemos informar sobre algunos resultados obtenidos en nuestro laboratorio de orgánica.

"Sobre la Manteca de la Myristica Otoba y una nueva Substancia contenida en ella. Por E. Uricoechea.

*Annalen der Chemie*, 91, 369 (1854).

Con el nombre de otoba se conoce entre nosotros en la Nueva Granada una manteca que se obtiene de la Myristica Otoba, sin duda exprimiendo los frutos. De acuerdo con Bonpland (*Plantas Equinoxiales II*, 78) este árbol, propio de la República de la Nueva Granada alcanza una altura de cuarenta hasta cincuenta pies y se lo encuentra sólo en las regiones calientes. No han tenido éxito los ensayos hechos para trasplantarlo a la altiplanicie de Bogotá. Los frutos poseen el mismo sabor de la nuez moscada y Bonpland opina que pueden tener igual aplicación. La manteca que se obtiene de estos frutos, la otoba, es conocida desde tiempo atrás y se la preparaba antes del descubrimiento de América. De preferencia se la emplea a la sazón, extensamente, como medicamento para las enfermedades de la piel en los caballos.

La otoba es una manteca, no completamente incolora, parecida en apariencia a la mantequilla; cuando está fresca huele a nuez moscada. Al fundirla desprende un olor peculiar, desagradable, que se hace mucho más débil con el envejecimiento. Funde a 38°, mientras que la manteca de nuez moscada, según lo he comprobado, funde apenas a 51°. El color parduzco proviene aparentemente de impurezas, las cuales se separan durante la fusión y pueden eliminarse por filtración a través de un trapo.

Era de suponerse que esta manteca tendría en

principio la misma composición que la manteca de la nuez moscada. Hasta obtuve de ella por extracción con alcohol una substancia sólida, idéntica a la miristicina común, y cuyo punto de fusión fue de 46°.

La mayor parte de la manteca a mi disposición la sometí, con fines a un estudio más detallado, a la saponificación con lejía de soda cáustica. Del líquido que obtuve una vez separado el jabón, pude preparar glicerina con todas sus propiedades. El jabón fue disuelto en alcohol y precipitado fraccionadamente con acetato de magnesia, de acuerdo con el método de Heintz. Los precipitados salinos obtenidos fueron descom-

puestos seperadamente con ácido clorhídrico y los ácidos grasos lavados, secados y cristalizados de alcohol. El ácido del primer precipitado fundió a 52.5°, el del segundo y tercero a 53°. Es decir que fueron en principio idénticos y estaban constituidos por ácido mirístico, cuyo verdadero punto de fusión no es 49°, como pretende Playfair, sino 53.8°, como ha encontrado ahora Heintz en su elegante trabajo sobre el aceite de ballena (Pogg. Annalen XCIL, 7). Con el fin de establecer claramente la identidad entre el ácido mirístico y el ácido de la otoba, sometí este último al análisis elemental:

0.4275 g dieron 1.152 CO<sub>2</sub> y 0.475 HO

Carbono .....	73.10	calculado para C <sub>28</sub> H <sub>28</sub> O <sub>4</sub> .....	73.68
Hidrógeno .....	12.34	" " " .....	12.28
Oxígeno .....	14.16	" " " .....	14.04

Concluía la precipitación con acetato de magnesia, el filtrado fue tratado con acetato de plomo, el cual precipitó un ácido de apariencia aceitosa.

**Otobita.**— Propongo este nombre para una substancia cristalina, un componente peculiar a la manteca de otoba. Se obtiene la otobita junto con el ácido mirístico en la precipitación con acetato de magnesia. Como es poco soluble en alcohol se la separa del ácido por medio de este disolvente. Se la puede recrystalizar de alcohol caliente, o mejor de éter.

La otobita cristaliza en prismas incoloros, brillantes, de notable tamaño. Es inodora e insípida y completamente insoluble en agua. Funde ape-

nas a 133° y solidifica luego en forma cristalina. Calentada por encima de 133° solidifica después amorfa. Al calentarla en un tubo asciende por las paredes, sin que propiamente se volatilice o descomponga, y permanece amorfa, brillante. Calentada sobre una lámina de platino desprende vapores aromáticos y arde con llama fuliginosa, sin dejar residuo.

A primera vista parecía que tuviese la otobita una gran semeanza con el olivil; sin embargo tanto su punto de fusión, más alto, como su composición, muestran que las dos son diferentes. Dos análisis hechos por mí arrojaron los siguientes resultados:

I 0.2804 g dieron 0.7524 CO<sub>2</sub> y 0.1603 HO  
II 0.1793 g dieron 0.4801 CO<sub>2</sub> y 0.1027 HO

	I	II	Calculado para C <sub>24</sub> H <sub>13</sub> O <sub>3</sub> (*)
Carbono .....	73.19	72.86	73.09
Hidrógeno .....	6.35	6.46	6.59
Oxígeno .....	20.46	20.48	20.30

Cuál sea la fórmula correcta, cuáles sus propiedades en otros respectos y qué sea esta substancia propiamente, son cuestiones que no he podido decidir debido a la falta de material. Espero, sin embargo, que de regreso en mi patria podré continuar la presente investigación, llevada a cabo en los laboratorios de Göttingen".

