

2 Ej. No. 39



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

**"ANTEPROYECTO DE UN PROGRAMA
DE PRACTICAS PARA INGENIERIA
QUIMICA I Y II"**

Tesis Mancomunada

JOSE AGUSTIN GARCIA CUELLAR
EFRAIN VAZQUEZ BADILLO

Ingeniero Químico

MEXICO, D.F.

1984.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I N D I C E.

| | <i>Página.</i> | |
|----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| | <i>Manual del Profesor.</i> | <i>Manual del Alumno.</i> |
| <i>Introducción.</i> | 1 | |
| <i>Propuestas de prácticas para Ingeniería Química I.</i> | | |
| <i>Práctica No. 1.</i> | | |
| <i>El Laboratorio de Ingeniería Química.</i> | 7 | 152 |
| <i>Práctica No. 2.</i> | | |
| <i>Medición de variables.</i> | 11 | 162 |
| <i>Práctica No. 3.</i> | | |
| <i>Aplicación del análisis - dimensional a la descarga de un tanque.</i> | 24 | 172 |
| <i>Práctica No. 4.</i> | | |
| <i>Balance de materia en desti- lación en la torre de platos.</i> | 52 | 177 |
| <i>Práctica No. 5.</i> | | |
| <i>Balance de materia en secado por atomización.</i> | 63 | 186 |
| <i>Práctica No. 6.</i> | | |
| <i>Balance de materia en combustión.</i> | 75 | 194 |

INTRODUCCION.

El objetivo del presente trabajo es el de elaborar un primer proyecto de un manual de prácticas aplicable a las materias de - Ingeniería Química I (Balances de materia) e Ingeniería Química - II (Balances de energía), el cual contemple prácticas que solamente requieran la utilización de los equipos con los cuales ya cuenta el laboratorio de Ingeniería Química de la Facultad de Química de la U.N.A.M.

El programa de prácticas se elaboro de acuerdo con el plan - de estudios vigente de las citadas materias en el año de 1982. Se propone la realización de una práctica cada 15 días, constando de 6 prácticas por cada materia, siendo la primera de cada curso de presentación.

Este trabajo se encuentra dividido en 2 partes principales ;

- Un manual para el instructor en el que se incluyen los conceptos básicos del tema de la práctica, un resumen de los datos de tres corridas de la práctica correspondiente, un ejemplo de calculo - donde se ilustra completamente la 1^a corrida, un resumen de los resultados obtenidos para las corridas citadas, recomendaciones para la operación de los equipos y una bibliografía comentada.
- Un manual para el alumno que se inicia con el planteamiento de los objetivos de la práctica, se establecen los fundamentos teóricos, se describe el equipo a utilizar, se da la técnica de operación y se solicitan una serie de calculos.

En la parte final de la tesis se incluyen tres apendices en- el primero se tiene un resumen de las principales propiedades de- los materiales utilizados en el laboratorio de Ingeniería Química, el segundo consta de un programa para calculadora que permite evaluar el diagrama de equilibrio ideal de un sistema binario y el - tercero que es el método de microanálisis para el sistema monoeti-

len glicol-agua.

ACLARACION.

En las prácticas que se enuncian a continuación los calculos se efectuaron utilizando datos obtenidos de tesis efectuadas en los respectivos equipos.

- Balances de materia en combustión.
- Balance de energía en un secador rotatorio.
- Balance de energía en combustión.
- Balance de energía en las operaciones aire-agua.

La razon de lo anterior fué que se considero que eran los datos mas conftables para la realización de los calculos. Desde luego se realizaron corridas para comprobar la validez de los datos. En los equipos en los que no se disponian de datos de tesis se realizaron determinaciones experimentales hasta obtener el suficiente numero de datos y seleccionar de acuerdo a nuestro criterio los más representativos, dichas prácticas son;

- Aplicación del analisis dimensional a la descarga de un tanque.
- Balance de materia en un secador por atomización.
- Balance de energía en flujo de fluidos.
- Balance de materia en destilación en una torre de platos.
- Balance de energía en destilación a regimen inestable.

En la práctica de medicion de variables no fué posible tomar datos experimentales debido a que no se conto con el material necesario para la reconstrucción del equipo.

En las practicas de balance de materia en destilación en una torre de platos y balance de energía en destilación a regimen inestable si se realizaron determinaciones experimentales, sin

embargo debido a la enorme diferencia entre las temperaturas de ebullición del sistema, las muestras tomadas de la fase vapor tienen una concentración bajísima (ppm) de monoetilen glicol, la cual no es determinable por refractometría. Estas muestras se trataron de analizar por el método propuesto en el apéndice número 3 sin embargo debido a que se requiere un gran cuidado y precisión, y además que no se contó con el material adecuado, no fué posible realizar el análisis.

M A N U A L D E L P R O F E S O R .

PRACTICAS DE INGENIERIA

QUIMICA (I) BALANCES

DE MATERIA .

P R O L O G O.

A continuación se presentan las prácticas propuestas correspondientes al curso de Ingeniería Química I.

Propuesta de práctica;

- 1.- El laboratorio de Ingeniería química.*
- 2.- Medición de variables.*
- 3.- Aplicación del análisis dimensional a la descarga de un tanque.*
- 4.- Balance de materia en destilación en la torre de platos.*
- 5.- Balance de materia en secado por atomización.*
- 6.- Balance de materia en combustión.*

MANUAL DEL PROFESOR.

LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA.

PROPUESTA DE PRACTICA PARA INGENIERIA QUIMICA I.

PRACTICA No. 1.

EL LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA.

FACULTAD DE QUIMICA.

DIVISION DE ESTUDIOS PROFESIONALES.

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUIMICA.



MANUAL DEL PROFESOR.

PROPUESTA DE PRACTICA PARA INGENIERIA QUIMICA I.

PRACTICA No.1.

" EL LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA ".

Objetivos de la práctica.-

Esta primera práctica constituye el primer contacto entre el alumno y el laboratorio, se pretende llevar a cabo la presentación e introducción al laboratorio de Ingeniería Química, haciendo mención a una cronología del laboratorio, situación actual, lista de los equipos y su correspondiente localización, por ultimo se presenta el reglamento de prácticas del laboratorio de Ingeniería Química.

RECOMENDACIONES SOBRE LA PRACTICA.

Por ser esta la presentación del laboratorio de Ingeniería Química al alumno, es aconsejable un recorrido por el laboratorio, los aspectos más importantes y la manera como se efectuara el desarrollo de la práctica y su evaluación, también debe mencionarse los principales puntos del reglamento de prácticas.

En cada una de las prácticas se debe describir ampliamente el equipo a utilizar con todos sus accesorios, corrientes de entrada y salida, funcionamiento de este y puntos de control. Es importante recalcar las medidas de seguridad que deben seguirse durante la experimentación.

Es muy importante que, dentro de lo posible, todos los alumnos operen el equipo, ya que es una de las únicas maneras como estos aproximen integralmente la práctica.

BIBLIOGRAFIA COMENTADA.

" EL LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA ".

1.- Dos relatos y un epilogo.

Amores José Emilio.

Konterrey N.L. México 1972.

Este libro esta constituido por un gran numero de reseñas historicas y anécdotas que en los albores de la carrera, como una profesión nueva y naciente se susitaron, se menciona cuales son las verdaderas funciones que un Ingeniero Químico desempeña, multidisciplinario.

2.- La industria química en México.

Giral J. Gonzalez y Montaña E.

Redacta. México 1978.

En síntesis, el objetivo central de esta obra es el de dar una visión lo mas completa y precisa de la industria química en México. Es una obra que debe considerarse de consulta para todas aquellas personas ligadas a la química.

3.- Plan Nacional de Desarrollo Industrial.

SEPAFIN. México 1979.

El comprender la situación que vive el país y la estrategia a seguir para el pleno desarrollo es algo que todos debemos comprender, pero más específicamente Ud, profesor encargado de los futuros profesionistas de la industria. Conoscamos pues los objetivos fundamentales del Plan Nacional de Desarrollo Industrial.

MANUAL DEL PROFESOR.

LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA.

PROPUESTA DE PRACTICA PARA INGENIERIA QUIMICA I.

PRACTICA No. 2.

MEDICION DE VARIABLES.

FACULTAD DE QUIMICA.

DIVISION DE ESTUDIOS PROFESIONALES.

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUIMICA.



MANUAL DEL PROFESOR.

PROPUESTA DE PRACTICA PARA INGENIERIA QUIMICA I.

PRACTICA No. 2.

" MEDICION DE VARIABLES "

Objetivos de la práctica.-

El objetivo primordial de ésta, es describir las unidades fundamentales, derivadas y resaltar la importancia y uso de unidades, además de la aplicación adecuada de los factores de conversión.

Conceptos a tratar.-

- Unidades, dimensiones.*
- Consistencia dimensional.*
- Factores de conversión.*

PRACTICAS DE INGENIERIA QUIMICA I BALANCES DE MATERIA.

REQUERIDA DE PRACTICA No. 2.

" MEDICION DE VARIABLES ".

Con excepción de la temperatura, la presión es probablemente la variable más medida en los procesos operacionales en química. El número de medidores de presión usados en cualquier tipo de planta es más grande que cualquier otro tipo de instrumento. Así en el flujo de fluidos siempre se mide por la diferencia de presiones creadas a lo largo del flujo de los mismos. Puesto que la mayoría de los medidores de flujo tienden a originar una diferencia de presión a través de la sección, donde se toma la medida, se pueden emplear algunos dispositivos muy sencillos y fáciles de usar para medir la presión e indicar esta diferencia. Uno de los instrumentos más simples para medir la presión es el manómetro de tubo en forma de "U".

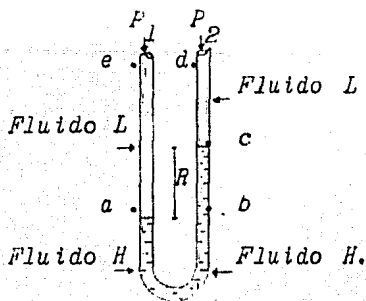


Figura 1 Manómetro sencillo en forma de "U".

Si llenamos un ducto con un fluido incompresible sin que haya flujo, la ecuación de energía, puede escribirse en la forma siguiente;

$$\Delta Z \frac{\rho}{g_c} + v (P_2 - P_1) = 0 \quad (1)$$

o bien

$$\Delta P = - \frac{\Delta Z}{v} \frac{\rho}{g_c} = - \rho \Delta Z \frac{\rho}{g_c} \quad (2)$$

En esta forma la diferencia de presión puede ser expresada en términos de la altura de una columna vertical de fluido de densidad ρ .

La ecuación (2) puede ser aplicada al manómetro de tubo - en forma de "U". Este instrumento se muestra esquemáticamente en la figura 1. El fluido H no puede ser idéntico, ni miscible con el fluido que fluye. Algunas veces es deseable usar un fluido más pesado que el fluido que fluye, como se muestra en la figura y otras veces uno más ligero, en cuyo caso el tubo - "U" se invierte. En la figura 1, es deseable medir la diferencia entre P_1 y P_2 . La diferencia de presiones puede ser relacionada a la diferencia de alturas entre los puntos a y c, recibiendo el nombre la lectura manométrica R.

La presión en el punto b, puede ser determinada por la ecuación (2) estos es;

$$P_b = P_2 + (Z_d - Z_c) \rho_1 + (Z_c - Z_b) \rho_H \quad (3)$$

Puesto que el punto b es estacionario, la presión indicada en la ecuación (3) deberá ser balanceada por la presión que actúa sobre dicho punto en una dirección opuesta. O bien.,

$$P_b = P_1 + (Z_e - Z_a) \rho_1 \quad (4)$$

Igualando los valores de P_b en las ecuaciones (3) y (4) obtenemos .,

$$-\Delta F = P_1 - P_2 = (Z_C - Z_a) (\rho_H - \rho_L) \quad (5)$$

En la ecuación (5) el término $(Z_C - Z_a)$ correspondería a la lectura del manómetro indicada en una escala apropiada. Este balanceo de fuerzas para determinar la lectura de diferencia de presión por un manómetro, es general. Puede usarse indistintamente de la orientación del manómetro, la presencia de fluidos intermedios o cualquier otra variación en el diseño del manómetro. Notemos que la lectura barométrica se multiplica por la diferencia en densidad de los fluidos para obtener la pérdida de presión.

Como hemos indicado antes, pueden efectuarse variaciones en el manómetro mostrado en la figura 1 puede invertirse para usarse con un fluido de densidad menor que la del fluido que fluye. Para pequeñas lecturas, el tubo puede ser inclinado a cierto ángulo con respecto a la horizontal, para ampliar el desplazamiento lineal del fluido. Otra técnica empleada para ampliar las lecturas pequeñas, consiste en hacer una de las ramas del manómetro con una sección transversal considerablemente mayor que la otra, e inclinar el tubo de diámetro más pequeño. Este procedimiento nos permite leer la presión solamente en el tubo de diámetro menor, puesto que el nivel del menisco en el tubo mayor permanecerá prácticamente constante. A menudo se utiliza un manómetro de dos fluidos como el ilustrado en la figura 2 para indicar diferencias de presiones bajas.

En el manómetro de dos fluidos, el nivel del líquido en el recipiente permanecerá esencialmente constante, pero la lectura puede multiplicarse considerablemente, si el fluido B y el fluido C tienen aproximadamente la misma densidad. Indistintamente del tipo de manómetro usado, los principios expresados a través de la ecuación (2) pueden ser aplicados para medir la pérdida de presión a través de la sección de -

prueba de un ducto.

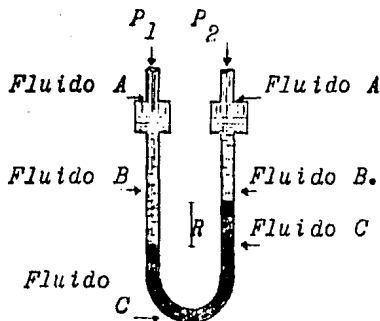


Figura 2 Manómetro de dos fluidos.

Frecuentemente se utilizan manómetros con medidores de orificio, venturi ó tubo de pitot.

3.2 TERMOMETROS.

El concepto de temperatura surge de la necesidad de establecer una formalización del concepto ordinario de "grado relativo de calentamiento" de un cuerpo.

La temperatura es un atributo de los cuerpos que permite diferenciarlos entre sí, con respecto a su grado de calentamiento. Experiencias relacionadas con el estudio del equilibrio térmico de dos sistemas puestos en contacto con un tercero permiten establecer la LEY CERO DE LA TERMODINAMICA.

" Dos sistemas en equilibrio térmico con un tercero están en equilibrio entre sí. "

Esta ley condujo al uso de sistemas llamados termómetros que constituyen el aparato natural para medir la temperatura.

El hecho básico es que si se coloca un termómetro en dos cuerpos diferentes, separados uno de otro, y éste indica el mismo valor de la propiedad termométrica cuando los objetos se pongan en contacto no habrá un flujo de calor de uno al otro. Existen diversos tipos de termómetros, los más importantes - son los que a continuación se mencionan;

| <i>Sistema.</i> | <i>Variable fija</i> | <i>Propiedad termométrica.</i> |
|---------------------------|-----------------------|--------------------------------|
| <i>Líquido en vidrio</i> | <i>Presión</i> | <i>Long. de la columna</i> |
| <i>Alambre de platino</i> | <i>Dif. Potencial</i> | <i>Resistencia eléctrica.</i> |
| <i>Termopar</i> | <i>Dif. Potencial</i> | <i>Fuerza electromotriz.</i> |
| <i>Gas en bulbo</i> | <i>Presión</i> | <i>Volúmen</i> |
| <i>Gas en bulbo.</i> | <i>Volúmen</i> | <i>Presión.</i> |

Tabla 1. Principales tipos de termómetros.

Notese que en la realidad los termómetros no miden una - cantidad física en especial; miden una longitud (en una columna de Hg), un voltaje eléctrico (en un termopar), una presión o un volúmen en un termómetro de gas.

Para establecer una escala de temperaturas, esto es, asignar - valores numéricos a la temperatura, se sigue un procedimiento por lo general arbitrario.

Para fijar estas escalas arbitrarias existen un número de esta dos térmicos, temperaturas, las cuales pueden ser caracterizadas, por un fenómeno definido que ocurre a estas temperaturas. Las más importantes de estas temperaturas (también llamadas - puntos fijos) son los puntos de fusión y ebullición de sustancias puras a una presión determinada.

Las escalas de temperaturas más ampliamente utilizadas - son la Fahrenheit ($^{\circ}F$) y la escala Celcius ($^{\circ}C$).

PUNTOS FIJOS FUNDAMENTALES Y PRIMARIOS
 PARA LA CALIBRACION DE TERMOMETROS
 PRESION PATRON DE 1013250 Din/cm².

- / - Temperatura de equilibrio entre el hielo y el agua saturada con aire (punto fijo fundamental) ----- 0°C
- / - Temperatura de transición del (Na₂SO₄).10H₂O ----- 32.4°C
- / - Temperatura de fusión del p-dicloro benceno ----- 53.2°C
- / - Temperatura de fusión del naftaleno ----- 80.2°C
- / - Temperatura de equilibrio entre el agua líquida y su vapor (punto fijo fundamental.) ----- 100 °C.

Tabla 2. Puntos fijos fundamentales y primarios.

| | | | | |
|-----|----|-----|----|-------------------------------------|
| 100 | °C | 212 | °F | °C = $\frac{5}{9} (\text{°F} - 32)$ |
| 0 | °C | 32 | °F | |

°F = $\frac{9}{5} \text{°C} + 32.$

Figura 1. Relación entre las escalas Farenheit y Celcius.

Se ha encontrado que, las escalas de temperaturas definidas usando materiales o propiedades diferentes, solo coincidirán en un punto en el de calibración. Esto es, que si se determinara la temperatura de un cuerpo con diferentes tipos de termómetros cada uno de ellos dará un valor numérico diferente. Por tal causa es conveniente definir una escala que dependa lo menos posible de las propiedades particulares del termómetro empleado. La escala correspondiente se llama ESCALA CON RESPECTO AL GAS IDEAL y será descrita a continuación.

En 1848 William Thompson de Escocia siguiendo las ideas de Sadi Carnot de Francia estableció el concepto de una escala de temperaturas en terminos de cantidades medidas de calor, - fluyendo entre dos cuerpos, en lugar de mediciones de longitud ó presiones. Lo más importante de esto fué la concepción de - la existencia de un cuerpo que no cediera calor a ningún otro - cuerpo y el cual se encontrará a la temperatura del cero absoluto.

El experimento consistió en la observación de que el volúmen de una masa de gas a presión constante varía de modo aproximadamente lineal con la temperatura.

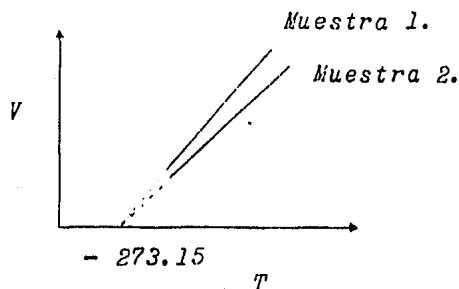


Figura 2. Variación del volúmen con respecto a la temperatura a presión constante de una masa de gas.

En la figura 2 se observa una representación de los resultados de este experimento.

En la figura 2 se observa que para dos diferentes muestras, y suponiendo que los gases no se licuan y que la linealidad es extrapolable, ambas líneas se cortan en el eje de las temperaturas a -273.15°C .

Es de esperarse que para un gas real esto no es cierto ya que se licua antes, pero a -273.15°C se tiene la temperatura a la cual un gas ideal que no se condense tendría un volumen igual a cero. Esta temperatura se denomina "cero absoluto."

Si para el experimento se utilizara la escala de grados Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$) se encuentra que el cero absoluto corresponde a -459.67°F .

Del experimento anterior surgieron dos escalas absolutas de temperatura; la escala de grados Kelvin ($^{\circ}\text{K}$) y la escala de grados Rankine ($^{\circ}\text{R}$). Estas escalas se definen de acuerdo con;

$$T (^{\circ}\text{K}) = T(^{\circ}\text{C}) + 273.15$$

$$T (^{\circ}\text{R}) = T(^{\circ}\text{F}) + 459.67$$

y ambas están relacionadas por.,

$$T (^{\circ}\text{R}) = T(^{\circ}\text{K}) \frac{9}{5}$$

Los instrumentos de medición de temperatura proporcionan lecturas EXACTAS solamente bajo condiciones cuidadosamente controladas, y cuando se han calibrado con instrumentos patrón, los cuales a su vez han sido calibrados directamente o indirectamente con patrones primarios. Dado que esto es raramente posible (cuando se utilizan instrumentos de medición de temperatura convencionales), en las lecturas hechas con los termómetros deberán seguirse algunas ó todas las siguientes recomendaciones.

Recomendaciones.

- 1.- *El instrumento sensitivo (bulbo ó vastago) deben ser inmersos al mismo nivel en que fueron calibrados ó como lo indique el instrumento.*
- 2.- *El termómetro debe ser sujeto de modo que minimice ó prevenga la conducción de calor.*
- 3.- *Debido a la inercia termica del elemento térmico no responde a los cambios de temperatura rapidamente. El lapso de tiempo de respuesta está influenciado por la masa y el tipo de elemento sensible y por el método de soporte. En consecuencia deberá de esperarse un tiempo razonable antes de realizar una lectura.*
- 4.- *En corrientes en movimiento la conversión de energía cinética ó potencial de los elementos de corriente de tenidos por el elemento térmico, causaran que la lectura sea más alta que si el elemento térmico se moviera con la corriente.*

RECOMENDACIONES SOBRE LA PRACTICA.

El profesor debe resaltar la importancia que tiene la adecuada medición de estas variables en Ingeniería Química, debiéndolas definir claramente.

En el tema de presión deberá cubrir lo referente a; tipos de manómetros, ecuación del manómetro en "U" y la descripción de el manómetro Bourdon. Por lo que respecta a temperatura se debe hablar de los diferentes tipos de termómetros y su principio de operación y como ultimo punto se trata lo referente a como fijar las escalas de temperatura.

En las lecturas hechas con los termómetros deberán de seguirse las siguientes recomendaciones;

- 1.- El bulbo del termómetro debe ser inmerso al nivel que fue calibrado ó segun lo indique el instructivo.
- 2.- El termómetro debe sujetarse de modo que minimice las perdidas de calor.
- 3.- Se debe tomar en cuenta al realizar las lecturas el tiempo de respuesta del termómetro.
- 4.- En corrientes en movimiento la lectura del termómetro será mas alta que si este se moviera con la corriente.

BIBLIOGRAFIA COMENTADA.

" MEDICION DE VARIABLES "

- 1.- *Conceptos básicos en Termodinámica Clásica.*
García/Colín/Goñoy.
Ed. Trillas. México 1970.
En los capítulos correspondientes a temperatura y presión, encontraremos definiciones y diversos aparatos - además de las diferentes escalas de medición de estas - variables.
- 2.- *Encyclopedia of Science & Technology Vol. XlII.*
Raymond E. Kirk.
Mc Graw-Hill Book Co. USA 1976.
Por la amplitud con que trata el tema, es recomendable que todos los profesores a cargo de la impartición de este tema lean su contenido, definiciones, diversos y diferentes maneras de efectuar la medición, principios de operación y escalas más frecuentemente empleadas.
- 3.- *Experimental General Chemistry.*
Lippincott/Meek/Verhoek.
Saunders Golden Series. Philadelphia 1974.
Se presenta de una manera muy clara sencilla y tangible los conceptos y aspectos teóricos, de manómetros y termómetros.
- 4.- *Manómetros Ascroft.*
Manning Maxwell & Moore de México S.A.
Manual de manómetros.
Por ser este un manual de manómetros trata temas relacionados con el mantenimiento, nombre de las partes que constituyen un manómetro y lo más importante como se calibran.

MANUAL DEL PROFESOR.

LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA.

PROPUESTA DE PRACTICA PARA INGENIERIA QUIMICA I.

PRACTICA No. 3.

**APLICACION DEL ANALISIS DIMENSIONAL
A LA DESCARGA DE UN TANQUE .**

FACULTAD DE QUIMICA.

DIVISION DE ESTUDIOS PROFESIONALES.

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUIMICA.



MANUAL DEL PROFESOR.

PROPUESTA DE PRACTICA PARA INGENIERIA QUIMICA I.

PRACTICA No. 3.

*" APLICACION DEL ANALISIS DIMENSIONAL A LA
DESCARGA DE UN TANQUE " .*

Objetivo de la práctica.

*En esta practica se aplica la ley de la conser
vación de la materia. Sistemas y procesos, ecuación
de continuidad, inventarios. Se pretende que el alu-
mo desarrolle la habilidad para representar a tra-
vés de un modelo matematico, una versión simplifica
da, pero representativo del fenomeno.*

Conceptos a tratar.

- El modelo y sus dimensiones.*
- Ley de la conservación de la materia.*
- Balance de materia en operaciones unitarias.*

FRACTICA DE INGENIERIA QUIMICA I BALANCE DE MATERIA.

PROPUESTA DE FRACTICA No. 3.

" APLICACION DEL ANALISIS DIMENSIONAL A LA DESCARGA DE UN TANQUE ".

La solución adecuada de los problemas de Ingeniería Química requiere que estos sean expresados en forma concisa y efectiva lo cual se logra mediante la obtención de un modelo matemático de su comportamiento, que proporcione información esencial concerniente al funcionamiento y capacidad esperada. Durante el análisis es necesaria la aplicación de técnicas sistemáticas, las cuales se proporcionan a continuación.,

- 1.- Descripción de la situación física mediante un modelo matemático.*
- 2.- Manipulación del modelo para determinar el comportamiento de las condiciones físicas.*
- 3.- Comparación del modelo con la situación real.*
- 4.- Estudio del modelo para determinar sus limitaciones.*
- 5.- Uso y empleo del modelo para diseñar el equipo y prever su funcionamiento.*

El análisis dimensional es una técnica que se basa en el hecho de que si existe una ecuación teórica que relacione las variables que intervienen en el funcionamiento del proceso estas pueden relacionarse mediante un pequeño grupo de conjuntos adimensionales, cuyos valores numéricos son independientes del sistema de unidades empleado.

Un conocimiento a cerca de la naturaleza de las dimensiones y unidades es necesario para poder utilizar los principios del análisis dimensional.

El término dimensiones debe distinguirse de el de unidades; por ejemplo el tiempo y la longitud son dimensiones, segundos, minutos y horas son unidades de la dimensión tiempo. Existen diferentes sistemas de dimensiones. Un sistema dimensional consiste de dimensiones fundamentales (las que son independientes) y derivadas (las que son dependientes), pudiéndose expresar éstas en términos de las primeras. Los sistemas de dimensiones mas importantes son los siguientes.

- 1.- Sistema absoluto.
- 2.- Sistema gravitacional.
- 3.- Sistema de Ingeniería.

Debido a la posibilidad de utilizar fuerza ó masa, se hace necesario el introducir un factor de conversión entre el sistema absoluto y el gravitacional. Este factor de conversión se denomina "Factor de conversión g_c ."

$$g_c = \frac{M L}{F t^2} \quad ; \quad g_c = 9.81 \frac{kg \cdot m}{kg \cdot s^2}$$

Todas las ecuaciones por complejas que sean, y si se han deducido matemáticamente a partir de las leyes físicas básicas están formadas por términos que tienen las mismas dimensiones. Una ecuación en la que todos los términos tienen las mismas dimensiones es una ecuación dimensionalmente homogénea. Una ecuación de este tipo es aplicable en cualquier sistema de unidades consistente.

Por ejemplo consideremos la ecuación que expresa la distancia x que recorre un cuerpo sometido a una aceleración constante $- (a)$, durante un intervalo de tiempo t , si la velocidad inicial es v_0 entonces;

- 1.- Sistema absoluto.
- 2.- Sistema gravitacional.
- 3.- Sistema de Ingeniería.

| Magnitud | Sistema Absoluto M, L, T | Sistema Gravitacional F, L, T | Sistema de Ingeniería F, M, L, T |
|-------------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|
| Longitud | L | L | L |
| Tiempo | T | T | T |
| Masa | M | $F\theta^2/L$ | M |
| Fuerza | ML/θ^2 | F | F |
| Factor C_c | - | - | $ML/F\theta^2$ |
| Temperatura | T | T | T |
| Presión | $M/L\theta^2$ | F/L^2 | F/L^2 |
| Gasto másico. | M/θ | $F\theta/L$ | M/θ |
| Gasto volumetrico | L^3/θ | L^3/θ | L^3/θ |
| Masa velocidad | $M/L^2\theta$ | $F\theta/L^3$ | $M/L^2\theta$ |
| Velocidad lineal | L/θ | L/θ | L/θ |
| Aceleración lineal | L/θ^2 | L/θ^2 | L/θ^2 |
| Energía, Trabajo E | ML^2/θ^2 | FL | FL |
| Energía/masa | L^2/θ^2 | L^2/θ^2 | FL/M |
| Potencia | ML^2/θ^3 | FL/ θ | FL/ θ |
| Densidad | M/L^3 | $F\theta^2/L^4$ | M/L^3 |
| Viscosidad absoluta | - | $F\theta/L^2$ | $F\theta/L^2$ |
| Viscosidad absoluta | $M/L\theta$ | - | $M/L\theta$ |
| Viscosidad cinemática | L^2/θ | - | L^2/θ |
| Capacidad calorífica, c | $L^2\theta^2/T$ | L^2/θ^2T | FL/MT |
| Conductividad térmica, k | ML/θ^3T | F/ θT | F/ θT |
| Coefficiente de transferencia de calor de película, h | M/θ^3T | F/ $L\theta T$ | F/ $L\theta T$ |
| Difusividad, D_v . | L^2/θ | L^2/θ | L^2/θ |

Tabla 1.- Magnitudes y dimensiones en los sistemas Absoluto, gravitacional y de Ingeniería.

$$x = v_0 \theta + \frac{1}{2} a \theta^2 \quad (1)$$

Si se escriben las fórmulas dimensionales de cada término de la ecuación anterior se verá que las dimensiones de cada uno de ellos es longitud (L).

$$L = L\theta^{-1} + \frac{1}{2} L\theta^{-2}\theta^2 \quad (2)$$

Las relaciones que se deducen por métodos empíricos en las que los resultados se relacionan mediante ecuaciones, que normalmente son dimensionalmente homogéneas, contienen términos de dimensiones y unidades diferentes, tomemos por ejemplo, una ecuación para calcular la velocidad de transferencia de calor de un tubo horizontal a la atmósfera por conducción y convección.

$$\frac{q_c}{A} = 3.57 \frac{(T_s)^{1.25}}{(D_o)^{0.25}} \quad (3)$$

en donde ...

- q_c = Pérdida de calor Kcal/Hr.
- A = Area de transferencia de calor. m^2 .
- T_s = Diferencia de temperaturas entre la pared de la tubería y la atmósfera °C
- D_o = Diámetro de la tubería. cm.

Las dimensiones de q_c/A no son las mismas que las que se presentan en el segundo miembro, sin embargo las cantidades de la ecuación (3) han de sustituirse en las unidades dadas, pues si no se hace así se obtendrían valores numéricos erróneos para q_c .

Si se desea utilizar otras unidades deberá cambiarse el valor del factor 3.57.

Existen tres métodos principales del análisis dimensional, los cuales proporcionan idénticos resultados.

- a) El método de Rayleigh.
- b) El método de Buckingham.
- c) El uso de ecuaciones diferenciales.

En el presente trabajo nos limitaremos a explicar únicamente el primero(a), el lector interesado en aplicar los otros métodos, podrá consultar el método (b) en las referencias 2, 3 y 5; mientras que para el método (c) consultar la referencia 3 y para aquellos interesados en profundizar sobre el método (a) consultar 2, 3 y 5.

En términos generales el método de Rayleigh de análisis dimensional expresa la manera como están relacionadas las variables, a partir de las cuales se obtienen los grupos adimensionales.

Entonces podemos obtener una relación entre las variables dimensionales de la forma;

$$D_1 \propto (D_2)^a (D_3)^b (D_4)^c \dots \quad (4)$$

En donde los exponentes a, b, c ... deben evaluarse de modo que las relaciones obtenidas sean dimensionalmente homogéneas. El primer paso es decidir que variables afectan ó intervienen en el fenómeno. Si se llegaran a introducir variables que realmente no intervengan ó afecten al fenómeno, la ecuación final puede resultar muy complicada. Por el contrario si se omiten variables que sean de importancia los resultados obtenidos serán incompletos y erróneos.

