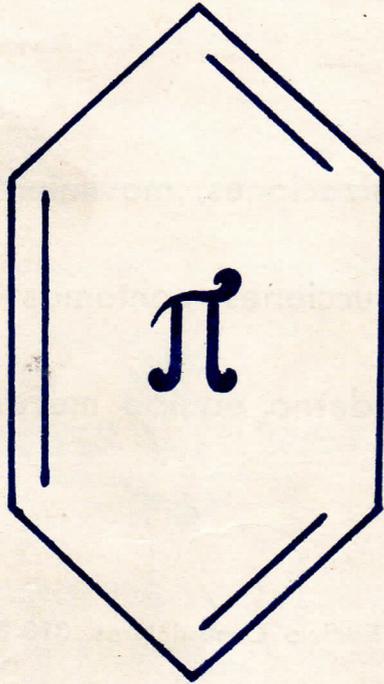


# INGENIERIA QUIMICA

Sala de  
AUTORES ANTIQUENOS  
Biblioteca General  
U. de A.

REVISTA TECNICA  
e INDUSTRIAL



Medellin  
Colombia

- Número 1 -

Agosto de 1947



# 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 prof. Sres.  
internos

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

REDACTORES  
Angel Zapata  
Manuel Toro Ochoa  
Carlos López P.

AÑO 1º

Medellín, agosto de 1947

NUMERO 1

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

## ORIENTACION

### Nos presentamos

Señor Industrial:

Es nuestro propósito el que las presentes líneas lleguen hasta Ud., para que con ellas se forme idea general sobre el alcance de nuestra publicación que desde esta entrega iremos presentando a sus manos de una manera periódica, con el sólo objeto de informarlo sobre la magnitud de los estudios que en la actualidad se están llevando a cabo en la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de Antioquia.

Queremos informarle como primera medida, que por el año de 1946 se elaboró un pénsium de estudios, concordante con los más modernos adelantos que sobre orientación de ingeniería química se están llevando a cabo en los Estados Unidos, contando para ello con un profesorado especializado traído del exterior. Por ésto estamos, en la actualidad, en capacidad de decirle que nuestra Escuela es la primera en su índole que funciona en el país, con un programa acorde con el título que expide.

Nosotros no queremos manifestar a Ud. que nuestra Escuela en sus estudios, son mejores que éstos o aquéllos, que se llevan a cabo en otra dependencia universitaria. Absolutamente. Ese no es nuestro propósito, porque con ello pecaríamos contra ciertas normas de ética profesional. Para

nosotros nos basta el presentar a su honrado criterio una serie de estudios y conceptos de los alumnos de los dos últimos años y todo ello será lo que irá a contribuir para que Ud. mismo se forme concepto sobre el tipo de estudios que estamos cursando.

En esta primera entrega presentamos al conocimiento no sólo suyo, sino del país en general, nuestro PLAN 1946. Es un plan amplio, técnicamente orientado según los pedidos de nuestro adelanto industrial. Es indudable que para muchos, varias de las materias intercaladas a través de nuestro Plan, les serán desconocidas y posiblemente no están en capacidad de medir la relación que guardan con unos estudios enrutados hacia una verdadera tecnificación de nuestra industria. Cualquier pregunta que se nos formule sobre el particular estaremos prestos para dar la respuesta más acorde.

Dentro de nuestra orientación general, en cada entrega de esta publicación insertaremos uno o dos problemas fundamentales de los cuales se ocupa la ingeniería química; con ello, queremos ampliar el concepto que sobre esta profesión pueda formarse.

Es nuestro mejor deseo el llevar a los rectores de la industria nacional, una apreciación nítida, borrando las ambigüedades que puedan presen-

tarse sobre la interpretación de nuestra carrera. Queremos llevar a la conciencia nacional las posibilidades de nuestros estudios. En cada número haremos presente nuevos temas sobre las diferentes modalidades de nuestra industria, las rectificaciones posibles en una marcha industrial. En esta forma creemos llenar a cabalidad los propósitos de nuestra misión.

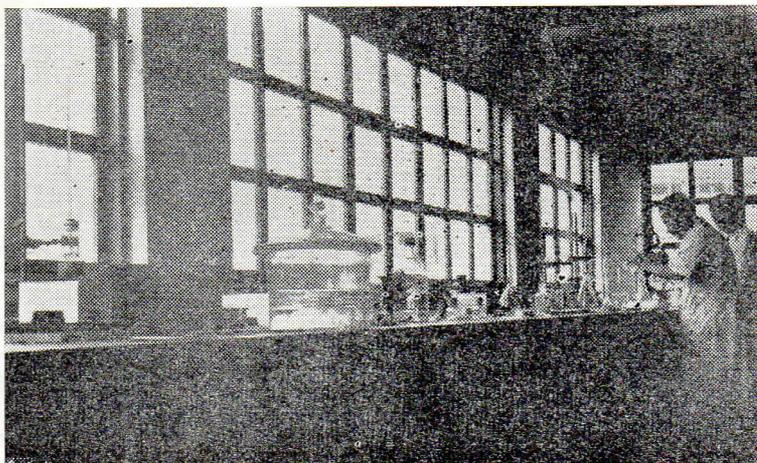
Nuestros profesores internos nos han ofrecido su cooperación. En tal forma, es un nuevo motivo que nos halaga para emprender estas labores de divulgación. Así, estimamos nosotros, que la labor a desarrollar será más fecunda y de más alto alcance para los intereses directos de nuestra Escuela. Usted, señor industrial, en esta

forma también podrá ir valorando la calidad de nuestro profesorado, todo él, especializado en la rama que regenta.

En rasgos generales hemos planeado nuestros puntos de actividad y estimamos que así hemos logrado nuestra presentación.

Señor Industrial: Estamos en capacidad de cooperar con Ud. en consultas técnicas relacionadas con la marcha de su industria; si Ud. está interesado en que nuestra Escuela contribuya a la mejor marcha de su empresa, envíenos sus consultas, para tener el placer de servirle.

Abrir amplia conciencia sobre lo que es la ingeniería química, en su verdadero y más preciso significado, es nuestro propósito.



Aspecto parcial del Laboratorio para análisis industriales.

# La Ingeniería Química

## Historia

La INGENIERIA se ha definido como el arte y la ciencia de usar las propiedades mecánicas de la materia en las construcciones y diseño de las máquinas. Se le consideró primeramente como una profesión, debido a las actividades desarrolladas por aquellos encargados de la construcción de máquinas para la guerra y se pensó que sólo éstas funciones eran las del Ingeniero. Más tarde, hace menos de 200 años, la creciente demanda de construcciones diseñadas para tiempos de paz, produjo la separación de los *Ingenieros Civiles*, cuyas ocupaciones, según definición del Instituto de Ingenieros Civiles, (Londres, 1828) era "el arte de dirigir las grandes fuentes de potencia de la naturaleza para el uso y utilidad del hombre, cuando se aplica en la construcción de carreteras, puentes, acueductos, canales, navegación fluvial y puertos para el intercambio y el trueque; en la construcción y adaptación de las maquinarias y en la construcción de los alcantarillados para ciudades y villas...".

Era éste un programa para satisfacer la ambición más grande y no debe sorprender que se encontrase necesario dividir de nuevo al campo de la Ingeniería. Así nacieron: el *Ingeniero Mecánico*, a quien se le encomendó la "construcción y adaptación de las maquinarias", el *Ingeniero Naval* para que "suministrase los medios de practicar el arte de navegar por medio de la potencia artificial" y el *Ingeniero Sanitario*, para que "asumiera la responsabilidad de los alcantarillados ciudades y villas". Una vez en ejecución esta división, el progreso de la ciencia y las demandas de la industria, requerida cada vez de especialización creciente, permitieron nuevas separaciones. La expansión de la Minería, introdujo el *Ingeniero Minero* y con el advenimiento del petróleo, vino el *Ingeniero Petrolero*. La nueva ciencia de la Electricidad, creó la demanda y suministró la oportunidad para el *Ingeniero Electricista*.

La Industria Química es un desarrollo de los últimos 100 años. Aunque puede decirse que comenzó con el descubrimiento por Leblanc, de un proceso para hacer soda a partir de la sal común, por lo cual recibió el premio de la Academia Francesa en 1791, prácticamente la industria química no existía en Europa en 1800. Su gran desarrollo en los Estados Unidos, ha ocurrido sólo en los últimos 50 años.

La construcción y el equipo de las plantas químicas y las operaciones de los procesos químicos, han implicado siempre problemas de Ingeniería que son, a menudo, de carácter difícil y altamente especializado. Sin embargo, hasta años comparativamente recientes, la solución de éstos problemas se había dejado ya a los Químicos, que en las fábricas se habían familiarizado con la operación de ciertos tipos de equipos o a los Ingenieros Mecánicos, cuyos conocimientos de Química eran, generalmente, superficiales y casuales. Con el creciente número y complejidad de los problemas que resultaban de la rápida expansión de las industrias químicas se vino a reconocer, gradualmente, que había necesidad y lugar para una rama distinta de la Ingeniería a la cual podían asignárseles esos problemas. En respuesta a esta necesidad, tenemos el desarrollo de la *Ingeniería Química*, no como una mezcla de Química y Mecánica e Ingeniería Civil, sino como una rama nueva de la Ingeniería, la base de la cual son ciertas "*operaciones unitarias*" que, en su serie y coordinación propia, constituyen un proceso químico tal como se conduce en escala industrial.

## Las operaciones unitarias de la Ingeniería Química

A principios de este siglo, el campo del Ingeniero Químico estaba dividido de acuerdo a los procesos manufactureros conocidos, tales como ácido sulfúrico, álcalis, caucho, jabones, textiles, cueros, etc. No se reconocía ningún lazo entre estas industrias y había muy poco intercambio

de ideas entre ellas. En los países latino-americanos aún prevalece esta situación, llamándose al Ingeniero encargado de uno cualquiera de éstos procesos manufactureros *Químico Industrial*.

Coincidiendo con el formidable desarrollo de las industrias químicas en los Estados Unidos en el período entre 1914-1920, vino a verificarse que ciertas operaciones de Ingeniería eran comunes a muchos procesos que antes se habían considerado como si ocupasen compartimientos muy separados. Se reconoció, por ejemplo, que el transporte de líquidos y la transmisión de calor, eran operaciones comunes prácticamente a todos los procesos manufactureros. Los Ingenieros de Filtración descubrían que un tipo de filtro desarrollado para usarlo en la extracción del oro de sus minerales, era conveniente para la filtración en la mayor parte de las industrias químicas. Al mismo tiempo, vino a caerse en la cuenta de que muchas de estas operaciones (Transmisión de Calor, Transmisión de Fluídos, Filtración, Evaporación, Absorción, Extracción, etc.) estaban poco explicadas y que todas ellas necesitaban examen, desarrollo y elaboración. Tan pronto como empezó esta intensa investigación, se hizo más notorio el hecho de que una operación de aquéllas implicaba los mismos principios, no importase en qué industrias se usara. Gradualmente se vino a reconocer que la llave real para la comprensión de los procesos manufactureros, era el conocimiento de esa serie de operaciones de uso común a muchos de aquéllos, y, simultáneamente, se aceptaba que el campo del Ingeniero Químico, cubría esas operaciones unitarias.

Estas operaciones unitarias son físicas más bien que químicas en carácter, pero encaminadas hacia un resultado químico final. Son ellas, comparativamente pocas en número, pero las condiciones bajo las cuales pueden conducirse son del carácter más variado, ya que están determinadas por la naturaleza del material usado en el proceso, la magnitud de la operación y las temperaturas, presiones y otros factores que implica el proceso mismo.

Es conveniente hacer observar que estas operaciones unitarias, son de vital empleo en muchas industrias que no son químicas en principio. La manufactura de la sal común, por ejemplo, se puede imaginar como realizada sin la presencia de una reacción química, ya que consiste solamente de una serie de esas operaciones, como transporte de líquidos, evaporación cristalización, secado y separación. Del mismo mo-

do, las operaciones unitarias son el fundamento de muchos procesos realmente químicos en carácter, pero que ordinariamente no se consideran como industrias químicas: la extracción de los metales de sus minerales (especialmente por el proceso húmedo), la manufactura de muchos productos alimenticios y el trabajo de los metales.

Otro campo en el cual se aplican también las operaciones unitarias, es en la Refinación del petróleo, la cual está a cargo de Ingenieros Químicos en todos aquéllos países que ya han alcanzado un gran desarrollo en la industria del petróleo. Y no podía ser de otra manera, porque la Refinación es un proceso en el cual se presentan las siguientes operaciones unitarias: destilación, absorción, transmisión de calor, circulación de fluídos, extracción, pirólisis, catálisis, alquilación, hidrogenación y otras, todas las cuales constituyen el fundamento de los estudios de Ingeniería Química.

Aunque muchos miembros de las ramas de más edad de la Ingeniería tienen una confusa idea respecto de la función del Ingeniero Químico, es evidente que existe una verdadera línea de demarcación entre el *Ingeniero Químico* y el *Químico*, por un lado, y entre el *Ingeniero Químico* y el *Ingeniero Mecánico* por el otro. También es evidente la línea definida de demarcación que existe entre la *Química Industrial*, que se relaciona con los procesos particulares, y la *Ingeniería Química*, que concentra toda su atención sobre aquellas operaciones unitarias que son comunes a muchos procesos manufactureros y la combinación acertada de estas operaciones para la producción del producto deseado, tan barato y tan eficientemente como las condiciones imperantes lo permitan.