Hasta aquí las observaciones de Uricoechea

sobre la otoba. Este trabajo tiene el mérito de haber sido ejecutado, hace casi un siglo, por un colombiano, muy probablemente el primero de nuestros compatriotas que se haya ocupado en menesteres de este orden. Considerando el insi-

(\*) Compárese la discusión al final del artículo.

piente desarrollado de la química orgánica hacia mediados del siglo pasado (fórmula de Kekulé para el benceno, 1865), no es de extrañar, entre otras cosas, que el ácido mirístico aparezca formulado con un peso molecular que es el doble de su valor real. En cambio dice muy alto de las aptitudes investigativas del autor, el haber encontrado y descrito un compuesto novedoso, la otobita, cuyo estudio, todavía en nuestros días no ha sido iniciado siquiera.

El segundo y último estudio químico sobre la otoba fue hecho en 1921 por W. F. Baughman, G. S. Jamieson y D. H. Brauns, de la Secretaría de Agricultura de Estados Unidos. Aparece publicado en el *Journal of the American Chemical Society*. 43, 199 — (1921). Se trata de un cuidadoso análisis hecho sobre una muestra de otoba recibida de Colombia. Hacemos a continuación un resumen de los resultados obtenidos:

La composición de la manteca fue la siguiente:

Glicéridos .....	71.4 %
Acite esencial .....	9.3
Substancia no saponificable ..	20.4

	Otobita	Isotobita	Calculado para $C_{20}H_{20}O_4$
Carbono .....	74.10	74.29	74.05
Hidrógeno .....	6.19	6.06	6.21
Oxígeno .....	19.71	19.64	19.74
Punto de fusión .....	137-38°	106-08°	—
Peso molecular .....	310	315	324
Rotn. específica (20°,D)	-35.7	+ 5.3	—

Con estos dos compuestos se hicieron los siguientes ensayos:

a.—Disueltos en ácido acético glacial y tratados con algunas gotas de ácido sulfúrico concentrado (prueba para fitosteroles), apareció lentamente una coloración rosada que devino púrpura al cabo de algunas horas y permaneció así por varios días; en contraste con los fitosteroles, que presentan repetidos cambios de color;

b.—Ninguno de los dos compuestos, tratado con anhídrido acético en presencia de acetato de sodio, experimentó cambio alguno;

c.—No fue posible preparar, con dimetilsulfato, derivados metílicos de ninguno de los dos;

d.—La determinación de grupos metoxi (Zeisel) mostró uno de estos grupos en la otobita y ninguno en la isotobita;

e.—En la brominación de la otobita se notó algún desprendimiento de ácido bromhídrico. El producto obtenido fundió a 190° y analizó 54.86% de bromo, en mediana concordancia con

Entre los glicéridos prepondera el del ácido mirístico, con un 52.2% del peso total de la manteca. Hay además: del ácido láurico, 15.1%; del oleico, 3.9%, y del palmítico, 0.2%.

El aceite esencial, que los autores fraccionaron cuidadosamente por destilación a presión reducida, analizó aproximadamente  $C_{15}H_{24}$  en casi todas sus fracciones. Entre éstas hay marcadas diferencias en los valores de densidad y rotación específica, mientras que el índice de refracción fluctúa mucho menos. Consideran los autores que el aceite está formado en su mayor parte por sesquiterpenos.

La substancia no saponificable fue fraccionada en dos porciones: una masa viscosa que representa un 11.0% de la manteca y que no fue estudiada en detalle; una porción cristalina, en la proporción de 9.4%, y formada en gran parte por otobita. Junto con ésta, sin embargo, Baughman y colaboradores encontraron un nuevo producto que señalaron con el nombre de isotobita. El cuadro siguiente da los datos analíticos y constantes físicas correspondientes a los dos compuestos:

un pentabromuro de fórmula  $C_{20}H_{20}O_4 Br_5$ , que contiene 55.21% de bromo. A su vez la isotobita dio un derivado bromado de punto de fusión 191°, con 54.77% de bromo.

**Discusión.**—Los anteriores datos no permiten concluir nada respecto de la naturaleza de estos compuestos. Seguramente no se trata de un fitoesterol, que de serlo estaría desprovisto de la cadena lateral del  $C_{17}$ , corriente en estos productos. Vale observar que el café contiene una substancia de fórmula  $C_{20}H_{28}O_3$ , a la que se dio originariamente el nombre de **cafesterol** en la creencia de que se trataba de un fitoesterol sin cadena lateral en el  $C_{17}$ . Se sabe ahora que no es ese el caso y en consecuencia se ha reemplazado el nombre de **cafesterol** por el de **cafestol**. En el caso de la otobita su alto grado de insaturación hace aún menos probable su pertenencia a este grupo de compuestos naturales.

Es notable que Baughman y colaboradores no pudieran obtener ni el derivado acético ni el

metálico; de donde habría que deducir que ninguno de los cuatro oxígenos está presente en forma de OH. Por otra parte es difícil entender que la isotobita, que carece de un grupo metoxi, tenga la misma fórmula molecular de la otobita. Menos satisfactoria aún es la formación, en ambos casos, de un derivado pentabromado, sin que haya sido substituído ninguno de los hidrógenos. Estos bromuros, anotaremos de paso, tienen prácticamente un mismo punto de fusión.