Para determinar que variables son importantes, es necesari-

rio el plantear una teoría a cerca del mecanismo del fenómeno, ya que el análisis dimensional no proporciona información a cerca de esto. Constituyendo esto una de las mayores limitaciones del método. Una vez determinadas las variables que afectan se determinan las dimensiones de estas, en seguida se substituyen las dimensiones en una ecuación del tipo (4) agrupando los exponentes de cada dimensión. a continuación se establece la condición de que la suma de los exponentes de cada dimensión debe ser la misma en los dos términos de la igualdad. Con esto se podrá establecer una ecuación para cada dimensión que intervenga. Generalmente se tendrá que el número de incógnitas sea mayor al número de ecuaciones, por lo tanto deben de determinarse las incógnitas, es decir, los exponentes de las variables dimensionales, en términos de otro u otras variables ó incógnitas, la incógnita ó incógnitas que se escojan deben contener todas las dimensiones fundamentales.

A continuación se substituye la solución a las incógnitas en la ecuación planteada para éstas, realizando las manipulaciones matemáticas necesarias para obtener una ecuación del tipo siguiente.,

$$N_1 \propto N_2^a$$

de donde

$$N_1 = k N_2^a \quad (5)$$

En donde N_1 y N_2 son números adimensionales formados por la agrupación de las variables escogidas, a es el exponente escogido para resolver las ecuaciones y k es la constante de proporcionalidad.

La ecuación (5) puede ajustarse a una línea recta mediante

$$\text{Log}(H_1) = \text{Log } k + a \text{ Log}(N_2) \quad (6)$$

A partir de la ecuación anterior es posible encontrar - los valores de k y a mediante la aplicación adecuada de la - técnica de ajustes de rectas, por ejemplo, mínimos cuadrados. El propósito de ésta práctica es ilustrar lo anterior median - te un ejemplo simple.

Supóngase que se tiene un tanque de área transversal cons - tante inicialmente lleno con un líquido hasta una altura h_0 , - el cual se vacía por medio de un tubo situado en el centro de - la base del tanque.

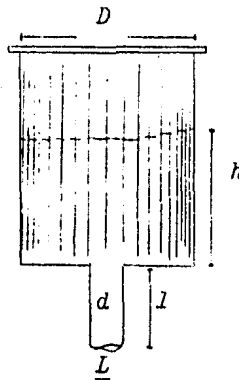


Figura 1. Esquematzación de la descarga de un tanque.

A primera instancia al analizar el fenómeno surgen las - siguientes dudas.,

- 1) ¿ Que tiempo tardará en vaciarse el tanque.?
- 2) ¿ De que manera varia la altura con el tiempo.?
- 3) ¿ De que manera varia la velocidad de flujo con el - tiempo.?
- 4) ¿ Cómo varia el tiempo de descarga con el diámetro del tubo en la descarga.?

Inicialmente se podría establecer las siguientes condiciones para la descarga del tanque.

- a) El proceso ocurre a temperatura constante.
- b) El flujo de salida varía con la altura del líquido.
- c) El gasto como una función del diámetro de descarga.

Ahora bien, se hace necesario el establecer un modelo matemático que represente el fenómeno, para tal efecto se empleará la siguiente nomenclatura.,

| | | |
|-----------------|-------------------------------------------|----------|
| \underline{L} | ; Gasto volumétrico de salida | m^3/s |
| A | ; Area transversal del tanque. | m^2 |
| A_0 | ; Area transversal del tubo de descarga | m^2 |
| h | ; Altura del líquido en cualquier momento | m |
| ρ | ; Densidad del líquido. | Kg/m^3 |
| θ | ; Tiempo | s |

Es importante hacer notar que no fué incluida dentro de las variables la longitud del tubo de descarga, ya que ésta será una constante para todos los casos.

La cantidad de materia, masa, en el tanque en cualquier instante es el producto de la densidad por el volumen.

$$m = \rho Ah$$

La variación de la masa del líquido estará dada entonces por.,

$$\frac{d(\rho Ah)}{d\theta} = -\rho \underline{L} \quad (7)$$

El signo menos indica que el proceso sufre un decremento

en la masa del líquido contenida en el tanque, dado que ρ y A son constantes la ecuación (7) se simplifica a.,

$$\rho A \frac{dh}{dt} = - \rho \underline{L}$$

de donde

$$\frac{dh}{dt} = - \frac{\underline{L}}{A} \quad (8)$$

De tal manera que tenemos ahora una ecuación con dos incógnitas (h y \underline{L}), de donde se desprende que es necesario encontrar otra relación. Analizando el fenómeno notamos que el flujo ocurre debido a una diferencia de presiones,

$$\Delta P = \text{Presión en el fondo del tanque.} - \text{Presión en la descarga.}$$

(9)

La presión en la descarga es la atmosférica, la del fondo del tanque es mayor debido al peso del líquido contenido en el tanque, el cual ejerce una presión hidrostática, la cual a su vez provoca que el líquido sea forzado hacia afuera, y que cuanto mayor sea la diferencia entre las presiones mayor será el flujo, y en consecuencia \underline{L} (gasto volumétrico) es una función de la caída de presión.

$$\underline{L} = f(\Delta P). \quad (10)$$

Por otra parte la presión hidrostática es proporcional a la altura del líquido en el tanque.,

$$\text{Presión hidrostática} = \rho \frac{g}{g_c} h \quad (11)$$

Debido a esto, es necesario incluir la densidad del líquido como otra variable que afecta al fenómeno, y desde luego el área del orificio de descarga y el factor de conversión g_c debido a estar trabajando con fuerza y masa.

De tal manera, y en base a lo discutido, podemos establecer.,

$$\underline{L} = f (\Delta P, \rho, A_o, g_c) \quad (12)$$

Las dimensiones de cada una de las variables son.,

$$\begin{aligned} (\underline{L}) &= L^3 \theta^{-1} & (A_o) &= L^2 \\ (\Delta P) &= F L^{-2} & (g_c) &= MLF^{-1} \theta^{-2}. \\ (\rho) &= M L^{-3} \end{aligned}$$

Entonces.,

$$\underline{L} \propto (\Delta P)^a (\rho)^b (A_o)^c (g_c)^d \quad (13)$$

Sustituyendo las dimensiones de las variables.,

$$L^3 \theta^{-1} \propto (FL^{-2})^a (ML^{-3})^b (L^2)^c (MLF^{-1} \theta^{-2})^d \quad (14)$$

Agrupando los exponentes de cada dimensión.,

$$L^3 \theta^{-1} \propto M^{b+d} L^{-2a-3b+2c+d} \theta^{-2d} F^{a-d} \quad (15)$$

Recordando la condición de los exponentes de cada dimensión.,

$$\text{Para } M : 0 = b + d \quad (16)$$

$$L : 3 = -2a - 3b + 2c + d \quad (17)$$

$$G : -1 = -2d \quad (18)$$

$$F : 0 = a - d \quad (19)$$

Notese que en éste caso se tiene un sistema de cuatro ecuaciones con cuatro incógnitas de manera tal que el sistema está determinado.

De la ecuación (18)

$$d = 1/2$$

De la ecuación (19)

$$a = d = 1/2$$

De la ecuación (16)

$$b = -d = -1/2$$

Sustituyendo los resultados en la ecuación (17).

$$3 = -2(1/2) - 3(-1/2) + 2c + 1/2$$

De donde

$$c = 1$$

Reemplazando las incógnitas por sus valores en la ecuación (13).

$$\underline{L} \propto (\Delta P)^{1/2} (\rho)^{-1/2} (A_0)^1 (g_c)^{1/2} \quad (20)$$

Agrupando términos y eliminando el signo de proporcionalidad tenemos.,

$$\underline{L} = k A_0 \left(\frac{\Delta P g_c}{\rho} \right)^{1/2} \quad (21)$$

Formando grupos adimensionales.,

$$k = \frac{\underline{L}}{A_0 \left(\frac{\Delta P g_c}{\rho} \right)^{1/2}} \quad (22)$$

Llamando N_1 al término de la derecha tenemos.,

$$k = N_1 \quad (23)$$

En éste caso en especial no es necesario aplicar el método de mínimos cuadrados ya que únicamente se requiere comprobar que N_1 es constante para cada diámetro de tubo diferente. Debido a los errores experimentales habra variaciones en el valor de N_1 para un mismo tubo, de manera, que es necesario obtener un valor promedio.

Una vez determinado el valor de k para cada tubo se sustituye la ecuación (11) en la ecuación (21).

$$\begin{aligned} \underline{L} &= k A_0 \left(\frac{g_c \rho g}{\rho} h \right)^{1/2} \\ &= k A_0 (gh)^{1/2} \end{aligned} \quad (24)$$

Agrupando los términos constantes tenemos.,

$$\begin{aligned} \underline{L} &= k A_0 (g)^{1/2} (h)^{1/2} \\ &= k' (h)^{1/2} \end{aligned} \quad (25)$$

En la ecuación anterior k' es una constante para un tubo de descarga determinado.

La ecuación (25) es precisamente la relación buscada - entre L y h que combinada con la ecuación (8) nos dará la variación de la altura con respecto al tiempo.

De modo que sustituyendo la ecuación (25) en la ecuación (8) resulta.,

$$\frac{d h}{d \theta} = - \frac{k'}{A} h^{1/2} \quad (26)$$

Separando variables e integrando entre los límites h_0 - (altura inicial del líquido en el tanque) y h (cualquier otra altura por debajo de h_0) y el tiempo $t = a$ cero y $t = \theta$ tenemos

$$\begin{aligned} \frac{d h}{h^{1/2}} &= - \frac{k'}{A} d \theta \\ 2 (h^{1/2} - h_0^{1/2}) &= - \frac{k'}{A} \theta \end{aligned} \quad (27)$$

Despejando el valor de h tenemos.,

$$h = \left(h_0^{1/2} - \frac{k'}{2A} \theta \right)^2 \quad (28)$$

Desarrollando el binomio.,

$$h = h_0 - \frac{k'}{A} h_0^{1/2} \theta + \frac{(k')^2}{4A^2} \theta^2 \quad (29)$$

Sustituyendo el valor de k'

$$h = h_0 - (gh_0)^{1/2} \frac{A_0}{A} \theta + \left(\frac{kA_0}{2A} \right)^2 g \theta^2 \quad (30)$$

DATOS OBTENIDOS

Características de los tubos de descarga :

| Tubo No | ϕ (in) | D _{ext.} (cm) | D _{int.} (cm) |
|---------|-------------|------------------------|------------------------|
| 1 | 1/4 | 1.3716 | 0.9246 |
| 2 | 3/8 | 1.7145 | 1.2522 |
| 3 | 1/2 | 2.1336 | 1.5800 |
| 4 | 3/4 | 2.6670 | 2.0930 |
| 5 | 1 | 3.3401 | 2.6645 |
| 6 | 1 1/4 | 4.2164 | 3.5052 |
| 7 | 1 1/2 | 4.8260 | 4.0894 |

Diametro interior del tanque : 57.2 cm

Tiempos transcurridos para los diferentes tubos a diferentes alturas.

$\phi = 1/4$

| h (cm) | θ_1 (s) | θ_2 (s) | θ_3 (s) | $\bar{\theta}$ (s) |
|--------|----------------|----------------|----------------|--------------------|
| 71 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 63 | 123 | 123 | 124 | 123 |
| 55 | 252 | 250 | 252 | 251 |
| 47 | 385 | 383 | 385 | 384 |
| 39 | 522 | 521 | 522 | 522 |
| 31 | 675 | 674 | 676 | 675 |

$\phi = 3/8$

| h (cm) | θ_1 (s) | θ_2 (s) | θ_3 (s) | $\bar{\theta}$ (s) |
|--------|----------------|----------------|----------------|--------------------|
| 71 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 63 | 71 | 70 | 70 | 70 |
| 55 | 145 | 144 | 143 | 144 |
| 47 | 221 | 220 | 219 | 220 |
| 39 | 300 | 299 | 298 | 299 |
| 31 | 385 | 385 | 384 | 385 |

$\phi = 1/2$

| h (cm) | θ_1 (s) | θ_2 (s) | θ_3 (s) | $\bar{\theta}$ (s) |
|--------|----------------|----------------|----------------|--------------------|
| 71 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 63 | 33.5 | 33.5 | 33.5 | 33.5 |
| 55 | 66.5 | 68.5 | 67.1 | 67.5 |
| 47 | 101.5 | 103 | 102.5 | 102.5 |
| 39 | 139.5 | 139.5 | 138.5 | 139.5 |
| 31 | 179.5 | 180.1 | 179.3 | 179.5 |

$\phi = 3/4$

| h (cm) | θ_1 (s) | θ_2 (s) | θ_3 (s) | $\bar{\theta}$ (s) |
|--------|----------------|----------------|----------------|--------------------|
| 71 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 63 | 18 | 18 | 18 | 18 |
| 55 | 35 | 36 | 35.6 | 35 |
| 47 | 54 | 54 | 54 | 54 |
| 39 | 74 | 74 | 74 | 74 |
| 31 | 95.4 | 95 | 95 | 95 |

$\phi = 1$

| h (cm) | θ_1 (s) | θ_2 (s) | θ_3 (s) | $\bar{\theta}$ (s) |
|--------|----------------|----------------|----------------|--------------------|
| 71 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 63 | 10.2 | 10.6 | 10.6 | 10.6 |
| 55 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 47 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 39 | 43.6 | 44 | 44 | 43.7 |
| 31 | 56 | 56 | 56 | 56 |

$$\phi = 1 \frac{1}{4}$$

| h (cm) | θ_1 (s) | θ_2 (s) | θ_3 (s) | $\bar{\theta}$ (s) |
|--------|----------------|----------------|----------------|--------------------|
| 71 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 63 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| 55 | 13 | 12 | 11 | 12 |
| 47 | 19 | 19 | 18 | 19 |
| 39 | 25.6 | 25.6 | 25.4 | 25.5 |
| 31 | 33 | 33 | 32.8 | 33 |

$$\phi = 1 \frac{1}{2}$$

| h (cm) | θ_1 (s) | θ_2 (s) | θ_3 (s) | $\bar{\theta}$ (s) |
|--------|----------------|----------------|----------------|--------------------|
| 71 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 63 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 55 | 10.2 | 10.2 | 10.3 | 10.3 |
| 47 | 15.4 | 15.4 | 15.4 | 15.4 |
| 39 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 31 | 29.6 | 29.4 | 29.4 | 29.5 |

PROCESAMIENTO DE LOS DATOS

| ϕ | D_{int} (m) | A_0 (m ²) | |
|--------|---------------|-------------------------|---------------------------------|
| 1/4 | 9.246 E-3 | 6.714 E-5 | $A_0 = \frac{\pi}{4} D_{int}^2$ |
| 3/8 | 1.252 E-2 | 1.232 E-4 | |
| 1/2 | 1.580 " | 1.961 " | $A = \frac{\pi}{4} (.572)^2$ |
| 3/4 | 2.093 " | 3.441 " | |
| 1 | 2.664 " | 5.576 " | $A = 0.250 \text{ m}^2$ |
| 1 1/4 | 3.505 " | 9.650 " | |
| 1 1/2 | 4.089 " | 1.313 E-3 | |

$$k = \frac{\underline{L}}{A_0 \left(\frac{\Delta P}{\rho} \right)^{1/2}} = \frac{\underline{L}}{A_0 (\text{g h})^{1/2}} \quad ; \quad \underline{L} = \frac{\Delta V}{\Delta \theta} \quad ; \quad g = 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$\phi = 1/4$

| h (m) | ΔV (m ³) | $\bar{\theta}$ (s) | $\Delta\theta$ (s) | \underline{L} (m ³ /s) | k |
|---------|------------------------------|--------------------|--------------------|-------------------------------------|-------|
| 0.71 | - | 0 | - | - | - |
| 0.63 | 2 E-2 | 123 | 123 | 1.626 E-4 | 0.974 |
| 0.55 | " | 251 | 128 | 1.563 " | 1.002 |
| 0.47 | " | 384 | 133 | 1.504 " | 1.043 |
| 0.39 | " | 522 | 138 | 1.449 " | 1.104 |
| 0.31 | " | 675 | 153 | 1.307 " | 1.116 |

$\bar{k} = 1.048$

$\phi = 3/8$

| h (m) | ΔV (m ³) | $\bar{\theta}$ (s) | $\Delta\theta$ (s) | \underline{L} (m ³ /s) | k |
|---------|------------------------------|--------------------|--------------------|-------------------------------------|-------|
| 0.71 | - | 0 | - | - | - |
| 0.63 | 2 E-2 | 70 | 70 | 2.857 E-4 | 0.933 |
| 0.55 | " | 144 | 74 | 2.703 " | 0.945 |
| 0.47 | " | 220 | 76 | 2.632 " | 0.995 |
| 0.39 | " | 299 | 79 | 2.532 " | 1.051 |
| 0.31 | " | 385 | 86 | 2.326 " | 1.083 |

$\bar{k} = 1.001$

$\phi = 1/2$

| h (m) | ΔV (m ³) | $\bar{\theta}$ (s) | $\Delta\theta$ (s) | \underline{L} (m ³ /s) | k |
|---------|------------------------------|--------------------|--------------------|-------------------------------------|-------|
| 0.71 | - | 0 | - | - | - |
| 0.63 | 2 E-2 | 33.5 | 33.5 | 5.970 E-4 | 1.225 |
| 0.55 | " | 66.5 | 33 | 6.061 " | 1.331 |
| 0.47 | " | 101.5 | 35 | 5.714 " | 1.357 |
| 0.39 | " | 139.5 | 37 | 5.405 " | 1.410 |
| 0.31 | " | 179.5 | 40 | 5.000 " | 1.462 |

$\bar{k} = 1.357$

$\phi = 3/4$

| h (m) | ΔV (m ³) | $\bar{\theta}$ (s) | $\Delta\theta$ (s) | \underline{L} (m ³ /s) | k |
|-------|------------------------------|--------------------|--------------------|-------------------------------------|-------------------|
| 0.71 | - | 0 | - | - | - |
| 0.63 | 2 E-2 | 18 | 18 | 1.111 E-3 | 1.299 |
| 0.55 | " | 35 | 17 | 1.175 " | 1.472 |
| 0.47 | " | 54 | 19 | 1.053 " | 1.425 |
| 0.39 | " | 74 | 20 | 1.000 " | 1.486 |
| 0.31 | " | 95 | 21 | 9.524 E-4 | 1.587 |
| | | | | | $\bar{k} = 1.454$ |

$\phi = 1$

| h (m) | ΔV (m ³) | $\bar{\theta}$ (s) | $\Delta\theta$ (s) | \underline{L} (m ³ /s) | k |
|-------|------------------------------|--------------------|--------------------|-------------------------------------|-------------------|
| 0.71 | - | 0 | - | - | - |
| 0.63 | 2 E-2 | 10.6 | 10.6 | 1.887 E-3 | 1.361 |
| 0.55 | " | 21 | 10.4 | 1.923 " | 1.485 |
| 0.47 | " | 32 | 11 | 1.818 " | 1.519 |
| 0.39 | " | 43.7 | 11.7 | 1.709 " | 1.567 |
| 0.31 | " | 56 | 12.3 | 1.626 " | 1.672 |
| | | | | | $\bar{k} = 1.521$ |

$\phi = 1 \ 1/4$

| h (m) | ΔV (m ³) | $\bar{\theta}$ (s) | $\Delta\theta$ (s) | \underline{L} (m ³ /s) | k |
|-------|------------------------------|--------------------|--------------------|-------------------------------------|-------------------|
| 0.71 | - | 0 | - | - | - |
| 0.63 | 2 E-2 | 6 | 6 | 3.333 E-3 | 1.389 |
| 0.55 | " | 12 | 6 | 3.333 " | 1.487 |
| 0.47 | " | 19 | 7 | 2.857 " | 1.379 |
| 0.39 | " | 25.5 | 6.5 | 3.077 " | 1.630 |
| 0.31 | " | 33 | 7.5 | 2.667 " | 1.585 |
| | | | | | $\bar{k} = 1.494$ |

$$\phi = 1 \frac{1}{2}$$

| h (m) | ΔV (m ³) | $\bar{\theta}$ (s) | $\Delta \theta$ (s) | \underline{L} (m ³ /s) | k |
|-------|------------------------------|--------------------|---------------------|-------------------------------------|-------------------|
| 0.71 | - | 0 | - | - | - |
| 0.63 | 2 E-2 | 5 | 5 | 4.000 E-3 | 1.225 |
| 0.55 | " | 10.3 | 5.3 | 3.774 " | 1.237 |
| 0.47 | " | 15.4 | 5.1 | 3.992 " | 1.391 |
| 0.39 | " | 21 | 5.6 | 3.571 " | 1.390 |
| 0.31 | " | 29.5 | 8.5 | 2.353 " | 1.027 |
| | | | | | $\bar{k} = 1.253$ |

Con los diferentes valores de \bar{k} obtenidos para los tubos podemos predecir el nivel del tanque para cualquier tiempo, mediante la siguiente ecuación :

$$h = h_0 - \frac{\sqrt{g h_0}}{A} A_0 k \theta + \frac{g}{(2 A)^2} (A_0 k)^2 \theta^2$$

$$h_0 = 0.71 \text{ m}$$

$$A = 0.25 \text{ m}^2$$

| ϕ (in) | A_0 (m ²) | k |
|-------------|-------------------------|-------|
| 1/4 | 6.714 E-5 | 1.048 |
| 3/8 | 1.232 E-4 | 1.001 |
| 1/2 | 1.961 " | 1.357 |
| 3/4 | 3.441 " | 1.454 |
| 1 | 5.576 " | 1.521 |
| 1 1/4 | 9.650 " | 1.494 |
| 1 1/2 | 1.313 E-3 | 1.253 |

$\phi = 1/4$

| $\bar{\theta}$ (s) | h_{exp} (m) | h_{pred} (m) |
|--------------------|----------------------|-----------------------|
| 0 | 0.71 | 0.71 |
| 123 | 0.63 | 0.61 |
| 251 | 0.55 | 0.51 |
| 384 | 0.47 | 0.39 |
| 522 | 0.39 | 0.27 |
| 675 | 0.31 | 0.12 |

 $\phi = 3/8$

| $\bar{\theta}$ (s) | h_{exp} (m) | h_{pred} (m) |
|--------------------|----------------------|-----------------------|
| 0 | 0.71 | 0.71 |
| 70 | 0.63 | 0.62 |
| 144 | 0.55 | 0.51 |
| 220 | 0.47 | 0.39 |
| 299 | 0.39 | 0.27 |
| 385 | 0.31 | 0.12 |

 $\phi = 1/2$

| $\bar{\theta}$ (s) | h_{exp} (m) | h_{pred} (m) |
|--------------------|----------------------|-----------------------|
| 0 | 0.71 | 0.71 |
| 33.5 | 0.63 | 0.61 |
| 67.5 | 0.55 | 0.51 |
| 102.5 | 0.47 | 0.39 |
| 139.5 | 0.39 | 0.27 |
| 179.5 | 0.31 | 0.12 |

 $\phi = 3/4$

| $\bar{\theta}$ (s) | h_{exp} (m) | h_{pred} (m) |
|--------------------|----------------------|-----------------------|
| 0 | 0.71 | 0.71 |
| 18 | 0.63 | 0.61 |
| 35 | 0.55 | 0.51 |
| 54 | 0.47 | 0.40 |
| 74 | 0.39 | 0.27 |
| 95 | 0.31 | 0.12 |

 $\phi = 1$

| $\bar{\theta}$ (s) | h_{exp} (m) | h_{pred} (m) |
|--------------------|----------------------|-----------------------|
| 0 | 0.71 | 0.71 |
| 10.6 | 0.63 | 0.61 |
| 21 | 0.55 | 0.51 |
| 32 | 0.47 | 0.39 |
| 43.7 | 0.39 | 0.26 |
| 56 | 0.31 | 0.12 |

 $\phi = 1 1/4$

| $\bar{\theta}$ (s) | h_{exp} (m) | h_{pred} (m) |
|--------------------|----------------------|-----------------------|
| 0 | 0.71 | 0.71 |
| 6 | 0.63 | 0.62 |
| 12 | 0.55 | 0.52 |
| 19 | 0.47 | 0.39 |
| 25.5 | 0.39 | 0.27 |
| 33 | 0.31 | 0.12 |

$$\phi = 1 \frac{1}{2}$$

| $\bar{\theta}$ (s) | h_{exp} (m) | h_{pred} (m) |
|--------------------|----------------------|-----------------------|
| 0 | 0.71 | 0.71 |
| 5 | 0.63 | 0.62 |
| 10.3 | 0.55 | 0.52 |
| 15.4 | 0.47 | 0.42 |
| 21 | 0.39 | 0.30 |
| 29.5 | 0.31 | 0.10 |

Ahora se predeciran los tiempos de descarga para los diferentes niveles del agua en el tanque .

Para poder hacer la predicción se utilizara la siguiente ecuación :

$$\underbrace{\left(\frac{g}{(2A)^2} (A_0 k)^2 \right) \theta^2}_a - \underbrace{\left(\frac{\sqrt{g h_0}}{A} A_0 k \right) \theta}_b + \underbrace{(h_0 - h)}_c = 0$$

$$a \theta^2 - b \theta + c = 0 ; \quad \theta = \frac{b \pm \sqrt{b^2 - 4 a c}}{2 a}$$

| ϕ (in) | a | b | h (m) | c |
|-------------|-----------|-----------|-------|------|
| 1/4 | 1.942 E-7 | 7.430 E-4 | 0.71 | 0 |
| 3/8 | 5.968 " | 1.302 E-3 | 0.63 | 0.08 |
| 1/2 | 2.777 E-6 | 2.809 " | 0.55 | 0.16 |
| 3/4 | 9.818 " | 5.282 " | 0.47 | 0.24 |
| 1 | 2.822 E-5 | 8.995 " | 0.39 | 0.32 |
| 1 1/4 | 8.158 " | 1.523 E-2 | 0.31 | 0.40 |
| 1 1/2 | 1.063 E-4 | 1.738 " | | |

| h (m) | $\emptyset = 1/4$ | | $\emptyset = 3/8$ | |
|-------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|
| | $\theta_{\text{exp}} (s)$ | $\theta_{\text{pred}} (s)$ | $\theta_{\text{exp}} (s)$ | $\theta_{\text{pred}} (s)$ |
| 0.71 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0.63 | 123 | 111 | 70 | 63 |
| 0.55 | 251 | 229 | 144 | 131 |
| 0.47 | 384 | 356 | 220 | 203 |
| 0.39 | 522 | 495 | 299 | 282 |
| 0.31 | 675 | 684 | 385 | 370 |

| h (m) | $\emptyset = 1/2$ | | $\emptyset = 3/4$ | |
|-------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|
| | $\theta_{\text{exp}} (s)$ | $\theta_{\text{pred}} (s)$ | $\theta_{\text{exp}} (s)$ | $\theta_{\text{pred}} (s)$ |
| 0.71 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0.63 | 33.5 | 29.3 | 18 | 16 |
| 0.55 | 67.5 | 60.6 | 35 | 32 |
| 0.47 | 102.5 | 94.2 | 54 | 50 |
| 0.39 | 139.5 | 130.8 | 74 | 70 |
| 0.31 | 179.5 | 171.5 | 95 | 91 |

| h (m) | $\emptyset = 1$ | | $\emptyset = 1 \ 1/4$ | |
|-------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|
| | $\theta_{\text{exp}} (s)$ | $\theta_{\text{pred}} (s)$ | $\theta_{\text{exp}} (s)$ | $\theta_{\text{pred}} (s)$ |
| 0.71 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0.63 | 10.6 | 9.2 | 6 | 5 |
| 0.55 | 21 | 19 | 12 | 11 |
| 0.47 | 32 | 30 | 19 | 17 |
| 0.39 | 43.7 | 41 | 25.5 | 24 |
| 0.31 | 56 | 54 | 33 | 32 |

| h (m) | θ_{exp} (s) | θ_{pred} (s) |
|---------|---------------------------|----------------------------|
| 0.71 | 0 | 0 |
| 0.63 | 5 | 5 |
| 0.55 | 10.3 | 9.8 |
| 0.47 | 15.4 | 15.2 |
| 0.39 | 21 | 21 |
| 0.31 | 29.5 | 27.7 |

RECOMENDACIONES SOBRE LA PRACTICA.

El establecimiento de un modelo matemático que represente un fenómeno en toda su magnitud o cuando menos en su mayor parte es una cuestión muy frecuente en la resolución de los problemas de Ingeniería Química, por tal motivo en esta práctica sugerimos se expliquen los fundamentos del análisis dimensional y sus aplicaciones, verificando que los alumnos dominen lo referente a: dimensiones, unidades, sistema de unidades y análisis dimensional de ecuaciones.

Procurando enfatizar la aplicación de el método de Rayleigh de análisis dimensional, aplicándolo al caso específico de la descarga de un tanque.

Ya en la parte experimental resulta conveniente que se compruebe si en el tanque inferior no existen impurezas que contaminen el sistema.

Para que se obtengan datos precisos de modo rápido no deben utilizarse ni el tubo más pequeño ni el más grande de los disponibles en el sistema.

Los datos de tiempo para las diferentes determinaciones deben determinarse sin detener el cronometro.

En otro orden de cosas, resulta conveniente el colocar un interruptor en la borbota; el tanque inferior debe ser de mayor volumen y la escala del tanque superior debe colocarse directamente sobre el tubo de nivel.

BIBLIOGRAFIA CUMENTADA.

*" APLICACION DEL ANALISIS DIMENSIONAL A LA DESCARGA
DE UN TANQUE "*

1.- Dimensional Analysis & Theory of Models.

Langmar Henry.

Jhon Wiley & Sons, USA 1951.

Cubre lo correspondiente a unidades y dimensiones, principios del analisis dimensional, metodos del analisis dimensional, y proporciona diversas aplicaciones:

2.- Encyclopedia of Chemical Technology Vol. VII.

Kirk/Othmer.

Jhon Wiley & Sons Inc., USA 1965.

Trata ampliamente lo referente a dimensiones y sistemas de unidades, principios y metodos del analisis dimensional dando ejemplos de aplicación.

3.- Fluid Dynamics & Heat Transfer.

Knudsen/Kats.

Mc Graw-Hill/Kogakusha, Tokio 1956.

Enfoca el estudio del analisis dimensional al campo de la Ingenieria Química, ocupandose brevemente del estudio de los tres metodos del analisis dimensional, dando un ejemplo de aplicación, por ultimo trata de las limitaciones del método.

4.- Introducción a la Ingenieria Química.

Littlejohn/Keenaghan.

C.E.C.S.A. México 1977.

Menciona los principios del analisis dimensional, explica ampliamente el método de Rayleigh y el de Buckingham, con aplicaciones.

5.- *Introducción a la Ingeniería Química.*

Russell/Dean

Limusa, México 1976.

De modo muy amplio trata el tema y problema de la descarga de un tanque, aplicando diferentes métodos de solución - además de proporcionar resultados experimentales en los - que se realiza un análisis profundo.

6.- *Experimentos sobre fenómenos de transporte.*

Crosby

Centro regional de ayuda técnica, Argentina 1968.

Proporciona el estudio de la descarga de un tanque de - acuerdo con los regímenes de flujo laminar y turbulento, describiendo un equipo para realizar el experimento.

MANUAL DEL PROFESOR.

LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA.

PROPUESTA DE PRACTICA PARA INGENIERIA QUIMICA I.

PRACTICA No. 4.

**BALANCE DE MATERIA EN DESTILACION
EN LA TORRE DE PLATOS .**

FACULTAD DE QUIMICA.

DIVISION DE ESTUDIOS PROFESIONALES.

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUIMICA.



MANUAL DEL PROFESOR.

PROPUESTA DE PRACTICA PARA INGENIERIA QUIMICA I.

PRACTICA No. 4.

" BALANCE DE MATERIA EN DESTILACION EN LA TORRE DE PLATOS ".

Objetivos de la práctica.

La destilación constituye un proceso químico industrial típico. Con esta práctica se trata de ejemplificar la aplicación del balance de materia, en tal operación, es establecer las bases del mismo y describir la importancia y limitaciones de dicho balance.

Conceptos a tratar.

- Balance de materia.
- Destilación en torre de platos.

PRACTICA DE INGENIERIA QUIMICA I BALANCE DE MATERIA.