El Ingeniero Químico debe tener una comprensión teórica y un conocimiento práctico de los muchos tipos de equipos que se utilizan para efectuar cada operación unitaria, a fin de que pueda escoger aquellos tipos mejor adaptados a las necesidades del caso particular y que la Planta y el proceso puedan operar a la mayor eficiencia posible y a un costo mínimo. Constantemente están aumentando las exigencias al Ingeniero Químico, como resultado de la rápida afluencia de nuevos procesos, la tendencia hacia las operaciones a altas temperaturas y presiones, el mejoramiento constante de los instrumentos de control, la oferta frecuente de nuevos materiales de construcción, el desarrollo de nuevos métodos de calentamiento y los rápidos cambios

y mejoras en el equipo. El Ingeniero Químico debe, por tanto, estar alerta permanentemente para valerse de estas mejoras en la práctica y en el equipo.

Finalmente, debe destacarse el hecho de que, así como el arquitecto encuentra su mayor expresión en belleza en construcciones como la Iglesia de la Madelaine de París, y el ingeniero civil puede señalar con satisfacción la gran proeza del Puente de Brooklyn o el Canal de Panamá, el trabajo del ingeniero químico conduce a triunfos no menos notables y útiles, de los

cuales son típicos ejemplos las grandes plantas para la fijación del Nitrógeno atmosférico, la refinación y cracking catalítico del petróleo o la manufactura del rayón.

Manuel D. Mier L.

Medellín, Agosto 10 de 1947

**Bibliografía:**

*Elements of Chemical Engineering*, B. and  
Mc Cabe — Introduccion por Arthur D. Little.



# Combustión parcial de Gases con deficiencia del Aire

En muchas operaciones térmicas no se estima el efecto químico de los productos de combustión, pero hay algunas, tales como las de industrias cerámicas, en las cuales, especial cuidado debe darse a la atmósfera que rodea al trabajo. La combustión parcial de un gas con deficiencia de aire ha sido investigada con gas natural, gas de hulla y butano, variando el suministro de aire desde un 10 hasta 100% del necesario para la combustión completa. Han sido establecidos límites bajo los cuales la combustión cesa. Ellos fueron 65%, 53% y 60% del aire requerido respectivamente para los gases citados. Usando calor externo, estos límites fueron más

bajos aún. Las razones  $\frac{\text{CO}}{\text{CO}_2}$  y  $\frac{\text{CO}}{\text{H}_2}$ , han sido

establecidas para estos gases. El olor acre que usualmente acompaña e identifica los productos de combustión de los gases es generalmente atribuido a aldehídos y otros compuestos hidroxilados de los hidrocarburos. Se hicieron ensayos cuantitativos para alcoholes, aldehídos, cetonas, ácidos orgánicos y compuestos nitrogenados. Los métodos analíticos para estos compuestos en los productos de combustión incompleta de gas, no han sido encontrados en la literatura. Sin embargo los más aplicables de los los numerosos métodos de análisis de estos compuestos fueron seleccionados y tanteados. El formaldehído que alcanzó 0.0842% fue el constituyente principal.

El uso de combustibles gaseosos para combustión y procesos térmicos industriales es más grande que el generalmente creído. En el caso del gas natural, por ejemplo, el volumen total vendido a la industria es seis veces mayor que el usado para fines domésticos y de refrigeración; en cuanto al gas manufacturado incluyendo el gas de hulla es cuatro veces mayor que el volumen de consumo doméstico. Las estadís-

ticas muestran que la cifra astronómica de 2762 billones de pies cúbicos de gas natural fueron usados para fines industriales durante 1942, mientras que 776 billones de p. c. de gas de hulla y otras materias primas fueron consumidos por establecimientos industriales y comerciales. Aunque acelerado por las necesidades de la guerra el consumo industrial ha ido creciendo a una rata de 15% anual durante más de una década. En adición a su utilización como una forma de energía eficiente y fácilmente aplicada a fines térmicos y generación de fuerza motriz, el gas y sus productos de combustión son ampliamente aplicados con el fin de utilizar las propiedades químicas de varios de sus constituyentes. Aunque es verdad que muchas instalaciones de gas combustible no hacen uso de sus propiedades químicas, hay un gran número, creciente siempre, de aplicaciones en las cuales la naturaleza química de los productos de combustión y sus efectos sobre materiales en procesos son de mucha importancia.

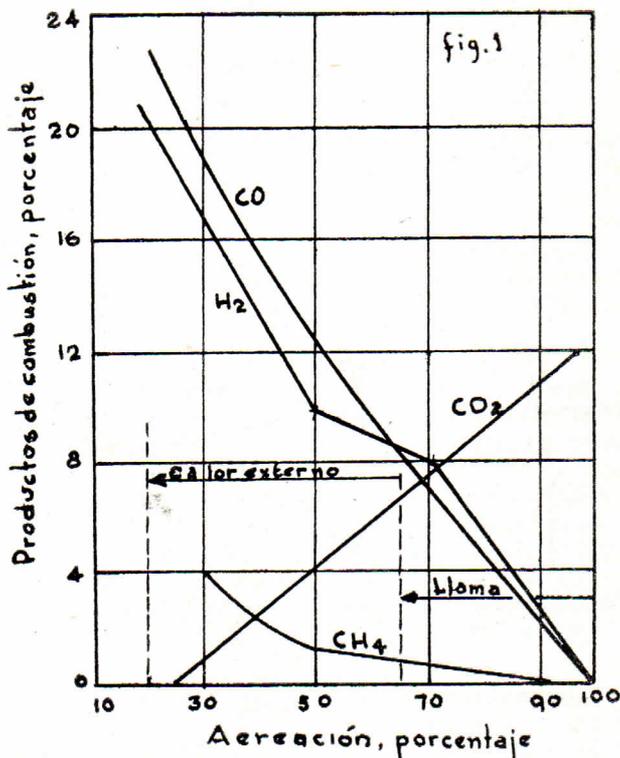
El mejor ejemplo conocido sobre este aspecto es el tratamiento de los aceros. Primeramente el gas fue usado como combustible aprovechando sus ventajas de velocidad y control flexible de temperatura. Las factorías debieron usarlo, no obstante la destrucción de la superficie del metal ocasionada por la acción de productos de combustión oxidantes, durante varios años, hasta conseguir la formación de atmósferas especiales, las cuales cambiaron íntegramente el aspecto de aquel problema. Es ahora posible mantener cualquier condición superficial deseada sin peligro de oxidaciones, aprovechando las propiedades químicas de las citadas atmósferas.

Las atmósferas más simples de este tipo son producidas por combustión parcial de gases con menor cantidad de aire del necesario para la combustión completa, complementada cuando hay necesidad, de posteriores tratamientos para

remover algún elemento de combustión considerado perjudicial en la mezcla de gases sin tratar. En general esta clase de atmósferas especiales encuentra su principal aplicación en el destemple o recocido (annealing) y otras operaciones a temperaturas relativamente bajas.

Para operaciones de elevadas temperaturas y, en general, para el tratamiento de aceros medios y de alto carbono, la atmósfera de combustión parcial no produce composición óptima. Por lo tanto el aire suministrado es restringido, y es necesario el calentamiento externo. Los gases de

Aunque hay muchos ejemplos en la industria en donde atmósferas preparadas por cuidadoso control de combustión con suministro de aire limitado, están siendo empleadas para producir determinados efectos químicos sobre ciertos productos, los principios básicos de la combustión en tales condiciones son menos conocidos que los de aquélla en condiciones oxidantes. En muchas ocasiones una práctica térmica para producir efectos deseados fue desarrollada solamente después de considerables experimentaciones por el método de tanteo y errores. Así estos procesos empíricos que producían resultados químicos



combustión en tales condiciones son ricos en H<sub>2</sub> y CO y de muy bajo porcentaje en CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O.

Aunque el uso de atmósferas especiales en el tratamiento de aceros, ha sido mencionado como una ilustración, debe tenerse en cuenta que al presente las aplicaciones de los gases parcialmente quemados con y sin cracking y posterior purificación, cubre un amplio campo de procesos industriales. La literatura que versa sobre este sistema es voluminosa particularmente en relación a protección de metales, acero, cobre, plata, esmaltes vítreos, productos cerámicos y otros muchos.

deseados sobre los materiales en labor, fueron a menudo desarrollados sin conocimiento del efecto de varios factores que gobiernan la composición de las atmósferas formadas. Como resultado, gran parte de los datos publicados sobre este problema son incompletos o aparentemente contradictorios. En ensayos para controlar el efecto químico de la atmósfera de un horno sobre el material en caliente, se ha intentado a menudo duplicar algún procedimiento que haya dado buenos resultados en operaciones similares. El hecho de que muchos de estos ensayos hayan fracasado debe ser atribuido a la falta de datos esenciales, a inexactitudes en los

registrados o al cálculo inapropiado de las diferentes variables que afectan los resultados.

A causa de la confusión que existe sobre este particular la American Gas Association, ha estado adelantando investigaciones sobre los principios básicos de la combustión parcial, con el fin de establecer una forma segura de control, consiguiendo resultados iniciales bastante satisfactorios.

**TABLA I — ANALISIS TIPICOS DE GASES**

Constituente	Gas natural	Gas manufacturado	Butano
CO <sub>2</sub>	0.2	0.8	.....
O <sub>2</sub>	0.2	.....	.....
H <sub>2</sub>	.....	53.5	.....
CO	.....	17.7	.....
CH <sub>4</sub>	83	22.7	.....
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	16	4.1	.....
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	.....	.....	22.15
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	.....	.....	77.85
N <sub>2</sub>	0.63	1.2	.....
Total	100.00	100.00	100.00
B.t.u./p.c. 1108		534	3207
Gr. esp.	0.63	0.404	2.00

### PRINCIPALES CONSTITUYENTES DE LA COMBUSTION PARCIAL

Las investigaciones adelantadas por la American Gas Association determinaron cuantitativamente los varios aspectos de la combustión parcial bajo rigurosas condiciones. Se utilizaron quemadores de variado tipo, suministrando para cada uno cantidades exactas de aire y gas combustible.

Tres gases fueron ensayados: gas natural, gas de hulla y butano con 1100, 534 y 3207 b. t. u./p. c. respectivamente. Las muestras gaseosas de combustión fueron obtenidas en tubos de cuarzo refrigerados con agua y almacenados sobre mercurio en recipiente de vidrio. Los análisis del gas fueron hechos con un Orsat modificado y, cuando el O<sub>2</sub> fue inferior al 0.2% se empleó el método del hidróxido de Mn. Los volúmenes de gas y aire fueron corregidos a condiciones de 60°F y 30" de mercurio.

En este estudio todas las composiciones de los productos de combustión son expresadas en base seca, como porcentajes, que es la base de los análisis hechos en aparatos tipo Orsat. Los porcentajes de N<sub>2</sub> no son ilustrados pero se deducen con facilidad de un sencillo balance de ma-

terial, en el cual se calcula también la cantidad de agua formada.

Cuando el gas natural fue quemado con deficiencia de aire se determinaron sus principales constituyentes de combustión, cuya composición aparece indicada en la fig. 1. A medida que decrece el % desd 100 las posibilidades de sustentación de la llama disminuyen; así se observa que hasta 65% la llama puede ser continuamente mantenida a un porcentaje inferior a este, hasta 25% reclama calor externo a 1800°F y la necesidad de pasar la mezcla aire-gas combustible por un catalizador que para el caso se adoptó con óptimos resultados uno de arcilla impregnada de Ni. La deposición de carbono dificultó posteriores ensayos con aeración menor. El decrecimiento del % del aire, provocó la reducción del % de CO<sub>2</sub> en los productos de combustión casi linealmente desde 12.2% con 100% de aeración hasta 0.2% con 25% de aire. Bajo las mismas condiciones y en función lineal el CO aumentó de cero a 22% y el H<sub>2</sub> de cero a 21.2% a excepción para este, en el margen de 70 a 50% de aeración; el metano apareció en trazas al 90% de aire y ascendió al 4% con 20% de aire. Con las curvas de la fig. 1 es fácil obtener la composición aproximada de los productos de combustión parcial con limitación de aire de 100 a 25% teórico. Así por ejemplo a 70% de aeración los productos de combustión deberán componerse de CO<sub>2</sub> = 7.4%, CO = 7.4%, H<sub>2</sub> = 8.1% y CH<sub>4</sub> = 0.4%. Si se desea producir una mezcla de gases, libre de CO<sub>2</sub> y ricos en hidrógeno y monóxido de carbono el aire suministrado debe ser un poco inferior al 25% del teórico necesario para la combustión completa.

El contenido en vapor de agua de esos productos de combustión del gas natural, mantenidos a temperaturas muy superiores al punto de rocío, decrecerá con la reducción del aire en la mezcla combustible. A 100% de aeración los gases serán húmedos en un 22.2%, a 65% en un 18% y a 30% en un 1.5%; con porcentajes de aeración inferiores a 22 la humedad de esos gases será inferior a 0.5%. A causa de la baja humedad proporcionada por las aeraciones pequeñas no fue posible determinarla cuantitativamente, porque pequeños errores en el análisis y los cambios que generalmente ocurren en la razón C/H del combustible, se traducirían en apreciables desviaciones del valor real que la humedad representa como constituyente de esas atmósferas.