La observación más importante que puede hacerse, por lo pronto, es respecto a la fórmula molecular de la otobita. En la publicación original de Uricoechea aparece este compuesto como  $C_{24}H_{13}O_5$ . Se trata indudablemente de un error tipográfico, pues a un  $H_{13}$  corresponde apenas un 3.44% de hidrógeno, mientras que el valor calculado es de 6.59, correspondiente a  $H_{26}$ . En este sentido lo interpretaron también Baughman y sus colegas, quienes simplemente dicen: "de los componentes no saponificables él (Uricoechea) separó un compuesto cristalino al cual le dio el nombre de otobita y la fórmula  $C_{24}H_{26}O_5$ ". Pero hay algo mucho más interesante respecto al análisis de Uricoechea y es lo siguiente: como el autor da el peso del anhídrido carbónico y del agua obtenidos en la combustión, puede uno calcular por su cuenta la composición

porcentual, usando para los pesos atómicos los valores actualmente conocidos. Encontrada la composición porcentual y tomado el promedio de los valores obtenidos en los dos análisis (que de paso concuerdan satisfactoriamente), el cálculo arroja la fórmula empírica  $C_{19}H_{20}O_4$ . El siguiente cuadro muestra los datos pertinentes:

I 0.2804 g dieron 0.7524  $CO_2$  y 0.1603  $H_2O$   
 II 0.1793 g dieron 0.4801  $CO_2$  y 0.1027  $H_2O$

	I	II	Promedio	$C_{19}H_{20}O_4$
Carbono	73.18	73.03	73.10	73.04
Hidrógeno	6.40	6.41	6.40	6.46
Oxígeno	20.42	20.56	20.49	20.50

Aparece bien claro que la otobita de Uricoechea, punto de fusión 133°, analizó bien de acuerdo con la fórmula  $C_{19}H_{20}O_4$ , a la que corresponde un peso molecular de 312.2. La otobita de los americanos dio un peso molecular de 310, lo que parece confirmar la fórmula anterior. Pero el análisis de estos señores conduce, como vimos arriba, a un  $C_{20}H_{20}O_4$ , peso molecular 324.2. Habría que ver cuál de las dos fórmulas es la verdadera. La última tiene a su favor un  $C_{20}$ , más fácil de encontrar en productos orgánicos que un  $C_{19}$ .

## MISCELANEAS

### Resina para intercambio iónico

Se han desarrollado nuevas resinas zeolíticas, llamadas Liquonex CR. Este moderno material de intercambio catiónico tiene una gran capacidad, varias veces mayor que la de algunas zeolitas anticuadas, y permite mayores ratas de flujo por pie cuadrado de área. Elimina prácticamente la dureza del agua común, dejando sólo 0 a 2 partes por millón de dureza, expresada como carbonato de calcio. Otra importante ventaja del Liquonex CR es que no es silíceo o carbonoso. Por consiguiente, no le comunica sílice al agua tratada, la cual es especialmente inde-seable para la alimentación de las calderas.

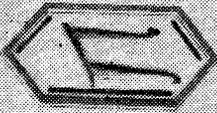
La gran capacidad del Liquonex CR hace este intercambiador catiónico de interés especial para aquéllos que poseen unidades de zeolita de sodio, porque la capacidad de éstos puede ser aumentada substancialmente por el mero reempla-

zo de las capas de zeolita vieja por Liquonex CR, sin ningún otro cambio en la instalación.

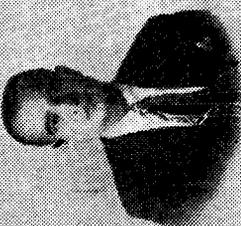
### Anti-oxidante para grasas y aceites.

El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, ha aprobado el uso del galato propílico como un anti-oxidante para las grasas y aceites comestibles. A diferencia de otros anti-oxidantes más costosos, algunos de los cuales tienen usos limitados, el galato propílico es un agente de gran actividad y no es nocivo para la salud. La adición de una pequeña cantidad retarda o impide la auto-oxidación de grasas y aceites, y la oxidación de compuestos orgánicos en general, que sufran auto-oxidación con la formación de peróxidos en presencia del oxígeno, como los éteres, el ácido oleico y el ácido ascórbido. Se han permitido su uso en cantidades hasta del 0,01%.