PROPUESTA DE PRACTICA No. 4.

" BALANCE DE MATERIA EN DESTILACION EN LA TORRE DE PLATOS "

El objeto de la destilación es separar, mediante vaporización de una mezcla líquida de sustancias volátiles miscibles en sus componentes individuales, o bien en algunos casos, en grupos de componentes.

- a) *Equilibrio líquido-vapor.* - los datos básicos en cualquier problema de destilación son los de equilibrio - entre las fases líquida y gaseosa del sistema sometido a destilación.

Las ecuaciones empleadas para poder evaluar el equilibrio de fases, en algunos sistemas, (ideales), son;

1.- La ecuación de Antoine.

$$\log_{10} P = A - \frac{B}{C + t}$$

(P) = mm Hg.

(t) = °C.

2.- La ley de Raoult.

$$\bar{P}_A = P_A^0 x$$

Cabe mencionar que la ley de Raoult sólo es aplicable a mezclas de sustancias que son químicamente similares y cuando las moléculas de las dos sustancias no tienen acción alguna entre sí.

b) Diagrama de puntos de ebullición.- La figura No 1 re - presenta la realación que existe entre los puntos de ebullición y la composición de equilibrio, para todas - las mezclas de un líquido A (de punto de ebullición - t_A) y un líquido B (de punto de ebullición t_B), siendo el líquido A el más volátil.

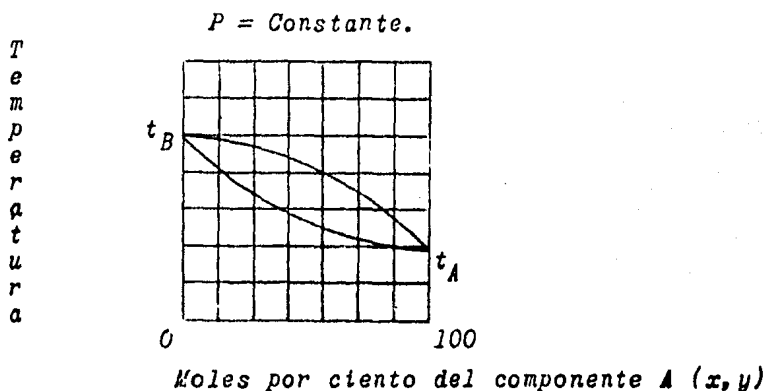


Figura 1. Diagrama de puntos de ebullición.

En el diagrama se han representado las temperaturas en las ordenadas y las composiciones en las abscisas. El diagrama está formado por dos curvas, cuyos extremos coinciden. En general el diagrama de los puntos de ebullición debe determinarse experimentalmente, pudiendose efectuar también mediante relaciones teóricas, la determinación de las curvas se efectúa por un procedimiento físico-químico.

c) Ley de Raoult.- En algunos casos especiales es posible, obtener el diagrama de los puntos de ebullición con cierta cuantía a partir de datos de presión de vapor de los componentes puros. Tales cálculos están basados en la Ley de Raoult, ésta ley aplicable únicamente a pocas mezclas en todas las concentraciones po

sibles, establece que ;

" A temperatura constante, la presión parcial de un componente de la mezcla, es igual a su fracción molar, multiplicada, por la presión de vapor del mismo componente en estado puro a la temperatura considerada."

$$\bar{p}_A = P_A^0 x$$

d) Volatilidad relativa.- Para una fase vapor en equilibrio con una fase líquida, la volatilidad relativa - del componente más volátil A, con respecto al menos - volátil B, se define por la relación;

$$= \frac{y_A / x_A}{y_B / x_B}$$

siendo.,

α_{AB} = Volatilidad relativa del componente A con respecto al componente B.

y = Fracción molar del componente en la fase vapor.

x = Fracción molar del componente en la fase líquida.

Para el caso de un sistema binario, $y_B = 1 - y_A$, $x_B = 1 - x_A$, sustituyendo en la ecuación de volatilidad relativa - y eliminando los subíndices tenemos;

$$\alpha = \frac{y}{(1-y)} \cdot \frac{(1-x)}{x}$$

Si la fase líquida obedece a la ley de Raoult y la fase gaseosa a la Ley de Dalton

$$y = \frac{P_A^0 \cdot x}{P}$$

$$1 - y = \frac{P_B^0 (1 - x)}{P}$$

Que por sustitución en la ecuación anterior nos da el siguiente resultado.

$$\alpha = \frac{P_A^0}{P_B^0}$$

e) Diagrama de equilibrio líquido-vapor.- En el estudio de los problemas de destilación se utiliza una forma simplificada de los diagramas temperatura vs composición, que recibe el nombre de diagrama de equilibrio líquido-vapor,

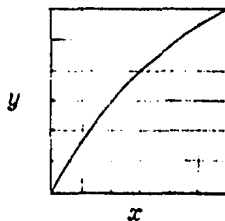


Figura 2. Diagrama normal de equilibrio.

y representa la relación que existe entre la composición del líquido y el vapor que están en equilibrio - a una presión constante y determinada. La construcción de la curva de equilibrio líquido-vapor es fácil cuando se dispone del diagrama de puntos de ebullición. Únicamente es necesario elegir una temperatura, trazar por ella la vertical hasta que corte a la línea inferior c de líquido, desde este punto trazar una horizontal hasta que corte la línea superior o de vapor y desde aquí una vertical hacia abajo hasta el eje de composición, obteniéndose la composición del vapor en equilibrio con ese líquido.

Métodos de destilación.

En la práctica la destilación puede llevarse a cabo por dos métodos principales. El primero implica la producción de un vapor por la ebullición de la mezcla líquida que se quiere separar, condensándose seguidamente estos vapores, sin llevar ninguna porción de líquido condensado como reflujo al calderín para que se ponga en contacto con el vapor, que se desprende. En el segundo método se envía una parte de condensado al calderín de tal manera que este retorno se encuentra en íntimo con tacto y en contracorriente con los vapores que se desprenden y van al condensador. Este último método tiene una gran importancia que ha recibido el nombre especial de "rectificación".

Balance de materia.

- Balance global de materia.

En la figura 3 se representa un diagrama de balance de materia para un equipo ó columna típica de destilación continua. La columna se alimenta con F (kg mol/hr) de concentración x_F , y de ella salen D (kg mol/hr) de producto de cabeza de concentración x_D y B (kg mol/hr) de colas con una concentración

x_B . De tal manera que se pueden escribir dos balances de materia independientes.

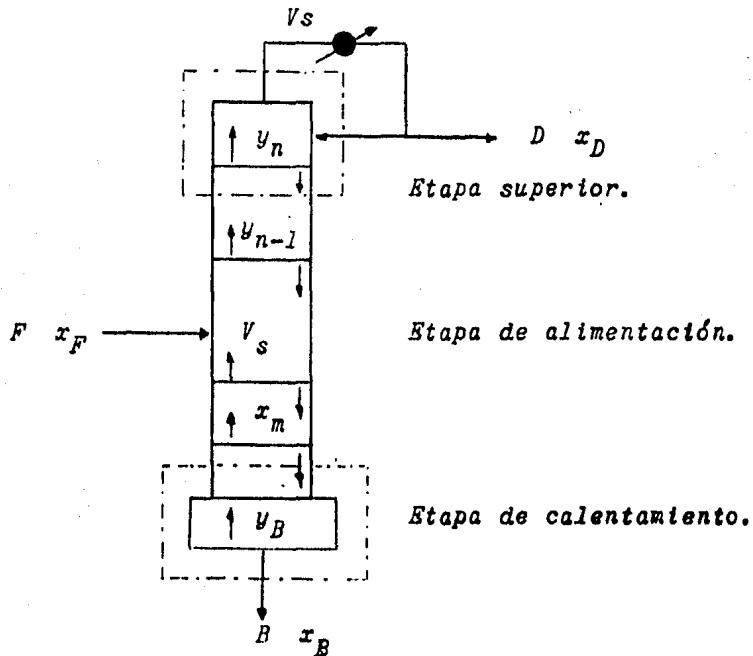


Figura 3. Balance de materia (Columna de destilación)

- Balance global de materia.

$$F = D + B$$

- Balance parcial para el componente A.

$$F x_F = D x_D + B x_B .$$

Puesto que las dos ecuaciones anteriores no contienen más que dos incognitas D y B puede resolverse el sistema.,

Eliminando B de estas ecuaciones.

$$\frac{D}{F} = \frac{x_F - x_B}{x_D - x_B}$$

Eliminando D resulta.

$$\frac{B}{F} = \frac{x_D - x_F}{x_D - x_B}$$

Estas ecuaciones son validas para todos los flujos de vapor y líquido en el interior de la columna.

RECOMENDACIONES SOBRE LA PRACTICA.

Esta es la práctica introductoria a los balances de materia debe hablarse a cerca de la importancia que tienen las operaciones unitarias en Ingeniería Química, especialmente la destilación como un proceso de separación de mezclas.

El aclarar los conceptos mas frecuentemente empleados como son equilibrio líquido-vapor y los diagramas, y como se calculan para un sistema ideal.

Plantear el balance de materia en una torre de destilación; explicar como se obtienen los datos de concentración mediante el refractómetro.

Ya en el equipo debe quedar perfectamente claro el camino - que siguen las corrientes del sistema y como controlar cada una de ellas.

BIBLIOGRAFIA COMENTADA.

" BALANCE DE MATERIA EN DESTILACION EN LA TORRE DE PLATOS ".

1.- *Introducción a la Ingeniería Química.*

Rusell/Dean.

LINUSA. México 1976.

De redacción clara sencilla y fácilmente accesible, es probablemente el que mas ampliamente trata la teoría de la destilación, a nivel de Ingeniería Química I.

2.- *Operaciones básicas de Ingeniería Química.*

Mc Cabe/ C. Smith.

Reverte S.A. España 1976.

Presenta una introducción al estudio de las operaciones unitarias básicas, por constitución conserva la integridad de las operaciones individuales y las estudia por separado, ya que cada una de ellas se realiza en la práctica de una forma peculiar. Por su tratamiento de la destilación llega a un punto tal donde se puede enlazar el estudio con manuales, textos y monografías de Ingeniería Química.

3.- *Operaciones de Transferencias de Masa.*

Treybal Robert E.

Mc Graw-Hill Book Co. México 1980.

Proporciona las técnicas y principios de diseño de equipo para las operaciones de transferencia de masa en Ingeniería Química, es decir, ofrece una oportunidad para mejorar muchas explicaciones.

MANUAL DEL PROFESOR.

LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA.

PROPUESTA DE PRACTICA PARA INGENIERIA QUIMICA I.

PRACTICA No. 5.

**BALANCE DE MATERIA EN SECADO
POR ATOMIZACION .**

FACULTAD DE QUIMICA.

DIVISION DE ESTUDIOS PROFESIONALES.

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUIMICA.



MANUAL DEL PROFESOR.

PROPUESTA DE PRACTICA PARA INGENIERIA QUIMICA I.

PRACTICA No. 5.

" BALANCE DE MATERIA EN SECADO POR APOCALIZACION ".

Objetivos de la práctica.

El secado es una operación unitaria que constituye un ejemplo típico de lo que es un balance de materia en casos simples, sin reacción química.

Conceptos a tratar.

- Balance de materia sin reacción química.
- Balance de materia en secado.
- Carta psicrométrica.
- Propiedades del aire.

PRACTICA DE INGENIERIA QUIMICA I BALANCE DE MATERIA.

PROPUESTA DE PRACTICA No. 5.

" BALANCE DE MATERIA EN SECADO POR ATOMIZACION "

Por lo general, el término secado se refiere a la eliminación de humedad de una sustancia, por ejemplo, secar un sólido significa, eliminar una determinada cantidad de agua, ó de otro líquido, contenido en un material sólido con el fin de reducir el contenido de líquido residual hasta un valor aceptablemente bajo. El secado es generalmente la etapa final de una serie de operaciones y el producto de un secador queda frecuentemente listo para el envasado final.

El término secado es relativo y significa solamente que hay una reducción en el contenido de humedad desde un valor inicial hasta otro final.

SECADORES POR ATOMIZACION.

Las soluciones, suspensiones y pastas pueden secarse mediante su aspersión en pequeñas gotas dentro de una corriente de gas caliente en un secador por atomización. El líquido que se va a secar se atomiza y se introduce en una cámara grande de secado, de donde las gotas se dispersan en una corriente de aire caliente. Las partículas de líquido se evaporan rápidamente y se secan antes de que puedan llegar a las paredes del secador. El polvo seco que se obtiene cae al fondo cónico de la cámara y luego es extraído mediante una corriente de aire hasta un colector de polvos. Las instalaciones pueden ser, incluso, de 12 metros de diámetro y 30 metros de altura. Los arreglos y diseños detallados varían considerablemente, según el fabricante. Los secadores por atomización se utilizan para gran variedad de productos, que incluyen materiales tan diversos como sustancias químicas orgánicas e inorgánicas, productos farmacéuticos, alimenticios como leche, huevos y café soluble,

lo mismo que jabón y productos detergentes.

Con el fin de obtener un secado rápido, la atomización de la alimentación debe proporcionar pequeñas partículas de elevada relación superficie/peso, cuyo diámetro generalmente varía de 10 a 60 micras. Con ésta finalidad se pueden utilizar boquillas de aspersión o discos que giren rápidamente. Las boquillas de aspersión son generalmente de dos tipos; las boquillas a presión en las cuales el líquido se bombea a una presión elevada con un movimiento circular rápido a través de un pequeño orificio y las boquillas de doble flujo en las cuales se utiliza aire ó vapor a presiones relativamente bajas para separar el líquido en pequeñas gotas. Las boquillas poseen características relativamente invariables de operación; no permiten siquiera una variación moderada de los flujos del líquido. Una variación semejante produce cambios muy grandes en el tamaño de la gota. Las boquillas se erosionan y deterioran con rapidez. Por lo tanto, en la industria química se prefieren los discos giratorios, estos pueden ser planos, en forma de aspas ó en forma de copas, hasta de 0.3 metros de longitud aproximadamente y pueden girar a velocidades de 50 a 200 rps. El líquido ó suspensión se alimenta sobre el disco, cerca del centro y se acelera centrífugamente hacia la perifería, de donde se arroja en una atomización en forma de paraguas. Puede manejarse satisfactoriamente una variación apreciable en las propiedades del líquido y los flujos de alimentación; aún las suspensiones ó pastas espesas se pueden atomizar sin tapar el aparato, siempre y cuando se bombeen en el disco.

El gas de secado, ya sea gas de combustible ó aire, puede entrar a la temperatura práctica más elevada, 80 a 760°C limitada únicamente por la sensibilidad del producto a la temperatura. Puesto que el tiempo de contacto entre el producto y el gas es muy corto, es posible utilizar temperaturas relativamente elevadas.

El corto tiempo de secado requiere un mezclado efectivo - del gas y el atomizado.

Algunas veces, se admite aire frío en las paredes de la cámara de secado con el fin de evitar que el producto se pegue a los lados. El gas efluyente puede arrastrar todo el producto seco fuera del secador; es posible también que únicamente arrastre el más fino, en cualquier caso el gas, debe pasar a través de algún tipo de colector de polvos, como ciclones ó filtros - de bolsa; algunas veces despues de pasar por éstos, pasa por lavadores de humedad que eliminan las ultimas trazas de polvo. La recirculación de aire caliente con el fin de economizar calor no es práctico, porque la operación de recuperación de polvos generalmente no puede lograrse sin pérdida apreciable de calor.

Las gotas del líquido alcanzan rápidamente su velocidad terminal en la corriente gaseosa, a pocos centímetros del aparato de atomización. La evaporación ocurre desde la superficie de las gotas en el caso de muchos productos se puede acumular materia sólida como una cubierta impermeable. Como de todas maneras el calor se transmite rápidamente a las partículas desde el gas caliente, la porción atrapada del líquido en la gota se evapora y hace que la pared de la gota, plastica todavía, aumente hasta tres veces su tamaño original, finalmente al explotar se abre un pequeño agujero en la pared escapando y dejando una cubierta hueca y seca de sólido como producto. En otros casos el centro del líquido se difunde a través de la cubierta hacia el exterior; la presión interna reducida causa una implosión. En cualquier caso, con frecuencia el producto seco está en forma de pequeñas perlas huecas de baja densidad total.

Generalmente es posible tener cierto control del tamaño de partícula durante la atomización (el aumento en la temperatura causa la disminución de la densidad total del producto - mediante una expansión más extensa del contenido de la gota.)

Para productos de alta densidad, se pueden romper las perlas secas. El secado por aspersión ofrece la ventaja de un secado extremadamente rápido para los productos sensibles al calor, un tamaño y densidad de la partícula de producto que son controlables dentro de ciertos límites y costos relativamente bajos de operación, en especial en el caso de secadores con capacidad grande. Hay bastantes datos a cerca del tamaño de las gotas, trayectorias de las gotas velocidades relativas del gas y de la gota y rapidez de secado.*

Balance de materia.

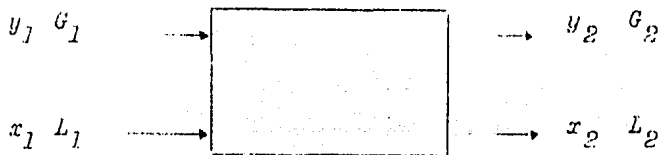


Figura 1. Balance de materia (secador por atomización)

Balance global de materia.

$$L_1 + G_1 = L_2 + G_2 .$$

Balance parcial para el componente agua.

$$L_1 x_1 + G_s y_1 = L_2 x_2 + G_s y_2 .$$

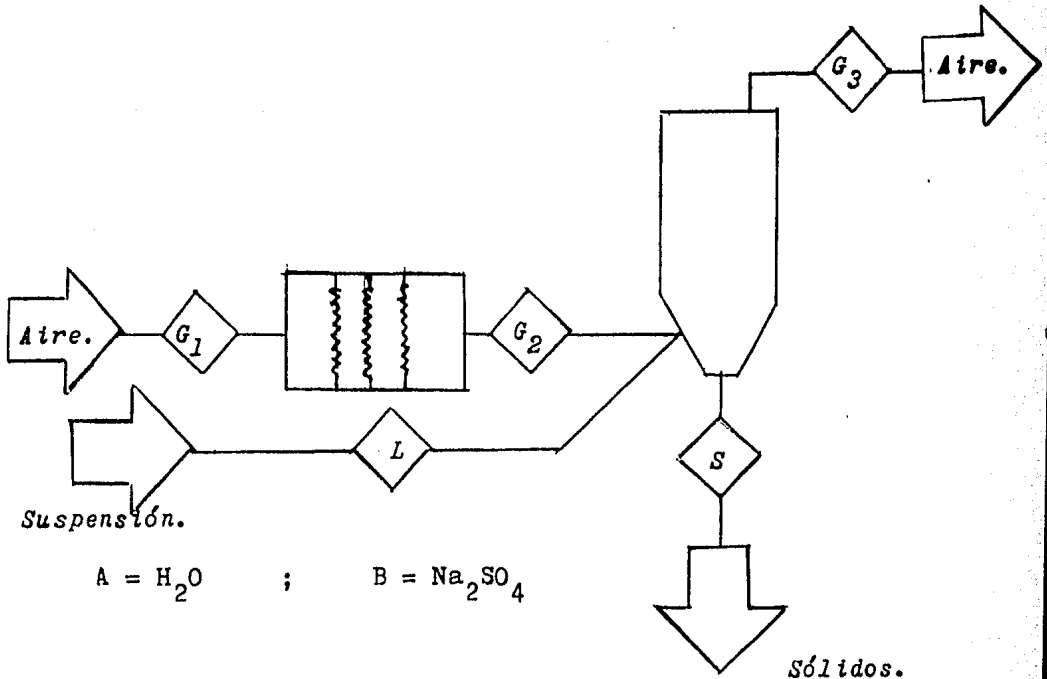
* Masters, K.: *Spray Drying*; CRC Press; Cleveland, Ohio, 1972.

DATOS OBTENIDOS

| Prueba No | : | 1 | 2 | 3 |
|------------------------------|---------------------|-------|-------|-------|
| Presión de atomización | , $\bar{K}g/cm^2$: | 1.8 | 2.5 | 2.1 |
| Presión de alimentación | , $\bar{K}g/cm^2$; | 2 | 1.8 | 1.4 |
| Datos para el aire | | | | |
| Entrada : | | | | |
| Temp. de bulbo humedo | , $^{\circ}C$: | 9 | 16 | 15 |
| Temp. de bulbo seco | , $^{\circ}C$: | 17.5 | 25 | 19 |
| Temp. de alimentación | , $^{\circ}C$: | 121 | 171 | 177 |
| Salida : | | | | |
| Temp. de bulbo humedo | , $^{\circ}C$: | 33 | 32 | 33 |
| Temp. de bulbo seco | , $^{\circ}C$: | 46 | 46 | 46 |
| Temp. de salida | , $^{\circ}C$; | 50 | 55 | 70 |
| Gasto de alimentación | , l/min : | .0791 | .0762 | .0773 |
| Conc. de la solución | , %p : | 10 | 4 | 9.2 |
| Densidad de la solución | , Kg/l : | 1.09 | 1.04 | 1.09 |
| Deter. de humedad del solido | | | | |
| Masa del solido humedo | , g : | 0.9 | 0.7 | 0.6 |
| Masa del solido seco | , g : | 0.7 | 0.5 | 0.4 |

EJEMPLO DE CALCULO

Los datos que se emplearan en el ejemplo son los de la 1ª corrida.



G_1 : $t_{bh} = 9^\circ C$
 $t_{bs} = 17.5^\circ C$

L : $C = 4\% \text{ p de B}$
 $= 1.09 \text{ Kg/l}$
 $.0791 \text{ l/min}$

G_2 : $t = 121$

G_3 : $t_{bh} = 33^\circ C$
 $t_{bs} = 46^\circ C$
 $t_3 = 50^\circ C$

S : $\frac{\text{Masa húmeda}}{\text{Masa seca}} = \frac{0.9}{0.7}$

$$\text{Balance general : } G_1 + L = S + G_3 \quad (1)$$

$$\text{Balance de agua : } L x_A^L + G_S Y_1 = S x_B^S + G_S Y_2 \quad (2)$$

$$\text{Balance Sulfato : } L x_B^L = S x_B^S \quad (3)$$

$$\underline{L} = .0791 \frac{1}{\text{min}} \quad \rho = 1.09 \frac{\text{Kg}}{1}$$

$$L = \underline{L} \rho = .0791 \times 1.09 = .0862 \frac{\text{Kg}}{\text{min}}$$

$$x_B^L = 0.1 \quad ; \quad x_A^L = 1 - 0.1 = 0.9$$

$$x_B^S = \frac{0.7}{0.9} = 0.778 \quad ; \quad x_A^S = 1 - 0.778 = 0.222$$

$$\text{De la ecuación (3) } S = \frac{L x_B^L}{x_B^S} = \frac{.0862 \times 0.1}{0.778} = .0111 \frac{\text{Kg}}{\text{min}}$$

Con los datos de t_{bh} y t_{bs} para la corriente G_1 y a partir de la carta psicrometrica de la ciudad de México .

$$Y_1 = 0.005 \frac{\text{Kg}_A}{\text{Kg}_{\text{gas}}}$$

Con el mismo procedimiento y para la corriente G_3 :

$$Y_2 = 0.0365 \frac{\text{Kg}_A}{\text{Kg}_{\text{gas}}}$$

$$\text{A partir de la ecuación (2) } G_S = \frac{L x_A^L - S x_A^S}{Y_2 - Y_1}$$

$$G_S = \frac{0.0862 \times 0.9 - 0.0111 \times 0.222}{0.0365 - 0.005} = 2.38 \frac{\text{Kg}_{\text{gas}}}{\text{min}}$$

$$\begin{aligned} \text{Cantidad de agua evaporada} &= G_S (Y_2 - Y_1) \\ &= 2.38(0.0365 - 0.005) = 0.075 \frac{\text{Kg}}{\text{min}} \end{aligned}$$

$$V_H = \left(\frac{Y}{18} + \frac{1}{29} \right) \frac{R T}{p} \quad ; \quad R = 62.37 \frac{\text{mm Hg l}}{\text{K gmol}} \quad ; \quad p = 586 \text{ mm Hg}$$

$$\text{En la entrada del aire : } T = 17.5 + 273 = 290 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$\text{para } G_1 : V_H = \left(\frac{0.005}{18} + \frac{1}{29} \right) \frac{62.37 \times 290}{586} = 1.07 \frac{1}{\text{gas}}$$

$$\underline{G}_1 = G_S V_H = 2.38 \frac{\text{Kg}}{\text{min}} \times \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ Kg}} \times 1.07 \frac{1}{\text{g}} = 2547 \frac{1}{\text{min}}$$

En la salida del aire : $T = 50 + 273 = 323 \text{ } ^\circ\text{K}$

$$V_H = \left(\frac{0.0365}{18} + \frac{1}{29} \right) \frac{62.37 \times 323}{586} = 1.26 \frac{1}{g}$$

$$G_3 = 2.38 \times 1000 \times 1.26 = 3000 \frac{1}{\text{min}}$$

RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

| Prueba No | | 1 | 2 | 3 |
|----------------------------------|---------------------------|-------|-------|-------|
| Gasto de la solución alimentada | , Kg/min , | .0862 | .0792 | .0843 |
| Humedad del solido secado | , Kgss/Kg , | .7780 | .7143 | .6667 |
| Gasto del solido secado | , Kg/min , | .0111 | .0044 | .0116 |
| Humedad del aire alimentado | , Kg _A /Kgas , | .005 | .011 | .012 |
| Humedad del aire de salida | , Kg _A /Kgas , | .0365 | .034 | .0365 |
| Gasto del aire seco | , Kgas/min , | 2.38 | 3.25 | 2.97 |
| Agua evaporada | , Kg/min , | .0750 | .0748 | .0728 |
| Gasto volum. del aire alimentado | , m ³ /min , | 2.547 | 3.607 | 3.224 |
| Gasto volum. del aire de salida | , m ³ /min , | 3.000 | 4.127 | 3.950 |

RECOMENDACIONES SOBRE LA PRACTICA.

En esta parte se pretende iniciar al lumno en las operaciones aire-agua mediante el proceso de secado por atomización. Debe hablarse de la importancia que tiene el secado como operación de acabado en la elaboración de un producto.

Se mencionara los diferentes tipos de secado, haciendo énfasis en el secado por atomización, explicando como ocurre este proceso.

Describir la utilización de la carta psicrométrica y la representación del paso del aire a través del equipo, planteando esquemáticamente el balance de materia del proceso.

Es necesario que el cuerpo del secador este perfectamente limpio antes de iniciar la operación y que la solución a secar éste perfectamente homogeneizada.

De trabajar con sulfato de sodio la solución a secar debe prepararse con anterioridad a la practica ya que lleva mucho tiempo disolver el sulfato de sodio.

Durante la operación siempre debe estar encendida una de las resistencias de calentamiento para tener un mejor control de la temperatura.

Finalmente una vez concluida la operación debe alimentarse agua durante 10 minutos oara limpiar la esprea.

BIBLIOGRAFIA COMENTADA.

" BALANCE DE MATERIA EN SECADO POR ATOMIZACION "

1.- Introducción a la Ingeniería Química.

Badger/ Bancharo.

Mc Graw-Hill. México 1977.

El desarrollo temático de esta operación unitaria es ampliamente cubierto por este libro, encontraremos - definiciones, clasificaciones, equipo frecuentemente empleado, ecuaciones del fenómeno y ejemplo.

2.- Operaciones de Transferencia de masa.

Treybal Robert E.

Mc Graw-Hill. México 1980.

Por su constitución este libro es un instrumento para la enseñanza, ya que proporciona técnicas y principios de diseño de equipo para las operaciones unitarias de transferencia de masa en Ingeniería Química, es decir, ofrece una oportunidad para mejorar muchas explicaciones.

3.- Principios de operaciones unitarias.

Foust/Wenzel/etal.

C.E.C.S.A. México 1980.

Brinda una mejor y más sólida comprensión de los principios fundamentales, para diversas operaciones de transferencia de masa, entre las que destacan muy particularmente el secado.

MANUAL DEL PROFESOR.

LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA.

PROPUESTA DE PRACTICA PARA INGENIERIA QUIMICA I.

PRACTICA No. 6.

BALANCE DE MATERIA EN COMBUSTION .

FACULTAD DE QUIMICA.

DIVISION DE ESTUDIOS PROFESIONALES.

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUIMICA.



MANUAL DEL PROFESOR.

PROPUESTA DE PRACTICA PARA INGENIERIA QUIMICA I.

PRACTICA No. 6.

" BALANCE DE MATERIA EN COMBUSTION ".

Objetivos de la práctica.

En esta práctica se ejemplifica el balance de materia con reacción química, utilizando los principios estequiométricos y el uso de gráficas para la determinación de propiedades de los hidrocarburos líquidos.

Conceptos a tratar.

- Balance de materia con reacción química.
- Balance de materia en combustión.
- Composición de gases.

PRACTICA DE INGENIERIA QUIMICA I BALANCE DE MATERIA.

PROPUESTA DE PRACTICA No. 6.

" BALANCE DE MATERIA EN COMBUSTION "

El proceso de combustión se define como la rápida reacción química de un combustible con oxígeno, acompañada por la emisión de luz y calor, diferenciándose de la oxidación, ya que esta ocurre sin emisión de luz y usualmente es un proceso lento.

En Ingeniería Química es muy común la evaluación de procesos que involucran una combustión. Sin embargo las materias combustibles no se utilizan unicamente como proporcionadores de energía sino que tambien son utilizadas como reactivos químicos por ejemplo en las reducciones en Metalurgia y en la manufactura de ciertos derivados del carbon.

Los procesos de combustión son de tal importancia que se han desarrollado técnicas especiales para los cálculos que deben de realizarse, tal como los métodos graficos y los basados en lo que se ha llamado base de cálculo de 1 ft^3 de gases de combustión en condiciones estandar de presión y temperatura.

El balance de materia en un proceso de combustión considerará las cantidades de combustible, aire alimentado, gases de combustión y desechos producidos. El balance de materia puede realizarse si se conocen las composiciones de las cuatro corrientes mencionadas, sin medición directa de los flujos de aire y productos gaseosos son calculados a partir del balance de materia, excepción hecha para la cantidad de combustible alimentado.

Es de hacerse notar que la medición directa de los flujos de aire y productos gaseosos resultaría muy complicada.

El análisis de los gases de combustión tradicionalmente se realiza en el analizador Orsat, sin embargo actualmente se dispone de métodos automaticos de análisis para realizar ésta labor. Por ejemplo el analizador "Condu. therm" que basado en la conductividad térmica, permite determinar la cantidad de CO_2 de

una mezcla gaseosa y el "tagno-therm" que empleando las propiedades paramagnéticas del oxígeno, sirve para analizar el C_2 .

Cuando se tiene la información experimental suficiente (gasto de combustible, composición de este, análisis de los productos gaseosos, etc.) puede emplearse un mismo procedimiento en el cálculo de todos los procesos que involucren combustión - sin embargo puede ocurrir que no se cuente con toda la información necesaria y deba entonces recurrirse a ciertos métodos y suposiciones, que permiten cubrir las limitaciones que se tengan. Finalmente debe resaltarse que los principios utilizados en los cálculos de combustión son esencialmente los mismos sin importar si el combustible empleado es sólido, líquido ó gaseoso y a partir de unos pocos datos experimentales es posible obtener mucha información, estableciéndose de modo completo el balance de materia en el proceso.