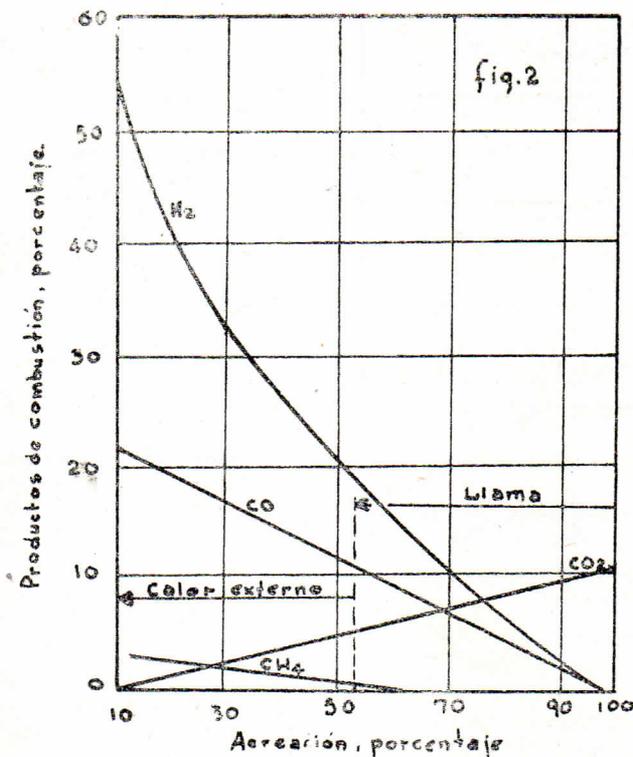
La determinación de la humedad por el mé-

todo del punto de rocío es standard para aeraciones inferiores al 35%.

La combustión parcial del gas de hulla con deficiencia de aire dio los resultados de la fig. 2. La llama fue mantenida hasta 53% de aeración, y desde este punto hasta 10% hubo necesidad de calor externo con temperatura y condiciones de catálisis similares a la combustión del gas natural. Con porcentajes inferiores a 10 se presentó excesiva deposición de carbono. En tales condiciones el  $\text{CO}_2$  decreció desde 10 hasta 0.2%, el  $\text{CO}$  por el contrario aumentó su porcentaje de cero a 21.5%, el hidrógeno de

aire, muestra como en los casos anteriores, similares observaciones. La llama se soporta bien hasta un 60% de aeración y de este punto hasta 20% hay necesidad del calor externo para continuar la combustión. Las curvas de cada constituyente conservan gradientes del mismo signo con variaciones en la magnitud.

El oxígeno no fue determinado en los productos de combustión en ninguno de estos ensayos hasta que la llama estuvo al borde de la extinción, punto en el cual se observó un 0.5% acompañado siempre por pequeñas cantidades de gas no quemado como justamente lo demues-



cero a 52.5% y el metano de cero a 2.2%. Haciendo uso de estas curvas es fácil, como en el caso anterior determinar la composición de la atmósfera de combustión, para cualquier caso de aeración entre 100 y 10%.

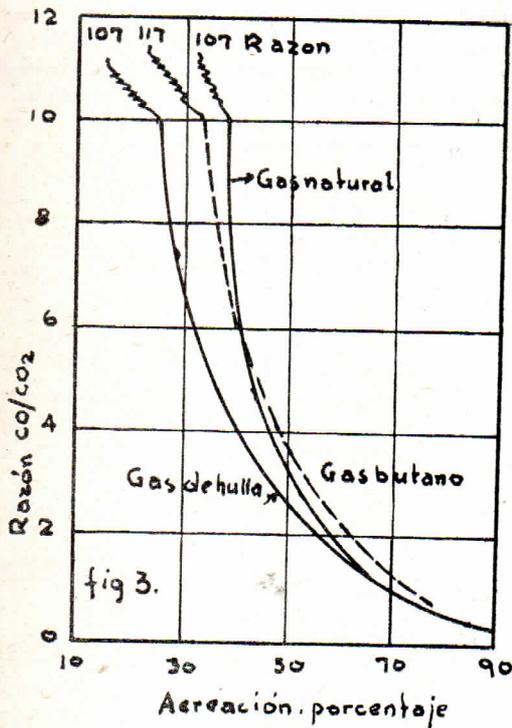
Los límites de existencia de la llama registrados en estos ensayos con gases natural y manufacturado, son muy próximos a sus límites superiores de explosión. Sin embargo deben hacerse estudios adicionales antes de establecer expresiones generales sobre las posibles relaciones entre esos valores.

La combustión del butano con deficiencia de

tra la presencia del metano en las figuras 1 y 2. El oxígeno encontrado se debe generalmente a las bajas temperaturas de trabajo o escapes de mezcla aire-gas a través de los quemadores.

Las investigaciones de Austin y Day y algunos otros, mostraron que, bajo las actuales condiciones de operación hay un cierto equilibrio entre los materiales en proceso y los gases de combustión. En el análisis discutido anteriormente, este importante factor no se tuvo en cuenta, ya que el constituye una variable dependiente de temperatura, tiempo de trabajo y sobretodo del tratamiento específico. Los datos que

constituyen las curvas de las figs. 1 y 2 son en base seca, como se anotó anteriormente. Este detalle debe tenerse en cuenta, pues de otra manera la constante de equilibrio aplicada a las cartas de composición suministrará valores errados, lo que no sucederá si se modifican esos porcentajes incluyendo los correspondientes al agua, deducidos estos como ya se dijo por balance de materiales o por el método del punto de rocío.



RAZONES  $\text{CO}/\text{CO}_2$  y  $\text{CO}/\text{H}_2$

La fig. 3 muestra el cambio en las razones  $\text{CO}/\text{CO}_2$  para los tres gases ensayados, a medida que avanza la combustión con rata decreciente de suministro de aire. Las curvas para gas natural y butano prácticamente coinciden y el valor de la razón aumenta desde 0.3 hasta 10% cuando la aeración decrece de 90 a 22%. Para gas de hulla la razón es menor que la de los otros dos gases para aeraciones inferiores a 70%, lo cual es lógico si se atiende a la diferente composición química de los combustibles. Además de la utilidad que estas curvas ofrecen para el cuidadoso control de atmósfera de combustión incompleta para los gases nombrados, se advierte el caso de que pueden usarse también para determinar la composición de los productos de combustión de otros gases combusti-

bles cuya potencia calorífica en b. t. u./p. c. esté comprendida entre los valores 534 y 3207. Con los valores obtenidos de la curva puede deducirse el porcentaje del monóxido o bióxido de carbono, si la composición de uno de los dos es conocida por medio de análisis químico.

Otra relación útil es la razón  $\text{CO}/\text{H}_2$  en los productos de combustión incompleta. Para el gas natural esa razón permanece prácticamente constante para una aeración decreciente desde 100 hasta 25%. Los valores de esta razón para el gas butano varían linealmente de 1.0 a 1.1% con aeración de 100 a 86% y de 1.1 a 0.8% con 86 a 70% de aeración, permaneciendo constante el 0.8% hasta 20% de aeración. Para el gas de hulla el decrecimiento es gradual en los valores de la razón desde 1.0 hasta 0.4% conforme la aeración decrece de 100% a 10%.

### CONSTITUYENTES INTERMEDIOS DE LA COMBUSTION PARCIAL

El olor acre característico que acompaña y sirve para identificar los gases quemados parcialmente, es generalmente atribuido a constituyentes intermedios de la combustión, tales como aldehídos y otros hidrocarburos hidroxilados. La ausencia de aquel olor no necesariamente indica que la combustión es completa pues el hidrógeno y el monóxido de carbono son inodoros. La identificación de esos productos intermedios ha sido generalmente efectuada por su olor y por ensayos cualitativos. Métodos directos para determinación cuantitativa de aldehídos, alcoholes, cetonas, ácidos orgánicos y nitrógeno combinado en productos de combustión incompleta de gas, no han sido encontrados en la literatura; sin embargo, numerosos métodos de análisis fueron ensayados para los compuestos citados y los más aplicables se seleccionaron y pusieron en práctica.

Durante el estudio de los principales constituyentes de la combustión parcial de un gas como previamente se discutió, fue preciso que una oportunidad se presentara para determinar cuantitativamente los compuestos de oxidación intermedios. En ese estudio el objetivo fue conseguir el grado más alto de combustión incompleta con el máximo rendimiento de monóxido de carbono e hidrógeno y el mínimo de bióxido de carbono y vapor de agua. Los olores de los aldehídos etc., bajo tales condiciones fueron muy pronunciados. Las observaciones hechas debían suministrar información útil para la manufactura de sustancias químicas a partir

de los gases combustibles quemados. El formaldehído por ejemplo es materia prima para la producción de fenol, úrea, resinas y pinturas. No está sin embargo dentro de las proyecciones de este estudio, la posibilidad de aumentar el rendimiento de esos productos intermediarios.

Los productos de combustión fueron generados en dos muflas con llama libre la una y con calentamiento externo la otra. Esta lleva una cañería de hierro negro de 2" rellena de material cerámico impregnado de níquel como catalizador, el calentamiento externo se hizo de 1000 a 2000°F. Un aparato especial de ensayos fue diseñado para recoger el condensado y gases solubles en agua usando de 43 a 76 pies cúbicos de productos de combustión.

Los métodos de análisis que existen registrados en la literatura fueron encontrados en primer lugar como cualitativos o adecuados para altas concentraciones. Aquellos que parecieron más adaptables para el presente estudio fueron aplicados a mezclas conocidas. Los siguientes 6 métodos fueron seleccionados con modificaciones adecuadas:

- 1—Método del reactivo de Schiff o Schiff-Elvove para determinación de aldehído.
- 2—Método de precipitación de plata, para aldehídos totales.
- 3—Método yodométrico para aldehídos y cetonas metílicas totales.
- 4—Método volumétrico con hidróxido de sodio para contenido de ácidos orgánicos.
- 5—Método de oxidación con dicromato en solución ácida para alcoholes.
- 6—Método de Kjeldahl para nitrógeno combinado.

La tabla II, presenta los resultados en términos de porcentaje por volumen obtenidos en diez análisis. Un estudio de esta tabla revela que:

- 1º—El formaldehído fue identificado en los diez análisis; porcentaje máximo 0.0842, mínimo 0.000003.
- 2º—El acetaldehído fue identificado en 8 de 10 análisis porcentaje máximo 0.0052, mínimo 0.00001.
- 3º—Gloxal u otros aldehídos fueron encontrados en tres de diez análisis; porcentaje máximo 0.0023.
- 4º—Los aldehídos totales lograron un máximo para cualquier ensayo de 0.0917% al quemar butano, 0.01388% y 0.00331 al quemar gas natural y gas de hulla respectivamente.
- 5º—El ácido fórmico fue identificado en nueve de diez ensayos; porcentaje máximo 0.0208.
- 6º—El alcohol metílico apareció en siete de diez análisis, pero no hay certeza acerca de si los datos están dentro del margen aceptado de errores experimentales. Porcentaje máximo; menor de 0.006.
- 7º—El nitrógeno combinado fue encontrado en todos los análisis desde trazas hasta 0.00223 por ciento.
- 8º—El porcentaje máximo total de los anteriores productos intermedios de combustión fue de 0.01816 a partir del gas natural, de 0.00499% para el gas de hulla y de 0.11956 a partir del butano.

Los resultados encontrados no deben ser estimados como cifras exactas sino más bien como un índice de la magnitud relativa de aquellos constituyentes.

TABLA II — ANALISIS DE PRODUCTOS INTERMEDIOS DE COMBUSTION INCOMPLETA

Gas combustible	Gas natural				Gas de hulla				Butano	
	84.2	67.5	29.4 1800*	29.2 1000	49.5	29.2 1800*	29.3 1000	49.0	29.3 1800*	26.0 1000*
Aeración %	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Temperatura F	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Análisis	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
HCHO	0.000022	0.0133	0.000003	0.000216	0.00302	0.000004	0.000029	0.0842	0.000003	0.000009
CH <sub>3</sub> CHO	0.00003	0.00008	.....	0.0001	0.0002	0.00001	0.0003	0.0052	.....	0.00004
(CHO) <sub>2</sub>	.....	0.0005	.....	.....	0.00009	0.....	.....	0.0023	.....	.....
HCOOH	0.00022	0.00282	.....	0.0001	0.00097	0.00006	0.0003	0.0208	0.0004	0.00074
CH <sub>2</sub> OH	0.00005	0.0004	.....	0.0002	0.00025	0.00007	0.00002	0.006	.....	.....
N <sub>2</sub> combinado	0.000054	0.00106	0.00010	0.00018	0.00046	0.00223	0.00079	0.00106	0.00215	0.00024
Total	0.000376	0.01816	0.000103	0.000796	0.00499	0.002374	0.001439	0.11956	0.002553	0.001029

\* Calor Externo

F-E. VANDAVEER C. GEORGES SEGELER. TRADUCIDO POR C. LOPEZ P. DE INDUSTRIAL AND CHEMICAL ENGINEERING. SEPT. 1945.

# Empleo de la función disponibilidad en cálculos de costo en Plantas Térmicas

En el análisis termodinámico es relativamente nueva la función disponibilidad. J. H. Keenan, al introducirla en 1932, la definió así: "La máxima cantidad de trabajo útil que cualquier máquina térmica, simple o compuesta, puede entregar contra fuerzas externas, al eje, o almacenar, cambiando las condiciones del fluido empleado hasta el estado muerto". Por "estado muerto" se entiende que el fluido queda a las condiciones de presión y temperatura de los alrededores o ambiente en que opera la máquina. Si se pretendiera llevar el fluido a condiciones más bajas de éstas, sin la ayuda de agentes mecánicos externos, se atentaría contra la 2ª ley.