# INGENIEROS QUIMICOS • UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA



## 1947



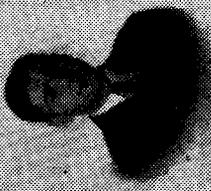
DR. ANTONIO SUAREZ  
BOGOTÁ



DR. LUIS J. GIL  
MEDELLÍN



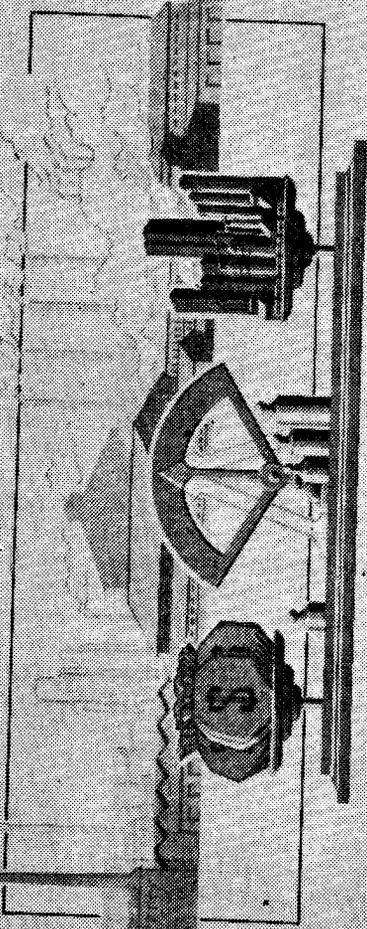
CARLOS LOPEZ PARRA



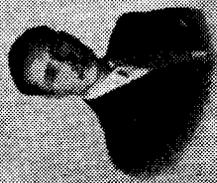
OSCAR TRUJILLO TRUJILLO



CARLOS MUÑOZ MARINO



*1947*



JAIME VELÁZQUEZ



RAFAEL GIRALDO



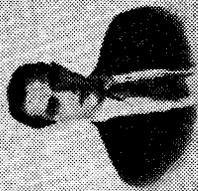
JESÚS MARÍA ESCOBAR



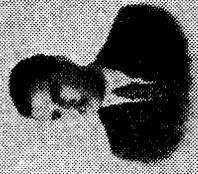
JAIME POMBO-ROJAS MEJÍA



CARLOS LEGADO DAVID



LUIS SALAS BERMÚDEZ



ÁNGEL ZAPATA

# La Madera, materia prima de significación

Manuel Toro Ochoa  
*Alumno de 4º Año*

Muy cerca de una cuarta parte de la tierra firme de nuestro planeta está poblada de bosques. Durante siglos se destruyeron desconsideradamente, se les malgastó como a casi ninguna otra riqueza natural, no obstante, en ese entonces, ser la madera el principal material para la construcción de viviendas y durante milenios el único combustible. Sólo en el siglo XIV, cuando los bosques germanos empezaron a hacerse escasos y faltaban ellos como defensas naturales contra el viento, la erosión y las aludes y cuando las comunidades se hacían más compactas, se inició una especie de economía forestal. En 1359 se estableció reglamentación sobre el bosque común de Erfurt, señalando una proporción anual, y en 1368 se efectuó la primera plantación de pinares en amplios territorios desolados en las inmediaciones de Nuremberg. No obstante, sólo hasta el siglo XVIII —en algunos países— se dejó de gastar madera sin cuidar de su compensación natural. Los medios primitivos y bárbaros con que es llevada a cabo entre nosotros la destrucción de los bosques vienen produciendo el agotamiento de las aguas, el alejamiento y escasez de las maderas, aflojamiento del terreno, perjuicios a la economía y a la higiene pública y extinción de valiosas especies. El incumplimiento de las disposiciones legales sobre este asunto, de tanta trascendencia, da resultados tan funestos.

La madera de construcción era aprovechada en un mínimo, y se quemaba la mayor parte del producto de los bosques, como en la edad de piedra, aprovechando a su vez muy poco de su energía total. El carbón de leña era el sólo reductor de los metales pesados y formaba la base de toda metalurgia. —Se producían en los hornos de carbón valiosas sustancias que se esfumaban en el aire—. Sólo tarda de un siglo para acá el que tales hornos hayan sido reemplazados por plantas de carbonización y en éstas se obtiene el alquitrán vegetal y las resinas

de la madera. De su destilación seca se obtiene la creosota que inhibe la putrefacción y de ésta se derivan los desinfectantes conocidos por los nombres de Lysol y Creolina.

Sólo con la “química de la madera” comenzó la real valoración de los bosques: ellos se convirtieron en una de las principales materias básicas de la industria química. Esta transformación tuvo su origen en la elaboración en grande escala del ácido acético mediante la destilación de madera, que va acompañado de alcohol metílico y acetona. El índigo sintético, lo mismo que otros colorantes, y unos remedios como la fenacetina, antipirina y la aspirina serían imposibles sin la transformación química de la madera. El acetato butílico, otro derivado, entra en la composición de los barnices de pulverización, cuya industria, a su vez, contribuyó a la modernización del automóvil.

Uno de los usos modernos del carbón de leña consistió en calentar las planchas, más, posteriormente, se empezó a aprovechar técnicamente su propiedad de absorber los gases, hedores y otras sustancias, empleándolo no sólo en filtros de instalaciones de purificación, sino también “activándolo”. Se anotó que el carbón de leña llevado a la ignición por determinadas sustancias químicas, al vacío y a una temperatura de aproximadamente mil grados centígrados, está en condiciones para la ligazón de un volumen varias veces superior al propio de gases o líquidos gasificados o evaporados, y se comenzó a captar con este carbón activado los gases de gasolina que antes se perdían en los pozos petrolíferos. Se recuperaron por el carbón activado valiosas sustancias de la industria química que antes no sólo se perdían sino que principalmente afectaban la salud de los operarios. Los cascos de navío ya no se pintan con minio sino con carbón activado: plantas acuáticas y animales que antes se adherían a las quillas y decrecían su velocidad, mueren al contacto con él.

Cuando la guerra mostró la importancia preponderante que el carburante tiene para la economía moderna, se hicieron diligentes ensayos para utilizar los gases que la ignición generaba. Se trató de aplicarlos a medios de transporte: al quemarse la madera se descompone el acético y el alquitrán que dañarían el motor, y se produce  $\text{CO}_2$  que se reduce luego a  $\text{CO}$ . El gas es mezclado con aire y regulable su admisión mediante el "acelerador". En 1935 partieron de Berlín cuarenta y tres vehículos para un viaje de más de 10.000 kilómetros. La mayoría de ellos estaban equipados con gas de leña, empujados en el porta-equipaje. Dos y medio Kg. de madera reemplazan un litro de gasolina. Estos son los automóviles impulsados por gas de leña.

Gran trascendencia significa la madera como materia prima para producir celulosa. En 1854 Watt y Burgees obtuvieron la patente para obtenerla por cocción de astillas en calderos bajo presiones de 8 a 10 atmósferas y con lejía de soda cáustica: en sólo un mes se constituyeron nuevas compañías de valorización de maderas y creáronse nuevos sistemas y máquinas. Un nuevo proceso, el de Mitscherlich progresó en tal forma que superó los anteriores: valorizó los pinares de Finlandia que antes se quemaban o se aprovechaban sólo para construcciones. Las planchas de celulosa se utilizaron para la fabricación de papel; más tarde como medio destructivo de guerra: al mezclarla con nitrato y ácido sulfúrico se transforma en nitrocelulosa. Con ésto se cargaron minas, torpedos y petardos en minería. El americano Hyatt mezcló el alcanfor con la celulosa y halló el celuloide inexplorivo, la película fotográfica, que se ha tornado indispensable para la técnica moderna.