DATOS OBTENIDOS

| | | | | | |
|---------------------------------------|---|-----------------|------|------|------|
| Prueba No | , | : | 1 | 2 | 3 |
| Presión man. de operación | , | $\bar{K}g/cm^2$ | 2.8 | 4.2 | 4.9 |
| Gasto de combustible | , | l/min | 5/8 | 5/8 | 5/8 |
| Temperatura de bulbo seco | , | $^{\circ}C$ | 18 | 18 | 18 |
| Temperatura de bulbo humedo | , | $^{\circ}C$ | 15 | 15 | 15 |
| Análisis de los gases de combustión | | | | | |
| Volumen de la muestra gaseosa | , | ml | 48 | 48 | 48 |
| Volumen después de absorber el CO_2 | , | ml | 43.6 | 43.4 | 43.7 |
| Volumen después de absorber el O_2 | , | ml | 40.4 | 41.1 | 41.6 |
| Volumen después de absorber el CO | , | ml | 39.3 | 40.0 | 40.4 |

Densidad del combustible : 37.8 $^{\circ}API$

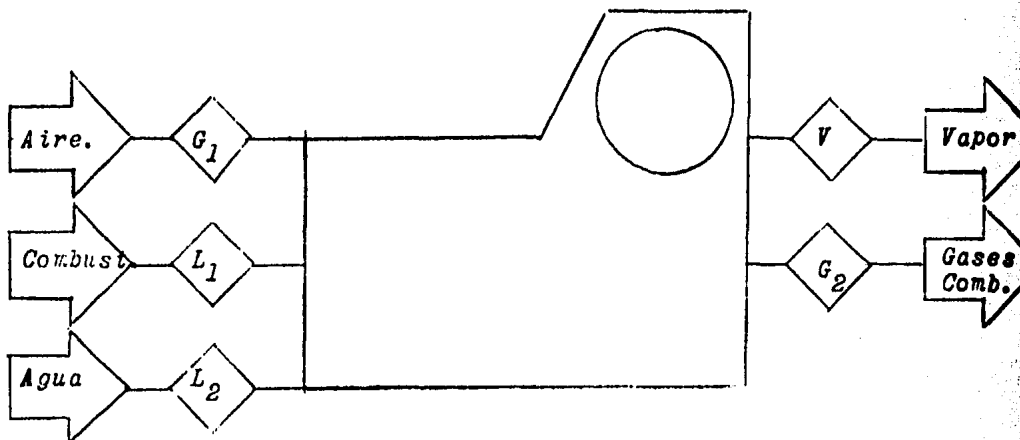
Factor de caracterización : 12.24

Análisis elemental del combustible :

| | | |
|--------|-----|--------|
| C | 85 | % peso |
| H | 12 | " |
| O | 1 | " |
| H_2O | 1 | " |
| S | 0.8 | " |
| N | 0.2 | " |

EJEMPLO DE CALCULO

Los datos que se emplearan en el ejemplo son los de la 1^{era} corrida



| | | | |
|------------------------------------------------|----------------------|-------|---------------------------|
| Presión de calibración de la caldera , | Kg/cm^2 | : | 2.8 |
| Gasto de combustible , | l/min | : | 5/8 |
| Temperatura de bulbo seco , | $^{\circ}\text{C}$ | : | 18 |
| Temperatura de bulbo humedo , | $^{\circ}\text{C}$ | : | 15 |
| Análisis de los gases de combustión | | | |
| Volumen de la muestra gaseosa , | ml | : | 48 |
| Volumen despúes de absorber el CO_2 , | ml | : | 43.6 |
| Volumen despúes de absorber el O_2 , | ml | : | 40.4 |
| Volumen despúes de absorber el CO , | ml | : | 39.3 |
| Densidad del combustible , | $^{\circ}\text{API}$ | : | 37.8 |
| Factor de caracterización , | | : | 12.24 |
| Análisis elemental del combustible : | | | |
| C | 85 | %p | H_2O 1 %p |
| H | 12 | " | S 0.8 " |
| O | 1 | " | N 0.2 " |
| Consumo de vapor : | 353.1 | Kg/hr | |

$$^{\circ}\text{API} = \frac{141.5}{\text{dr}} - 131.5 ; \quad ^{\circ}\text{API} = 37.8 ; \quad \text{dr} = \frac{141.5}{37.8 + 131.5} = 0.836$$

$$\rho = \text{dr} \times \rho_{w,0} ; \quad = 0.836 \times 1 \frac{\text{Kg}}{1} = 0.836 \frac{\text{Kg}}{1}$$

De la grafica de $^{\circ}\text{API}$ vs T_B para diferentes pesos moleculares y temperaturas críticas, con los datos de $^{\circ}\text{API}$ y K :

$$M = 278 \text{ Kg/Kg} ; \quad t_c = 910 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$T_c = \frac{910 - 32}{1.8} + 273 = 761 \text{ }^{\circ}\text{K}$$

De la grafica de a $37.8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ vs $^{\circ}\text{API}$ a diferentes temperaturas de ebullición y factores de caracterización y con $^{\circ}\text{API}$ y K :

$$t_B = 610 \text{ }^{\circ}\text{F} ; \quad T_B = \frac{610 - 32}{1.8} + 273 = 594 \text{ }^{\circ}\text{K}$$

$$V = 6.0 \text{ CSTKS}$$

De la grafica de a $50 \text{ }^{\circ}\text{C}$ vs $^{\circ}\text{API}$ a diferentes temperaturas de ebullición y factores de caracterización y con $^{\circ}\text{API}$ y K :

$$V = 4.2 \text{ CSTKS}$$

De la grafica de a $99 \text{ }^{\circ}\text{C}$ vs $^{\circ}\text{API}$ a diferentes temperaturas de ebullición y factores de caracterización y con $^{\circ}\text{API}$ y K :

$$V = 3.2 \text{ CSTKS}$$

De la grafica de $\%p$ de Hidrógeno vs K a diferentes temperaturas de ebullición, con T_B y K :

$$\%pH = 14.5 ; \quad \text{entonces } \%pC = 100 - 14.5 = 83.5 \text{ } \%p$$

Análisis en base seca de los gases de combustión :

$$\% \text{ del componente} = \frac{\Delta \text{ componente}}{\text{Vol. muestra}} \times 100$$

$$\Delta \text{CO}_2 = 48.0 - 43.6 = 4.4 \text{ ml}$$

$$\Delta \text{O}_2 = 43.6 - 40.4 = 3.2 \text{ ml}$$

$$\Delta \text{CO} = 40.4 - 39.7 = 0.7 \text{ ml}$$

$$\% \text{CO}_2 = \frac{4.4}{48} \times 100 = 9.17 \% ; \quad \% \text{O}_2 = \frac{3.2}{48} \times 100 = 6.67 \%$$

$$\% \text{CO} = \frac{0.7}{48} \times 100 = 1.46 \% ; \quad \% \text{N}_2 = 100 - 6.67 - 1.46 = 82.7 \%$$

Basandose en el análisis Orsat y tomeando como base de cálculo 100 $\bar{K}g$ de gases de combustión secos se realizaran los siguientes calculos :

$$C \text{ que pasa a } CO_2 = 9.17 \bar{K}g CO_2 \times \frac{1 \bar{K}g C}{1 \bar{K}g CO_2} = 9.17 \bar{K}g C$$

$$C \text{ que pasa a } CO = 1.46 \bar{K}g CO \times \frac{1 \bar{K}g C}{1 \bar{K}g CO} = 1.46 \bar{K}g C$$

$$C \text{ total} = 9.17 + 1.46 = 10.63 \frac{\bar{K}g C}{100 \bar{K}gcs}$$

$$\text{Gasto de combustible} = \frac{5 \text{ l}}{8 \text{ min}} \times 0.836 \frac{Kg}{l} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hr}} = 3.16 \frac{Kgcomb}{hr}$$

$$C \text{ en el combustible} = 3.16 \frac{Kgcomb}{hr} \times 0.85 \frac{Kg C}{Kgcomb} = 2.686 \frac{Kg C}{hr}$$

$$\text{Gases de comb. secos} = 2.686 \frac{Kg}{hr} \times \frac{1 \bar{K}g C}{12 \bar{K}g C} \times \frac{100 \bar{K}gcs}{10.63 \bar{K}g C} = 21.06 \frac{\bar{K}gcs}{hr}$$

$$\bar{M} = \sum(M \times \bar{X}); \quad \bar{M}_{\text{seca}} = .827 \times 28.2 + .0971 \times 44 + .0667 \times 32 + .0146 \times 28 = 29.9 \text{ Kg/Kg}$$

Notese que para el N_2 se utilizo $M = 28.2$; el valor para el Nitrogeno atmosferico .

$$\text{Gases de comb. secos} = 21.06 \frac{\bar{K}gcs}{hr} \times 29.9 \frac{Kg}{Kg} = 629.7 \frac{Kgcs}{hr}$$

$$\% \text{ Conversión de } C \text{ a } CO_2 = \frac{9.17 \bar{K}g \text{ de } C \text{ del } CO_2}{10.63 \bar{K}g_{\text{total}} \text{ de } C} \times 100 = 86.27 \%$$

$$\% \text{ Conversión de } C \text{ a } CO = 100 - 86.27 = 13.73 \%$$

$$N_2 = 21.06 \frac{\bar{K}gcs}{hr} \times \frac{82.7 \bar{K}g N_2}{100 \bar{K}gcs} = 17.42 \frac{\bar{K}g N_2}{hr}$$

$$\text{Aire seco alimentado} = 17.42 \frac{\bar{K}g N_2}{hr} \times \frac{100 \bar{K}gas}{79 \bar{K}g N_2} \times \frac{29 \bar{K}gas}{1 \bar{K}gas} = 639.5 \frac{Kgas}{hr}$$

Con los datos de $t_{bs} = 18^\circ C$ y $t_{bh} = 15^\circ C$, de la carta psicrometrica para la ciudad de México :

$$Y = 0.013 \frac{Kgasua}{Kgas}$$

$$\text{Agua entrante} = 639.5 \frac{Kgas}{hr} \times 0.013 \frac{Kgasua}{Kgas} = 8.3 \frac{Kgasua}{hr}$$

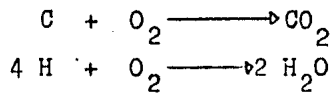
$$\text{Agua del combustible} = 3.16 \frac{Kgcomb}{hr} \times 0.01 \frac{Kgasua}{Kgas} = 0.3 \frac{Kgasua}{hr}$$



$$\text{H alimentado} = 31.6 \frac{\text{Kg comb}}{\text{hr}} \times \frac{0.12 \text{ Kg H}}{\text{Kg comb}} = 3.8 \frac{\text{Kg H}}{\text{hr}}$$

$$\begin{aligned} \text{Gases de combustión húmedos} &= \text{Gases de comb. secos} + \text{Humedad total} \\ &= 629.7 + 42.8 = 672.5 \frac{\text{Kggch}}{\text{hr}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Aire húmedo} &= \text{Aire seco} + \text{Humedad del aire} \\ &= 639.5 + 8.3 = 647.8 \frac{\text{Kgah}}{\text{hr}} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \text{Oxígeno necesario para formar el CO}_2 &= 26.86 \frac{\text{Kg C}}{\text{hr}} \times \frac{32 \text{ Kg O}_2}{12 \text{ Kg C}} \\ &= 71.6 \frac{\text{Kg O}_2}{\text{hr}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Oxígeno necesario para formar el H}_2\text{O} &= \frac{3.8 \text{ Kg H}}{\text{hr}} \times \frac{32 \text{ Kg O}_2}{4 \text{ Kg H}} \\ &= 30.4 \frac{\text{Kg O}_2}{\text{hr}} \end{aligned}$$

Se despreciara la cantidad de S del combustible y consecuencia no se considerara consumo de O₂ en la formación de SO₂ o SO₃.

$$\begin{aligned} \text{Oxígeno del combustible} &= 31.6 \frac{\text{Kg comb}}{\text{hr}} \times \frac{0.01 \text{ Kg O}}{\text{Kg comb}} \times \frac{1 \text{ de O}_2}{2 \text{ de O}} \\ &= 0.2 \frac{\text{Kg O}_2}{\text{hr}} \end{aligned}$$

$$\text{Oxígeno teórico} = 71.6 + 30.4 - 0.2 = 101.8 \frac{\text{Kg O}_2}{\text{hr}}$$

$$\text{Aire teórico} = 101.8 \frac{\text{Kg O}_2}{\text{hr}} \times \frac{100 \text{ Kgaire}}{32.2 \text{ Kg O}_2} = 316.1 \frac{\text{Kgaire}}{\text{hr}}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Exceso de aire} &= \frac{\text{Aire seco alimentado} - \text{Aire teórico}}{\text{Aire teórico}} \times 100 \\ &= \frac{639.5 - 316.1}{316.1} \times 100 = 102.3 \% \end{aligned}$$

$$\text{Cantidad de gases secos} = 21.06 \frac{\widetilde{\text{Kg}}}{\text{hr}}$$

$$\text{Cantidad de CO}_2 = 21.06 \frac{\widetilde{\text{Kg gcs}}}{\text{hr}} \times \frac{91.7 \widetilde{\text{Kg CO}}}{100 \widetilde{\text{Kg gcs}}} = 1.93 \widetilde{\text{Kg CO}}_2$$

$$\text{Cantidad de O}_2 = \frac{21.02 \widetilde{\text{Kg gcs}}}{\text{hr}} \times \frac{6.67 \widetilde{\text{Kg O}}_2}{100 \widetilde{\text{Kg gcs}}} = 1.402 \frac{\widetilde{\text{Kg O}}_2}{\text{hr}}$$

$$\text{Cantidad de CO} = \frac{21.02 \widetilde{\text{Kg gcs}}}{\text{hr}} \times \frac{1.46 \widetilde{\text{Kg CO}}}{100 \widetilde{\text{Kg gcs}}} = 0.307 \frac{\widetilde{\text{Kg CO}}}{\text{hr}}$$

$$\text{Cantidad de N}_2 = \frac{21.02 \widetilde{\text{Kg gcs}}}{\text{hr}} \times \frac{82.7 \widetilde{\text{Kg N}}_2}{100 \widetilde{\text{Kg gcs}}} = 17.38 \frac{\widetilde{\text{Kg N}}_2}{\text{hr}}$$

$$\text{Cantidad de agua} = 42.8 \frac{\text{Kg agua}}{\text{hr}} \times \frac{\text{Kg}}{18 \text{ Kg}} = 2.38 \frac{\text{Kg agua}}{\text{hr}}$$

| <u>Componente</u> | <u>$\widetilde{\text{Kg/hr}}$</u> | <u>\bar{X}</u> | <u>M</u> | <u>Kg/hr</u> | <u>x</u> |
|-------------------|----------------------------------------------|-----------------------------|----------|--------------|----------|
| CO ₂ | 1.93 | .0825 | 44 | 84.92 | .1265 |
| O ₂ | 1.402 | .0599 | 32 | 44.86 | .0668 |
| CO | 0.307 | .0131 | 28 | 8.60 | .0128 |
| N ₂ | 17.38 | .7427 | 28.2 | 490.12 | .7301 |
| H ₂ O | 2.38 | .1017 | 18 | 42.84 | .0638 |

Los Kg/hr se obtuvieron multiplicando los $\widetilde{\text{Kg/hr}}$ por el peso molecular

RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

| Prueba No | : | 1 | 2 | 3 |
|----------------------------------------------------|-----------------------------------------|---------|-------|-------|
| Análisis de los gases de combustión | | | | |
| CO ₂ | , %mol | : 9.17 | 9.58 | 8.96 |
| O ₂ | , %mol | : 6.67 | 4.79 | 4.38 |
| CO | , %mol | : 1.46 | 2.29 | 2.50 |
| N ₂ | , %mol | : 82.7 | 83.34 | 84.16 |
| Gases de combustión secos | , Kg/hr | : 629.7 | 563.7 | 569.9 |
| Conversión de C a CO ₂ | , % | : 86.27 | 80.71 | 78.18 |
| Aire seco alimentado | , Kg/hr | : 639.5 | 577 | 603.5 |
| Húmedad del aire | , Kg _{agua} /Kg _{gas} | : 0.013 | 0.013 | 0.013 |
| Gases de combustión húmedos | , Kg/hr | : 672.5 | 605.7 | 612.2 |
| Aire húmedo alimentado | , Kg/hr | : 647.8 | 584.5 | 611.3 |
| Aire teórico seco | , Kg/hr | : 316.1 | 316.1 | 316.1 |
| Exceso de aire | , % | : 102.3 | 82.54 | 90.92 |
| Análisis en base húmeda de los gases de combustión | | | | |
| CO ₂ | , %peso | : .1265 | .1335 | .1235 |
| O ₂ | , %peso | : .0668 | .0485 | .0439 |
| CO | , %peso | : .0128 | .0203 | .0220 |
| N ₂ | , %peso | : .7301 | .7441 | .7427 |
| H ₂ O | , %peso | : .0638 | .0704 | .0679 |

Además se obtuvieron los siguientes datos que son los mismos para todas las pruebas .

| | |
|-------------------------|-------------------------|
| Q = 0.836 Kg/l | ↳ a 37.8 °C = 6.0 CSTKS |
| M = 278 Kg/Kgmol | ↳ a 50 °C = 4.2 CSTKS |
| Tc = 761 °K | ↳ a 99 °C = 3.2 CSTKS |
| T _B = 594 °K | |

Análisis global : 14.5 %peso de H y 83.5 %peso de C .

RECOMENDACIONES SOBRE LA PRÁCTICA.

En ésta práctica queda cubierto el tema correspondiente a los balances de materia con reacción química.

La explicación al alumno deberá constar de la definición de combustión y los terminos que se emplean en el calculo de este proceso (aire teorico, aire en exceso, etc), la evaluación de las principales propiedades de los derivados del petróleo mediante el factor de caracterización.

Es importante el plantear el balance de materia en la caldera mediante los principios estequimetricos, y debera explicarse ampliamente como realizar el analisis de los gases de combustión mediante el aparato de Orsat.

BIBLIOGRAFIA COMENTADA.

" BALANCE DE MATERIA EN COMBUSTION ".

- 1.- *Chemical Engineering Fundamentals.*
Chalmer G. Kirkbride.
Mc Graw-Hill Book Co. USA 1947.
Define de manera concreta lo que es la combustión, cubre el tema de combustibles, explica el fundamento del analizador Orsat, dando ejemplos de la aplicación de este análisis a los problemas de combustión.
- 2.- *Chemical Process Principles Parte 1.*
Material & Energy Balances.
Hougen/Watson.
Jhon Wiley & Sons Co. USA 1954.
Trata ampliamente la predicción de las propiedades de los derivados del petróleo, para diversos casos, variación de las propiedades que caracterizan un combustible proporciona métodos gráficos para la solución de problemas de combustión.
- 3.- *Material & Energy Balances.*
Schmidt/List.
Prentice-Hall Inc. USA 1962.
Encontraremos aquí todos los conceptos involucrados en combustión, tipos y propiedades de los combustibles, el calculo de la temperatura de flama adiabatica, y diversos conceptos teóricos.
- 4.- *Principles of Chemical Engineering.*
Walker/Lewis/Lc Adams.
Mc Graw-Hill Book Co. USA 1957.
Trata el tema del equilibrio que se establece en la combustión, efecto catalitico de la temperatura de combustión, combustión de líquidos y gases de combustión.

5.- *Process Engineering Calculations.*

Material & Energy Balances.

Jack Tyler

The Ronald Press Co. USA 1960.

Define la combustión y los conceptos fundamentales de este proceso, da el principio y describe aparatos industriales de análisis de gases, dando un método de cálculo en combustión, lo más importante es que cuenta con varios ejemplos de aplicación.

6.- *Experimentos sobre fenomenos de transporte.*

Crosby.

Centro regional de ayuda tecnica. Argentina 1968.

menciona el metodo de analisis Crsat empleado en el laboratorio, encontrandose ampliamente, desde la preparación de los reactivos hasta la tecnica de operación.

7.- *Manual de operación para la caldera Monitor.*

Catalogo 750-56.

Cleaver-Books de México.

Es el manual propio de la caldera en el encontraremos todo tipo de especificaciones al respecto, es recomendable para la comprensión del funcionamiento y mantenimiento de la caldera.

PRACTICAS DE INGENIERIA

QUIMICA (II) BALANCES

DE ENERGIA .

P R O L O G O.

A continuación se presentan las prácticas propuestas correspondientes al curso de Ingeniería Química II.

Propuesta de práctica;

- 1.- Introducción a los balances de energía.*
- 2.- Balance de energía en flujo de fluidos.*
- 3.- Balance de energía en un secador rotatorio.*
- 4.- Balance de energía en combustión.*
- 5.- Balance de energía en las operaciones aire-agua.*
- 6.- Balance de energía en destilación a régimen inestable.*

MANUAL DEL PROFESOR.

LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA.

PROPUESTA DE PRACTICA PARA INGENIERIA QUIMICA II.

PRACTICA No. 1.

INTRODUCCION A LOS BALANCES DE ENERGIA.

FACULTAD DE QUIMICA.

DIVISION DE ESTUDIOS PROFESIONALES.

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUIMICA.



MANUAL DEL PROFESOR.

PROPUESTA DE PRACTICA PARA INGENIERIA QUIMICA II.

PRACTICA No. 1.

" INTRODUCCION A LOS BALANCES DE ENERGIA ".

Objetivos de la práctica.

De una manera clara y sencilla presentamos la introducción correspondiente al curso de laboratorio para la materia de Ingeniería Química II, se habla de el balance de energía y de la importancia que reviste éste, para el estudio de un proceso determinado.

BIBLIOGRAFIA COMENTADA.

" INTRODUCCION A LOS BALANCES DE ENERGIA "

1.- Chemical Engineering Fundamentals.

Chalmer G. Kirkbride.

Mc Graw-Hill Co. Inc. USA 1947.

Encontraremos explicado el balance general de energía y el balance de calor, con muchas y diversas aplicaciones de cada uno de ellos.

2.- Process Engineering Calculations.

Material & Energy Balances

Jack Tynor.

The Ronald Press Co. USA 1960.

Establece los principios que rigen el balance de energía describiendo además los diferentes tipos de energía que intervienen en dicho balance.

3.- Chemical Process Principles Parte 1.

Material & Energy Balances.

Hougen/Watson/Ragatz.

Jhon Wiley & Sons Co. USA 1954.

Comprende la interdependencia que existe entre el balance de materia y el de energía.

MANUAL DEL PROFESOR.

LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA.

PROPUESTA DE PRACTICA PARA INGENIERIA QUIMICA II.

PRACTICA No. 2.

**BALANCE DE ENERGIA EN FLUJO
DE FLUIDOS .**

FACULTAD DE QUIMICA.

DIVISION DE ESTUDIOS PROFESIONALES.

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUIMICA.



MANUAL DEL PROFESOR.

PROPUESTA DE PRACTICA PARA INGENIERIA QUIMICA II.

PRACTICA No. 2.

" BALANCE DE ENERGIA EN FLUJO DE FLUIDOS ".

Objetivos de la práctica.

El concepto de balance de energía y su adecuada utilización es una de las herramientas mas importantes que debe manejar el alumno para la comprensión de los procesos industriales ésta práctica es la aplicación a la ecuación general de el balance de energía en flujo de fluidos.

Conceptos a tratar.

- Balance general de energía.*
- Balance de energía mecánica.*
- Calculo del trabajo.*

PRACTICA DE INGENIERIA QUIMICA II BALANCE DE ENERGIA.

PROPUESTA DE PRACTICA No. 2.

" BALANCE DE ENERGIA EN FLUJO DE FLUIDOS ".

De acuerdo como lo establece la primera ley de la Termodinámica, el total de energía que entra a un sistema debe ser exactamente igual a la cantidad que lo abandona más alguna - acumulación en el sistema.

A la expresión matemática ó numérica de este principio - se le denomina balance de energía, que conjuntamente con un - balance de materia es de importancia primordial en los proble - mas de diseño y operación de procesos.

Uno de los aspectos más importantes en los balances de - energía es el que se presenta en flujo de fluidos. De manera - muy natural al transportar un fluido de un punto a otro dentro de un sistema, se requiere la determinación de las caídas de - presión, y de aquí la potencia requerida para el bombeo, la - selección del tipo de bomba más adecuada y la medición de los flujos en el sistema.

El caso más simple que se trata en flujo de fluidos es - el del fluido incompresible, sin embargo existen situaciones - que son más complejas por ejemplo, cuando se maneja un fluido compresible los cuales se pueden tratar como incompresibles - si la diferencia de presiones entre la entrada y la salida de el sistema es menor del 10 % de la presión a la entrada. En - caso contrario se debe establecer una relación entre el volú - men y la presión para poder resolver la integral $\int v dp$ que apa - rece en el balance general de energía.

Dentro de los diversos y diferentes términos que inter - vienen en un balance general de energía, es necesario mencio - nar que sólo es aceptable desprestigiar la energía de superficie cuando no se tengan grandes áreas superficiales, como casos tí - picos tenemos el espreado ó la formación de emulsiones.

La contribución de la energía cinética al balance general de energía se puede considerar muy pequeña, esto es, para la gran mayoría de los casos, a excepción hecha, para aquellas ocasiones en las cuales se esté trabajando en régimen laminar en donde su contribución es de tomarse en cuenta.

Datos obtenidos en el equino de Bernoulli :

Sin hacer funcionar el intercambiador de calor :

| | | | | | | |
|------------------------------|-----|---|------|-----|-----|-----|
| Prueba | No | : | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Abertura de la válvula | N | : | 1/4 | 1/2 | 3/4 | 1 |
| Volúmen de liquido medido | l | : | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Tiempo | s | : | 42.8 | 42 | 42 | 42 |
| Potencia electrica consumida | W | : | 175 | 175 | 175 | 180 |

Haciendo funcionar el intercambiador de calor :

| | | | | |
|------------------------------|-------------------|---|-----|-----|
| Prueba | No | : | 1 | 2 |
| Abertura de la válvula | N | : | 1 | 1 |
| Volúmen de liquido medido | l | : | 10 | 10 |
| Tiempo | s | : | 42 | 42 |
| Temperatura de entrada | $^{\circ}C$ | : | 15 | 15 |
| Temperatura de salida | $^{\circ}C$ | : | 20 | 20 |
| Presión del vapor | $\frac{kg}{cm^2}$ | : | 1 | 1.5 |
| Volúmen de condensado | l | : | 1 | 1 |
| Tiempo | s | : | 194 | 165 |
| Potencia electrica consumida | W | : | 175 | 175 |

| Tubería | 1 | 2 | 3 | 4 | Ddesc. | Dint. |
|------------|-----|-----|-----|-----|--------|-------|
| Dext. (cm) | 2.2 | 2.7 | 3.4 | 4.3 | 3.4 | 6.5 |

Además de los datos de diámetro de tubería anteriores, que son iguales para todas las pruebas se tienen los siguientes que también son iguales para todas las pruebas .

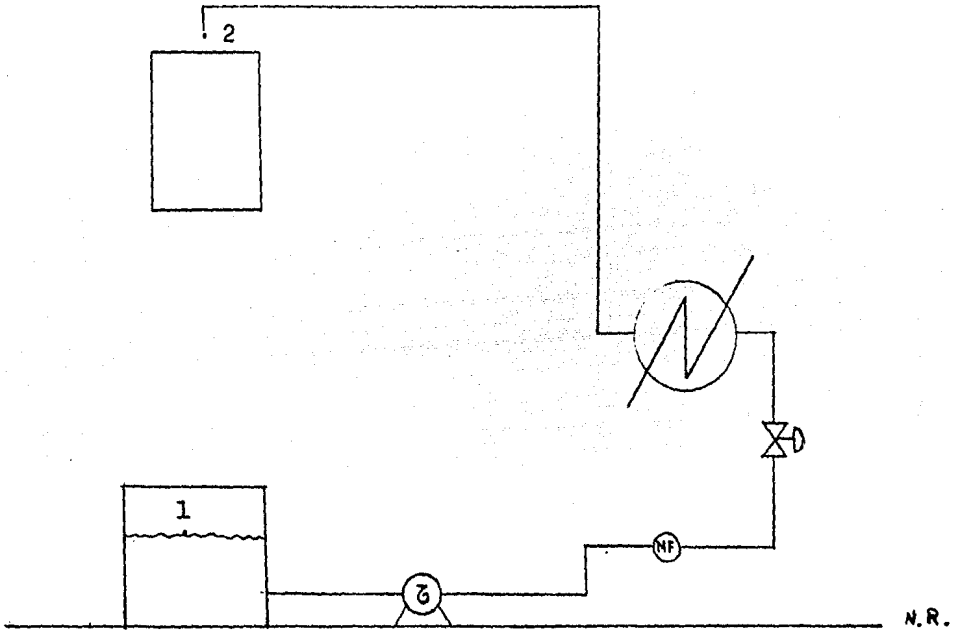
$$z_1 = 0.68 \text{ m} \qquad z_2 = 3.83 \text{ m}$$

En base a cálculos utilizando la ecuación $\frac{2}{\xi} P = f \frac{v^2 \Sigma L}{2gCD}$, encuentran

se que las perdidas por fricción correspondían a un 2% de la potencia electrica consumida .

EJEMPLO DE CALCULO

Los datos que se utilizaran en el ejemplo son los de la 1^{era} corrida.



Sin intercambiador de calor :

Abertura de la válvula , ∇ : 1/4
 Volumen de liquido , l : 10
 Tiempo del volumen , s : 42.8
 Potencia electrica , W : 175

Con intercambiador de calor :

Abertura de la válvula , ∇ : 1
 Volumen de liquido , l : 10
 Tiempo del volumen , s : 42
 Temp. de entrada , °C : 15
 Temp. de salida , °C : 20
 Presión del vapor , Kg/cm² : 1
 Volumen de condensado , l : 1
 Tiempo del volumen , s : 194

Potencia electrica , W : 175

En ambos casos se utilizaron los siguientes datos :

$$Z_1 = 0.68 \text{ m}$$

$$Z_2 = 3.83 \text{ m}$$

| Tuberia | 1 | 2 | 3 | 4 | int.cal. | desc. |
|-----------------------|-----|-----|-----|-----|----------|-------|
| D _{ext} (cm) | 2.2 | 2.7 | 3.4 | 4.3 | 6.5 | 3.4 |

$$\sum F = 2 \% \text{ Potencia electrica consumida .}$$

Balance de energia sin intercambiador de calor :

$$Z_1 \frac{\rho}{gc} + \frac{\bar{v}_1^2}{2gc} + \frac{p_1}{\rho} + \bar{G} = Z_2 \frac{\rho}{gc} + \frac{\bar{v}_2^2}{2gc} + \frac{p_2}{\rho} + \sum F$$

Como el nivel del tanque es constante $\bar{v}_1 = 0$.