Si las energías cinética y potencial-gravitacional son despreciables en el sistema considerado, lo que es muy general en las aplicaciones ordinarias, la función toma la forma:

$$b = H - T_0S.$$

donde: H = Entalpia

$T_0$  = Temperatura abs., ambiente

S = Entropía

b = Disponibilidad.

Es fácil ver que si  $T_0$  es constante, la expresión indica una función de estado, estos es, una propiedad del sistema, independiente de la historia o camino seguido para llegar al estado actual. La función incluye el término ( $T_0S$ ), llamado en Termodinámica energía no disponible o no-utilizable y el otro término H, que puede transformarse totalmente en trabajo en una máquina térmica ideal.

Keenan sugirió un método para usar la función en contabilidad de costos en plantas térmicas; y McCabe generalizó el método, introduciendo algunos factores de interés. El método puede exponerse así:

Toda corriente de vapor proveniente de una caldera tiene una cierta disponibilidad. Esta corriente puede dedicarse a dos fines generales: para generar potencia o para procesos. Si se usa para generar potencia, en la unidad generadora el fluido degrada su energía inicial, disminuyendo su disponibilidad en proporción a la potencia generada. Puesto que la conversión no es ciento por ciento, hay que introducir un factor que dé la

capacidad de la máquina. Keenan llamó este factor "efectividad" y lo definió así: 
$$e = \frac{\Delta H}{\Delta b}$$

O sea cambio en Entalpia sobre cambio en disponibilidad del fluido al pasar a través de la unidad. e, puede considerarse constante para toda expansión adiabática.

Si la energía mecánica desarrollada en el eje se transforma a energía eléctrica, y si parte de esta energía se usa como potencia auxiliar en la misma planta, quedará una fracción de energía vendible cuyo costo es el que interesa.

La relación en que están las cantidades antes anotadas se expresa así: Sea, E =

relación  $\frac{\text{Energía neta vendible}}{\text{caída en disponibilidad del fluido}}$ ; entonces se tendrá:

$$E = eC_1(1 - a)$$

donde:  $e = \text{efectividad} = \frac{\Delta H}{\Delta b}$

$C_1 = \text{eficiencia combinada de la máquina y el generador} = \frac{\text{Energía neta generada}}{\Delta H}$

$a = \text{fracción energía eléctrica usada como potencia auxiliar} = \frac{\text{Energía auxiliar}}{\text{Energía neta generada.}}$

De estas definiciones se obtiene la definición de E.

Si la corriente de vapor se usa para procesos, su valor depende de la disponibilidad que tenga y puede valorizarse por la potencia que se obtendría de ella si fuera llevada a una máquina generadora. A esto lo ha llamado McCabe, "potencia equivalente" y lo define así: "Es el producto de la disponibilidad de la corriente por el gasto en lbs./hora, por el factor E"

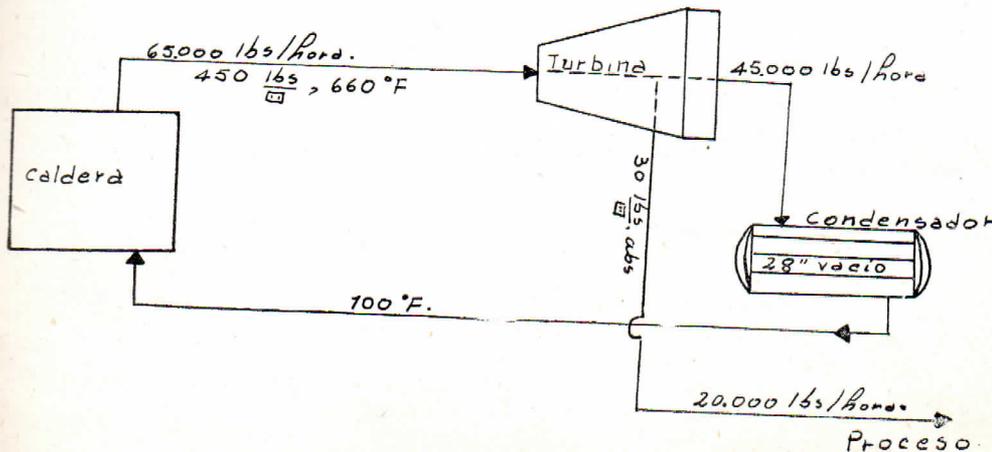
Ahora bien, si a la suma de la potencia neta vendible y la potencia equivalente de las corrientes de vapor usadas para procesos, se le resta la potencia equivalente de las corrientes de condensados que vuelven a la caldera, se tendrá la potencia total de la planta térmica por hora por la potencia total, se tendrá el precio deseado para la potencia

Para conocer el precio del vapor de una corriente particular, bastará multiplicar su disponibilidad por el gasto, por el factor E y por el precio antes encontrado.

### EJEMPLO

Una caldera entrega vapor para una turbina la cual se "sangra" para suministrar vapor a un proceso. El resto del vapor de la turbina va a un condensador y vuelve como condensado a la caldera. El condensado del proceso no regresa a la caldera. El equipo de ablandamiento de agua de la planta opera a temperatura ambiente, 70°F.

Datos y Notas:



**HULLA:**

costo = \$ 4 por tonelada.

poder calorífico =  $13500 \frac{\text{B T U}}{\text{lb.}}$

eficiencia de la Caldera, emparrillados, precalentadores, etc. = 70%

**PLANTA DE POTENCIA:**

Costo inicial = \$ 450.000.00

Costo de operación, labor, mantenimiento, etc. = \$ 3 por hora.

gastos fijos anuales = 20% del costo inicial.

Operación = 7000 horas por año.

Potencia generada = 3000 K. W.

Potencia auxiliar usada en la planta = 500 K. W.

a) Calcular el precio del K. W. H.

b) Costo de 1000 lbs. de vapor para el proceso. \*

NOTA: Algunos de los valores dados en este ejemplo son arbitrarios y sólo valen para fines de ilustración. Las corrientes de vapor, sin embargo, resisten prueba de balance térmico.

**RESOLUCION:**

Del libro "Heat Power" por E. B. Norris y E. Therkelsen, 2ª edición inglesa, 1939. Pags.: 402-3-4-5. Se toman las siguientes propiedades para el vapor.

Propiedades Termodinámicas				
Temp. °F.	Presión $\frac{\text{lbs.}}{\text{p. c.}}$	Vapor	Entalpia	Entropía
			$\frac{\text{B. T. U.}}{\text{lb.}}$	$\frac{\text{B. T. U.}}{\text{lb. } ^\circ\text{R}}$
660	450	<b>Fase</b>	1337.5	1.6054
250	30	"	1164.0	1.6998
100	0.95	"	1105.2	1.9826
70	14.7	Líqu.	38.03	
100	0.95	"	68.0	0.1295

**COSTO DE LA HULLA:**

El equipo de ablandamiento debe entregar 20.000 lbs. de agua por hora.  
Calor absorbido por el agua en la Caldera:

$$(65000)(1337.5) - (20,000)(38.03) - (45,000)(68) = 83.116,900 \frac{\text{B T U}}{\text{hora}}$$

$$\text{Consumo de hulla. } \frac{83116900}{(0.7)(2000)(13500)} = 4.4 \text{ ton./hora.}$$

$$\text{Costo de la Hulla: } (4.4)(4) = \$ 17.60/\text{hora.}$$

$$(450,000)(0.2)$$

$$\text{Gastos fijos: } \frac{7000}{7000} = \$ 12.82/\text{hora.}$$

Costo de labor, operación, mantenimiento, etc. = \$ 3/hora.

Costo total de la planta de potencia por hora = \$ 33.42.

**DISPONIBILIDADES:**

Temperatura ambiente = 70°F.

$$\text{Vapor de alta presión para la turbina} = 1337.5 - 460 + (70)(1.6054) =$$

$$b_1 = 487.2 \frac{\text{BTU}}{\text{lb.}}$$

$$\text{Vapor "Sangrado" a 30} \frac{\text{lbs.}}{\text{s. q. in.}} \text{ abs. } b_2 = 263.0 \quad "$$

$$\text{Vapor evacuado al Condensador } b_3 = 54.0 \quad "$$

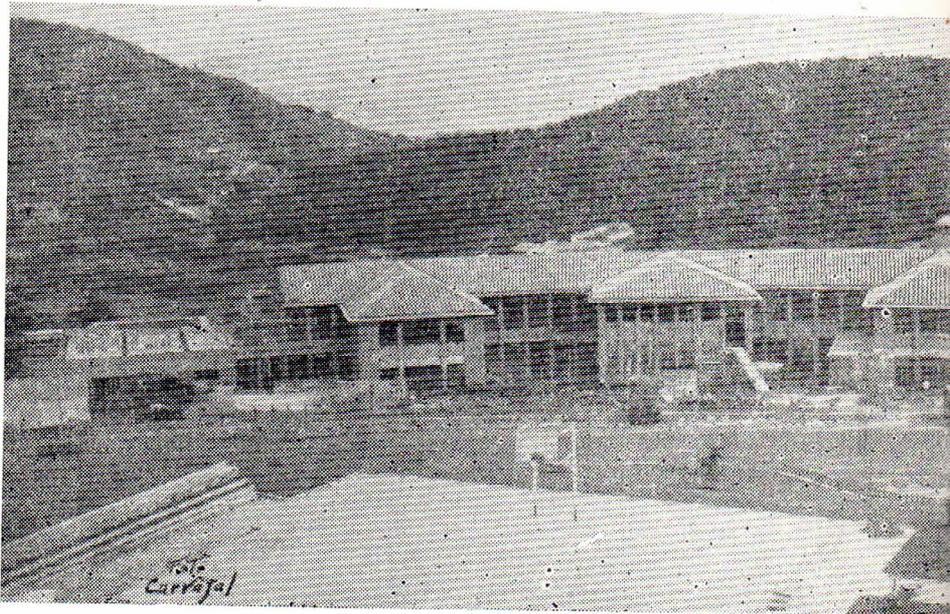
$$\text{Condensado que vuelve a la cald. } b_4 = -0.63 \quad "$$

CALCULO DEL FACTOR E:

$$\text{Caída de disponibilidad en la turbina} = \Delta b = b_1 - (b_2 + b_3):$$

$$\Delta b = (65000)(487.2) - [(20000)(263) + (45000)(54)] = 23.978.00$$

$$\text{Energía vendible} = 3000 - 500 = 2500 \text{ K. W.}$$



Vista general del edificio de la

$$E = \frac{\text{Energía Vendible}}{\Delta b} = \frac{(2500)(3413)}{23978000} = 0.356.$$

También puede calcularse así:

$$E = e e_1(1 - a); e = \frac{H_1 - H_2}{b_1 - b_2} = \frac{\Delta H}{\Delta b} = \frac{\text{Cambio en entalpia}}{\text{Cambio en disponibilidad}}$$

$$\Delta H = (65000)(1337.5) - [(20,000)(1164) + (45000)(1105)] = 13.932500 \frac{\text{BTU}}{\text{hora}}$$

$$e = \frac{13.932.500}{23.978.00} = 0.582.$$

$$e_1 = \frac{\text{Energía neta generada}}{\Delta H} = \frac{(3000)(3413)}{13.932.500} = 0.735.$$

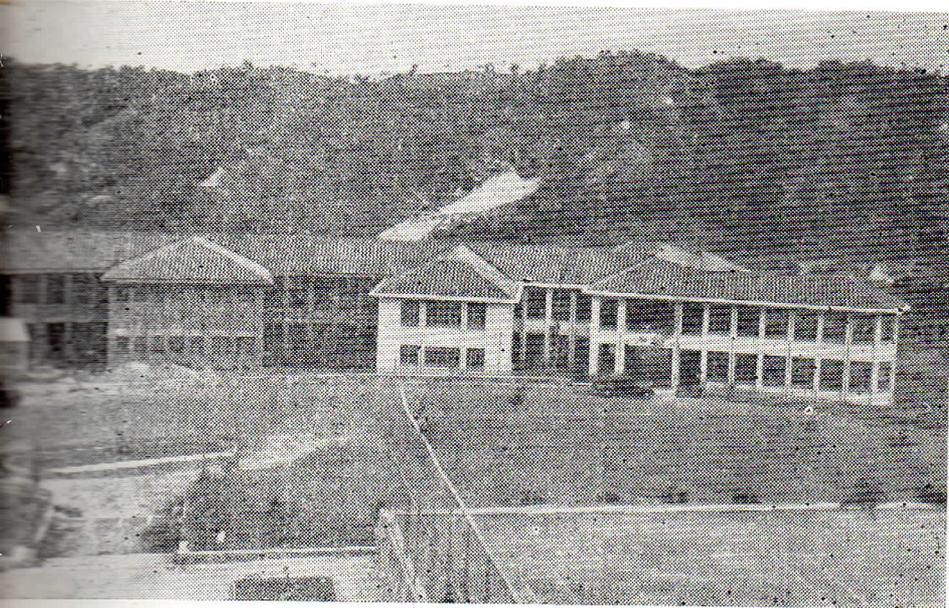
$$a = \frac{\text{Energía Auxiliar}}{\text{Energía Neta generada}} = \frac{500}{3000} = 0.167$$

$$E = (0.582)(0.735)(1 - 0.167) = 0.356.$$

Potencia equivalente del vapor para proceso:

$$\frac{(20000)(263)(0.356)}{3413} = 550 \text{ K. W.}$$

Potencia total entregada en la planta (actual + equivalente) = 550 + 2500 = 3050 K. W.