La cima de valoría de la madera se halla en la seda artificial. La celulosa es la componente principal de la madera como lo es de las sustancias esqueléticas vegetales: desde ha miles de años, se hacen vestidos con la celulosa más pura de la naturaleza, el algodón. En 1865 hubo que pagar en Europa la libra de algodón a 186 cvs. de dólar, en lugar de 12 que costaba antes de la guerra civil norteamericana. El 92 por ciento del algodón solicitado provenía de América. Inglaterra en guerra sangrienta, conquistó a Egipto, buscando los campos algodonereros del Sudán. Querían dominar el monopolio del algodón y de la seda de los trópicos: hallaron que el algodón consiste de celulosa casi pura; sabíase cómo el gusano de seda elaboraba su hilo; por ello Robert Hooke escribió que debía ser posible imitar al gusano de seda y exprimir por un orificio pe-

queño una sustancia pegajosa y luego solidificar ese líquido. Los químicos ingleses y franceses lograron disolver el nitrato de celulosa en una mezcla de éter y alcohol, prensaron esta solución por tubos de tamaño reducido, solidifándola luego al calor. Con ello estableciéronse los principios básicos de la industria de la seda artificial. El Conde Hillaire de Chardonnet inauguró una fábrica experimental en Bezançon y en esta empresa perdió su fortuna que ascendía a más de seis millones de francos. Su seda se inflamaba con mucha facilidad y hubo el caso de que una dama se convirtiera en hoguera porque un caballero le acercara su cigarrillo.

Friedrich Lehner, Vivier y Thiele, químicos e investigadores, prosiguieron los ensayos y tras ellos convirtiósse la celulosa en seda artificial no inflamable. Henckel von Donnersmark financió el método que, adquirido por las Fábricas Unidas, se convirtió en la primera categoría de seda artificial de entonces. Hoy día se diseca la celulosa de la madera, se satura con lejía de soda y luego se le separa, en prensas hidráulicas, de la lejía superflua para reducirla finalmente a una masa semejante al aserrín. Esta masa mezclada con bisulfuro de carbono produce el xantogenato. Disuelto este producto en lejía de soda da como resultado la "viscosa", una sustancia espesa, como una miel gruesa que, luego de filtrarla repetidas veces y una maduración de varios días queda a punto de ser hilado. Como en los demás sistemas se le prensa por orificios diminutos, se le hace pasar por una especie de regadera de 100 a 800 aberturas. Este producto hay que coagularlo con un baño salino llamado el "baño de hilado".

La conquista de la madera nos ha mostrado que la cadena de progreso en la técnica de las transformaciones químicas y mecánicas es irrompible. Es incalculable el beneficio que reporta y ha reportado esta obra para avance de la civilización y del bienestar humanos. Y así como el mundo no cesa en progresos, la ciencia investigadora tampoco cesa en su camino. Crea valores nuevos al tiempo que señala recursos para combatir la miseria y una rica fuente de ingresos para la economía. **Manuel Toro Ochoa**

**Referencia:**

"Wood Cellulose". — George A. Richter. Industr. and Engineering Chemistry. Vol. 32. N<sup>o</sup> 9.

"The Chemistry of Wood" — Hawley, L. F. & Wise, L. E.

"La Industria de la Destilación de Leña y sus derivados" — Yantoro, C. c. U. — Anton Liscka.

# NYLON, de tusas de maíz y otros subproductos agrícolas

Por **Hernán Gómez G.**  
*Alumno de 4º Año.*

La síntesis orgánica ha contribuido en una forma decisiva al adelanto de la industria. Son incontables los productos que hoy se fabrican por medios sintéticos y que han revolucionado el mundo industrial. Uno de éstos es el NYLON, ampliamente conocido, y que en el campo textil es hoy de una importancia indiscutible. Dicho plástico es relativamente nuevo; sin embargo, ha desplazado la seda en muchos mercados y a medida que se logren medios de producción más baratos, el consumo aumentará grandemente.

Desde el punto de vista orgánico el NYLON es una poliamida que resulta de la unión de muchas moléculas de ácido adípico con otras tantas de 1,6-diaminohexano. Es, pues, un polímero de condensación.

**Fabricación y materias primas.**—Se lo prepara de acuerdo con la famosa síntesis "66" de W. H. Carothers. Industrialmente se parte del fenol (más recientemente del benceno), que se transforma, por la serie de reacciones formuladas en el diagrama I, en el polímero: el fenol se hidrogena en presencia de níquel, a 160°C; se obtiene ciclohexanol, que oxidado con ácido nítrico produce ácido adípico; éste, en presencia de amoníaco a presión y por calentamiento, forma la diamida, de la que se obtiene, por reducción catalítica, la hexametilendiamina. El NYLON se produce por reacción entre esta diamina y el ácido adípico.

Este es hasta ahora el procedimiento industrial. La Du Pont Company lanzó el producto al mercado en 1938. Sin embargo, desde 1935 el Departamento de Electroquímica de esta compañía, departamento que tiene sus laboratorios en las Cataratas del Niágara, inició trabajos tendientes al empleo del furfural como materia prima.

**El furfural.**—Es un aldehído heterocíclico derivado del furano y que se puede obtener en

cantidades apreciables de tusas de maíz, cáscaras de avena, de arroz, de maní, lo mismo que como un subproducto en la industria de fibra de madera. Su obtención se logra por hidrólisis de los pentosanos que se encuentran en dichos subproductos; las pentosas obtenidas se deshidratan con ácido sulfúrico en caliente. (Compárese diagrama II).