Además $p_1 = p_2 =$ presión atmosferica y entonces se llega a :

$$\bar{G} = (Z_2 - Z_1) \frac{\rho}{gc} + \frac{\bar{v}_2^2}{2gc} + \sum F$$

$$D_{desc} = 3.4 \text{ cm} \times \frac{1 \text{ in}}{2.54 \text{ cm}} = 1.34 \text{ in}$$

Con el valor anterior y de las tablas para tuberia de acero comercial cedula 40 se encuentra :

$$\phi = 1" ; D_{int} = .0266 \text{ m} ; A_{desc} = \frac{\pi (.0266)^2}{4} = 5.56 \text{ E-4 m}^2$$

$$\underline{L} = v A ; v = \underline{L}/A ; \underline{L} = V/\theta$$

$$\underline{L} = \frac{10 \text{ l}}{42.8 \text{ s}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}} = 2.34 \text{ E-4 } \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$\bar{v}_2 = \frac{2.34 \text{ E-4 m}^3/\text{s}}{5.56 \text{ E-4 m}^2} = 0.421 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$P_{elec} = 175 \text{ W} \times \frac{1 \text{ Kg m/s}}{9.81 \text{ W}} = 17.84 \frac{\text{Kg m}}{\text{s}}$$

$$\sum F \left(\frac{\text{Kg m}}{\text{Kg}} \right) = \sum F \left(\frac{\text{Kg m}}{\text{s}} \right) \times \frac{1}{L(\text{Kg})} ; L = \underline{L} \rho ; \rho = 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$L = 2.34 \text{ E-4 } \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = 0.234 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

$$\dot{z}P = 17.84 \frac{\text{Kgm}}{\text{s}} \times 0.02 \times \frac{1}{0.234 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}} = 1.52 \frac{\text{Kgm}}{\text{Kg}}$$

$$\bar{v} = (3.83 - 0.68) + \frac{(0.421)^2}{2 \times 9.81} + 1.52 = 4.68 \frac{\text{Kgm}}{\text{Kg}}$$

$$P_{\text{hidraulica}} = 4.68 \frac{\text{Kgm}}{\text{Kg}} \times 0.234 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} = 1.095 \frac{\text{Kgm}}{\text{s}}$$

$$\eta = \frac{1.095}{17.84} \times 100 = 61.4 \%$$

Balance de energía con intercambiador de calor :

$$H_1 + \frac{\bar{v}_1^2}{2gc} + Z_1 \frac{\text{g}}{\text{gc}} + q + \bar{v} = H_2 + \frac{\bar{v}_2^2}{2gc} + Z_2 \frac{\text{g}}{\text{gc}} + \dot{z}P$$

$$\text{Como } \bar{v}_1 = 0$$

$$\bar{v} = \Delta H + \frac{\bar{v}_2^2}{2gc} + \frac{\Delta Z \text{g}}{\text{gc}} - q + \dot{z}P$$

En éste caso $H = q$ y se comprueba que aunque haya funcionado un intercambiador de calor, el balance de energía mecánica proporciona el trabajo teórico necesario .

$$\bar{v} = \frac{\Delta Z \text{g}}{\text{gc}} + \frac{\bar{v}_2^2}{2gc} + \dot{z}P$$

$$\underline{L} = \frac{10 \text{ l}}{42 \text{ s}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}} = 2.38 \text{ E-4 } \frac{\text{m}^3}{\text{s}} ; \bar{v}_2 = \frac{2.38 \text{ E-4 } \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{5.56 \text{ E-4 } \text{ m}^2} = .428 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$L = 2.38 \text{ E-4 } \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} = 0.238 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

$$P_{\text{elec}} = 175 \text{ W} \times \frac{1 \text{ Kgm/s}}{9.81 \text{ W}} = 17.84 \frac{\text{Kgm}}{\text{s}}$$

$$= (3.83 - 0.68) + \frac{(0.428)^2}{2 \times 9.81} + 1.5 = 4.66 \frac{\text{Kgm}}{\text{Kg}}$$

$$\eta = \frac{1.11}{17.84} \times 100 = 6.22 \%$$

$$q = L C_p \Delta t ; C_p = 1 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^\circ \text{C}}$$

$$q = 0.238 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} \times 1 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg} \cdot \text{C}} \times (20 - 15)^{\circ}\text{C} = 1.19 \frac{\text{Kcal}}{\text{s}}$$

$$L_{\text{cond}} = \frac{1 \text{ l}}{194 \text{ s}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}} \times 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = 5.15 \text{ E-3 } \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

$$P_{\text{vap}} = P_{\text{man}} + P_{\text{atm}} ; P_{\text{atm}} = 586 \text{ mm Hg} \times \frac{1 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}}{735.6 \text{ mm Hg}}$$

$$P_{\text{atm}} = 0.797 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} ; P_{\text{vap}} = 1 + 0.797 = 1.797 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$P_{\text{vap}} = 1.797 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \times \frac{14.22 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2}}{1 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}} = 25.6 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2}$$

Con el valor anterior y de las tablas de vapor :

$$\lambda_v = 952.1 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}} \times \frac{1 \text{ Kcal/Kg}}{1.8 \text{ BTU/lb}} = 528 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

$$q_{\text{proporcionado}} = L_{\text{cond}} \lambda_v = 5.15 \text{ E-3 } \frac{\text{Kg}}{\text{s}} \times 528.9 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} = 2.72 \frac{\text{Kcal}}{\text{s}}$$

$$\eta = \frac{1.11}{2.72} \times 100 = 43.75 \%$$

RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Sin hacer funcionar el intercambiador de calor

| Prueba No | : | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---------------------|------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Flujo volumetrico | , m ³ /s : | 2.34E-4 | 2.38E-4 | 2.38E-4 | 2.38E-4 |
| Flujo masico | , Kg/s : | 0.234 | 0.238 | 0.238 | 0.238 |
| Trabajo de bombeo | , \overrightarrow{Kg}/Kg : | 4.68 | 4.66 | 4.66 | 4.70 |
| Potencia hidráulica | , \overrightarrow{Kg}/s : | 1.095 | 1.109 | 1.109 | 1.119 |
| Potencia al freno | , \overrightarrow{Kg}/s : | 17.84 | 17.84 | 17.84 | 18.35 |
| Eficiencia | , % : | 6.14 | 6.22 | 6.22 | 6.10 |

Haciendo funcionar el intercambiador de calor

| Prueba No | : | 1 | 2 |
|-----------------------------|------------------------------|---------|---------|
| Flujo volumetrico | , m ³ /s : | 2.38E-4 | 2.38E-4 |
| Flujo masico | , Kg/s : | 0.238 | 0.238 |
| Trabajo de bombeo | , \overrightarrow{Kg}/Kg : | 4.66 | 4.66 |
| Potencia hidráulica | , \overrightarrow{Kg}/s : | 1.11 | 1.11 |
| Potencia al freno | , \overrightarrow{Kg}/s : | 17.84 | 17.84 |
| Eficiencia | , % : | 6.22 | 6.22 |
| Calor absorbido por el agua | , Kcal/s : | 1.19 | 1.19 |
| Calor cedido por el vapor | , Kcal/s : | 2.72 | 3.17 |
| Eficiencia térmica | , % : | 43.75 | 37.52 |

Velocidades en las diferentes tuberías

| Tubería | : | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----------------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
| ∅ | , in : | 1/2 | 3/4 | 1 | 1 1/4 | 2 |
| D _{interior} | , cm : | .0579 | .0209 | .0266 | .0315 | .0528 |
| Velocidad para \underline{L}_1 | , m/s : | 1.194 | 0.680 | 0.421 | 0.243 | 0.108 |
| Velocidad para \underline{L}_2 | , m/s : | 1.214 | 0.692 | 0.428 | 0.247 | 0.110 |

$$\underline{L}_1 = 2.34E-4 \text{ m}^3/\text{s} \qquad \underline{L}_2 = 2.38E-4 \text{ m}^3/\text{s}$$

La tubería 5 corresponde al intercambiador de calor .

BIBLIOGRAFIA COMENTADA.

" BALANCE DE ENERGIA EN FLUJO DE FLUIDOS ".

1.- Principios de Operaciones Unitarias.

Foust/Wenzel/ etal.

C.E.C.S.A. México 1980.

Define claramente los diferentes tipos de energía involucrados en el balance y algo muy importante deduce la ecuación de balance de energía, y sus aplicaciones.

2.- Conservation of mass & energy.

Whitwell/Torner.

Mc Graw-Hill USA 1973.

Establece el balance de energía en forma diferencial - es especialmente útil por las recomendaciones que menciona para la simplificación de el balance de energía.

3.- Elementary Chemical Engineering.

Peters, Max Stone.

Mc Graw-Hill USA 1954.

De manera precisa desarrolla el tema de balance general de energía, balance de energía mecánica y lo más relevante ejemplifica como calcular las pérdidas de energía por fricciones.

4.- Unit Operations Of Chemical Engineering.

Mc Cabe/Smith

Mc Graw-Hill/ Novaro. México 1965.

Proporciona la deducción más general y formal de la ecuación de Bernoulli con sus correspondientes aplicaciones.

5.- Chemical Process Principles Parte 1.

Material & energy balances.

Hougens/Watson/Ragatz.

John Wiley & Sons Inc. USA 1954.

Describe todos los terminos del balance de energía.

MANUAL DEL PROFESOR.

LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA.

PROPUESTA DE PRACTICA PARA INGENIERIA QUIMICA II.

PRACTICA No. 3.

**BALANCE DE ENERGIA EN UN SECADOR
ROTATORIO .**

FACULTAD DE QUIMICA.

DIVISION DE ESTUDIOS PROFESIONALES.

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUIMICA.



MANUAL DEL PROFESOR.

PROPUESTA DE PRACTICA PARA INGENIERIA QUIMICA II.

PRACTICA No. 3.

" BALANCE DE ENERGIA EN UN SECADOR ROTATORIO ".

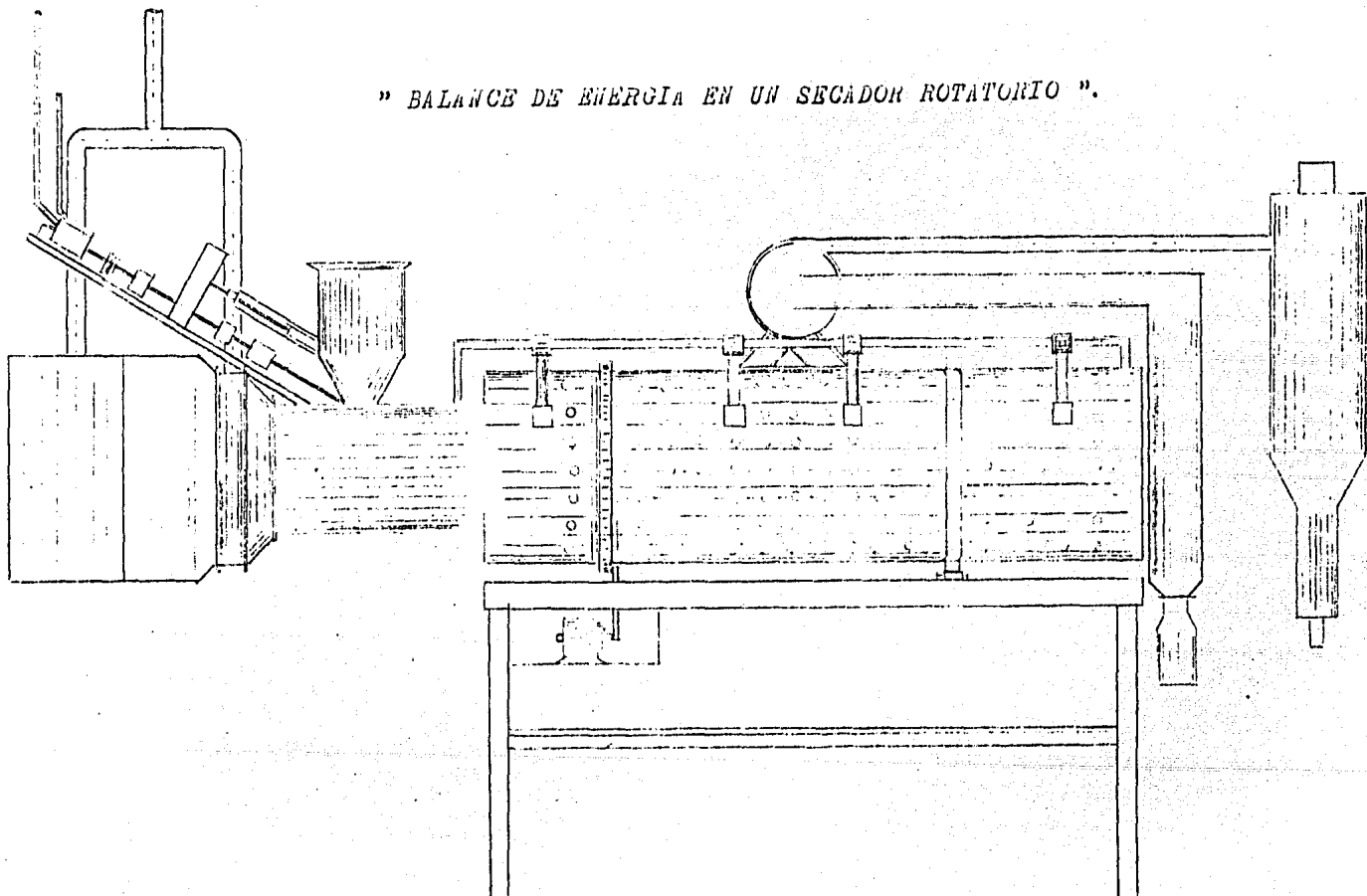
Objetivo de la práctica.

El secado es una de las operaciones unitarias más importantes, es esta práctica se ejemplifica la aplicación conjunta de el balance de materia y energía.

Conceptos a tratar.

- Balance de materia.
- Balance de energía.
- Proceso de secado.
- Capacidad calorífica, calor latente, entalpías.

" BALANCE DE ENERGIA EN UN SECADOR ROTATORIO "



PRACTICA DE INGENIERIA QUIMICA II BALANCE DE ENERGIA.

PROPUESTA DE PRACTICA No. 3.

" BALANCE DE ENERGIA EN UN SECADOR ROTATORIO ".

Balances de materia y energía, a continuación se muestra la figura 1 en la que se indica el diagrama de bloques para un secador continuo cuya operación es a contracorriente.

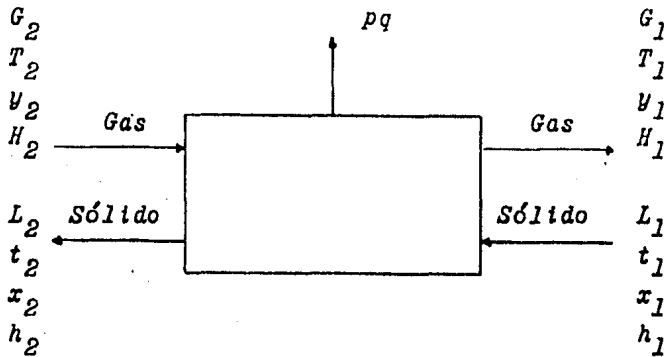


Figura 1 Secador a contracorriente.

Los sólidos entran con una humedad x_1 y salen del secador a una humedad x_2 a las temperaturas t_1 y t_2 respectivamente. - Por lo que respecta al gas, éste entra con una humedad y_2 a una temperatura T_2 abandonando el secador a una humedad y_1 a la temperatura T_1 . Un balance global de materia indica.,

$$G_2 + L_1 = G_1 + L_2 .$$

Balance parcial (para agua)

$$G_s y_2 + L_1 x_1 = G_s y_1 + L_2 x_2 .$$

Hasta este momento se analiso el caso, de operación a - contracorriente, más sin embargo y debido a la disposición existente en el laboratorio el secador de que se dispone opera en paralelo, tal y como se representa en la siguiente figura 2.

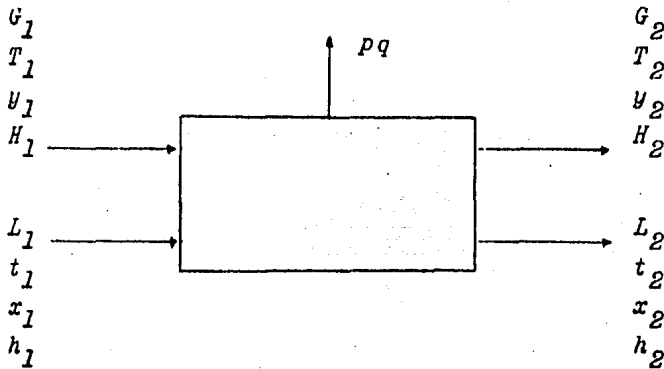


Figura 2. Secador a corriente paralela.

Balance global de materia.

$$G_1 + L_1 = G_2 + L_2 \quad .$$

Balance parcial.

$$G_s y_1 + L_1 x_1 = G_s y_2 + L_2 x_2 \quad .$$

Debemos recordar ó es necesario enfatizar, que los balances correspondientes a ambas operaciones, contracorriente y paralelo se llevaron a cabo teniendo presente que las corrientes de sólido y gas, así como las húmedades estan expresadas en base seca.

Balance de energía (método 1).

En la mayor parte de las operaciones de secado el balance global de energía se reduce al balance entalpico, debido a que los efectos energeticos cinéticos, potencial, etc., son despreciables. Para el caso del secador disponible en el laboratorio el balance se expresaría de la manera siguiente.,

$$G_s H_1 + L_1 h_1 = G_s H_2 + L_2 h_2 + pq.$$

Las pérdidas de calor (pq) a los alrededores se representa por (+pq) mientras que si se suministra calor al secador - ese término será (-pq). De manera evidente si el funcionamiento del secador es adiabatico, (pq = 0).

La entalpía del aire se puede evaluar mediante el empleo de la ecuación.,

$$H = (C_{p_{\text{aire}}} + C_{p_{H_2O_v}}) T + \lambda v.$$

o bien mediante el empleo de la carta psicrométrica correspondiente.

Por lo que concierne a la entalpía del sólido puede ser - evaluada por la ecuación.

$$h = (C_{p_s} + C_{p_l} x) t_s$$

Referida a 0°c y 1 Atmosféra, siendo C_{p_s} el calor específico del sólido seco y C_{p_l} el calor específico del líquido que acompaña al sólido, t_s , la temperatura del sólido húmedo.

Balance de energía (método 2).

una manera alternativa de llevar a cabo el balance de energía en el secador sería, considere el secador tal y como se muestra en la figura 3, de la cual se distinguen claramente tres zonas de secado.

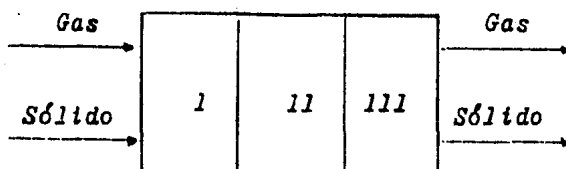


Figura 3. Zonas en un secador.

Zona I, ó de precalentamiento, en la que los sólidos se calientan hasta la temperatura de saturación adiabática, no efectuándose secado en dicha zona.

Zona II, en la que se separa prácticamente toda la humedad del sólido, permaneciendo éste a la temperatura de saturación adiabática.

Zona III, es precisamente en esta zona en donde se eleva nuevamente la temperatura sin variar significativamente la humedad del sólido.

Hemos de indicar que en la zona II, la temperatura del sólido se mantiene constante si recibe solamente calor del aire de secado.

Esta zona constituye la zona más amplia en la mayoría de

los secadores, y en ella puede estudiarse las variaciones de las condiciones del aire y del sólido sobre el diagrama psicrométrico. Si consideramos que el secador utiliza aire caliente como medio de calentamiento y secado, el calor dado por está - aire en el secador será igual a (calor disponible para la transferencia)

$$Q_T = G_s \bar{C}_h (T_{\text{entrada}} - T_{\text{salida}}) \text{ Aire .}$$

En donde parte de este calor se utilizará para el secado propiamente (Q_s) dicho y parte se perderá (pq) por radiación-conducción etc., de tal manera que

$$Q_T = Q_s + pq .$$

De esta manera el calor empleado en el secado viene dado por la expresión.,

$$Q_s = Q_1 + Q_{11} + Q_{111}$$

es decir, la cantidad de calor suministrada en cada una de las tres zonas.

$$Q_1 = \text{Calor de precalentamiento.}$$

$$Q_{11} = \text{Calor de evaporación.}$$

$$Q_{111} = \text{Calor de sobrecalentamiento.}$$

Cada uno de estos calores se puede evaluar mediante el empleo de las siguientes ecuaciones.,

$$Q_1 = L (Cp_s + Cp_{H_2O_1} x_1) (t_w - t_1)$$

$$Q_{11} = L (x_1 - x_2) \lambda \quad (a t_w)$$

$$Q_{111} = L (Cp_s + Cp_{H_2O_1} x_2) (t_2 - t_w) + L (x_1 - x_2) Cp_{H_2O_1} (T_2 - t_w) .$$

A continuación se proporciona un perfil de temperaturas en el secador en corriente paralela.

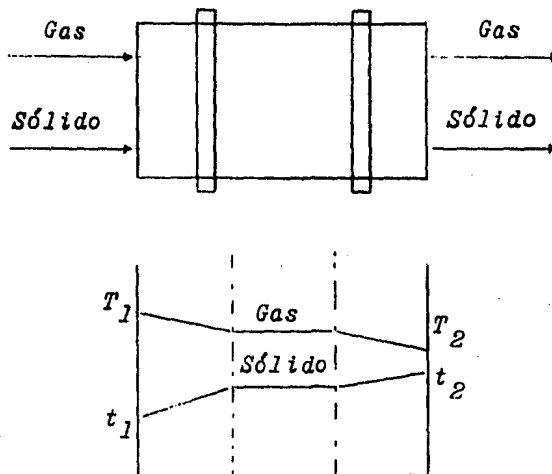


Figura 4. Perfil de temperaturas en un secador a corriente paralela.

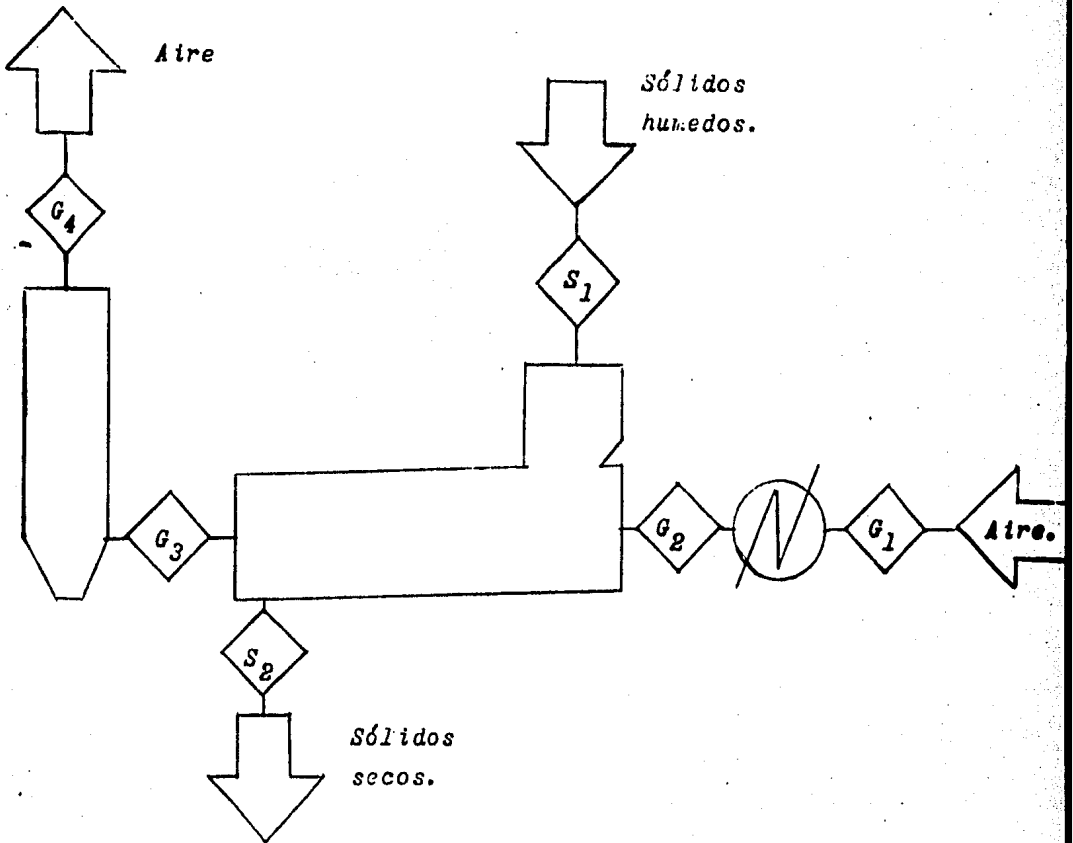
DATOS OBTENIDOS

| Prueba No | , | : | 1 | 2 | 3 |
|---------------------------------------|---|---------------------|-------|-------|-------|
| Características del solido alimentado | | | | | |
| Cantidad utilizada | , | Kg | 8 | 10 | 7 |
| Humedad intrinseca | , | Kg_{H_2O}/Kg_{SS} | 0.010 | 0.010 | 0.010 |
| Agua que se le agrego | , | ml | 320 | 500 | 300 |
| Humedad de alimentación | , | Kg_{H_2O}/Kg_{SS} | .0505 | .0600 | .0533 |
| Temperatura de alimentación | , | $^{\circ}C$ | 19 | 21 | 25 |
| Características del Aire | | | | | |
| Temp. de bulbo seco en la ent. | , | $^{\circ}C$ | 19.5 | 19.5 | 26.3 |
| Temp. de bulbo humedo en la ent. | , | $^{\circ}C$ | 14 | 17 | 16 |
| Temperatura de alimentación | , | $^{\circ}C$ | 115 | 120 | 120 |
| Temp. de bulbo seco en la sal. | , | $^{\circ}C$ | 33 | 27 | 38.4 |
| Temp. de bulbo humedo en la sal. | , | $^{\circ}C$ | 23.5 | 25 | 26.7 |
| Temperatura de salida | , | $^{\circ}C$ | 41 | 35 | 48 |
| Características del solido secado | | | | | |
| Temperatura | , | $^{\circ}C$ | 25 | 25 | 41 |
| Humedad | , | Kg_{H_2O}/Kg_{SS} | 0.014 | 0.023 | 0.018 |
| Cantidad obtenida | , | Kg | 6.4 | 5.7 | 4.93 |
| Tiempo de operación | , | min | 30 | 40 | 35 |

El material que se seco fue arena de mar .

EJEMPLO DE CALCULO

Los datos que se utilizaran en el ejemplo son los de la 1^{era} corrida.



G_1 : Aire alimentado

$t_{bs} = 19.5 \text{ } ^\circ\text{C}$

$t_{bh} = 14 \text{ } ^\circ\text{C}$

G_2 : Aire caliente

$t = 115 \text{ } ^\circ\text{C}$

G_3 : Aire de salida

$t = 41 \text{ } ^\circ\text{C}$

G_4 : Aire al exterior

$t_{bs} = 33 \text{ } ^\circ\text{C}$

$t_{bh} = 23.5 \text{ } ^\circ\text{C}$

S_1 : Solido humedo

$X = .0505 \frac{\text{Kg}_{\text{agua}}}{\text{Kg}_{\text{gas}}}$

$t = 19 \text{ } ^\circ\text{C}$

S_2 : Solido seco

6.4 Kg/30 min

$X = 0.014 \frac{\text{Kg}_{\text{agua}}}{\text{Kg}_{\text{gas}}}$

$t = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$

Balance de materia para el agua :

$$G_s Y_1 + L_s X_1 = G_s Y_4 + L_s X_2 \quad (1)$$

L_s = Gasto del sólido seco

En la alimentación del aire :

$t_{bs} = 19.5 \text{ }^\circ\text{C}$ De la carta psicrometrica para la Cd de México

$t_{bh} = 14 \text{ }^\circ\text{C}$ $Y_1 = 0.010 \frac{\text{Kg}_{\text{agua}}}{\text{Kg}_{\text{gas}}}$

En la salida del aire

De donde :

$t_{bs} = 33 \text{ }^\circ\text{C}$ $Y_4 = 0.019 \frac{\text{Kg}_{\text{agua}}}{\text{Kg}_{\text{gas}}}$

$t_{bh} = 23.5 \text{ }^\circ\text{C}$

La humedad de entrada del sólido es = $X_1 = 0.0505 \text{ Kg}_{\text{agua}}/\text{Kg}_{\text{ss}}$

La humedad de salida del sólido es = $X_2 = 0.0140 \text{ Kg}_{\text{agua}}/\text{Kg}_{\text{ss}}$

$$S_s = S_2 x_2 ; x_2 = \frac{1}{1 + x_2} = \frac{1}{1 + 0.0140}$$

$$x_2 = .9862 \text{ Kg}_{\text{ss}}/\text{Kg}_{\text{sh}}$$

$$S_s = \frac{6.4 \text{ Kg}_{\text{sh}}}{30 \text{ min}} \times .9862 \frac{\text{Kg}_{\text{ss}}}{\text{Kg}_{\text{sh}}} = .2103 \text{ Kg}_{\text{ss}}/\text{min}$$

De la ecuación (1) :

$$G_s = L_s \frac{(x_2 - x_1)}{Y_1 - Y_4} = \frac{.2103 \times (0.014 - .0505)}{0.010 - 0.019} = .8530 \frac{\text{Kg}_{\text{gas}}}{\text{min}}$$

Para realizar el balance de energía se utilizaran 2 métodos :

Método 1 : Utilizando Entalpias :

$$G_s H_2 + S_s h_1 = G_s H_4 + S_s h_2 + p.c. \quad (2)$$

Para la evaluación de las entalpias se utilizaran las sig. ecuaciones:

$$H = (0.24 + 0.46 Y)(t - 0) + 597 Y$$

$$h = (0.36 + X)(t - 0)$$

0.36 es la capacidad calorifica de la arena seca .

$$H_2 = (0.24 + 0.46 \times 0.010)(115 - 0) + 597 \times 0.010$$

$$= 34.1 \text{ Kcal}/\text{Kg}_{\text{gas}}$$

$$h_1 = (0.36 + 0.505)(19 - 0) = 7.8 \text{ Kcal}/\text{Kg}_{\text{ss}}$$

$$H_4 = (0.24 + 0.46 \times 0.019)(41 - 0) + 597 \times 0.019 = 21.54 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kgas}}$$

$$h_2 = (0.36 + 0.014)(25 - 0) = 9.35 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kgas}}$$

De la ecuación (2) :

$$\text{p.c.} = G_s(H_2 - H_4) + S_s(h_1 - h_2)$$

$$\text{p.c.} = .8530(34.1 - 21.54) + .2103(7.8 - 9.35) = 10.53 \frac{\text{Kcal}}{\text{min}}$$

Método II : UTILIZANDO CALORES

$$Q_s = Q_I + Q_{II} + Q_{III}$$

$$Q_T = G_s C_H (t_2 - t_4)$$

$$\text{p.c.} = Q_T - Q_s$$

$$Q_I = S_s (0.36 + X)(tbh_2 - t_1)$$

Con $t = 115^\circ\text{C}$ y $Y = 0.010$; se encuentra $tbh_2 = 33.3^\circ\text{C}$

$$Q_I = .2103 \times (0.36 + .0505)(33.3 - 19.5) = 1.255 \frac{\text{Kcal}}{\text{min}}$$

$$Q_{II} = S_s (X_1 - X_2) \lambda_{tbh}^{\text{AGUA}}$$

De las tablas de vapor $\lambda_{33.3^\circ\text{C}}^{\text{AGUA}} = 578.7 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}_{\text{AGUA}}}$

$$Q_{II} = .2103 \times (.0505 - 0.014) \times 578.7 = 4.505 \frac{\text{Kcal}}{\text{min}}$$

$$Q_{III} = S_s (0.36 + X_2)(t_2 - tbh_2) + (X_1 - X_2)(t_3 - tbh_2)$$

$$Q_{III} = .2103 (0.36 + 0.014)(25 - 33.3) + (.0505 - 0.014)(41 - 33.3) = -.6848 \text{ Kcal/min}$$

El signo negativo indica que el sólido absorbe el calor .

$$Q_s = 1.255 + 4.505 - .6848 = 5.075$$

$$C_H = (0.24 + 0.46 Y)$$

$$C_{H2} = (0.24 + 0.46 \times 0.010) = .2446 \text{ Kcal/Kgas}^\circ\text{C}$$

$$C_{H3} = (0.24 + 0.46 \times 0.019) = .2487 \text{ Kcal/Kgas}^\circ\text{C}$$

$$\bar{C}_H = \frac{.2446 + .2487}{2} = .2467 \text{ Kcal/Kgas}^\circ\text{C}$$

$$Q_T = .8530 \times .2467 \times (115 - 41) = 15.79 \frac{\text{Kcal}}{\text{min}}$$

$$\text{p.c.} = 15.79 - 5.075 = 10.715 \text{ Kcal/min}$$

RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

| Prueba | No | , | : | 1 | 2 | 3 |
|----------------------------|----|---|-------------------------------------------------|--------|--------|-------|
| Humedad del aire en 1 | | , | $K_{\text{gas}}/K_{\text{gas}}$ | 0.010 | 0.019 | 0.011 |
| Humedad del aire en 4 | | , | $K_{\text{gas}}/K_{\text{gas}}$ | 0.019 | 0.025 | 0.024 |
| Gasto de solido seco | | , | $K_{\text{gss}}/\text{min}$ | .2103 | .1425 | .1408 |
| Gasto de aire seco | | , | $K_{\text{gas}}/\text{min}$ | .8530 | .8787 | .3823 |
| Calculo con entalpias | | | | | | |
| Entalpia del aire en 2 | | , | $K_{\text{cal}}/K_{\text{gas}}$ | 34.1 | 41.19 | 35.97 |
| Entalpia del solido en 1 | | , | $K_{\text{cal}}/K_{\text{gss}}$ | 7.8 | 8.82 | 10.33 |
| Entalpia del aire en 4 | | , | $K_{\text{cal}}/K_{\text{gas}}$ | 21.54 | 23.73 | 26.38 |
| Entalpia del solido en 2 | | , | $K_{\text{cal}}/K_{\text{gss}}$ | 9.35 | 9.575 | 15.50 |
| Perdidas de calor | | , | $K_{\text{cal}}/\text{min}$ | 10.53 | 15.24 | 2.951 |
| Calculo con calores | | | | | | |
| Calor I | | , | $K_{\text{cal}}/\text{min}$ | 1.255 | .9373 | .5496 |
| Temp. de bulbo humedo en 2 | | , | $^{\circ}\text{C}$ | 33.3 | 36.7 | 34.4 |
| Calor II | | , | $K_{\text{cal}}/\text{min}$ | 4.505 | 3.041 | 2.873 |
| Calor III | | , | $K_{\text{cal}}/\text{min}$ | -.6848 | -.6454 | .4163 |
| Calor s | | , | $K_{\text{cal}}/\text{min}$ | 5.975 | 3.233 | 3.839 |
| Calor humedo promedio | | , | $K_{\text{cal}}/K_{\text{gas}}^{\circ}\text{C}$ | .2467 | .2501 | .2431 |
| Calor T | | , | $K_{\text{cal}}/\text{min}$ | 15.79 | 18.68 | 6.827 |
| Perdidas de calor | | , | $K_{\text{cal}}/\text{min}$ | 10.72 | 15.45 | 2.989 |

BIBLIOGRAFIA COMENTADA.