La, actualmente en conclusión.

$$\text{Costo: } \frac{33.42}{3050} = \$ 0.011 \text{ K. W. H.} \quad \leftarrow (a)$$

$$\text{Precio del vapor sangrado para proceso:} \\ \frac{(1000)(0.356)(263)(0.011)}{3413} = \$ 0.302/1000 \text{ lbs.}$$

Cuando la disponibilidad de las corrientes de condensado que vuelven a la caldera es muy baja, al suprimir su potencia equivalente, se comete un error menos de 1%.

Como puede verse del ejemplo, el método es simple pero no admite ecuaciones generales porque en cada planta térmica el vapor sigue diferente ciclo.

Angel Zapata C.  
Estudiante de la Escuela

## Plan 1946

En el año de 1942 la Universidad de Antioquia, en cumplimiento de su alta misión educativa, se vió precisada a fundar la Escuela de Ciencias Químicas a fin de darle amplio cauce a las inquietudes juveniles de la Patria, que ansiosamente buscan nuevas modalidades en la vida universitaria para ver plasmada en la realidad sus más hondas aspiraciones de progreso. En verdad, es necesario decirlo ahora, la Universidad se echó por uno de los atajos de mayor responsabilidad, ella, posiblemente en el deseo de ampliar su radio de acción, no alcanzó a medir la magnitud del problema que se le venía encima. Porque al poco tiempo de haber fundado la nueva dependencia Universitaria, se dio perfecta cuenta de que una Escuela de Química no se podía fundar como soplar y hacer botellas.

Ante el llamado de la Universidad, treinta y cinco voluntades jóvenes se aprestaron para dar comienzo a las nuevas labores universitarias. El pénsum con que la Universidad se presentó para aspirar a dar un título de Ingeniero Químico, era un pénsum que estaba facturado sobre la vieja escuela francesa. El fue concebido con un alto sentido investigativo, cosa que a decir verdad, no se amoldaba a las necesidades de Colombia que venía pidiendo verdaderos técnicos.

Ante la presentación de lo anterior, la Universidad se vió abocada a cambiar el pénsum por uno más realista. Fue así como en 1943 se dio aprobación a un nuevo plan de estudios que indudablemente se acercaba más a la realidad. Era de aquellos pénsumes clásicos que todavía se siguen en parte en nuestro país y en casi todos los que forman el Continente Americano. En él se apreciaban materias como la llamada química industrial y otras por el estilo que venían a contemplar problemas de suyo particulares. En cumplimiento de este programa la Escuela de Ciencias Químicas seguía su marcha normal. Mas, el tiempo avanzaba y con él se iban presentando serios problemas a la Escuela, como era la de conseguir el profesorado apropiado. En el país se fueron consiguiendo profesores para re-

gentar las cátedras de matemáticas, pero no se conseguía el necesario para regentar aquellas que tocaban más directamente con la química y en sus diferentes aplicaciones en la industria. Entonces la decanatura con plenas autorizaciones por parte de la Universidad se vió precisada a gestionar la traída, de profesorado del exterior. Fue así como a principios del año de 1946 se comenzó a cambiar ideas con profesorado latinoamericano que hacía aventajados estudios en los Estados Unidos. Entonces fue cuando se vió una necesidad más que había de llenar nuestra Escuela. El pénsum que estábamos siguiendo era susceptible de notables cambios a fin de darle todavía más, una orientación que mejor definiera a los estudios de ingeniería química; porque en el pensamiento de nuestros rectores universitarios, estaba el de procurar que el título que expidiera la dependencia de química, correspondiera en un todo a los estudios cursados. Porque hemos de anotar que la cuestión no está en dar títulos universitarios, lo indispensable es correlacionar de la manera más perfecta posible los estudios con el título que se expida.

La Universidad estaba resuelta a no omitir gasto alguno a fin de orientar debidamente la carrera de Ingeniería Química. Fue así como trajo del exterior tres profesores: dos extranjeros que habrían de orientar las cátedras de ingeniería química y uno colombiano, que había cursado estudios de investigación en Alemania antes de la guerra, para que regentara la cátedra de química orgánica y sus afines.

Con el anterior equipo de profesores se dio la Universidad a programar unos estudios técnicos, que fueran lo suficientes para dar profesionales aptos a fin de desempeñar, no simples funciones de laboratorista o mezclador de materias primas, sino para agudizar la inteligencia hacia la resolución de problemas fundamentales que en la vida de una industria se presenta para darle un mayor rendimiento a sus productos y menos costo a sus gastos. Por lo tanto, entrando a definir, que la ingeniería química habría de

ocuparse del estudio de los diferentes problemas que en la química industrial se presentan, desde un alto nivel técnico y matemático, el Consejo Directivo de la Universidad de Antioquia dio aprobación al plan 1946 y que con un alto sentido de la responsabilidad viene llevando a feliz término la Escuela de Ingeniería Química, no la Escuela de Ciencias Químicas, pues para estar más acorde con la realidad se dispuso hacer el cambio respectivo.

Como profesorado altamente competente, la Escuela de Ingeniería Química viene dando cum-

plimiento a su pènsum, que en su índole es el único en el país y entre los primeros de la América del Sur.

Para ilustración de nuestros lectores y en general de la industria, incluimos el citado PLAN 1946.

Es posible que algunos se preguntarán sobre el significado de muchas materias. Es lógico, porque por primera vez en un pènsum universitario se presentan. En todo caso, cualquier pregunta sobre el particular gustosos la absolveremos.

### UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA PLAN 1946

Primer Semestre	Horas de clase semanales	Horas de práctica semanales	Créditos
Química General .....	4	3	5
Física General .....	4	—	4
Aritmética .....	4	—	4
Álgebra 1º .....	4	—	4
Geometría 1º .....	4	—	4
Dibujo 1º .....	—	8	2
			<hr/> 23
<b>Segundo Semestre</b>			
Química Inorgánica 1º .....	4	3	5
Álgebra 2º .....	4	—	4
Geometría 2º .....	4	—	4
Física 1º .....	4	3	4
Trigonometría .....	4	—	4
Dibujo 2º .....	—	4	1
			<hr/> 22
<b>Tercer Semestre</b>			
Química Inorgánica 2º .....	4	3	5
Química Orgánica 1º .....	4	3	5
Cálculo 1º .....	4	—	4
Geometría Analítica .....	4	—	4
Física 2º .....	4	3	4
Dibujo 3º .....	—	4	1
			<hr/> 23
<b>Cuarto Semestre</b>			
Química Orgánica 2º .....	4	6	6
Química Analítica 1º .....	2	6	3
Cálculo 2º .....	4	—	4
Física 3º .....	4	3	4
Mineralogía .....	4	—	4
			<hr/> 21

	Horas de clase semanales	Horas de práctica semanales	Créditos
<b>Quinto Semestre</b>			
Química Orgánica 3º .....	4	6	6
Química Analítica 2º .....	2	6	3
Físico-Química 1º .....	4	3	4
Cálculo Gráfico y Nomografía .....	3	—	3
Mecánica Racional .....	4	—	4
			<hr/> 20
<b>Sexto Semestre</b>			
Química Analítica 3º .....	2	9	5
Físico-Química 2º .....	4	3	4
Resistencia de Materiales .....	4	—	4
Ingeniería Química 1º .....	4	—	4
Termodinámica 1º de Ing. Quím. ....	3	—	3
Estequiometría Industrial .....	1	—	1
Materiales de Ingeniería Química .....	1	—	1
			<hr/> 22
<b>Séptimo Semestre</b>			
Ingeniería Química 2º .....	4	3	4
Termodinámica 2º de Ing. Quím. ....	3	—	3
Cálculos de Ingeniería Química .....	2	—	2
Catálisis Industrial .....	2	—	2
Electrotecnia .....	4	—	4
Talleres .....	—	3	1
			<hr/> 16
<b>Octavo Semestre</b>			
Ingeniería Química 3º .....	4	3	4
Diseño de Equipo .....	3	—	3
Procesos Orgánicos .....	3	—	2
Electroquímica Industrial .....	4	3	5
Metalurgia Física .....	4	—	4
			<hr/> 18
<b>Noveno Semestre</b>			
Ingeniería Química 4º .....	3	—	3
Diseño de Plantas .....	1	—	1
Industrias con Procesos Químicos .....	3	—	3
Metalurgia Aplicada .....	4	—	4
Motores Industriales .....	4	—	4
			<hr/> 15
<b>Décimo Semestre</b>			
Bacteriología Industrial .....	3	3	3
Economía y Administración .....	2	—	2
Tesis .....	—	—	8
			<hr/> 13

**NOTA:** Durante el 5º Año, la Escuela brindará a los estudiantes la oportunidad de hacer un curso sobre Refinación de Petróleos, (4 créditos, 2 semestres) el cual como un curso sobre Patentes Técnicas, (un semestre, 2 créditos) será opcional.

# Algunos factores en el Diseño de Plantas

Por C. H. Butcher

El diseño de muchas plantas químicas, estriba, no solamente en datos fundamentales, sino también en la incorporación de hechos que son resultado de la experiencia y por los cuales deriva gran parte de su eficiencia. No obstante la posibilidad de acumular experiencia en el funcionamiento de una planta, no se deduce necesariamente que ella pueda utilizarse en todos los casos, pues en ocasiones resulta engañosa. Esto sucede especialmente, cuando las dimensiones de una planta de gran tamaño, se basan en las dimensiones de una planta ya en uso, lo cual se hace comúnmente en aquellos casos en que utilizan por ejemplo el proceso de mezcla, como: digestores, marmitas de reacción, recipientes de nitración, autoclaves u otros similares; o que estén equipados o cubiertos de serpentines de calentamiento o enfriamiento.

En el proceso de nitración por ejemplo, la regulación de la temperatura depende enteramente de la superficie intercambiadora de calor, que en el caso particular es una camisa externa. Además el control de la temperatura es esencialmente importante, debido a que el proceso de nitración es altamente exotérmico, que implica un peligro en el control de la reacción y puede afectar considerablemente la conversión del material.

En el diseño de otro recipiente de reacción, basado en datos suministrados por el funcionamiento de un recipiente particular, debe recordarse, que el incremento en capacidad y en área efectiva de la camisa, no son proporcionales. Con un incremento en capacidad de 400 a 800 galones, no aumenta en la misma proporción, la superficie original de intercambio de calor. Por lo general, mientras la capacidad aumenta como el cubo de las dimensiones lineales, la superficie intercambiadora de calor, aumenta como el cuadrado de las mismas.

En consecuencia de esta desproporcionalidad

entre la capacidad y el área de intercambio de calor, es necesario contrarrestar esta deficiencia, adicionando un serpentín interno; o también, diseñando nuevamente la unidad, en lo que respecta a sus dimensiones. Con una capacidad de 175 gal. por ejemplo, las dimensiones del recipiente serán de 3 pies de diámetro y 4 pies de alto y con una superficie efectiva de enfriamiento de 38 pies cuadrados. Duplicando la capacidad a 350 gal. y manteniendo la misma relación entre el diámetro y la altura, las dimensiones de la unidad mayor serán aproximadamente de 3 pies 9 pulgadas de diámetro y 5 pies de alto. Por consiguiente, si la capacidad se duplica, las superficies de intercambio de calor para los dos recipientes serán respectivamente: 38 pies cuadrados y 59 pies cuadrados.

## AGITACION EFECTIVA

El proceso de mezcla no se reduce a conservar la carga de líquido en movimiento, por la adición de un aparato de tipo apropiado. En el caso de la nitración por ejemplo, la seguridad en la operación es un factor esencial. A este respecto, debe evitarse el sobrecalentamiento local, en el punto donde el compuesto orgánico, verifica su primer contacto con el ácido. Completa y rápida dispersión del compuesto orgánico en el ácido es esencial para que la reacción se lleve a cabo con suavidad y en esta forma se sostenga una temperatura regular y uniforme, a través de toda la carga. Esto se logra adaptando alguna forma de agitación, que mantenga la carga en contacto con el muro interno del recipiente y así una producción debida de calor, desarrollado, pueda eliminarse por intercambio con el agua fría que circula en la camisa.

Para obtener turbulencia local, en el punto donde el compuesto orgánico se pone en contacto con el ácido, es necesario localizar, el eje vertical de un agitador ligeramente desplazado

del centro. Una agitación más efectiva se logra por medio de dos ejes verticales, a cada uno de los cuales se une los brazos horizontales de un agitador de hélice; uno inferior que impele la carga hacia arriba y otro superior que impele la carga hacia abajo. En otros casos, un agitador de hélice se coloca en la parte superior del recipiente, y un segundo agitador, sobre el mismo eje vertical, en la parte inferior; ambos, de paso de arrollamiento opuesto; en esta forma, la confluencia de las dos corrientes líquidas se mezcla con el flujo radial en el plano horizontal, resultando un cambio altamente deseable de dirección. Bajo tales condiciones, la carga, en pocos segundos de contacto entre los materiales reaccionantes, se vuelve prácticamente homogénea.

Este proceso de mezcla se complica empleando una turbina o agitador de hélice que opera en el interior de un collar vertical, el cual, aparte de incrementar la eficiencia del proceso, se hace necesario utilizarlo para ciertas necesidades particulares. Cuando este collar tiene la forma de una espiral, por el interior del cual circula agua de enfriamiento, la velocidad del agitador de hélice, debe regularse con el fin de obtener condiciones más favorables de circulación. Es frecuente encontrar que tales sistemas, giran a velocidades superiores a las necesarias. Altas velocidades no dan el máximo grado de rendimiento, debido a la tendencia, por parte del líquido a pasar fuera de la espiral de enfriamiento, formando torbellinos o remolinos.