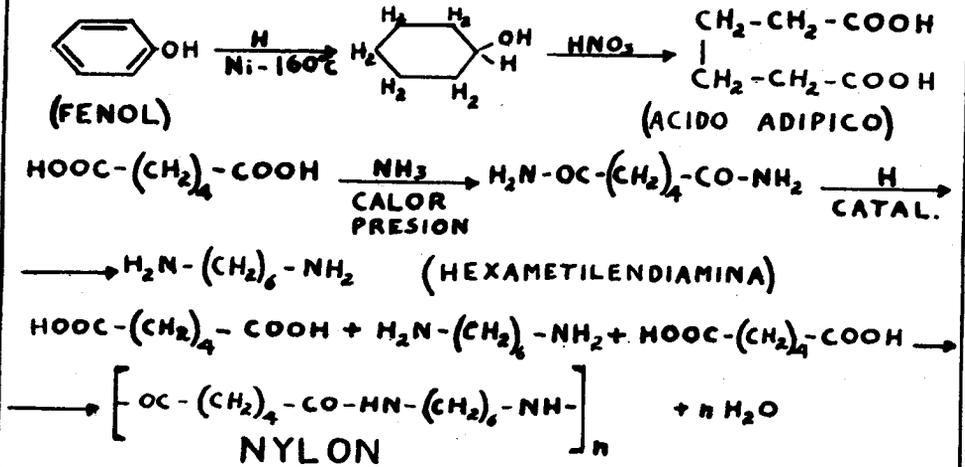
El furfural comenzó a producirse en Estados Unidos, en escala industrial, por la Quaker Oats Company, y se ofreció en 1922 al precio de US. \$ 2.50 la libra; en 1926 se vendió a 17 centavos y medio; en 1930 a 9 centavos la libra, en carros tanques. Su consumo asciende actualmente a 50 millones de libras por año.

Para los fines de la fabricación de NYLON a partir de este producto, la Du Pont contrató recientemente con el departamento de productos químicos de la Quaker Oats un suministro anual de furfural, en cuya elaboración se consumirá cien mil toneladas de tusas de maíz y otros subproductos agrícolas. Es interesante anotar aquí que, de acuerdo con E. D. Funk, Jr., de Bloomington, Ill., la producción anual de tusas de maíz en los Estados Unidos se estima en 16 millones de toneladas. Por su parte, el Departamento de agricultura del gobierno americano afirma que en los Estados de Illinois o de Iowa se consigue, dentro de un radio de 50 millas, suficientes tusas de maíz para la fabricación de 10 millones de libras de furfural. Puede pues contarse con que, en el nuevo procedimiento de fabricación, el NYLON contará con fuentes prácticamente inagotables de materias primas, que se "cosecharán" todos los años; a diferencia de lo que pasa con el carbón o el petróleo, que son las materias primas actualmente utilizadas.

**El nuevo proceso.**—Se parte del furfural y en cuatro etapas, que se discuten a continuación, se llega al adiponitrilo (ADN) y de aquí a la diamina (diagrama III).

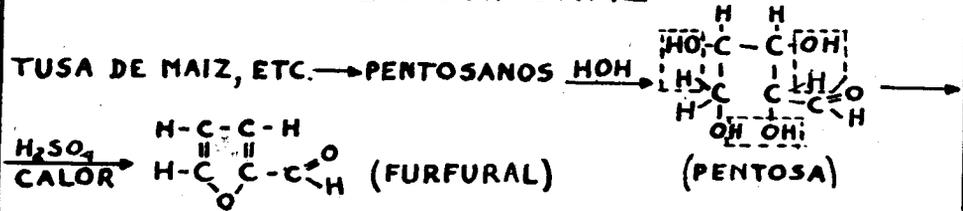
# NYLON DE FENOL

DIAGRAMA I



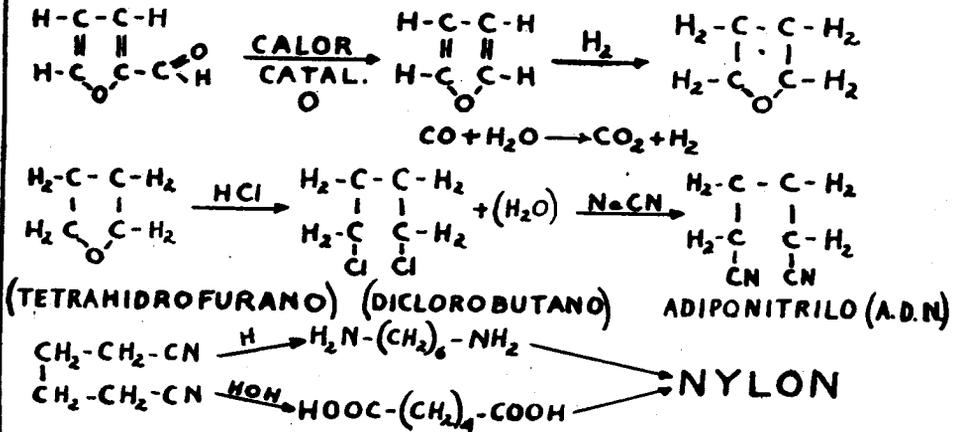
# OBTENCION DE FURFURAL

DIAGRAMA II



# NYLON DE FURFURAL

DIAGRAMA III



*Primera etapa, furano del furfural.*—Hay que remover el grupo CO de la función aldehído, lo que se consigue haciendo pasar el furfural vaporizado y mezclado con vapor de agua, a una temperatura de 400°C, sobre un catalizador consistente de una mezcla de cromito de zinc y manganeso o hierro. Como producto de la reacción se forma monóxido de carbono, que reduce el agua presente con formación de hidrógeno y bióxido de carbono. Después de su paso por la cámara catalítica se llevan los productos a un condensador donde se licúan el furano, el furfural sobrante y el agua. Queda una mezcla incondensable de bióxido de carbono e hidrógeno. La conversión de furfural a furano es casi cuantitativa y el rendimiento de la reacción es alto. Como después de varias horas de trabajo se inactiva el catalizador, hay necesidad de reactivarlo; para lo cual se desvían los gases a reaccionar hacia otra cámara, se trata el catalizador gastado con vapor de agua y se lo somete luego a una reducción rápida con hidrógeno.