" BALANCE DE ENERGIA EN UN SECADOR ROTATORIO ".

1.- Operaciones de Transferencia de masa.

Treybal Robert.

Mc Graw-Hill. México 1980.

Proporciona las técnicas y principios de diseño de equipo para las operaciones de transferencia de masa en Ingeniería Química, es decir, ofrece una oportunidad para mejorar muchas explicaciones.

2.- Problemas de Ingeniería Química.

Ocon/Tojo.

Editorial Aguilar. España 1970.

Con detenimiento estudia las operaciones básicas, a un nivel elemental, presentando problemas de carácter práctico.

3.- Diseño de una práctica de laboratorio sobre secadores rotatorios.

Carranza Abasolo Carlos.

Facultad de Química. UNAM 1976.

La obtención de datos experimentales, condiciones de operación y técnica la encontramos ampliamente desarrollada en ésta obra.

MANUAL DEL PROFESOR.

LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA.

PROPUESTA DE PRACTICA PARA INGENIERIA QUIMICA II.

PRACTICA No. 4.

BALANCE DE ENERGIA EN COMBUSTION .

FACULTAD DE QUIMICA.

DIVISION DE ESTUDIOS PROFESIONALES.

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUIMICA.



MANUAL DEL PROFESOR.

PROPUESTA DE PRACTICA PARA INGENIERIA QUIMICA II.

PRACTICA No. 4.

" BALANCE DE ENERGIA EN COMBUSTION ".

Objetivo de la práctica.

En esta práctica se evalúa el cálculo de los requerimientos de materia y energía en un proceso con reacción química, enfocando una visión global del proceso de combustión.

Conceptos a tratar.

- Balance de energía con reacción química.*
- Proceso de combustión.*
- Capacidad calorífica, calor latente, entalpías.*

PRACTICA DE INGENIERIA QUIMICA II BALANCE DE ENERGIA.

PROPUESTA DE PRACTICA No. 4.

" BALANCE DE ENERGIA EN COMBUSTION ".

Las calderas son equipos que tienen como finalidad invertir la energía de un combustible en la producción de vapor. El vapor no es solamente el medio más útil de calentamiento de una planta de proceso, sino que también es una fuente de energía directa para la operación de una bomba ó una turbina.

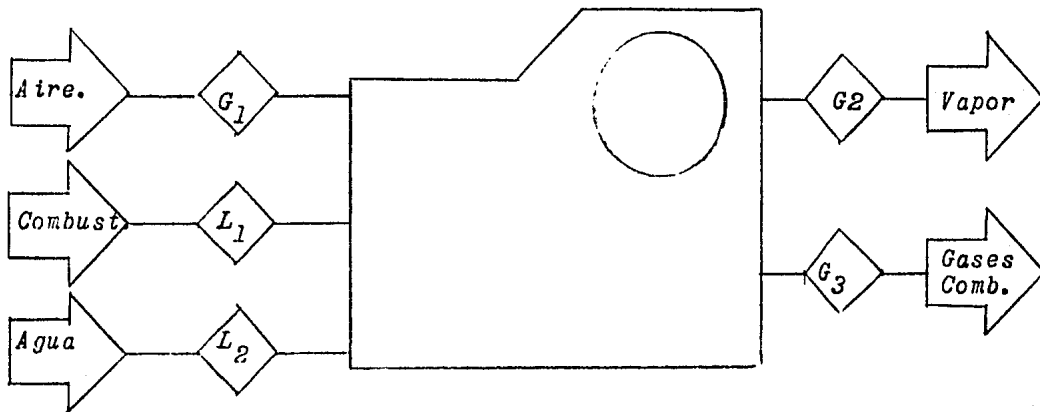
El balance de energía en una caldera indica como se distribuye la energía del combustible y de las otras corrientes de alimentación en la entalpía del vapor producido, pérdidas de calor debidas a los gases de combustión incompleta del combustible y a la radiación y conducción a través de la caldera.

Para establecer el balance de energía en el proceso de combustión, todas las fuentes de energía térmica deben figurar como términos de entrada y los de utilización y disipación de calor como términos de salida.

En las etapas iniciales de generación de vapor, se produce en la caldera un vapor saturado que con cualquier disminución de temperatura ó aumentando la presión empezará a condensarse. Este hecho provoca que se tenga un vapor humedo lo cual no es deseable ya que es perjudicial para equipos tales como turbinas, cuyos alabes son severamente erosionados por el vapor humedo. Debido a lo anterior resulta recomendable pasar el vapor saturado por un cambiador de calor llamado sobrecalentador el cual se localiza en el hogar de la caldera. De esta manera el vapor se calienta por encima de su temperatura de saturación previniéndose así condensaciones para poder proporcionar un vapor libre de humedad.

EJEMPLO DE CALCULO

Una vez realizado el balance de materia para el proceso se cuenta con los siguientes datos .



G_1 : $Y = 0.013$
 $t = 18^\circ C$
 647.8 Kg/hr

L_1 : $37.8^\circ API$
 $K = 12.24$
 $t = 18^\circ C$
 31.6 Kg/hr

L_2 : $t = 18^\circ C$
 353 Kg/hr

G_2 : $2.8 \frac{Kg}{cm^2}$
 353 Kg/hr

| Componente | x |
|------------|-------|
| CO_2 | .1265 |
| CO | .0128 |
| O_2 | .0668 |
| N_2 | .7301 |
| H_2O | .0638 |

G_3 ; $t = 350^\circ C.$

Balance de energía :

$$H_1 G_s + (h_1 + \Delta H_c) L_1 + h_2 L_2 = H_2 G_2 + H_3 G_3 + p.c.$$

Debido a que se tendran que utilizar las tablas de vapor se tomara como temperatura de referencia 0°C .

$$H_1 = (0.24 + 0.46 Y_1) (t_1 - 0) + 597 Y_1$$

$$H_1 = (0.24 + 0.46 \times 0.013) (18 - 0) + 597 \times 0.013$$

$$H_1 = 12.2 \text{ Kcal/Kgas}$$

$$x_{as} = \frac{1}{1 + 0.013} = .9872 \frac{\text{Kgas}}{\text{Kgas}}$$

$$G_s = G_1 x_{as} = 647.8 \frac{\text{Kgas}}{\text{hr}} \times .9872 \frac{\text{Kgas}}{\text{Kgas}} = 639 \frac{\text{Kgas}}{\text{hr}}$$

$$h_1 = C_{p_{\text{comb}}} (t_1 - 0) ; \quad t_1 = 18^\circ\text{C}$$

De la grafica C_p vs t_1 y $^\circ\text{API}$:

$$C_p = 0.45 \text{ Kcal/Kg }^\circ\text{C} , \text{ Factor de corrección} = 1.02$$

$$C_{p_{\text{comb}}} = 0.45 \times 1.02 = 0.46 \text{ Kcal/Kg }^\circ\text{C}$$

$$h_1 = 0.46(18 - 0) = 8.28 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

De la grafica de calor total de combustión vs $^\circ\text{API}$ y con una $K = 12.0$ (ya que no se puede leer para $K = 12.24$) :

$$\Delta H_c^\circ = -19700 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}} \times \frac{1 \text{ Kcal/Kg}}{1.8 \text{ BTU/lb}} = -10944 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

$$\text{Calor neto de combustión} = \text{Calor total} + 572 \text{ Kcal/Kg}$$

$$\Delta H_c = -10944 + 572 = -10372 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

Determinación de la calidad del vapor :

Para determinar la calidad del vapor solo se utilizaran los datos del calorimetro isoentalpico, ya que con el calorimetro de barril se obtuvieron datos muy poco confiables .

| Det. | p_v ($\overrightarrow{\text{Kg}}/\text{cm}^2$) | t ($^{\circ}\text{C}$) | p_{ab} ($\overrightarrow{\text{Kg}}/\text{cm}^2$) | X |
|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------|
| 1 | .75 | 94 | 1.545 | .9870 |
| 2 | 1.5 | 94 | 2.295 | .9780 |
| 3 | 2.0 | 94 | 2.795 | .9740 |
| 4 | 2.5 | 94 | 3.295 | .9710 |
| 5 | 2.7 | 94 | 3.495 | .9670 |
| $p_{atm} = .795 \overrightarrow{\text{Kg}}/\text{cm}^2$ | | | | $\bar{X} = .9754$ |

La calidad se obtuvo a partir del diagrama de Molliere .

$$H_2 = H_f(1 - X) + H_g X$$

$$P_v = 2.8 \overrightarrow{\text{Kg}}/\text{cm}^2 ; p_{abs} = 2.8 + .795 = 3.595 \overrightarrow{\text{Kg}}/\text{cm}^2$$

Con el dato de la presión absoluta y de las tablas de vapor :

$$H_f = 251.4 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}} ; H_g = 1174.4 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}}$$

$$H_2 = 251.4(1 - .9754) + 1183.7 \times .9754 = 1157 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}}$$

$$H_2 = 1157 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}} \times \frac{1 \text{ Kcal/Kg}}{1.8 \text{ BTU/lb}} = 642.8 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

Para poder evaluar H_3 se calculara primeramente el C_p molar promedio de cada componente de la corriente G_3 .

$$\bar{C}_p = a + \frac{b}{2}(T + T_r) + \frac{c}{3}(T^2 + T T_r + T_r^2)$$

$$t_3 = 350 \text{ }^{\circ}\text{C} ; T_3 = 350 + 273 = 623 \text{ }^{\circ}\text{K} ; T_r = 273 \text{ }^{\circ}\text{K}$$

| Componente | a | $b \text{ E}+2$ | $c \text{ E}+5$ | \bar{C}_p (Kcal/ $\overrightarrow{\text{Kg}}$ $^{\circ}\text{C}$) |
|----------------------|-------|-----------------|-----------------|----------------------------------------------------------------------|
| N_2 | 6.903 | -.0375 | .1930 | 7.142 |
| CO_2 | 5.316 | 1.429 | -.8362 | 9.952 |
| H_2O | 7.700 | .0459 | .2521 | 8.438 |
| O_2 | 6.085 | .0363 | -.1704 | 7.351 |
| CO | 6.726 | .0400 | .1283 | 7.176 |

Ahora se calcularan los \bar{C}_p 's masicos de cada componente y apartir de ellos el C_p de la corriente G_3 según :

$$\bar{C}_p = \frac{\bar{C}_p}{M} \quad ; \quad C_{p_3} = \sum x_i \bar{C}_{p_i}$$

| Componente | \bar{C}_p | M | \bar{C}_p | x | \bar{C}_{p_x} |
|------------------|-------------|----|-------------|-------|-----------------|
| N ₂ | 7.142 | 28 | .2521 | .7301 | .1841 |
| CO ₂ | 9.952 | 44 | .2262 | .1265 | .0286 |
| H ₂ O | 8.438 | 18 | .4618 | .0638 | .0295 |
| O ₂ | 7.351 | 32 | .2297 | .0668 | .0153 |
| CO | 7.176 | 28 | .2563 | .0128 | .0033 |

$$C_{p_3} = .2608$$

$$H_3 = C_{p_3}(t_3 - tr) = .2608(350 - 0) = 91.3 \text{ Kcal/Kg}$$

$$p.c. = H_1 G_s + (h_1 + \Delta H_c) L_1 + h_2 L_2 - H_2 G_2 - H_3 G_3$$

$$p.c. = 12.2 \times 639 + (8.28 + 10372)31.6 + 18 \times 353 - 642.8 \times 353 - 91.3 \times 672.5$$

$$p.c. = 53859 \frac{\text{Kcal}}{\text{hr}}$$

$$\text{Entrada de energía} = 12.2 \times 639 + (8.28 + 10372)31.6 + 18 \times 353$$

$$\text{Entrada de energía} = 342167 \frac{\text{Kcal}}{\text{hr}}$$

$$\% p.c. = \frac{53859}{342167} \times 100 = 15.74 \%$$

$$\text{Calor utilizado en generar vapor} = 642.8 \times 353 = 226908 \frac{\text{Kcal}}{\text{hr}}$$

$$\text{Eficiencia térmica} = \frac{226908}{342167} \times 100 = 66.31 \%$$

RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

| Prueba | No | , | : | 1 | 2 | 3 |
|--------------------------------|----|---|-------------|--------|--------|--------|
| Entalpia del aire alimentado | | , | Kcal/Kgas : | 12.2 | 12.2 | 12.2 |
| Entalpia del combustible | | , | Kcal/Kg : | 8.28 | 8.28 | 8.28 |
| Entalpia del agua alimentada | | , | Kcal/Kg : | 18 | 18 | 18 |
| Calor neto de combustión | | , | Kcal/Kg : | -10372 | -10372 | -10372 |
| Calidad del vapor | | , | : | .9754 | .9710 | .9710 |
| Entalpia del vapor producido | | , | Kcal/Kg : | 642.8 | 641.4 | 643 |
| Entalpia de los gases de comb. | | , | Kcal/Kg : | 91.3 | 93.3 | 91.7 |
| Perdidas de calor | | , | Kcal/hr : | 53859 | 58484 | 58616 |
| Entrada total de energía | | , | Kcal/hr : | 342167 | 341410 | 341733 |
| Perdida de calor | | , | % : | 15.74 | 17.13 | 17.15 |
| Calor utilizado por el vapor | | , | Kcal/hr : | 226908 | 226414 | 226979 |
| Eficiencia termica | | , | % : | 66.31 | 66.32 | 66.42 |

MANUAL DEL PROFESOR.

LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA.

PROPUESTA DE PRACTICA PARA INGENIERIA QUIMICA II.

PRACTICA No. 5.

**BALANCE DE ENERGIA EN LAS
OPERACIONES AIRE-AGUA.**

FACULTAD DE QUIMICA.

DIVISION DE ESTUDIOS PROFESIONALES.

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUIMICA.



MANUAL DEL PROFESOR.

PROPUESTA DE PRACTICA PARA INGENIERIA QUIMICA II.

PRACTICA No. 5.

" BALANCE DE ENERGIA EN LAS OPERACIONES AIRE-AGUA ".

Objetivo de la práctica.

En esta práctica se muestra la aplicación del balance de energía en las operaciones aire-agua, utilizando la carta psicrométrica y el diagrama presión-entalpía, con la posibilidad de aumentar ó disminuir el contenido de humedad y de calor de una corriente de aire.

Conceptos a tratar.

- Balance de energía.
- Acondicionamiento de aire.
- Diagrama presión-entalpía.
- Carta psicrométrica.

PRACTICA DE INGENIERIA QUIMICA II BALANCE DE ENERGIA.

PROPUESTA DE PRACTICA No. 5.

" BALANCE DE ENERGIA EN LAS OPERACIONES AIRE-AGUA ".

La técnica de acondicionamiento de aire se puede definir como aquella que trata de suministrar y mantener las condiciones atmosféricas deseadas en el interior de los locales con independencia de las condiciones atmosféricas externas.

A diferencia con lo que ocurre con la ventilación simple el acondicionamiento de aire implica la renovación del aire - calentándolo ó enfriándolo, según los casos, y aumentando o disminuyendo al mismo tiempo su grado de humedad, según las condiciones deseadas. La aplicación de esta técnica la podemos dividir en dos clases.,

- a) Acondicionamiento de aire de los locales habitados para el confort de sus habitantes (clima artificial).
- b) Acondicionamiento de aire para procesos industriales de fabricación.

En todos los sistemas de acondicionamiento de aire, sea cual fuere el destino que se le de hay que considerar como factores principales los siguientes.,

- Temperatura (función del calor contenido)
- Humedad relativa. (función del vapor de agua contenido)
- Pureza del aire y distribución del mismo.

La solución técnica de todos los problemas de acondicionamiento de aire es relativamente fácil en lo que se refiere a las pérdidas y ganancias de calor del local a acondicionar, la cantidad de aire necesario a modificar, temperatura y grado higrométrico del mismo con el margen suficiente para con -

trarestar la ganancia ó pérdida de calor aportadas al local.

La realización práctica tropieza sin embargo con una serie de inconvenientes para la debida aplicación del resultado de los calculos y su compaginación con las condiciones existentes en los locales. El éxito estriba en la elección del procedimiento y dispositivos más ventajosos para el caso en cuestión.

11.2 CONDICIONES BASICAS DE UN SISTEMA DE ACONDICIONA MIENTO DE AIRE.

Con el desarrollo de los sistemas de calefacción directa e indirectamente combinada con la humectación se ha producido simultaneamente el de los sistemas de enfriamiento con deshumectación, lo que ha motivado un progreso. La construcción de ventiladores, filtros y lavadores de aire que junto con modernos aparatos de control, han contribuido a la creación de la nueva técnica de acondicionamiento de aire en los locales de habitación. Para obtener los mejores resultados, ha demostrado la experiencia la enorme importancia que tiene la adecuada elección del tamaño y forma y situación de las bocas y rejillas de entrada para el suministro y difusión del aire, especialmente cuando se trata de refrigerar locales de habitación.

Lo que se deduce del análisis de los factores que contribuyen a crear un sistema perfecto de aire acondicionado.

- 1.- Temperatura.- Calefacción en invierno, refrigeración en verano.
- 2.- Humedad .- humectación en invierno, deshumectación en verano.
- 3.- Circulación.- Distribución uniforme del aire para obtener una temperatura uniforme en toda

la sala.

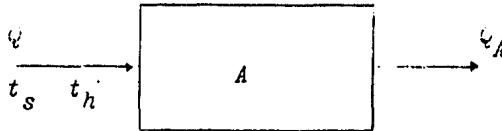
4.- Ventilación.- Eliminación de malos olores, evacuación del humo.

5.- Limpieza y pureza.

El objeto de un sistema de distribución de aire acondicionado es el ventilar manteniendo la temperatura dentro de límites agradables.

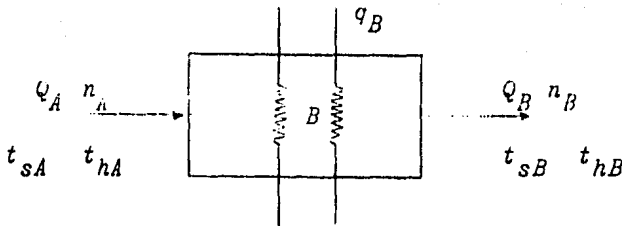
Balace de materia /energía.

Sección A.- En está sección unicamente se introduce aire al sistema a un flujo determinado, el que depende de las revoluciones por minuto del ventilador, y que se indica indirectamente mediante los milímetros de agua del manómetro instalado en la parte final del equipo, las condiciones en está sección serán las condiciones ambientales.

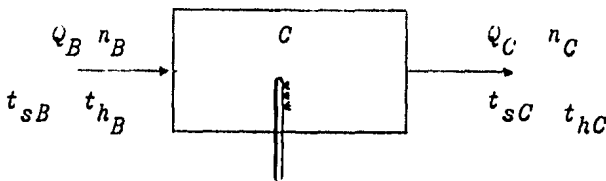


Sección B.- La sección B consta de dos calentadores en forma de resistencias, las que pueden ó no proporcionar una determinada cantidad de calor al aire que pasa a través de está sección dependiendo de que las resistencias estén ó no conectadas.

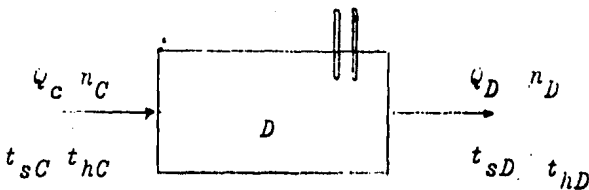
En está sección se puede realizar un balace de calor tomando en cuenta que la cantidad de calor suministrado al aire no podrá ser medida en está sección, sino al final de la sección B del equipo.



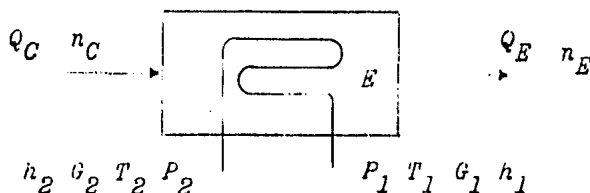
Sección C.- Esta sección consta de un inyector de vapor - que proporcionará humedad al aire caliente que pasa a través - de la misma. La cantidad de vapor de agua en la sección, dependerá del número de resistencias que se encuentren funcionando - éstas son tres y el valor de cada una es de 1.5 kw.



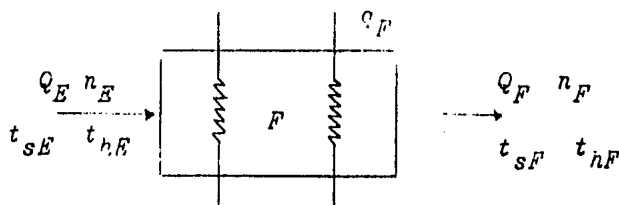
Sección D.- En esta sección se encuentran los puntos de medición de las secciones B y C las estimaciones efectuadas de los balances de materia y energía se podrán confirmar por las temperaturas de bulbo húmedo y bulbo seco que aparecen en los termómetros respectivos localizados en esta sección del equipo.



Sección E.- En esta sección se presenta la eliminación de calor por medio de un serpentín, el que contiene en su interior la sustancia refrigerante (freon -12) y el cual elimina el calor del aire evaporándose y sobrecalentándose, de tal manera que el aire es enfriado pasando a través del serpentín. Para comprobar la cantidad de calor adquirido por el refrigerante, se procederá a realizar un balance de entalpías.



Sección F.- En esta sección se presenta la eliminación de humedad del aire sin caída general en la temperatura de bulbo seco, puede añadirse calor mediante una ó dos de las resistencias instaladas de 0.5 Kw cada una.



Si se realiza el balance de calor en las secciones E y F se tiene que en la sección E se le está eliminando calor al aire, por lo que se restará y en la sección F se le agrega.

Sección G.- Medición de flujo (manómetro de agua) en el laboratorio se encuentra disponible la gráfica de lectura del manómetro contra flujo de aire.

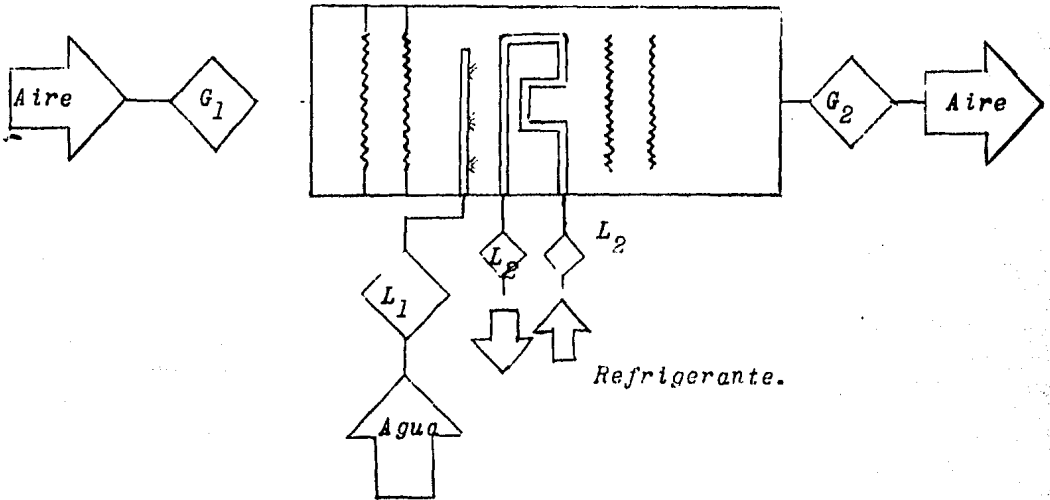
DATOS OBTENIDOS

| Prueba No | : | 1 | 2 | 3 |
|-----------------------------------|-------------------------|------|------|------|
| Sistema del aire | | | | |
| Lectura del manómetro | , mm H ₂ O : | 5.2 | 4.6 | 3.8 |
| Temperatura de bulbo seco (A) | , ° C : | 19.8 | 19.8 | 19.8 |
| Temperatura de bulbo humedo (A) | , ° C : | 15.9 | 15.9 | 15.9 |
| Temperatura de bulbo seco (D) | , ° C : | 19.8 | 32.5 | 28.2 |
| Temperatura de bulbo humedo (D) | , ° C : | 15.9 | 19.9 | 23.9 |
| Temperatura de bulbo seco (G) | , ° C : | 13.8 | 21.0 | 21.5 |
| Temperatura de bulbo humedo (G) | , ° C : | 12.7 | 16.0 | 20.4 |
| Sistema de el refrigerante | | | | |
| Flujo másico del refrigerante | , Kg/hr : | 37.0 | 46.2 | 49.0 |
| Presión del refrigerante | , bar : | 7.5 | 9.3 | 10.2 |
| Temperatura del refrigerante | , ° C : | 34.0 | 41.0 | 45.0 |
| Temperatura de entrada al evap. | , ° C : | 0.0 | 5.5 | 8.0 |
| Temperatura de salida del evap. | , ° C : | 7.0 | 10.0 | 15.0 |
| Presión de entrada el evap. | , bar : | 2.1 | 2.8 | 3.0 |
| Presión de salida del evap. | , bar : | 2.1 | 2.8 | 3.0 |

Es de hacerse notar que en la 1^{era} prueba no se le añadió calor al aire , en la segunda se le agrego 1 Kw y en la 2^{da} 3 1/2 Kw.

EJEMPLO DE CALCULO

Los datos que se utilizaran en el ejemplo son los de la 1^{era} corrida.



Características del sistema del aire :

| | | |
|---------------------------------|-------------------------|------|
| Lectura del manómetro | , mm H ₂ O : | 5.2 |
| Temperatura de bulbo seco (A) | , °C : | 19.8 |
| Temperatura de bulbo humedo (A) | , °C : | 15.9 |
| Temperatura de bulbo seco (D) | , °C : | 19.8 |
| Temperatura de bulbo humedo (D) | , °C : | 15.9 |
| Temperatura de bulbo seco (G) | , °C : | 13.8 |
| Temperatura de bulbo humedo (G) | , °C : | 12.7 |

Características del sistema del refrigerante :

| | | |
|---------------------------------|-----------|------|
| Flujo masico del refrigerante | , Kg/hr : | 37.0 |
| Presión del refrigerante | , bar : | 7.5 |
| Temperatura del refrigerante | , °C : | 34.0 |
| Temperatura de entrada al evap. | , °C : | 0.0 |
| Temperatura de salida del evap. | , °C : | 7.0 |
| Presión de entrada al evap. | , bar : | 2.1 |
| Presión de salida del evap. | , bar : | 2.1 |

Con la lectura del manómetro : 5.2 mm H₂O y el empleo de la grafica de lectura del manómetro vs flujo volumetrico del aire :

$$\underline{G}_1 = 377 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$G_1 = \underline{G}_1$$

A partir de la ecuación de los gases ideales :

$$\rho = \frac{p M}{R T}$$

$$p = 586 \text{ mm Hg} ; M = 29 \text{ Kg/Kg} ; R = 62.37 \frac{\text{mm Hg m}^3}{\text{K Kg}}$$

$$t_1 = 13.3 \text{ }^\circ\text{C} ; T = 13.3 + 273 = 286.8 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$\rho = \frac{586 \times 29}{62.37 \times 286.8} = .9482 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$G_1 = 377 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}} \times .9482 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = 357.4 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}}$$

Las condiciones de humedad y entalpia en la sección A son las mismas que para la sección D debido a que no existe calentamiento en la sección B .

De la carta psicrometrica de la Cd. de México y con tbs = 19.8 ° C y t_{bh} = 15.9 ° C :

$$Y = 0.012 \frac{\text{Kgagua}}{\text{Kgas}}$$

Para calcular la entalpia del aire se usara la siguiente formula que tiene como temperatura de referencia 0 ° C .

$$H = (0.24 + 0.46 Y)(t - 0) + 597 Y$$

$$H_A = (0.24 + 0.46 \times 0.012)(19.8 - 0) + 597 \times 0.012$$

$$H_A = 12.03 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kgas}}$$

En la sección G : tbs = 13.8 ° C ; t_{bh} = 12.7 ° C

$$Y = 0.011 \frac{\text{Kgagua}}{\text{Kgas}}$$

$$H_G = (0.24 + 0.46 \times 0.011)(13.8 - 0) + 597 \times 0.011$$

$$H_G = 9.954 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kgas}}$$

El cambio de entalpia sera entonces :

$$H_G - H_A = 12.03 - 9.954 = 2.076 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kgas}}$$

El calor perdido por el aire será :

$$G_1(H_G - H_A) = 357.4 \times 2.076 = 742.3 \frac{\text{Kcal}}{\text{hr}}$$

Calcularemos ahora el cambio de entalpia del refrigerante .

$$L_2 = 37 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}}$$

En la entrada del refrigerante :

$$p = 7.5 \text{ bars} \quad ; \quad t = 34 \text{ } ^\circ \text{C}$$

Del diagrama de Molliere para el Freon (CCl_2F_2) se obtiene :

$$h = 16.25 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

A la salida del refrigerante :

$$p = 2.2 \text{ bars} \quad ; \quad t = 7 \text{ } ^\circ \text{C}$$

Del diagrama de Molliere :

$$H = 41.87 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

De modo que el calor ganado por el refrigerante será :

$$L_2 (H - h) = 37 \times 25.62 = 947.9 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

| Prueba No | : | 1 | 2 | 3 |
|----------------------------------|----------------------|---------|-------|-------|
| Sistema de el aire | | | | |
| Flujo volumetrico del aire (G) , | m^3/hr | : 377 | 325 | 379 |
| Densidad de el aire (G) , | Kg/m^3 | : .9482 | .9240 | .9230 |
| Flujo masico del aire , | Kg/hr | : 357.4 | 330.1 | 298.3 |
| Humedad de el aire (D) , | Kg_{agua}/Kg_{gas} | : 0.012 | 0.014 | 0.022 |
| Entalpia de el aire (D) , | $Kcal/Kgas$ | : 12.03 | 16.37 | 20.20 |
| Humedad de el aire (G) , | Kg_{agua}/Kg_{gas} | : 0.011 | 0.013 | 0.019 |
| Entalpia de el aire (G) , | $Kcal/Kgas$ | : 9.954 | 12.93 | 16.70 |
| Calor perdido por el aire , | $Kcal/hr$ | : 742.3 | 1136 | 1043 |
| Sistema de el refrigerante | | | | |
| Entalpia del ref. a la ent. , | $Kcal/Kg$ | : 16.25 | 17.92 | 19.00 |
| Entalpia del ref. a la sal. , | $Kcal/Kg$ | : 45.87 | 46.11 | 46.59 |
| Calor ganado por el ref. , | $Kcal/hr$ | : 947.9 | 1302 | 1352 |

BIBLIOGRAFIA COMENTADA.

" BALANCE DE ENERGIA EN LAS OPERACIONES AIRE-AGUA "

1.- Acondicionamiento de aire.

Leza Gómez Mario Alberto.

Facultad de Química.

U.N.A.M. México 1979.

El equipo empleado y descrito en esta tesis, es precisamente el empleado para el desarrollo de la práctica, encontraremos ampliamente descrito el equipo, técnica de operación, recomendaciones, corridas experimentales y resultados y conclusiones.

2.- Air conditioning laboratory notes.

P.A. Hilton LTD Engineers.

Inglaterra.

Estas notas constituyen el manual de operación, instructivo y guía de manejo del equipo, encontraremos las características más importantes del equipo y forma de llevar a cabo el mantenimiento de sus partes.

3.- Instalaciones de acondicionamiento de aire.

Vives Escuder José.

Reverte S.A.

España 1947.

Es una de las primeras obras que se escribieron al respecto y por tratar específicamente el tema de acondicionamiento de aire es el más extenso en el tema, muy recomendable desde el punto de vista teórico y operacional.