## PREVENCIÓN DE REMOLINOS

La prevención de remolinos se lleva a cabo, colocando el eje vertical del agitador, fuera del centro. Un medio efectivo de obtener un buen grado de mezcla es, colocar un deflector o tabique anular por encima del serpentín, en una posición tal, que oriente el flujo de líquido en dirección lateral y luego verticalmente hacia abajo. La posición exacta de este tabique se determina por experiencia relacionando el diámetro y la altura del recipiente con el tamaño y velocidad del agitador. Usando un agitador de paso de arrollamiento normal y con un diámetro que se un tercio del diámetro del recipiente, corresponde un rango satisfactorio de velocidad que fluctúa entre los límites de 150 a 250 r. p. m.

## VALVULAS DE SEGURIDAD

En aquellos procesos que ocupan altas presio-

nes, es especialmente en autoclaves y recipientes de presión similares, para los cuales hay una presión de seguridad definida, el peligro de accidentes no se logra evitar con el acondicionamiento de válvulas de seguridad de resorte. Tales válvulas están siempre sujetas a ser obstruidas ya sea por material de consistencia gomosa, proveniente de las sustancias reaccionantes, o por el peligro que implica la corrosión de los elementos vitales de la válvula. Discos de ruptura frágiles son los únicos accesorios empleados satisfactoriamente; pero tales discos deben ensayarse con exactitud respecto a presión de ruptura, según el uso a que ellos se destinen. La cara del disco que está sometida a la acción directa de los vapores de la reacción, se cubre con una delgada lámina de asbesto.

En ocasiones tales discos, son difíciles de adaptar debido a la corrosión del metal sugerido; *Sn* y *Ni* son aconsejables en el caso del amoníaco, pero estos discos pueden obtenerse en variedad de metales, plateados, niquelados, etc. que resisten los agentes corrosivos y el efecto dañino ya sea de muy altas o muy bajas temperaturas. Estos discos se fabrican bajo estricto control y con una ruptura que puede ser aproximadamente de un 5% de la presión de estallado. Sin embargo si no se consigue un disco adecuado es fácil proveer protección contra la corrosión por el uso adicional de una delgada hoja de otro metal; en estos casos la combinación debe ensayarse para determinar la presión a la cual ocurre la ruptura.

Puede ensayarse también una válvula de seguridad de disparo, colocada sobre el lado de baja presión del disco. Esta válvula trabaja alrededor de 50 lbs, por debajo del verdadero punto de estallido del disco. La ruptura del disco es seguida por la inmediata apertura de esta válvula, que permite en esta forma completar el proceso sin pérdidas de material de valor. La presión de estallado puede ser una y media veces la presión hidrostática a la cual el autoclave fue ensayada por el fabricante, asumiendo que ninguna pulsación de la presión ocurre durante el curso de la reacción; pero si ocurren violentos cambios de presión puede ser hasta dos veces la presión hidrostática.

*Tomado de INDUSTRIAL CHEMIST,*

Junio de 1946 Pag. 324 — Londres

*Traducido por C. I.D.*

# La Siderúrgica de Paz del Río dos alternativas

Por Orlando Camargo Q.

Como es bien sabido, dos son los métodos seguidos hoy día en la producción de hierro colado en escala industrial: el de reducir las menas de hierro utilizando el sistema de altos hornos, y el que emplea sistema de hornos eléctricos. El primero es el más antiguo y el más universalmente empleado; el segundo ha tomado gran auge especialmente en aquellas regiones en donde la energía eléctrica se produce con un mínimum de costo, como sucede en Suecia, Noruega, Estados Unidos y el Canadá.

Hay quienes defienden asiduamente el sistema de altos hornos, como el ingeniero metalúrgico norteamericano H. M. Boylston, profesor de Metalurgia en "Case School of applied Science" quien dice: "El alto horno moderno es la unidad más económica en la manufactura de hierro y acero. No hay ninguna que sea tan eficiente en consumo de combustible por tonelada de producto, ni hay otra que pueda igualar su enorme producción diaria" Y hay quienes señalan grandes ventajas de los hornos electrosiderúrgicos sobre los altos hornos especialmente de orden técnico y económico, cuando se dispone de energía eléctrica barata.

El ingeniero metalúrgico canadiense Stansfield, ideó un horno electrosiderúrgico con una cámara suficientemente alta de tal manera que las menas a medida que descienden a lo largo del horno van sufriendo una reducción progresiva. Las zonas tienen una distribución casi igual a la del alto horno. La energía térmica es suministrada por un sistema de arco directo y resistencia directa, utilizando electrodos de grafito o de carbón; en ésta zona el horno tiene revestimiento de magnesita.

Los procesos y operaciones de los hornos electrosiderúrgicos son substancialmente iguales

a los del alto horno, anotando las siguientes ventajas:

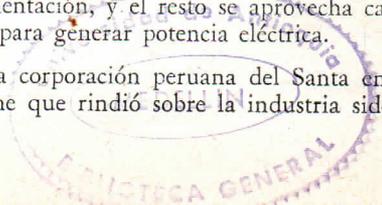
a) Se logra eliminar gran cantidad de combustible, empleado únicamente el carbón necesario para la reducción de las menas.

b) Como la mayor parte del S proviene del coque, una disminución en el consumo de coque representa una disminución del contenido de S en el hierro.

c) En la zona de reducción se obtiene una temperatura superior a la máxima desarrollada en un alto horno, de tal manera que la reducción se hace en mejores condiciones y el metal obtenido es más homogéneo, lográndose además una mejor separación entre el metal fundido y la escoria. Como el revestimiento y el fundente son de carácter básico, se obtiene una escoria fuertemente básica la cual elimina con mayor facilidad impurezas como S y P.

d) Es más factible aprovechar la energía térmica que poseen los gases al salir del horno, ya que uno de los problemas más serios que se presentan en la operación de un alto horno es precisamente la dificultad para manejar la enorme cantidad de gases producidos y la manera de aprovechar su energía. Por ejemplo, un horno que produce 1000 toneladas de hierro diarias, libera 5.000 toneladas de gases que ocupan aproximadamente un volumen de 150'000.000 de piés cúbicos. Dicha mezcla gaseosa contiene de 25 a 28% de CO, con un poder calorífico de 90 Btu por pié cúbico. Un 27 a 30% de los gases se emplea para precalentar el aire de alimentación, y el resto se aprovecha casi siempre para generar potencia eléctrica.

La corporación peruana del Santa en un informe que rindió sobre la industria siderúrgica



del Chimbote, comenta que la electrosiderúrgica ha evolucionado en una forma más bien lenta, debido a dos factores primordiales: La enorme capitalización que representan los altos hornos y la maquinaria anexa a las grandes usinas siderúrgicas; dichos capitales se perderían al suplantarse el sistema. El otro factor, es el precio relativamente elevado de la energía eléctrica. Según esta apreciación la electrosiderúrgica tendría éxito en las empresas siderúrgicas que nacen, y que además tienen posibilidades de conseguir energía eléctrica barata.

En el caso de siderúrgica de Paz del Río, todos los aspectos se presentan tan favorables, que es muy fácil creer en el éxito de la empresa, ya sea que se opte por seguir el sistema de altos hornos o el de hornos eléctricos. Naturalmente el proyecto se encuentra todavía en la etapa de estudio, para establecer definitivamente cuál de los dos sistemas presenta las condiciones óptimas.

La calidad del mineral de Paz del Río es simplemente admirable; sintetizando contiene 55% de Fe. La magnitud del yacimiento es sorprendente; fue considerado por eminentes técnicos como el yacimiento más grande de Suramérica. Los yacimientos de caliza en Belencito, y de carbón en Paz del Río, son también valiosos. El sitio es admirable por los favores del clima y el fácil acceso a las mejores vías de

comunicación. Además, se está estudiando el proyecto de una gran central hidroeléctrica, ya sea aprovechando la ingente fuerza hidráulica del río Cusiana en la caída de Candelas, que fue descubierta hace poco en las proximidades de la carretera que va de Sogamoso a los llanos de Casanare, o aprovechando las aguas del lago de Tota en una caída de más de 300 metros.

Un estudio comparativo de costo aproximado entre altos hornos y hornos eléctricos es el siguiente:

Para la siguiente carga teórica	
Mineral de hierro	
2.050 kgs. a \$ 2.75 ton. ....	\$ 5.64
Coque	
1.150 kgs. a \$ 20.00 ton. ....	\$ 23.00
Caliza	
450 kgs. a \$ 3.00 ton. ....	\$ 1.50
Total \$ 29.99 \$ 29.99	

Datos tomados de al "Net Norske Akiesselskab For Elektro Kemisk Industri Inc.", indican para una tonelada de arrabio.

Energía 2.500 kw/hr. suponiendo \$ 0.007 kw/hr. ....	\$ 17.75
Coque 0.4 Tons. ....	8.00
Caliza 0.7 Tons. ....	2.20
Total \$ 27.95 \$ 27.95	

## MISCELANEAS

### Caucho—Fluor

La modificación de la molécula del Estireno por la inclusión de átomos de Fluor, produce monómeros que copolimerizan con el Butadieno para dar cauchos del tipo GR-S muy superiores. Las propiedades descaables de estos cauchos son una mayor resistencia a la tensión a elevadas temperaturas y mejores características de histéresis.

Ya se han preparado varios de estos estirenos substituídos con Fluor, como el p-fluoro-estireno y el m-tri-fluoro metil-estireno. No es de esperarse que se produzcan llantas de Fluoro-caucho durante los próximos 5 años, porque la preparación de éstos compuestos requiere una serie de reacciones difíciles y de tipo de laboratorio que impiden su utilización económica.

La Industria no ha encontrado todavía un uso amplio del Fluor, pero cuando su costo baje a 50 centavos por libra, como es de esperarse, se elevara su interés industrial. La Investigación siempre tiene sus modos de encontrar caminos simples de producción que reemplacen a las síntesis laboriosas de muchos pasos.

Los Laboratorios franceses han producido una nueva aleación, cuya base es el Aluminio, muy liviano, que incluye pequeños porcentajes de Zn, Mg, Cu, Cr, Mn, Fe y Si. La aleación puede ser laminada o estirada, es resistente a la corrosión, y tiene magníficas resistencias a la fatiga y a la rotura. Esta aleación se denomina "Zical".

## Fábrica de Oxígeno y Productos Metálicos S. A.

Es nuestro propósito el presentar en cada edición, una monografía de nuestras industrias. Nos anima este propósito, el tratar de poner en relieve el progreso industrial de nuestra patria, con el fin de que nos vayamos enterando de una manera amplia de las diferentes modalidades que nuestra industria presenta para valorar de una mejor manera nuestro progreso.

Como nuestra publicación se ha de distribuir entre toda nuestra industria, entre las diferentes entidades que juegan papel preponderante en el rol de nuestra vida nacional, es claro que la cooperación que queremos presentar en estas condiciones ha de tener un gran significado para nuestra misma industria. Porque, además hemos de decir, que tenemos un amplio campo para divulgar nuestra Revista, atendiendo, no sólo las necesidades informativas de Colombia, sino también la necesidad en que estamos, de que en el exterior nos conozcan, no sólo en el valor de las ideas políticas y literarias, sino en el campo de lucha económica e industrial.

Ante estos propósitos altos y nobles que nos animan esperamos que nuestra industria sabrá prestarnos toda su cooperación para llevar a buen término nuestra labor.

En esta primera entrega, ha tocado su turno a la Fábrica de Oxígeno, la cual se prolonga hoy por todo el territorio patrio para llenar el futuro progreso colombiano.

La Fábrica Nacional de Oxígeno y Productos Metálicos S. A., fue fundada en Barranquilla en el año de 1931, es decir, tiene 16 años de labores industriales. Esta Fábrica de Oxígeno fue la primera que se estableció en el país, con el objeto de producir oxígeno para fines indus-

triales y médicos y ha contribuído por ese medio a robustecer nuestra economía.

Más tarde, en 1939, la Fano estableció fábricas similares en Bogotá y Cali y actualmente se está montando en esta ciudad una potente maquinaria para la producción de oxígeno y acetileno, la cual entrará en funcionamiento a mediados de Octubre.

### Producción de Oxígeno.

La Fano emplea en la producción de oxígeno el moderno procedimiento de destilación fraccionaria del aire a 180°C. bajo cero y luego es comprimido bajo una presión de 150 atmósferas.

En este estado se envasa en cilindros de acero, y se suministra a los consumidores.

### Aplicación del Oxígeno.

Entre las muchas aplicaciones del oxígeno está, en primer lugar la de la Soldadura Autógena, utilizada para soldar piezas metálicas de diferentes clases y tamaños, mediante sopletes especiales donde se obtienen temperaturas de 3.600°C. El Oxígeno sirve para cortar grandes espesores de láminas de hierro o acero, desde 1 mm. hasta 304 mm. con sopletes de oxícorte y 2.5 mts. con lanza de oxígeno.

La Fano abastece de oxígeno a todas las industrias y talleres del país y su producción diaria puede calcularse en 200 cilindros, desde luego que solamente una parte de este oxígeno es consumido en la actualidad. De suerte que hay reservas de producción para consumos futuros.

**Enseñanza de la Soldadura Autógena.** Bajo la dirección de su director técnico Ingeniero Georg

Berggren la Fábrica viene adelantando cursos de soldaduras autógena y eléctrica en sus Talleres de Medellín, contribuyendo en esta forma a la formación de personal idóneo para los talleres y colocándose en esta forma como conductora y promotora de la soldadura autógena en Colombia.