*Segunda etapa, hidrogenación del furano.*—La operación se puede efectuar en forma continua o discontinua. Como catalizador se emplea el níquel y la hidrogenación avanza casi cuantitativamente hasta el tetrahydrofurano.

*Tercera etapa, del tetrahydrofurano al 1,4-diclorobutano.*—Se puede lograr de tres maneras: a) Tetrahydrofurano, ácido clorhídrico y vapor de agua en aparatos de alta presión, temperatura de 180°C, 250 libras de presión por pulgada cuadrada; b) se pasa la mezcla de tetrahydrofurano y ácido, a presión ordinaria, a través de un deshidratante compuesto de cloruro de zinc y ácido sulfúrico; c) Se usa como catalizador aminas clorhídricas y se hace pasar la mezcla a presión ordinaria.

Por cualquiera de los tres métodos el rendimiento es casi teórico.

*Cuarta etapa, la obtención del adiponitrilo y su reducción a hexametildiamina.*—Se efectúa la reacción con cianuro de sodio, que convierte el 1,4-diclorobutano en el nitrilo correspondiente. Separado el cloruro de sodio y demás productos secundarios de la reacción se destila el ADN, que se obtiene en forma de un líquido no co-

rosivo, de un alto grado de pureza. El ADN se reduce luego a la diamina; o se lo hidroliza para obtener ácido adípico, si bien éste se prepara de preferencia a partir del benceno por el método industrial. Reacción entre la diamina y el ácido adípico produce el NYLON.

**Subproductos.**—Por este método se preparan tres valiosos compuestos: furano, tetrahydrofurano y 1,4-diclorobutano, que tienen extenso uso. Por un cambio en las operaciones se puede obtener también el delta-clorovaleronitrilo. Otra alternativa posible en la primera etapa permite conservar el furano del grupo aldehído del furfural y obtener 2-metilfurano. Por último, las condiciones de la reacción pueden arreglarse de modo que se consigue una transposición y el carbón lateral entra al anillo con formación de dihidropirano. Tanto éste como el metilfurano pueden someterse a las reacciones arriba indicadas para el furano, donde resultan dos nuevos compuestos intermedios de interés: el pimelonitrilo y el metiladiponitrilo. En resumen, se han obtenido del furfural: 1,4-butanodiol, dihidropirano, tetrahydropirano, 1,5-pentanodiol, 1,5-dicloropentano, 2-metilfurano y 2-metiltetrahydrofurano.

Todos estos compuestos tienen gran interés industrial. El tetrahydrofurano y el tetrahydropirano son especialmente valiosos como solventes muy activos para una gran variedad de productos sintéticos y naturales. Furano, metilfurano, tetrahydrofurano y dihidropirano pueden polimerizar en condiciones especiales, con lo que se obtiene productos de muy variadas propiedades. Además se podrán utilizar para la extensión de cadenas alifáticas; y como son compuestos que tienen en sus extremos grupos muy activos, serán útiles para la producción de drogas, vitaminas, plásticos, etc. Se abre así un amplio campo a la química del furfural que tendrá una importancia excepcional a medida que los medios de obtención sean menos caros.

**Referencias:** 1.—Sidney D. Kirkpatrick, Chem.

Engineering 54, 100 (1947).

2.—Oliver W. Cass, Chem. Industries 60, 612 (1947)

# La Redacción

## Como nosotros lo vimos

En una reciente visita hecha por los alumnos del último año de esta Escuela a las principales industrias de Cali y Bogotá, pudieron constatar un hecho, —que si el lector nos excusa el vocablo—, llamaremos vergonzoso. Tal es, el abandono total de los Instrumentos de Control en las Plantas. Tuvimos ocasión de ver cómo un 80% de las industrias visitadas carecen de Instrumentos de esta naturaleza y las que por casualidad los poseen, los dejan al cuidado de un personal que desconoce su funcionamiento y su objeto. Esta no es una afirmación gratuita, ni vamos a creer que en Medellín, “la ciudad industrial de Colombia”, no se presenta ésta anomalía. El hecho es de ocurrencia general en todas las plantas nacionales y sus causas las examinaremos en el curso de esta nota.

Un Instrumento de Control, es una pieza del equipo destinada a suministrar datos sobre la operación. Entre los múltiples elementos de control que exige una Planta bien operada, los más comunes son: Medidores de Flujo, Manómetros, Termómetros, Contadores de corriente eléctrica, Indicadores de nivel, etc. Si a éstos, que pueden llamarse generales, se agregan los Instrumentos específicos que cada unidad del equipo exija para el estudio de su funcionamiento, tales como Registradores de presión en máquinas de vapor, Reguladores automáticos de alimentación en las calderas, Reguladores automáticos de nivel en los evaporadores, etc., se tendrá una somera idea de lo que se nombra como Aparatos de Control. Cada uno de los instrumentos mencionados tiene un fin específico y determinado y de ellos se vale el Ingeniero, no solamente para regular, de acuerdo con las exigencias, el proceso mismo, sino que sus lecturas le proporcionan los datos necesarios para el cálculo de balances de material y de energía sin cuyo conocimiento difícilmente podrá operarse con éxito una Planta.