MANUAL DEL PROFESOR.

LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA.

PROPUESTA DE PRACTICA PARA INGENIERIA QUIMICA II.

PRACTICA No. 6.

**BALANCE DE ENERGIA EN DESTILACION A
REGIMEN INESTABLE.**

FACULTAD DE QUIMICA.

DIVISION DE ESTUDIOS PROFESIONALES.

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUIMICA.



MANUAL DEL PROFESOR.

PROPUESTA DE PRACTICA PARA INGENIERIA QUIMICA II.

PRACTICA NO. 6.

" BALANCE DE ENERGIA EN DESTILACION A REGIMEN INESTABLE".

Objetivo de la práctica.

La destilación diferencial constituye uno de los procesos en regimen inestable, en esta práctica ejemplificamos como plantear el balance de materia para este caso en-especifico con la representación del fenómeno con diversos modelos.

Conceptos a tratar.

Balance de materia en regimen inestable.

Balance de energia.

Diversos modelos del comportamiento de la destilación diferencial.

PRACTICA DE INGENIERIA QUIMICA II BALANCE DE ENERGIA.

PROPUESTA DE PRACTICA No. 6.

" BALANCE DE ENERGIA EN DESTILACION A REGIMEN INESTABLE "

La destilación intermitente es el proceso de separación - de una cantidad específica (carga) de un líquido en sus componentes. La destilación diferencial es utilizada ampliamente en el laboratorio y en las unidades de producción en pequeña esca la. Puede utilizarse también en unidades a gran escala, el ma- terial a ser separado puede contener una alta cantidad de sól idos ó resinas que incrustarían una unidad continua. El uso de- una cantidad intermitente permite mantener los sólidos separa- dos, pudiendo separarse estos al final del proceso de destila- ción.

La forma más simple de destilación intermitente es la - DESTILACION DIFERENCIAL, la cual proporciona unicamente una eta pa de separación y cuya aplicación se restringe a procesos de- separación primaria, que seran seguidos de un proceso riguroso de separación ó donde no se requiere una alta pureza del pro- ducto final.

Para obtener productos con un intervalo de composición - cercano, se utiliza la destilación intermitente con rectificac- ión. Los componentes del equipo son, un alambique, una colum- na de rectificación, un condensador, un separador y uno ó más recipientes colectores.

La temperatura del destilado es controlada para que el re flujo se encuentre aproximadamente a la temperatura de la co- lumna. Además se utiliza un condensador para el destilado, la carga puede operar $\frac{1}{2}$ a presión o vacío.

En operación, una cantidad de líquido es cargada al alam- bique y el sistema inicialmente se opera en estado estable be-ajo reflujo total. Una porción de los productos destilados es - entonces continuamente separados de acuerdo con el reflujo que

se desee. La destilación se detiene cuando los destilados combinados tienen la composición promedio deseada.

Debido a que la composición en la columna cambia constantemente, los métodos de cálculo rigurosos son extremadamente complejos. El método usual de cálculo está basado en el método gráfico McCabe-Thiele y en las suposiciones de columna adiabática, flujo equimolecular y un calor de mezclado despreciable.

Las columnas intermitentes se utilizan mucho en las separaciones azeotrópicas, en lugar de utilizar múltiples columnas. Por ejemplo en la separación de n-butanol-agua. El proceso se inicia cargando la mezcla original en un alambique. En la primera destilación la fase acuosa es acumulada en un tanque de almacenamiento para posterior procesamiento. El segundo corte es una mezcla de butanol con trazas de agua, este también es almacenado para ser añadido a una carga fresca de alimentación. Los líquidos remanentes son esencialmente n-butanol puro, pero pueden ser también destilados para remover impurezas.

BIBLIOGRAFIA COMENTADA.

" BALANCE DE ENERGIA EN DESTILACION A REGIMEN INESTABLE "

- 1.- Operaciones basicas de Ingenieria Química.
Brown /Etal.
Editorial Marw S.A. España 1965.
Deduca uno de los modelos mas representativos del fenómeno, la ecuación de Rayleigh.
- 2.- Distillation.
Van Winkle Mathew.
Mc Graw-Hill USA 1967.
Es el mas extenso en esta operación enfatizando a sistemas de multicomponentes.
- 3.- Elementos de Ingenieria Química.
Vian/Ucon.
Editorial Aguilar. España 1976.
Describe la destilación diferencial mediante el empleo de un diagrama de equilibrio, proporcionando los correspondientes ejemplos de aplicación, en especial para el sistema Benceno-Tolueno.
- 4.- Chemical Engineering Handbook.
Perry/Chilton.
Mc Graw-Hill/Kogakusha. USA 1973.
Presenta las variaciones operacionales que se presentan en este tipo de operación, conocer los esquemas y ejemplos de calculo de los equipos industriales.
- 5.- Principios y calculos basicos de Ingenieria Química.
Himmelblau David H.
C.E.C.S.A. México 1974.
Proporciona la metodología para resolver problemas de balance de materia y energía.

6.- *Unit Operations of Chemical Engineers.*

Mc Cabe/ Smith.

Mc Grau-Hill/Novaro. México 1965.

Ejemplifica la destilación diferencial de un sistema en especial, benceno-tolueno, y deduce las ecuaciones del fenómeno.

M A N U A L P A R A E L A L U M N O .

PRACTICAS DE INGENIERIA

QUIMICA (I) BALANCES

DE MATERIA .

- BALANCES DE MATERIA Y ENERGIA.

2.1 EL BALANCE DE MATERIA.

El principio de conservación de la materia establece lo siguiente:

" La materia no puede ser creada ni destruida, está es solamente susceptible de sufrir transformaciones."

Este es el principio en el cual se fundamenta, el balance de materia, una de las herramientas más importantes de la Ingeniería Química. Un balance de materia es la contabilidad de todos los flujos y cambios de masa en un sistema en estudio. A continuación se describe el principio del balance de materia aplicable a procesos con o sin reacción química.

$$\text{Entradas} + \text{Generación} = \text{Salidas} + \text{Acumulación} + \text{Consumo}$$

Los términos de generación y consumo se refieren a las transformaciones que ocurren con los elementos en las reacciones químicas. El término de acumulación puede ser positivo ó negativo, dependiendo de la magnitud relativa entre las corrientes de entrada y salida. Cada uno de los elementos del balance se establece para una unidad de tiempo determinada.

De modo general existen 2 tipos de situaciones que se presentan en el cálculo de los balances de materia.

- Procesos en estado estable.
- Procesos en estado inestable.

En el primer caso el término de acumulación es igual a cero, y las propiedades del sistema no varían con el tiempo. Para el caso de los procesos en estado inestable el término de acumulación y las propiedades del sistema varían con el tiempo.

El balance de materia puede ser aplicado a un proceso como un balance global de los términos de entrada y salida, como también a las partes intermedias del proceso y a cada uno de los elementos componentes de cada corriente del proceso. El balance debe aplicarse siempre en unidades de masa ó bien moles. Cuando ocurre una reacción química el balance molar puede aplicarse por componente, pero no para la generalidad del proceso.

Cada balance independiente proporciona una ecuación, debiendo plantearse tantas ecuaciones linealmente independientes como incógnitas existan, para poder definir completamente el proceso.

En el cálculo de los balances de materia es conveniente realizar ciertos pasos preliminares que son muy útiles y ayudan a evitar los errores.

- 1.- Prepárese un diagrama de flujo del sistema, lo más simplificado posible,
- 2.- Coloquense en dicho diagrama de flujo todos los datos disponibles, necesarios en el balance de materia.
- 3.- Para el caso en el que existan reacciones químicas se deben escribir estas y ser balanceadas.
- 4.- Debe seleccionarse una base de cálculo conveniente.

Un uso primario de los balances de materia es en los cálculos de diseño, donde los balances son utilizados para evaluar las cantidades de productos, cuando se disponen de los datos de alimentación, conversión y de los procesos de separación física que ocurran. Los balances de materia conjuntamente con los de energía, ayudan a determinar los instrumentos de medición que se requieren para mantener en optimas condiciones el funcionamiento de un equipo. También estos balances son de gran uti-

lidad en la evaluación económica de los procesos existentes ó propuestos y en las decisiones de operación que los jefes de planta deben hacer diariamente.

FRAC TICA DE INGENIERIA QUIMICA I BALANCE DE MATERIA.

PROPUESTA DE FRAC TICA No. 1.

" EL LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA "

El laboratorio de Ingeniería Química de la Facultad de Química, se empezó a formar alrededor de los años cuarenta, - como parte integrante de la antigua Escuela Nacional de Ciencias Químicas y por gestiones de los señores profesores Constantino Alvarez, Mario Velasco y Alejandro Felix, cuando los profesores de teoría eran Antonio Guerrero y Alberto Urbina. La primera etapa se dedicó a la realización de prácticas de - flujo de fluidos, filtración, flujo de calor y evaporación. Entre 1953 y 1955 y con motivo del inminente cambio de todo - el sistema Universitario hacia la Ciudad Universitaria, tomó interés muy grande dentro de la Escuela, el proyecto de construcción de un nuevo local para el Laboratorio de Ingeniería-Química.

Siendo director el señor Rafael Illescas F. y subsecretario - el señor Manuel Madrazo Garamendi, se presentó la necesidad - de determinar las características que debería tener el local - de laboratorio y seleccionar los equipos adecuados. Para rec - lizar estos trabajos, se propuso a un alumno pasante abordara como tema de tesis, la creación de éste nuevo laboratorio, so - bre la base de que las fabricas de papel San Rafael habían de - cidido otorgar a la E.N.C.Q. un donativo por valor de \$ 750 - 000. 00; éstas circunstancias trajeron como consecuencia un - asedio por parte de los vendedores sobre el pasante encargado de realizar el diseño como tesis, al grado de tener que aban - donarse la idea y dejar en manos de los profesores de la mate - ria, entre los que se encontraba el Ing. Larrasa, la selección de los equipos destinados a éste laboratorio.

La selección se hizo en base a la cantidad disponible en dinero y con el criterio de comprar aparatos, no muy pequeños

con el fin de maquilar productos y de esta manera obtener beneficios que tentativamente se destinarían al mejoramiento de la dependencia. Así se adquirieron los siguientes equipos.;

a) Una caldera automática de 50 cv marca Superior, construida en Nueva York en 1954, la cual se adquirió nueva y dotada de un tanque de almacenamiento de combustible Diesel con capacidad de 8 550 litros.

b) Un sistema de evaporación a doble efecto Swenson, - construido en acero inoxidable, con el atributo de estar expresamente diseñado para la enseñanza. (Este evaporador genera el agua destilada necesaria para el funcionamiento de la Facultad.)

c) Un filtro rotatorio continuo de acero inoxidable marca Fenic de tamaño experimental.

d) Una columna de rectificación de 20 platos con 3 capuchas de burbujeo en cada plato, marca Brighton Copper Works.

e) Un extractor para remoción de productos vegetales, ce reales, semillas, hojas, cortezas, etc., por medio de disolven tes orgánicos y un destilador para la recuperación de dichos disolventes marca Brighton Copper Works.

f) Un secador de aspersión marca Swenson, construido en acero inoxidable con capacidad de 1 Kg. de material seco por hora.

g) Un molino de bolas nuevo, marca Hardinge.

h) Un reactor para resinas sintéticas de acero inoxidable No. 304.

Los gastos correspondientes al montaje, instalación, in geniería de construcción y todos los servicios conexos corrie

ron por cuenta de la UNAM según contrato de la empresa Bufette Industrial, S.A.

Las instalaciones fueron entregadas por esta firma en el año de 1956 y durante 1957 se hizo el traslado a Ciudad Universitaria, de los aparatos que existían en el laboratorio de Ingeniería Química de la antigua Escuela de Tacuba, entre ellos

a) Un secador a vacío construido de fierro fundido y con charolas huecas para la recirculación de vapor, marca Devine.

b) Un sistema de evaporación a doble efecto con caja de sal, construido en fierro fundido, marca Devine.

c) Un filtro prensa de placas y marcos de 32 por 32 cm - de acero fundido con su bomba inyectora de lodos.

En el año de 1962 y siendo jefe del laboratorio el Ing. - lario Velasco, se hicieron importantes cambios en los equipos de evaporación, destilación, secado y molino de bolas hasta - lograr hacer que quedasen en buenas condiciones los programas de prácticas.

Los grupos que hacían prácticas eran los dos que llevaban el cuarto año de la carrera (correspondiente a ingeniería química V y VI siendo los profesores de teoría, los ingenieros - Alberto Urbina y Alberto Breakaunts.)

De 1963 a 1970, se contó con nuevos equipos por donación o - compra entre ellos.;

a) Un secador rotatorio donado por la compañía Monsanto Mexicana S.A. en 1966.

b) Una bomba de vacío Wash, un agitador, un separador - centrifugo Iodbielniak y un molino chileno para mezclado, todo esto, donado por gestiones del ingeniero Manuel Labastida.

c) Una planta desionizadora de agua, donada por una compañía fabricante de cinescopios por instancia del Ing. Alberto - Hernandez Galindo.

d) Un minifiltro prensa de placas y marcos, donado por - el profesor Alberto Obregón.

e) Una máquina preparadora de minerales y una mesa para analisis metalúrgicos.

f) Una columna empacada de cristal Q.V.F. para extracción líquido-líquido.

g) Una torre de enfriamiento de agua.

Desde 1970 y siendo director de la Facultad el Dr. José F. Herrán, el laboratorio de Ingeniería Química, ha tenido - numerosos cambios y modificaciones con el fin de adaptarlo a nuevas tendencias y agilizar y modernizar la enseñanza de las prácticas de Ingeniería Química.

En estos últimos años se establecieron nuevas prácticas, obligatorias para los estudiantes de Ingeniería Química y se impartieron prácticas por primera vez a los alumnos de metalurgia y de Farmacia. Estos programas de prácticas obligaron a que se pusiera en servicio equipos que habían estado arrumbados por algún tiempo que se modificaran algunos otros y que se diera un intenso mantenimiento a todos los demás.

También se han adquirido nuevos equipos y se han terminado de adaptar otros que ya se tenían con anterioridad. Entre las nuevas adquisiciones se cuenta con una columna de humidificación una torre de paredes mojadas, una columna de destilación de platos perforados, un equipo de humidificación de aire, un equipo de descarga de tanques, una torre de enfriamiento de agua Hilton, una unidad de acondicionamiento de aire, y un aparato de fricción de fluidos.

1.2 SITUACION ACTUAL.

El continuo crecimiento del laboratorio de Ingeniería Química así como el reconocimiento de la importancia de la enseñanza en el aprendizaje de la Ingeniería Química, hizo posible que en Junio de 1976, se concediera a los cursos de laboratorio de Ingeniería Química el caracter de materia obligatoria independiente de la teoría y con créditos propios. De esta manera se formaron las materias de laboratorio de Momentum y Calor y laboratorio de Transferencia de Masa.

Las materias tienen como objetivo la enseñanza práctica de la Ingeniería Química de tal manera que el alumno aplique sus conocimientos adquiridos a equipos reales y adquiera la habilidad necesaria para manejarlos, obtener datos experimentales y a partir del análisis de estos, formular conclusiones a cerca del funcionamiento de los aparatos ó para determinar algunas, variables de diseño.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.

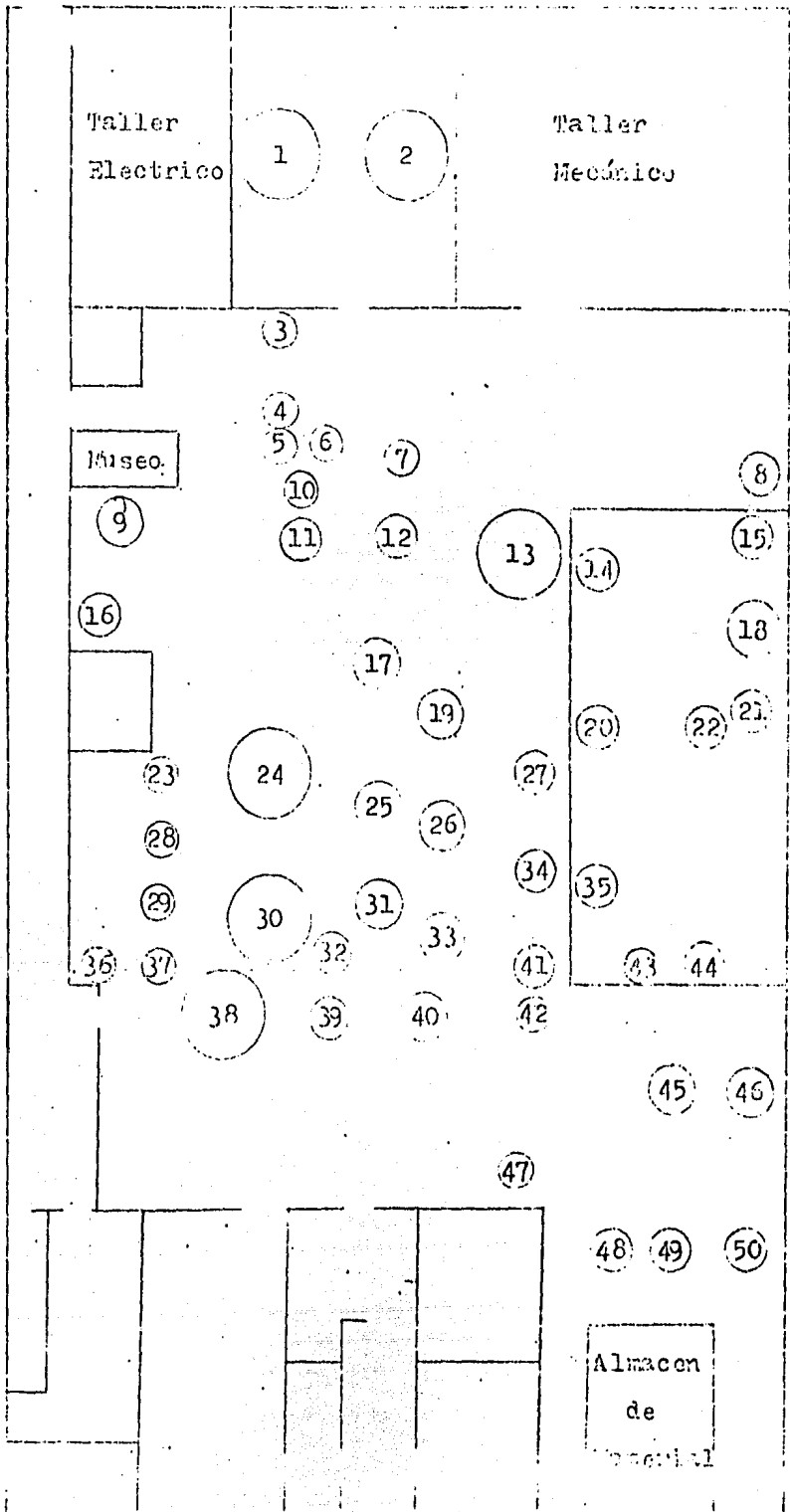
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS.

LAB. DE ING. QUÍMICA.

Localización del equipo.

- 1.- Caldera marca "Monitor".
- 2.- Caldera marca "Superior".
- 3.- Determinación del coeficiente de transferencia de calor.
- 4.- Calorímetro de barril.
- 5.- Calorímetro isentalpico.
- 6.- Destilador de agua.
- 7.- Cambiador de calor de tubos aletados.
- 8.- Tanque de almacenamiento de agua destilada.
- 9.- Secador de espumas Swenson.
- 10.- Compresora.
- 11.- Secador de charolas a vacío.
- 12.- Tanque enchaquetado.
- 13.- Evaporador con condensador horizontal y cond. vertical.
- 14.- Columna de vidrio para destilación.
- 15.- Cambiador de calor de tubos y coraza.
- 16.- Extractor líquido-líquido para recuperación de solventes.
- 17.- Secador de charolas.
- 18.- Evaporador de calandria de doble efecto.
- 19.- Columna empacada con calentamiento eléctrico.
- 20.- Torre empacada de vidrio para extracción líquido-líquido.
- 21.- Panel de control del equipo de la fosa.
- 22.- Filtro rotario a vacío.
- 23.- Molino de muelas abrasivas.
- 24.- Secador rotatorio.
- 25.- Torre de enfriamiento de agua.
- 26.- Columna de humidificación de aire.

- 27.- Alambique de platos.
- 28.- Molino de cereales y granos.
- 29.- Molino de cereales y granos.
- 30.- Molino de bolas Hardine.
- 31.- Acondicionador de aire.
- 32.- Flujo de fluidos no Newtonianos.
- 33.- Torre de vidrio de platos perforados.
- 34.- Destilador por arrastre con vapor.
- 35.- Torre empacada de destilación.
- 36.- Vibrador para tamizado.
- 37.- Molino de martillos.
- 38.- Dinamica de fluidos.
- 39.- Cambiador de calor de flujo cruzado.
- 40.- Filtro prensa.
- 41.- Torre de paredes humedas.
- 42.- Minifiltro prensa.
- 43.- Cila vaporizadora.
- 44.- Torre de platos.
- 45.- Bombas.
- 46.- Compresora de 3 hp.
- 47.- Descarga de tanques.
- 48.- Dinamica de gases.
- 49.- Medidores de flujo.
- 50.- Banco de factor de fricción.



1.4 REGLAMENTO DE PRACTICAS

LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA.

1.- Es obligación del alumno traer la práctica adecuadamente estudiada, ya que el instructor aplicará un cuestionario que valorará los conocimientos previos para efectuar las prácticas, en la inteligencia de que el alumno que no reúna los requisitos previos de conocimientos, no podrá efectuar la práctica y por lo tanto será anulada.

2.- El alumno deberá presentarse puntualmente a cada práctica con plazo límite de 15 minutos, en caso de retraso no se aceptará la asistencia.

3.- Es indispensable que el alumno traiga bata y ropa de trabajo adecuada.

4.- La resolución de los problemas de cada práctica debe rá entregarse en la siguiente sesión, reporte que será cotejado con la hoja de datos que el grupo entregará al finalizar su práctica.

5.- En el reporte debe traer todos los cálculos pedidos indicando con exactitud como se llegó a los resultados y conclusiones, cuando sea necesario incluir dibujos o diagramas - estos deberán hacerse con precisión y exactitud, tomando en cuenta que se trata de un trabajo tipo profesional.

6.- El alumno deberá cuidar en forma rigurosa de los equi pos y materiales usados en las prácticas, así como los instru mentos que se le proporcionen, pues el uso incorrecto de todo lo anterior se sancionará.

7.- Los materiales e instrumentos deben solicitarse al laboratorista mediante vale y credencial.

8.- Al finalizar la práctica el alumno deberá dejar en buenas condiciones de limpieza cada equipo usado.

9.- Es obligación de los alumnos contar con el instructivo de cada práctica y aplicar en lo posible la información al respecto de las experiencias que se hagan, recurriendo a la bibliografía mencionada en cada práctica.

10.- El programa se dará por concluido cuando el alumno compruebe su asistencia y la aceptación del informe (de la totalidad de las prácticas programadas) por el profesor de su grupo.

Referencias.- 13, 26, 31, 34, 35.

PRACTICA DE INGENIERIA QUIMICA I. BALANCE DE MATERIA.

PROPUESTA DE PRACTICA No. 2.

" MEDICION DE VARIABLES ".

OBJETIVOS ;

- 1.- Llevar a cabo la calibración de un manómetro.
(tipo Bourdon).
- 2.- Determinar el punto de inmersión de un termómetro.

INTRODUCCION.

Con excepción de la temperatura, la presión es probablemente la variable más utilizada en los procesos operacionales en Ingeniería Química. El número de medidores de presión usados en cualquier tipo de planta es más grande que cualquier otro tipo de instrumento. La presión así mismo es una medida indirecta de otras variables. Así el caudal de los fluidos casi siempre se mide por la diferencia de presión creada a lo largo del flujo de los mismos. La temperatura es medida por la presión en el sistema debida a la expansión térmica de gases y líquidos; el nivel de un líquido puede ser medido por la presión hidrostática al pie de la columna del líquido, etc. Los medidores de presión no son instrumentos caros de instalar y mantener, pero como el elemento de presión usualmente está expuesto al fluido cuya presión será medida y el fluido usualmente llena por entero el sistema medidor, puede ser fuente de considerables dificultades si no es usado el tipo correcto de medidor, ó si la instalación es hecha incorrectamente.

El uso de la presión y el vacío y de aquí su medición ha sido de enorme importancia en los procesos de trabajo, con la tendencia general de emplearse en muchos procesos.

En años recientes el desarrollo de los procesos de alto-vacío, han abierto un nuevo campo de trabajo a presiones sumamente bajas. De este modo hay la necesidad de manejar y medir un rango de presiones que fluctúan entre milímetros de mercurio (mm Hg) hasta decenas de atmósferas. La presión debida a un fluido se define como la fuerza aplicada o distribuida por unidad de área. La unidad de presión tiene como dimensiones $M L^{-1} T^{-2}$. La presión al pie de una columna de líquido es dada directamente por el producto de la densidad y la altura en unidades consistentes.,

$$P = h \rho \frac{g}{g_c}$$

Presión absoluta. - Es la presión total ejercida por el fluido medida desde cero. Desafortunadamente la mayoría de los medidores de presión son de caracter diferencial y la medida es la diferencia de presión entre la desconocida y la presión-estandar de referencia por la comodidad de construcción la presión de referencia es la atmosférica y el resultado es la presión manométrica.

$$P_{\text{medida}} = P_{\text{absoluta}} - P_{\text{atmosférica.}}$$

Vacío. - Es un caso especial de una medida de presión diferencial en la cual la presión medida es menor que la atmosférica. La presión manométrica es negativa, pero el vacío se reconoce como positivo particularmente expresado en pulgadas-ó centimetro de mercurio.

$$P_{\text{vacío}} = P_{\text{atmosférica}} - P_{\text{absoluta.}}$$

Clasificación de los instrumentos medidores de presión.

Desde que la presión es la fuerza distribuida sobre una - unidad de área, el principio general de la medición de presión es medida como la fuerza aplicada por unidad de área.

- 1.- Balance de la fuerza aplicada por conocimiento de la fuerza de oposición, o
- 2.- La deformación cuantitativa ó deflección de un elemento elástico tal como un resorte ó diafragma.

El rápido avance de las técnicas de alto vacío ha abierto un nuevo campo en el que la presión absoluta es medida por

- 3.- Los cambios cuantitativos de las propiedades físicas.

Temperatura.

El concepto de la temperatura surge de la necesidad de - establecer una formalización del concepto ordinario de "grado relativo de calentamiento" de un cuerpo. La temperatura es un atributo de los cuerpos que permite diferenciarlos entre sí - con respecto a su grado de calentamiento. Para establecer una escala de temperaturas esto es, asignar valores numéricos a la temperatura, se sigue un procedimiento por lo general arbitrario. Para fijar estas escalas arbitrarias existen un estado térmicos fijos, temperaturas, las cuales pueden ser caracterizadas por un fenómeno definido que ocurre a estas temperaturas. Las más importantes de estas temperaturas (también llamadas puntos fijos) son los puntos de fusión y ebullición de sustancias puras a una presión determinada.

DESCRIPCION DEL EQUIPO.

El equipo instalado para esta práctica consta de un depósito de mercurio y una columna de aproximadamente 11 metros.

El depósito de mercurio tiene una capacidad aproximada de dos litros. En el momento en el que empieza a formarse la cámara de aire comprimido, el mercurio es impulsado por esta presión dentro de la columna, instalada sobre el peralte de la viga I del soporte de la escalera de los evaporadores de acero inoxidable. El aire comprimido proviene de una compresora de dos pasos, capaz de producir 175 psig de presión, instalada junto al secador de espreas. Esta compresora sin embargo, está dotada de un automático que la para cuando la presión sube a 150 psig y la arranca cuando baja a 125 psig. La regulación de la presión de la cámara de aire comprimido, se logra por medio de una válvula de globo para alta presión instalada exactamente arriba del depósito de mercurio que a su vez se encuentra fijo al pie de la viga I de soporte ya mencionada.

Para la determinación del punto de inmersión del termómetro se requiere de un vaso de precipitados de 1 litro con agua en ebullición (P = Cd de México) y otro de la misma capacidad con hielo, un termómetro que posea marca en el punto de inmersión y varios termómetros para determinar el punto de inmersión.

TECNICA DE OPERACION

El procedimiento a seguir para la calibración de un manómetro en el sistema empleado en nuestro laboratorio de Ingeniería Química consiste en lo siguiente.,

- 1) Conectar en paralelo con la cámara que contiene el mercurio.,
 - a) El manómetro por calibrar.
 - b) Un instrumento tipo.
 - c) la columna líquida.
 - d) El medidor de nivel.

Entendiendose que está cámara (un recipiente cilindrico) puede mantenerse constante cualquier presión.

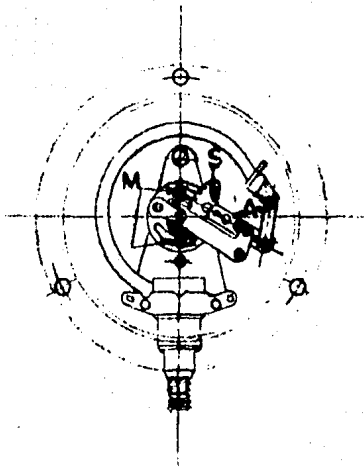
- 2.- Hacer los ajustes necesarios para que la aguja del manómetro por calibrar, se encuentre en posición tal que corresponda al cero de la escala.*
- 3.- Aplicar a esté recipiente una presión (con aire) - cualesquiera la cual deberá mantenerse constante durante el tiempo necesario para hacer las lecturas.*
- 4.- Tomar las lecturas de la columna líquida (Hg)*
- 5.- Tomar la lectura del medidor de nivel de la cámara.*
- 6.- La altura correcta de la columna líquida será la - diferencia de las lecturas anteriores.*
- 7.- Hacer las operaciones necesarias para convertir la presión dada por la columna líquida a las unidades del manometro tipo y del manómetro que se prueba.*
- 8.- For medio de la cremallera y el piñon que tiene el manómetro por calibrar, hacer los ajustes necesarios para que la aguja indicadora marque la presión correcta (columna líquida).*

Aplicar a la cámara una nueva presión y llevar a cabo - los pasos necesarios para que el manómetro que se prueba mar que la presión correcta. Repetir esté procedimiento varias - veces hasta que nuestro instrumento quede perfectamente ca - librado.

Determinación del punto de inmersión.

- 1.- Colocar un termómetro que posea marca en el punto de*

CALIBRACION



inmersión en un recipiente conteniendo hielo, a -
continuación, con otros termómetros que no tengan -
marca, se trata de que estos marquen la misma tempe-
ratura, que el que si posee la marca.

- 2.- Repetir el procedimiento anterior, a excepción, de que
en está ocasión debiera emplearse agua en ebullición -
en vez de hielo.

TRABAJO EXPERIMENTAL.

Calibración del manómetro.

Calibrar un manómetro es un termino sumamente amplio el cual -
debe dividirse en operaciones especificas.,

1) Corregir la calibración reajustando la manecilla micro
métrica a la forma deseada. Para hacer esto debe desmontarse -
el bisel y el cristal, ajustando la manecilla al punto más pro
ximo dentro del intervalo deseado.

2) Si este sencillo ajuste no es suficiente para lograr -
la precisión deseada, será necesario investigar las causas., -
tales como acción lenta o titubeante en algunos puntos de la -
escala, o bien la manecilla se mueve con demasiada celeridad -
ó demasiada lentitud en toda la escala ó en los extremos de la
misma.

3) La corrección para la lentitud; será limpiar todas las
chumaceras o los dientes de los engranes. El resorte de espiral
deberá ajustarse a modo de suprimir el juego; una tensión
excesiva provocará fricción y arrastre.

4) La corredera "S" al acercarse ó acortarse cambia la -
relación en el movimiento. Un tubo de bourdón puede cambiar -
ligeramente de manera que su reacción a una presión interna -

dada podrá ser ligeramente mayor ó menor; por lo tanto la corredera "S" deberá moverse para compensar ó coincidir con el movimiento del tubo bourdón. Si la manecilla se mueve muy rápidamente la corredera "S" deberá correrse hacia afuera, si el movimiento es demasiado lento deberá correrse hacia adentro. Una vez ajustado deberán apretarse los tornillos de sujeción.