La Fábrica Nacional de Oxígeno y Productos Metálicos S. A., tiene un capital pagado de \$ 600.000.00. Su gerente, con residencia en Bogotá,

es el Ingeniero señor Ragnar Lofquist y su junta directiva está presidida en la actualidad por el Sr. Eduardo Cuellar.

Piezas reparadas o reconstruidas mediante la soldadura autógena, representan para el país acumulación de divisas, pues es bien sabido que la industria necesita de repuestos y si no son reparados deben ser adquiridos en mercados extranjeros, representando ello fuga de divisas.



Vista parcial de la Fábrica en la carretera hacia el Poblado. Aparece en ella el Gerente General Ragnar Löfquist, acompañado del señor Iván Pineda, administrador de la factoría en esta ciudad.

# Alta presión aumenta la producción total de un alto horno

Traducido por Orlando Camargo Q.  
"Chemical Engineering Progres", julio de 1947

Los operarios del acero, en su afán de trabajar sus plantas a plena carga y buscar maneras de aumentar su producción, dieron especial importancia a la reunión anual del American Iron and Steel Institute, en la cual J. H. Slater gerente seccional de la Republic Steel Corp. expuso los resultados observados al aumentar la presión en un alto horno. Slater describió como un aumento en la presión de ventilación, y un aumento hasta de 10 lib/pulg. cuadrada en los gases que salen del horno, había aumentado la capacidad de varios altos hornos de la Republic Steel Corp. en un 20% de su producción, en tanto que el consumo de coque se redujo en un 13%. Al mismo tiempo dijo que el flujo de polvos disminuyó en un 30%. Todo ésto se tradujo en una economía total de \$ 1.00 por tonelada de hierro producido.

Según Slater, los gastos en la operación del tiro de los altos hornos están entre \$ 70.000 y \$ 150.000, los cuales subirán al aumentar la presión a \$ 500.000, cifra que representa una pequeña fracción de \$ 6.000.000 que se necesitarían para la construcción de un nuevo horno. Especificó también que la conversión podría llevarse a cabo en pocos días después de haber recibido el equipo necesario.

Hoy día la Republic Steel Corp., tiene dos altos hornos operados a presión, uno en Cleveland y otro en Youngstown. Existe el proyecto de convertir otros hornos. Los cambios hechos en la construcción de esos dos altos hornos para su operación a presión se tabularon como sigue:

1) Una tolva hecha de una sola pieza para asegurar mejor ajuste con la gran campana; 2) válvulas de compensación, para igualar las presiones

entre el horno y la camana cuando ésta se vacía y 3) válvulas de extrangulamiento para regular la presión de tiro. No se requieren cambios en el plano de la casa de fundición, a excepción de un canal más largo para apresurar la separación del metal y la escoria, al aumentar la velocidad de fusión. Los ventiladores deberán tener la suficiente potencia para producir presiones mayores de 6 a 8 libs./pulg. cuadrada por encima de lo normal y con igual carga.

Una ilustración de las necesidades en la capacidad de ventilación para operar a presión, es el ventilador pedido por la Republic Steel Corp., para un alto horno capaz de entregar 125.000 pies cúbicos/min. a 40 libs./pulg. cuadrada. Dicho ventilador manejaría 6.900 toneladas de aire por día. Es decir un peso de aire mayor que el peso total de las menas, coque y caliza, cargados en un alto horno por período igual de tiempo. La operación a presión llevada a cabo por la Republic Steel Corp. se traduce en un aumento sobre la presión normal de 22 libs./pulg. cuadrada a 31 libs./pulg. cuadrada, en tanto que la presión de los gases ha aumentado de un promedio normal de 21 libs./pulg. cuadrada a un máximo de 11 libs./pulg. cuadrada.

En general todos los aspectos de la operación a presión de los altos hornos han sido muy favorables. Se han estudiado aspectos de la operación a presión del horno de Cleveland, desde 1944 época en que se inició el programa. Mr. Slater en su informe muestra resultados de esos estudios, anotando las siguientes características favorables:

(1) Como la mayor fuente de S en el hierro proviene del coque, la disminución en el gasto

de coque representa una disminución en el contenido de S del hierro. (2) La calidad del hierro producido en general ha sido mejor y de mayor uniformidad y (3) Uno de los factores importantes en la mejor calidad y mayor homogeneidad del hierro producido, es la flexibilidad del control que resulta de la operación a presión. Ha sido demostrado que se puede, por medio de un control adecuado de la presión estática promedio y del aire inyectado, controlar el gasto de coque, producción de hierro y polvo de los humos en un amplio margen. Hasta aquí las condiciones establecidas fueron necesarias para evitar un excesivo consumo de coque y producción de grandes cantidades de polvo. Se puede obtener un bajo consumo de coque y poca cantidad de polvo disminuyendo la velocidad de ventilación, pero entonces disminuye la producción de hierro. Así los productores de acero gracias al amplio margen de flexión, pueden determinar ahora, para una velocidad de producción dada, el punto óptimo de la operación para obtener la máxima eficiencia.

#### Aprovechamiento de la potencia de los gases.

De un especial interés, aunque todavía se en-

cuentra en la etapa de Planta piloto, es el proyecto para aprovechar subproductos de la torre por medio de la expansión de los gases que salen a gran presión, utilizando una turbina de gas. Slater estableció que se pueden recuperar 2.700 Hp, de un horno cuyo ventilador opera a 85.000 pies cúbicos/min, y los gases salen a una presión de 10 lbs./pulg. cuadrada si se expanden adiabáticamente en una turbina de gas con una eficiencia de 80%. La turbina de gas reemplazaría a la válvula de extrangulamiento, y se aprovecharía la potencia sin pérdida del poder calórico de los gases.

Hoy día son muchos los hornos operados a alta presión, a pesar de que aún no se ha perfeccionado el proyecto de la Republic Steel Corp. de instalar ventiladores de 125.000 pies cúbicos /min. y 40 lbs./pulg. cuadrada que producirán una presión de 25 lbs./pulgada cuadrada en los gases de salida.

Con el aumento en la presión de los altos hornos, y el empleo de oxígeno suplementario en el tiro (hoy en etapa experimental en los Estados Unidos), se esperan sorprendentes adelantos en el desarrollo de la industria del hierro y del acero.

---

## MISCELANEAS

La Stanolind Oil and Gas Co., subsidiaria de la Standard Oil Co., acaba de anunciar el proceso Synthol para obtener gasolina sintética a partir del gas natural. Se dice que el nuevo proceso es capaz de producirla a un costo comparable al de la gasolina obtenida del petróleo crudo.

Para ello se convierte el metano, por oxidación parcial, en monóxido de carbono e hidrógeno, los cuales se pasan luego sobre un catalizador y reaccionan para producir los hidrocarburos que entran en la composición de la gasolina y del gas oil, además de algunos compuestos oxigenados.

Después de un estudio intensivo en plantas pilotos, la Stanolind está planeando una planta Synthol de tamaño completo, destinada a convertir gas natural en 6.000 barriles diarios de gasolina de alta calidad.

plazamiento positivo, 6" de diámetro, 11" de longitud y que sólo pesa 35 libras, desarrolla 5.000 libras por pulgada cuadrada de presión en servicio continuo. Y uno sólo de los grupos de émbolos entrega 3 gall. por minuto a 1.800 r. p. m. y 2gall/min. a 1.200 r. p. m.

La Trimount Instrument Co., Chicago, anunció recientemente el diseño de un Rectificador Catódico que proporciona protección contra la corrosión para los tanques de acero y las bombas que trabajan con agua. La nueva unidad, dice el anuncio, detiene la corrosión y la formación de óxido, por medio de la acción electrolítica. El Rectificador suministra una contracorriente en el tanque o bomba, por medio de un cátodo que es cargado por el rectificador.

La unidad tiene una capacidad de d. c. 2-5 Amp., a 31-50 Volt. (100-150 d. c. Watts), suficiente para proteger áreas sumergidas hasta de 10.000 sq. ft.

---

Una nueva bomba hidráulica del tipo de des-

# Problemas de Ingeniería Química

Correspondiente al curso de Ingeniería Química 2.

## Enunciado:

El Instituto de Fomento Industrial, Bogotá, desea diseñar para su nueva Planta de Betania (Zipaquirá) un Evaporador de Simple Efecto que concentra 945 l/hr. de una solución de soda cáustica al 10% (p. e. = 1,116) hasta 50% (p. e. = 1,54). La alimentación entrará a 21°C y se dispondrá de vapor a presión manométrica de 0,346 kgr/cm<sup>2</sup>. Respecto a una presión barométrica de 30" de Hg el vacío en el evaporador será de 27" de Hg. El calor específico de la alimentación es 0,95 y el del producto concentrado es 0,85. La elevación en el punto de ebullición para una solución de NaOH del 50% es 16,7°C. El Coeficiente General de Transmisión de Calor se ha estimado en 1.100. El producto concentrado abandonará el evaporador a la temperatura de ebullición; el condensado no se enfriará por debajo de su temperatura de ebullición:

Calcular: 1) Área de la superficie de calefacción necesaria; 2) Consumo de Vapor; 3) Economía de vapor que puede esperarse.

## Desarrollo:

La ecuación que expresa la cantidad de calor transmitido del vapor al líquido que se va a evaporar es:

$$q = UA\Delta t \quad \text{en donde:}$$

$q$  = el calor que pasa a través de la superficie de calentamiento en Kcals./hr.

$U$  = Coeficiente total basado sobre el área  $A$   
 $A$  = Área de la superficie de calentamiento en m<sup>2</sup>.

$\Delta t$  = Caída de temperatura a través de la su-  
 de calentamiento en °C.

$$A = \frac{q}{U \Delta t}$$

$$945 \text{ l./hr.} = (945)(1,116) = 1055 \text{ kgr./hr.}$$

## Balance de materiales:

$$\text{H}_2\text{O que entra en el alimetro} = (1055)(0,9) = 950 \text{ kgr./hr.}$$

$$\text{NaOH puro} = 1055 - 950 = 105 \text{ kgr./hr.}$$

$$\text{H}_2\text{O en la solución final} = 105 \text{ (puesto que la solución final es de 50\%)}.$$

$$\text{H}_2\text{O evaporada} = 950 - 105 = 845 \text{ kgr./hr.}$$

Presión de los vapores (siendo vapores los que salen del evaporador) = 30 - 27 = 3" de

$$(1,033)(3)$$

$$\text{Hg} = \frac{(1,033)(3)}{(29,92)} = 0,104 \text{ kgr/cm}^2 \text{ puesto que}$$

$$1 \text{ atm.} = 1,033 \text{ kgr/cm}^2 = 29,92" \text{ de Hg.}$$

Temperatura de Vaporización a la presión de 0,104 kgr/cm<sup>2</sup> según datos tomados de las Tablas de "Propiedades Termodinámicas del agua y su vapor" = 46,3°C.

Es necesario tomar una temperatura de referencia para el balance térmico. Se toma por ejemplo la temperatura a la cual hierve la solución teniendo en cuenta la elevación en el punto de ebullición = 46,3 + 16,7 = 63°C.

La entalpia del alimento a 21°C para una solución de NaOH cuya fracción en peso es 0,1, se tomará de una carta Merkel publicada en pág. 398 de "Chemical Engineering Thermodynamics" por Bornett F. Dodge.  $H = 35 \text{ Btu./lb. de solución.}$  Según el mismo gráfico la entalpia

del alimento 63°C es  $H = 105$  Btu./lb. de solución.

Calor necesario para calentar la alimentación desde 21°C hasta 630°C =  $35 - 105 = -70$  But/lb.

Para 1055 kg/hr =  $(1055)(2,205)(70)(0,252) = 41.100$  kcal/hr. (Porque 1 kgr = 2,205 lbs. y B. t.u. = 0,252 kcal.)

**Calor que acompaña a los vapores desprendidos:**

Calor latente a 0.104 kgr/cm<sup>2</sup> que corresponde a 46,3°C = 570,6 kcal/kgr.

Calor debido al sobrecalentamiento originado por la elevación en el punto de ebullición tomando el calor específico del vapor de H<sub>2</sub>O = 0,5;  $(845)(0,5)(63 - 46,3) = 7060$  kcal/hr.  $q = (570,6)(845) + 7060 - (41.100) = 530.660$  kcal/hr.

Presión absoluta del vapor empleado =  $1.033 + 0,346 = 1.379$  kgr./cm<sup>2</sup>.

Temperatura del vapor a 1,379 kgr/cm<sup>2</sup> = 108,3°C (Tablas Termodinámicas).

$$\Delta t = 108,3 - 63 = 45,3^\circ\text{C}.$$

$$A = \frac{q}{U \Delta t} = \frac{(530.660)}{(1.100)(45,3)} = 10,65 \text{ m}^2.$$

Puesto que el vapor entra a 108,3°C y el condensado del vapor sale a la misma temperatura, la cantidad de calor transmitido por el vapor es igual a su calor latente.

Calor latente del vapor = 533,4 kcal./hgr. (Tablas Termodinámicas)  $q =$  cantidad de calor transmitido = 530.660 kcal./hr.

Cantidad de vapor gastado =

$$\frac{530.660}{533,4} = 995 \text{ kgr./hr.}$$

**Economía:** Se entiende por economía del sistema la cantidad de vapores desprendidos por cada kgr. de vapor gastado.

995 kgr. de vapor  $\rightleftharpoons$  845 kgr de vapores

1 kgr. de vapor  $\rightleftharpoons$  X kgr. de vapores

$$\frac{845}{995} = 0,85 \text{ kgr./kgr.}$$

Economía = 0,85 kgr./kgr.