Los Norteamericanos le han dado una importancia tal a este tópico, que hoy se le estudia como una asignatura separada bajo el nombre de “El manejo y operación de los Instrumentos de Control”, y llegará un día, a juzgar por el sin número de tales aparatos, en que existirá una Ingeniería de Instrumentación. No puede

negarse que gran parte del éxito en sus industrias, lo deben los Norteamericanos a la aplicación de los más delicados aparatos de Control. Obrando así, cada operación es un verdadero experimento aún en las Plantas industriales; y el registro de la máquina va dejando la historia de su funcionamiento, necesaria para posteriores observaciones y conclusiones en el diseño y en la operación.

Cuál es la razón para que en nuestro país casi todas las Plantas industriales se operen “a ojo”? A nuestro modo de ver, dos son las razones. Primera, la impreparación técnica del personal que está al frente de la Planta. Sucede que si a uno de los trabajadores, de esos que se nombran “Ingenieros prácticos”, se le obliga a leer un manómetro, no tiene inconveniente en apuntar la presión en grados Centígrados. La segunda razón, es la negligencia de las administraciones para hacer las inversiones que exija el Ingeniero para aparatos de control. Si el Ingeniero exige aparatos, al poco tiempo lo está reemplazando el práctico, “que hace lo mismo que el Ingeniero y cobra mucho menos”.

Nos anima al escribir esta nota un espíritu esencialmente constructivo y los hechos que anotamos no son meras suposiciones: ellos responden a la realidad de nuestra Industria. Cómo se explica que a los dos meses escasos de montada una maquinaria entre nosotros, no operen ya los registradores? Si tales aparatos tienen una vida probable de más de 5 años, cómo es posible que estén perdidos en el primer semestre? Estos hechos, aparentemente simples, no tienen más explicación que nuestra deficiencia técnica y nuestro miedo a entrar por los caminos del progreso, que se consigue a base de trabajo científico y no empírico. Por qué durante 15 o más años de operación de un equipo industrial entre nosotros, no se hace una observación científica, no se propone un nuevo diseño, no se construye una curva de labor? Por qué al examinar los archivos de una empresa no se encuentra un cálculo de costos técnicamente elaborado y se compute desventajosamente por desconocimiento de lo más elemental: el costo de las cosas? Estos interrogantes se dejarán sin respuesta. Al criterio del lector queda la solución o la excusa.

HEBILLERIA

**HERCO**

Herrajes, talabartería, cubiertos de

alpaca, bisagras, medallas, etc.

Apartados: Aéreo 960  
Nacional 215

Por telégrafo: ERI

Medellín.

**DISEÑADORES  
e INGENIEROS**

*Estamos en capacidad de suministrar los implementos para sus trabajos.*

*Reglas graduadas, Curvigrafos, escuadras, tintas, lápices, etc. etc.*

**LIBRERIA  
BEDOUT**

Medellín.

## MISCELANEAS

### Medidor de pH portátil.

Para la mayoría de los usos industriales así como para empleo en el Laboratorio, la Cambridge Instrument Co. de New York ha anunciado el diseño de un medidor de pH portátil de lectura directa. La exactitud del instrumento es de 0.1 pH en toda su extensión desde 0 a 14 pH. Se opera desde el circuito de iluminación corriente, es de un tamaño de  $7\frac{1}{2} \times 8\frac{1}{2} \times 11\frac{1}{4}$ " y pesa sólo 10 lbs. El electrodo está montado sobre una puerta colocada a un lado de la cubierta metálica, es del tipo Calomel, de vidrio y con compensador automático de temperatura. El instrumento está provisto también de un regulador de voltaje para corregir las fluctuaciones de voltaje en la línea, en un margen de 100 a 130 voltios.

### Corrosión.

La excelente resistencia a la corrosión de los aceros inoxidable se atribuye generalmente a la "pasividad" de las superficies de estos materiales. Una superficie "pasiva" es una que exhibe características "nobles" o inmunidad práctica al ataque de alrededores corrosivos. Varias explicaciones se han adelantado en relación con la naturaleza y el mecanismo de la "pasividad" de los aceros inoxidable. La teoría más ampliamente

aceptada postula la formación de un óxido, tal como ácido crómico, sobre la superficie del metal, que le protege contra posterior corrosión. Otra teoría supone que se forma una capa protectora de Oxígeno químicamente adsorbido sobre la superficie del metal.

Estudios hechos recientemente en los Laboratorios de Investigación sobre Corrosión en la Universidad del Estado de Ohio, U. S., indican que el acero inoxidable 18-8 (18% Cromo, 8% Níquel) se vuelve "pasivo" por causa de un gas físicamente adsorbido. A temperaturas ordinarias, especímenes de esta aleación muestran pasividad cuando se exponen al aire y pierden la pasividad si se exponen al vacío (presión reducida). Este proceso es reversible en el sentido de que la aleación puede volverse pasiva, quitarle esa pasividad, volverla nuevamente pasiva, y así indefinidamente, por exposición alternada al aire, al vacío, al aire, etc. La facilidad con que se le puede quitar la pasividad por medio del vacío a temperatura ordinaria, indican débiles lazos de unión entre el gas y el metal, los cuales, a su vez, indican una adsorción física. Los óxidos o gases químicamente adsorbidos serían considerablemente más difíciles de remover, y esto probablemente exigiría una temperatura elevada.