**Hernán González M.**  
*Alumno de la Escuela*

## MISCELANEAS

Los 4,75 millones de barriles de petróleo crudo producidos diariamente en los Estados Unidos, viajan a través de 125.000 millas de oleoductos, hacia las refinerías y áreas consumidoras. Las cañerías funcionan como oleoductos comunes, no importa el propietario o el destino del crudo.

Los olores picantes y alquitranados que habían limitado el uso de los aceites secantes derivados del petróleo para la industria de las tintas de imprenta, pueden ser eliminados por un nuevo proceso químico recientemente desarrollado.

Los aceites secantes derivados del petróleo, son sub-productos no-saturados que resultan del craking del petróleo crudo, en la manufactura de la gasolina. Tiene excelentes propiedades secantes, pero su extensivo uso para las tintas de imprenta, había estado limitado por su desagra-

dable olor. El nuevo proceso remueve este olor y hace al aceite resultante tan suave como el aceite de linaza.

La Duriron Co., Dayton 1, Ohio, ha anunciado la producción de un intercambiador de calor resistente a la corrosión, con un diseño completamente nuevo, el cual es especialmente útil para calentar o enfriar pequeñas cantidades de soluciones corrosivas en un amplio margen de temperatura. El primero de esta nueva clase, entrega un flujo de ácido de 4 a 14 gall/min., con una capacidad calentadora hasta de 155.000 B. t. u./hr., con vapor de 75 libras y temperatura de entrada para el líquido entre 70 F. y 130 F. La Compañía está desarrollando unidades de mayor tamaño. Sin embargo, el tamaño actual puede usarse para una variedad de problemas de transmisión de calor, ya que la unidad puede conectarse rápidamente a unidades similares en serie o en paralelo.

# Problema de Estequiometría

En la manufactura del ácido sulfúrico por el proceso de contacto con piritas de hierro,  $\text{FeS}_2$ , éstas se queman con aire seco, el hierro se oxidaría a  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . El dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) así formado se oxida luego al trióxido conduciendo los gases mezclados con aire sobre una masa catalítica de negro de platino a una temperatura apropiada. Se supondrá que en la operación suficiente aire se va a suministrar a la piritas a quemar así que el oxígeno estará en un 40% de exceso al que se requiere por si todo el azufre actualmente quemado fuera oxidado al trióxido. De las piritas cargadas, 15% se pierde porque cae por la reja con el rescoldo y no se quema.

a) Calcular el peso de aire que debe usarse por 100 lb. de piritas cargadas.

b) En el quemador y en la cámara de contacto que están unidos, 40% del azufre quemado se convierte al trióxido. Calcular la composición por peso del gas que abandona el convertidor.

c) Por medio de la masa catalítica de pt (platino), 96% del dióxido de azufre que resta en los gases que dejan el convertidor es transformado al trióxido. Calcular el peso total de  $\text{SO}_3$  formado por 100 lb de piritas cargadas.

d) Suponiendo que todos los gases del convertidor son pasados por catalizador, calcular la composición por peso de los productos gaseosos resultantes.

e) Calcular el grado total de conversión del azufre en las piritas cargadas a  $\text{SO}_3$  en los productos finales.

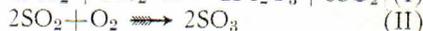
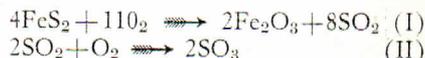
## Solución

### Datos

Peso Mol.	$\text{SO}_2=64$
" "	$\text{SO}_3=80$
" "	Aire=29
" "	$\text{N}_2=28$
" "	$\text{FeS}_2=119.96$
" "	$\text{O}_2=32$

Base: 100 lbs. de piritas cargadas

Reacciones:



$$\text{Piritas quemada } 100 - 15 = 85 \text{ lb.} = \frac{85}{119.96}$$

0.7086 lb. - molecular.

Donde, Peso Molecular de  $\text{FeS}_2 = 119.96$

Aire usado ; Peso Molecular promedio del aire = 29.

Según (I)  $\text{O}_2$  necesario para quemar

$$\text{FeS}_2 \text{ a } \text{SO}_2 = \frac{(0.7086)(11)}{4} = 1.94 \text{ lb.-mole}$$

Según (II)  $\text{O}_2$  necesario para oxidar

$$\text{SO}_2 \text{ a } \text{SO}_3 = \frac{(2)(0.7086)}{4} = 0.7086$$

Oxígeno total para quemar la piritas:

$$1.94 + 0.7086 = 2.6486 \text{ lb - mole}$$

Oxígeno total usado (con 40% exceso):

$$(2.648)(1.40) = 3.71 \text{ lib. - mole}$$

Como el aire tiene 21% de O<sub>2</sub> por vol. o 0.21 lb mole de O<sub>2</sub> por lb. mole de aire

$$\text{Aire usado} = \frac{3.71}{0.21} = 17.62 \text{ lb. mole de aire}$$

$$\text{Peso de aire usado} = (17.62)(29) = 512 \text{ lb.}$$

$$\text{P. M. aire} = 29$$

En el quemador y convertidor

Azufre quemado a SO<sub>3</sub> =

$$(2)(0.7086)(0.40) = 0.567 \text{ lb. atom.}$$

Por cada lb-mole de FeS<sub>2</sub> hay 2 lb. átomos de S.

Gases que salen del convertidor

$$\text{SO}_2 = (1.4172)(1-0.40) = (1.4172)(0.60) = 0.850 = (0.850)(64) = 54.6 \text{ lb.}$$

$$\text{SO}_3 =$$

$$= 0.567 = (0.567)(80) = 45.3 \text{ lb.}$$

$$\text{N}_2 = (17.62)(0.79) = 13.9 = (13.9)(28.02) = 390.0 \text{ lb.}$$

$$\text{O}_2 = 3.71 - (1.94 + 0.547) \text{ (según I y II)} = 1.487 = (1.487)(32) = 47.7 \text{ lb.}$$

$$\text{Total} = 537.6 \text{ lb.}$$

Nota. El N<sub>2</sub> en el aire es 79%

por volumen ó 0.79 lb-mole

por 1 lb mole de aire

$$\text{SO}_2 = \frac{54.6}{537.6} = 10.1 \%$$

$$\text{SO}_3 = \frac{45.3}{537.6} = 8.5 \%$$

$$\text{N}_2 = \frac{390.0}{537.6} = 72.5 \%$$

$$\text{O}_2 = \frac{47.7}{537.6} = 8.9 \%$$

c) En la cámara catalítica SO<sub>2</sub> que llega 0.850 lb. mole

$$\text{SO}_2 \text{ oxidado a SO}_3 = (0.850)(0.96) = 0.815 \text{ lb. mole} = 65.2 \text{ lb.}$$

Peso total de SO<sub>3</sub> producido por 100 lb. de piritita: 65.2+45.3=110.5 lb.

d) Productos gaseosos resultantes

$$\text{SO}_3 = 0.567 + 0.815 = 1.382$$

$$\text{lb.-mole} = (1.382)(80) = 110.56 \text{ lb.}$$

$$\text{SO}_2 = 1.4172 - 1.382 = 0.035$$

$$\text{lb.-mole} = (0.035)(64) = 2.24 \text{ lb.}$$

$$\text{O}_2 = 3.71 - (1.94 + \frac{1.382}{2}) = 1.08$$

$$\text{lb.-mole} = (1.08)(32) = 34.60 \text{ lb.}$$

$$\text{N}_2 = 13.9 = 13.9$$

$$= \frac{390.0}{537.4} \text{ lb.}$$

$$\text{SO}_3 = \frac{110.56}{537.4} = 20.63 \%$$

$$\text{SO}_2 = \frac{2.24}{537.4} = 0.42 \%$$

$$\text{N}_2 = \frac{390.0}{537.4} = 72.50 \%$$

$$\text{O}_2 = \frac{34.6}{537.4} = 6.45 \%$$

Balance de S:

$$\begin{aligned} \text{e) Azufre en la piritita que entra al proceso} &= 100 \\ \frac{100}{119.96} \cdot 2 &= 1.67 \text{ lib. atom.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Azufre final: En SO}_3 &- 1.382 \text{ lb. átomo} \\ \text{En SO}_2 &= 0.035 \text{ lb. átomo} \end{aligned} \left. \vphantom{\begin{aligned} \text{Azufre final: En SO}_3 \\ \text{En SO}_2 \end{aligned}} \right\} 1.417$$

$$\text{Grado de conversión a SO}_3 = \frac{1.382}{1.67} = 83.0 \%$$

Referencia

Hernán Gómez  
Alumno de la Escuela

## La Redacción

En el afán de desempeñar a cabalidad una misión formativa e informativa se inicia desde este número una sección con el título La Redacción. Nos proponemos, desde ella, dar a conocer las principales actividades de la Escuela, exponer iniciativas de sus profesores y estudiantes, sugerir inquietudes que serán estudiadas detenidamente y tratadas de coordinar con los planes de las Directivas para beneficio común.

Esperamos que el estudiantado, animado con propósitos de franco deseo de progreso, nos suministre datos, aporte ideas nuevas, dé conceptos y critique en ocasiones en forma fundamentada pero persiguiendo únicamente el progreso y mayor desarrollo de la Escuela, que constituye vehemente anhelo nuestro.

En el próximo mes de Octubre, durante los días de la Semana Universitaria, saldrán hacia Barrancabermeja el grupo de estudiantes de 5º año (10º semestre) con el objeto de visitar las explotaciones petrolíferas de la Tropical Oil Company. Este grupo hace en la actualidad un curso de Refinación de Petróleos, dirigidos por el Dr. Kurt Karner quien tiene experiencia, informaciones y conocimientos en todo lo que se relaciona con tales procesos. No podemos perder de vista la importancia que para los próximos ingenieros químicos representa esta visita, toda vez que disponen ya de los más amplios conocimientos profesionales para sacar el mejor provecho.

Es digno del mayor encomio y de la gratitud de los estudiantes la labor desarrollada por el Dr. Guido A. Jorquera, Ph. D. en Ingeniería Química de la Universidad de Michigan, que con tanta eficacia ha prestado su cooperación a la Escuela, contribuyendo con su esfuerzo y con gran acierto a la formación del "Plan de Estudios 1946", a la introducción de revistas y libros técnicos, a crear la ciencia y conciencia de nuestra profesión. Ha tenido participación preponderante en el diseño de Edificio y Laboratorios y ha sabido imprimirle a esta Escuela el recio

plan de la Ingeniería Química por el gran influjo que sus opiniones ejercen.

En lo tocante al desarrollo de las Tesis para optar al grado de Ingeniero Químico existe una nueva finalidad: trazar un plan industrial, eficiente y vasto, tendiente a un surgimiento altamente vigoroso para la estructura social y económica del país; para ello hace el nuevo Ingeniero la prospectación científico-técnica de una planta química que sea adecuada a la posición económica nuestra, a la capacidad comercial del producto elaborado y haga cuenta de los factores que influyen en el diseño de las plantas.

De esta suerte Las Tesis cumplen, aparte de

HEBILLERIA

**HERCO**

Herrajes, talabartería, cubiertos de

alpaca, bisagras, medallas, etc.

Apartados: Aéreo 960  
Nacional 215

Por telégrafo: ERI

Medellín.

la suya propia, otra finalidad: brindar la oportunidad a los amantes de la Industria y a los inversionistas de ponerse en contacto con ideas y prospectaciones nuevas que inicien y lleven a cabo muy importantes realizaciones.

Sin entrar en detalles, preciso es reconocer que nuestra Biblioteca en obras de Ingeniería Química hay que situarla en el terreno propio que corresponde a la Escuela, esto es, dotarla de un buen número de obras de consulta que son indispensables; de ahí que consideremos loable y digno del más amplio apoyo un esfuerzo con-

junto de la Universidad, Directivas de la Escuela y del estudiantado por incrementar su dotación en esta Sección de especialísimo interés para el examen y análisis de la Ingeniería Química.

Hace unos meses se fundó en la Escuela, un Centro de Estudiantes, cuyos primordiales propósitos quedan estipulados en el artículo primero de sus correspondientes estatutos. El dice:

OBJETIVOS 1).—El continuo progreso intelectual y material de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de Antioquia.

2).—Un alto nivel de capacitación estudiantil.

3).—Mantener una elevada ética universitaria.

4).—Mantener vinculación entre la Escuela y sus profesionales.

5).—Laborar por la unificación en el país del plan de estudios de Ingeniería Química.

Del anterior artículo, podemos apreciar de una manera perfecta los altos propósitos que mueve al antedicho Centro. No podemos perder de vista el significado que para el progreso material e intelectual de la Escuela representa, porque indudablemente, la labor que ha de desarrollar será de invaluable significado.

Uno de los primeros pasos del Centro de Estudiantes, ha sido el de fundar la presente publicación que viene a llenar una imperiosa necesidad, que desde hace algún tiempo se había venido haciendo presente. Pues era menester que nuestros financistas, nuestros industriales y en fin, todo el rol de nuestra vida nacional, se enteraran de la calidad y orientación de los estudios que en la actualidad se están cursando en nuestra Escuela.

Componen la Junta Directiva del Centro, como presidente; Manuel D. Mier Linero, vicepresidente Orlando Camargo y secretario A. Velásquez Arana, quedando como vocales los señores León Domínguez y Enrique Wills.

# Transparencia...