5) Aún estando la corredera en su mejor posición, será necesario tener el ángulo de tira "A" preciso, o la manecilla se movera rápidamente ya sea en la parte inferior ó superior de la escala. Aflojando los tornillos "M" se puede girar todo el movimiento hasta obtener en "A" el ángulo deseado. Si el ángulo "A" es agudo la manecilla se moverá con rapidez en la primera parte de la escala y con lentitud en la última. Por ejemplo un manómetro puede marcar perfectamente de cero a la parte centro de la escala y de allí en adelante moverse con lentitud gradual. En este caso aumentese el ángulo "A" poco a poco conforme la manecilla empieza a moverse con rapidez en la ultima mitad de la escala "A" = 76' aproximadamente. Esta característica de ajuste es muy conveniente cuando se instala un nuevo movimiento en un manómetro usado.

Determinación del punto de inmersión.

Debido a la dificultad que presenta el calibrar un termómetro por cuestiones de construcción, es más conveniente determinar el punto de inmersión del mismo, para lo cual contamos con el material necesario para efectuar la práctica. Son necesarios únicamente un par de vasos de precipitados de un litro y varios termómetros entre los cuales se encuentre uno con marca en el punto de inmersión. La determinación del punto de inmersión es algo, muy sencillo y fácil de realizar dado que se emplean, como referencia puntos fijos fundamentales.

(Como es la temperatura de equilibrio entre el hielo y el agua saturada con aire " Punto fijo fundamental" y la temperatura de equilibrio entre el agua líquida y su vapor " punto fijo fundamental".)

El procedimiento consiste en.,

1) En un vaso de precipitados con hielo y agua se coloca el termómetro con marca en el punto de inmersión hasta el lugar indicado, a continuación y con los demás termómetros disponibles se procura que sin excepción, todos los termómetros indiquen igual temperatura, lo cual se logra variando la inmersión de los termómetros en el fluido.

2) Una vez lograda la homogeneidad en las temperaturas se procede a marcar el punto de inmersión.

3) Empleando ahora como punto fijo fundamental agua líquida y su vapor se repite el procedimiento señalado en el punto número 1.

DATOS FOR CONSIGNAR.

| Altura de la columna h (m) | Altura en el indicador de nivel. h (m) | Presión. Kg/cm ² | Lb/in ² |
|-------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------|--------------------|
| - | - | - | - |
| - | - | - | - |
| - | - | - | - |
| - | - | - | - |
| - | - | - | - |

Puntos fijos fundamentales
Temperatura de.,

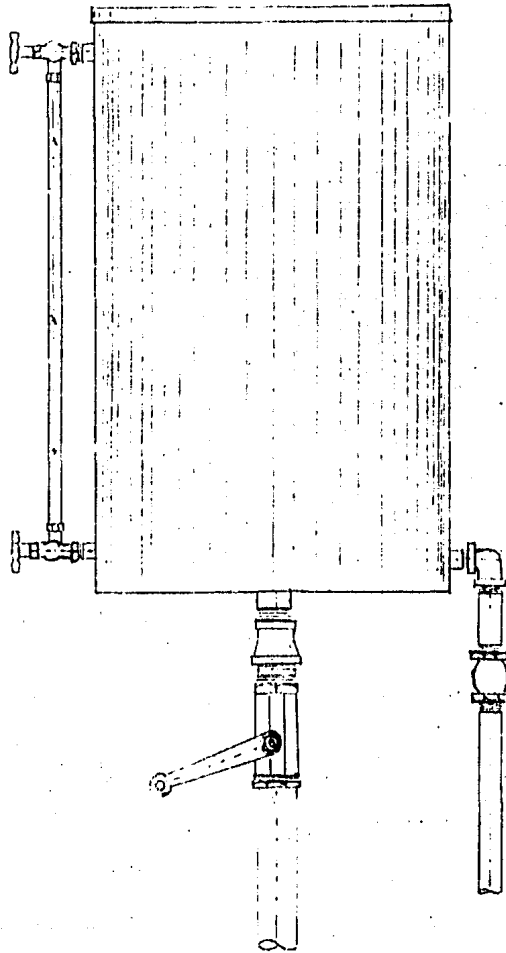
- 1.- Equilibrio entre el hielo y agua saturada con aire ---'C
- 2.- Equilibrio entre agua líquida y su vapor. -----'C.

PUNTOS SOBRE LOS CUALES INFORMAR.

- 1.- *Cuales fueron las correcciones necesarias que se efectuaron al manómetro para que registrara la presión indicada por la columna.*
- 2.- *Considera que es adecuada la manera como se llevo a cabo la calibración.*
- 3.- *Qué sucede con los puntos de inmersión de los termómetros.*
- 4.- *Es causa de gran error el que un termómetro no posea la marca del punto de inmersión.*
- 5.- *De ahora en adelante de que manera registrara la temperatura de un cuerpo.*
- 6.- *Conclusiones.*

Referencias.- 7, 15, 18, 27, 35, 44, 45.

" APLICACION DEL ANALISIS DIMENSIONAL
A LA DESCARGA DE UN TANQUE "



PRACTICA DE INGENIERIA QUIMICA I BALANCE DE MATERIA.

PROPUESTA DE PRACTICA No. 3.

" APLICACION DEL ANALISIS DIMENSIONAL A LA DESCARGA DE UN TANQUE ".

OBJETIVOS ;

- 1.- Describir mediante la utilización de un modelo matemático una situación física.
- 2.- Mediante la aplicación del modelo determinar el comportamiento de las variables que intervienen en el fenómeno.
- 3.- Comparar los resultados obtenidos mediante el modelo matemático y la situación real.
- 4.- Concluir respecto a las principales limitaciones del modelo.

INTRODUCCION.

Los balances efectuados en condiciones isotérmicas de composición constante, permiten realizar el inventario de todos los términos que intervienen en el balance general (de masa, cantidad de movimiento y energía) , que se efectúa en sistemas en los cuales no varía ni la composición ni la temperatura.

Se pretende vaciar un tanque cilindrico vertical, mediante un tubo tambien vertical, conectado a su fondo. El líquido que contiene es de densidad y viscosidad constante (es decir, Newtoniano e incompresible, en condiciones isotermicas.).

El establecer un modelo matemático que permita representar fielmente la ocurrencia de un evento ó suceso físico, no es cosa sencilla, más sin embargo existen varios procedimientos que permiten establecer dichos modelos, quizá el más conocido de estos procedimientos y más frecuentemente empleado sea el método-

de análisis dimensional. Existen tres métodos principales de análisis dimensional, los cuales proporcionan idénticos resultados.

- A) El método de Rayleigh.
- B) El método de Buckingham.
- C) El uso de ecuaciones diferenciales.

En la presente práctica nos limitaremos únicamente a explicar el primer método (A), el lector interesado en aplicar los otros métodos podrá consultar las referencias 2, 3 y 5 para el método (B) y la referencia 3 para el método (C).

En términos generales el método de Rayleigh de análisis dimensional expresa la manera como están relacionadas las variables a partir de las cuales se obtienen los grupos adimensionales. De tal manera que se puede establecer una relación entre las variables dimensionales de la forma.,

$$D_1 \propto (D_2)^a (D_3)^b (D_4)^c \dots \quad (1)$$

En donde los exponentes $a, b, c \dots$ deben evaluarse de modo que las relaciones obtenidas sean dimensionalmente homogéneas. Lo fundamental en este método es establecer que variables afectan ó intervienen en el fenómeno por representar. Si se llegan a introducir variables que realmente no afectan ó intervienen en el fenómeno, la ecuación final puede resultar muy complicada. Por el contrario si se omiten variables que sean de importancia los resultados obtenidos de estas consideraciones serán incompletos y erróneos. Para determinar cuáles son las variables que representan el fenómeno es necesario plantear una teoría a cerca del mecanismo del fenómeno mismo. Ya que el análisis dimensional no proporciona información a cerca de esto, constituye esto una de las mayores limitaciones del método.

Una vez determinadas las variables que intervienen en el fenómeno, se determinan las dimensiones de éstas, en seguida se sustituyen las dimensiones en una ecuación de la forma (1) agrupando los exponentes de cada dimensión. A continuación se establece la condición de que la suma de los exponentes de cada dimensión debe ser la misma en ambos términos de la igualdad. Con esto se podrá establecer una ecuación por cada dimensión que intervenga. Generalmente ocurrirá que se tengan más incógnitas que ecuaciones por lo tanto deben determinarse las incógnitas, es decir, los exponentes de las variables, en términos de otras incógnitas, la incógnita ó incógnitas que se escojan deben tener todas las dimensiones fundamentales.

DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.

Se dispone en el laboratorio de Ingeniería Química de.-

- a) Un tanque cilíndrico dotado de un indicador de nivel y tubos intercambiables de salida, de diversos diámetros.
- b) Agua.
- c) Cronómetros.
- d) Termómetro.
- e) Flexómetro.
- f) Bomba.

Nota; La bomba de que se dispone en el equipo de descarga de tanques es con la finalidad de efectuar la recirculación del líquido empleado (agua).

TECNICA DE OPERACION.

Procedimiento.

- 1.- Calibre el indicador de nivel en una escala apropiada.
 - 1.a.- Por medio de la valvula de bola, obture el fondo del tanque, y vierta el líquido por emplear.
 - 1.b.- Proceda a verificar la escala del indicador de nivel.
- 2.- Mida los tiempos integrales de escurrimiento, en la siguiente forma.,
 - 2.a.- Conecte al tanque uno de los tubos de salida; llene el tanque y el tubo con el líquido cuyo tiempo de escurrimiento se desea determinar.
 - 2.b.- Permita que el líquido comience a escurrir del tanque.
 - 2.c.- Registre la forma en que varia el tiempo de escurrimiento con la profundidad del líquido (efectue lecturas de tiempos, para pequeños intervalos de variación en el nivel del líquido.), según lo observado en el nivel desde su extremo superior al inferior.

TRABAJO EXPERIMENTAL.

- 1.- Calibre la escala del indicador de nivel sujeto al tanque.
- 2.- Determine los tiempos de escurrimiento para el tanque con tubos de salida de diferentes diámetros.
- 3.- Determine los caudales instantaneos que egresan del tanque, con tubos de salida de diferentes diámetros.

DATOS POR CONSIGNAR.

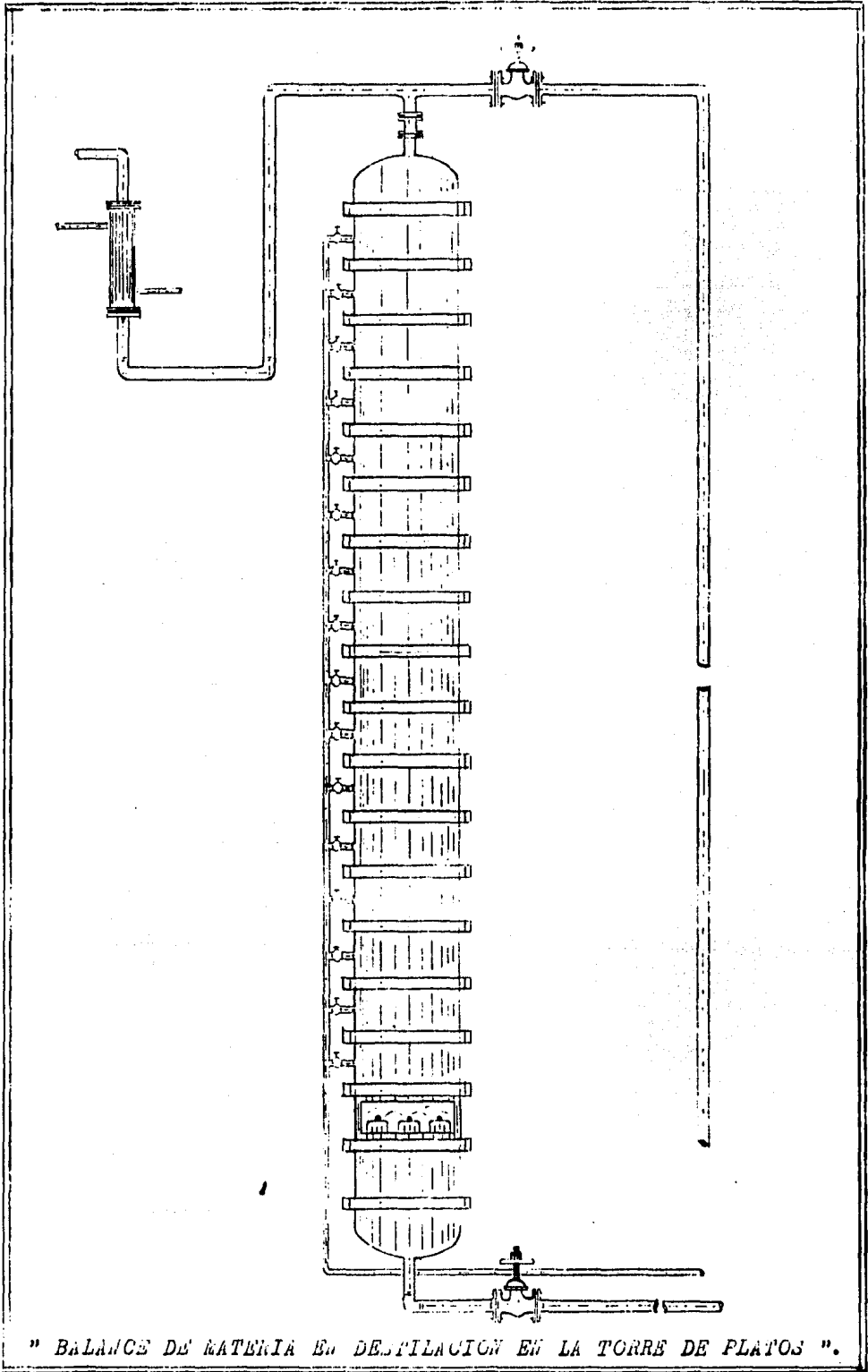
- 1.- Características del tanque y del (os) tubo (s) de salida.

- 1.a. - Altura y diámetro del tanque.
- 1.b. - Longitud (es) y diámetro (s) del (os) tubo (s).
2. - Medición del tiempo de escurrimiento.
 - 2.a. - Líquido empleado.
 - 2.b. - Temperatura del líquido.
 - 2.c. - Tiempo de escurrimiento en función de la altura -
del nivel del líquido.

PUNTOS SOBRE LOS CUALES INFORMAR.

1. - Establecer un modelo matemático que a juicio del -
alumno contenga todas las variables que intervienen-
en el vaciado del tanque, con el objeto de poder pre
decir la variación del gasto volúmetrico con respecto
a las diferentes cargas hidrostáticas y quizá lo más
importante el tiempo de vaciado entre diferentes al-
turas.
2. - Predecir los flujos.
3. - Reportar el porcentaje de error cometido al tratar de
predecir los flujos, y el tiempo de escurrimiento, -
ó tiempo de vaciado.
4. - Concluir a cerca de las principales causas, razones-
ó limitaciones que presenta el modelo matemático pro
puesto.

referencias. - 9, 16, 19, 22, 23, 25.



" BALANCE DE MATERIA EN DESTILACION EN LA TORRE DE PLATOS ".

PRACTICA DE INGENIERIA QUIMICA I BALANCE DE MATERIA.

PROPUESTA DE PRACTICA No. 4.

" BALANCE DE MATERIA EN DESTILACION EN LA TORRE DE PLATOS "

OBJETIVOS. ;

- 1.- Establecer el balance de materia para una torre de -
destilación.*
- 2.- Llevar a cabo la separación de una mezcla binaria.*
- 3.- Analizar las variables ó principales variables que
determinan el fenómeno.*

INTRODUCCION.

*La separación de mezclas líquidas por destilación es la -
Operación Unitaria más utilizada de la Ingeniería Química, el
objetivo principal del calculo en destilación es determinar -
el número de platos ó la altura de la columna necesaria para-
separar los componentes de una mezcla hasta el grado deseado.*

*Las torres de platos son cilindros verticales en que el-
líquido y el gas se ponen en contacto en forma de pasos sobre
platos. El líquido entra en la parte superior y fluye en for-
ma descendente por gravedad. En el camino fluye a través de -
cada plato y a través de un conducto, al plato inferior, el -
gas pasa hacia arriba , a través de orificios de un tipo u -
otro en el plato; entonces burbujea a través del líquido, y pa
sa al plato superior. El efecto global es un contacto multi -
ple a contracorriente entre el gas y el líquido. El número de
platos teóricos o etapas en el equilibrio en una columna ó -
torre sólo depende de lo complicado de la separación que se -
va a llevar a cabo y solo está determinado por el balance de
materia y las consideraciones a cerca del equilibrio.*

Datos de equilibrio.

Cuando no existen datos de equilibrio en la bibliografía para el sistema por destilar, pero sin embargo, los componentes tienen propiedades físicas similares, se mezclan en el estado líquido sin variación térmica y sin cambio de volumen, la mezcla puede suponerse ideal. Puede aplicarse por tanto la Ley de Raoult.

$$\bar{p}_i = P_i^0 x_i \quad (1)$$

y la Ley de Dalton.,

$$\bar{p}_i = P y_i \quad (2)$$

además.,

$$\sum y_i = 1 \quad (3)$$

Donde.,

\bar{p}_i = Presión parcial del componente i .

P_i^0 = Presión de vapor del componente i .

P = Presión total.

x_i = Fracción molar del componente i en la fase líquida.

y_i = Fracción molar del componente i en la fase vapor.

De las ecuaciones (1) y (2) se obtiene.,

$$y_i = \frac{x_i P_i^0}{P} \quad (4)$$

de las ecuaciones (2) y (3) resulta.,

$$x_A = \frac{P - P_B^0}{P_A^0 - P_B^0} \quad (5)$$

y

$$x_B = 1 - x_A$$

Refiriéndose los subíndices A y B a dos componentes.

Los datos de equilibrio se calculan del modo siguiente., se elige una temperatura comprendida entre los puntos de ebullición de los componentes puros a la presión a la que se ha de efectuar la destilación. A continuación se evalúa la presión de vapor a esa temperatura. Sustituyendo estos valores en la ecuación (5) se obtiene la composición del líquido que herviría a esa temperatura y presión; sustituyendo las magnitudes que figuran en la ecuación (4) por sus valores, se tiene la composición del vapor. Procediendo análogamente para diversas temperaturas comprendidas en el intervalo mencionado, se tendrá una serie de puntos con los cuales se podrá trazar una curva de equilibrio.

Balance de materia.

Balance global de materia para un sistema de dos componentes. En la figura 1 se representa un diagrama del balance de materia para un equipo ó columna típica de destilación.

Considerando el sistema representado esquemáticamente en la figura, supongáms que se alimenta a la columna F (kg mol/hr) de una mezcla formada por dos componentes A y B que contiene x_F (fracción mol) del componente A y que se quiere separar continuamente en sus componentes. El producto de cabeza ó destilado ha de contener x_D y el de cola ó residuo x_B (fracción mol) del componente A.

Las temperaturas de la alimentación, destilado y residuo son; T_F , T_D y T_B respectivamente.

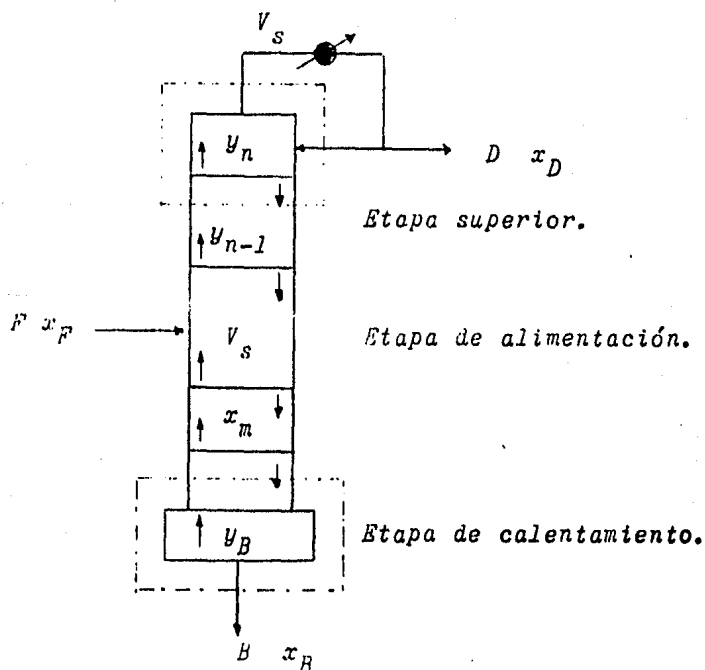


Figura 1. Balance de materia (Columna de destilación)

Los caudales de las corrientes D y B se pueden calcular a partir del balance de materia. En condiciones de régimen permanente.

- Balance global de materia.

$$F = D + B.$$

- Balance parcial para el componente A.

$$F x_F = D x_D + B x_B.$$

Puesto que las dos ecuaciones anteriores no contienen más que dos incógnitas D y B puede resolverse el sistema.,
Eliminando B de estas ecuaciones se obtiene.,

$$\frac{D}{F} = \frac{x_F - x_B}{x_D - x_B}$$

Eliminando D resulta.,

$$\frac{B}{F} = \frac{x_D - x_F}{x_D - x_B}$$

Estas ecuaciones son útiles para todos los flujos de vapor y líquido en el interior de la columna.

DESCRIPCION DEL EQUIPO.

La columna de rectificación propiamente dicha está constituida por 20 platos contandolos desde el fondo al domo. La columna tiene valvulas de alimentación de carga, del plato 3 al 20. Cada plato posee 3 campanas de burbujeo de ranuras de ventana. Las bajantes ó dispositivos para hacer fluir el líquido descendente por gravedad son tubos de 1 pulgada de diámetro. Cada plato descansa sobre la brida superior de las secciones removibles de fundición de bronce que se observa exteriormente y que tienen 6 pulgadas de longitud y 7,5/8 pulgadas de diámetro externo. Las vaporizaciones previenen de la ebullición de los fondos, lo que se logra en una calandria de 12 pulgadas de longitud y 48 tubos de cobre de 5/8 de pulgada de diámetro exterior.

El líquido descendente es parte de los condensados (reflujo) que proviene de los condensadores situados despues del domo de la columna 2 de los cuales tienen 30 fluxes de cobre de 1/4 de pulgada de diámetro exterior y una longitud de 48 - pulgadas y el tercero es el más lejano de la columna tiene el mismo diámetro y una longitud de tan solo 24 pulgadas. Los dos primeros se llaman condensadores de reflujo y el tercero se llama condensador de producto. Para enfriar los vapores se usa agua que circula primero por el enfriador de producto y luego por los condensadores de reflujo. Despues de usada está agua pasa por el rotámetro y de allí va al drenaje. El equipo está dotado de 3 tanques, T(1) está dotado de agitación y su objeto es mezclar la alimentación. El T(2) recibe el residuo y de allí puede enviarse a T(1) ó al exterior. El T(3) recibe el producto y funciona igual que el T(2). La carga puede alimentarse en forma de vapor ó en forma líquida. En su primera forma la carga proviene de la olla vaporizadora y puede aplicarse al fondo de la columna ó a cualquiera de sus platos. Tambien puede ser líquida y proviene de T(1) movida por la bomba B(1) de 1/4 de hp y alimentandola a cualquiera de los platos con entrada para alimentación. Cada plato del 3 al 19 tiene una válvula para muestra del líquido y otra para el muestreo de vapor y un termopozo para medir la temperatura del líquido. Existe tambien una válvula para el muestreo de los fondos y otra para muestrear el producto.

TECNICA DE OPERACION.

- 1.- Se deberá preparar la mezcla que va a usarse como carga para la columna y analizarse por medio del refractómetro para tener así la composición en la alimentación.

- 2.- Cerrar todas las líneas de salida de residuos y productos.
- 3.- Arrancar la bomba de alimentación y seguir alineando hasta que la columna se inunde hasta la mitad del plato 2 (plato transparente).
- 4.- Abrir las líneas de agua para que está pase por los condensadores.
- 5.- Abrir la línea de vapor, de manera que pase por la calandria. Con esto el líquido empezara a hervir y sus vapores subirán por la columna de manera que lle narán poco a poco todos los platos.
- 6.- Alinear a reflujo total.
- 7.- Esperar a que el sistema se estabilice. Si el líquido hierve violentamente y llena por entero un plato ó si se ve un plato sin líquido habra que bajar la cantidad de vapor suministrado.
- 8.- Una vez estabilizado el sistema, se deberán anotar las diferentes temperaturas del sistema y se procederá a tomar muestras del fondo y domo de la columna.
- 9.- Hecho lo anterior se procederá a terminar la operación para lo cual, se debe primero cerrar el vapor, dejar enfriar un poco la columna y descargar por medio de la bomba de fondos haciendo pasar estos por el enfriador de fondos y de allí pasarlos al tanque T(1). Acto seguido cerrar las líneas de agua.

TRABAJO EXPERIMENTAL.

- 1.- Controlar eficientemente, el flujo de alimentación, y la presión de vapor de calentamiento.

- 2.- Analizar las muestras tomadas del fondo y domo de la columna de rectificación mediante el empleo del refractómetro.
- 3.- Con el dato del índice de refracción para cada una de las muestras y la curva de calibración (gráfica disponible en el laboratorio) se anota la composición de cada una de las muestras, fondos y domo, x_B y x_D respectivamente, así como también las temperaturas en cada zona. T_F , T_B y T_D .

DATOS POR CONSIGNAR.

- 1.- Características del flujo de alimentación.

Flujo ----- $m^3/hr.$

Composición (fracción mol).

x_F ----- x_B ----- x_D -----

Temperatura ($^{\circ}C$)

T_F ----- $^{\circ}C$ T_B ----- $^{\circ}C$ T_D ----- $^{\circ}C$.

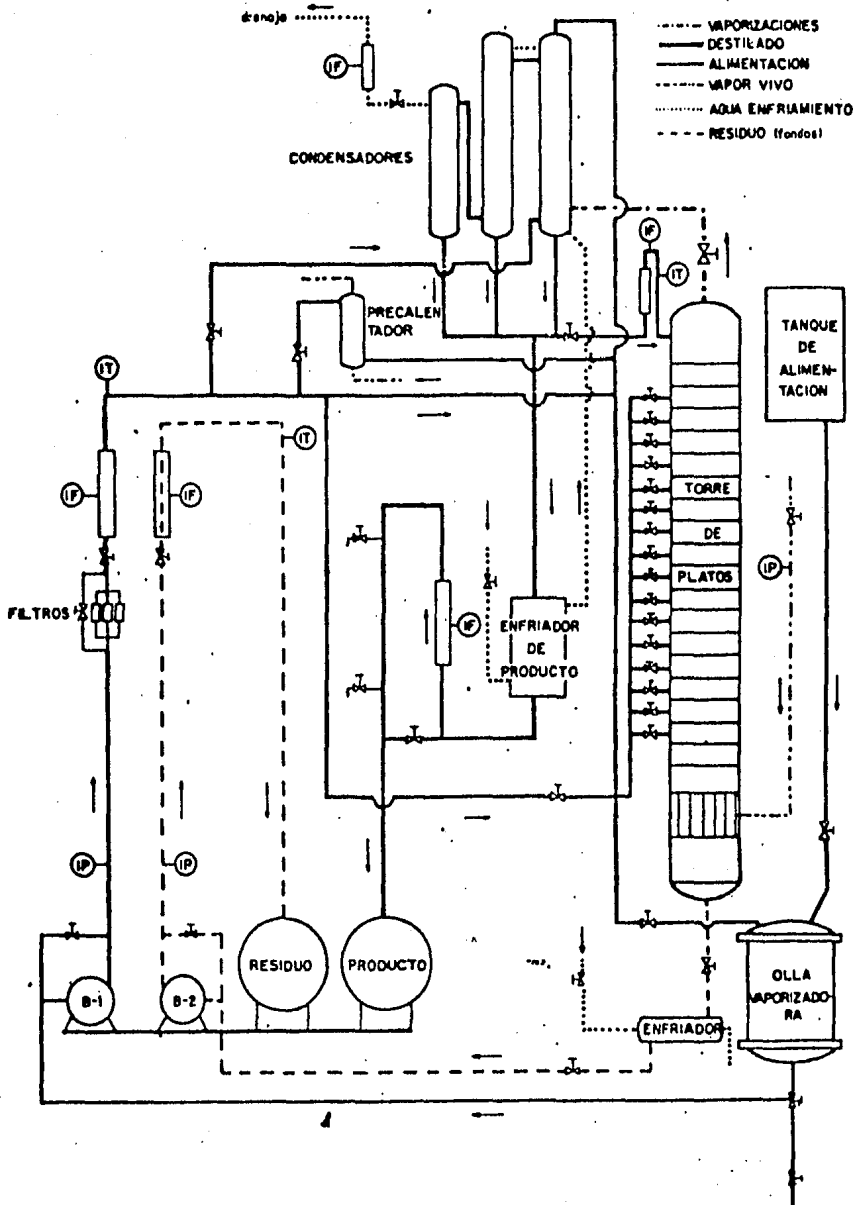
- 2.- Medición de la presión de vapor empleada en el calentamiento.

Presión de vapor de calentamiento. ----- Kg/cm^2 .

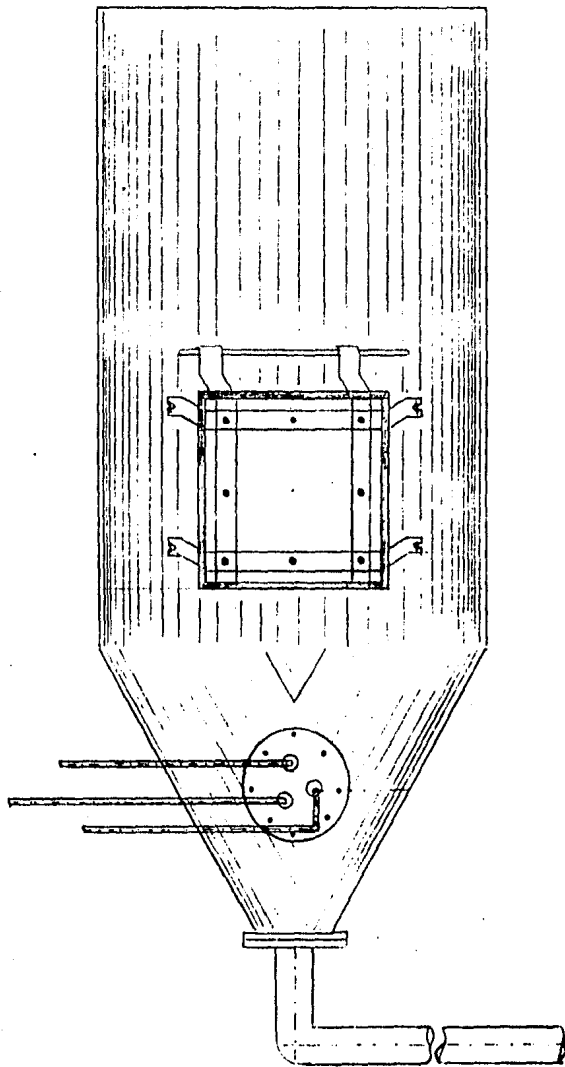
PUNTOS SOBRE LOS CUALES INFORMAR.

- 1.- Informar el balance de materia para el sistema binario empleado.
- 2.- Con las temperaturas obtenidas en la práctica y las ecuaciones correspondientes cual debería ser el valor de la composición en el fondo y domo de la columna.
- 3.- En caso de no ser el valor teórico que se esperaba de la composición indique las razones de la desviación.

DIAGRAMA DE FLUJO



" BALANCE DE MATERIA EN SECADO POR ATOMIZACION "



PRACTICA DE INGENIERIA QUIMICA I BALANCE DE MATERIA.

PROPUESTA DE PRACTICA No. 5.

" BALANCE DE MATERIA EN SECADO POR ATORIZACION "

OBJETIVOS.

- 1.- Efectuar el balance de materia utilizando los datos experimentales obtenidos en la práctica.*
- 2.- Analizar las principales variables que determinan la calidad del producto.*

INTRODUCCION.

La eliminación de la humedad de las diferentes clases de materiales es una de las operaciones más antiguas.; originalmente se empleo para la preservación de materiales alimenticios y en la actualidad encuentra una aplicación en numerosos procesos industriales.

Secadores mediante atomización.- Este tipo de secadores se han diseñado para procesar pastas y suspensiones para velocidades de producción relativamente altas, a diferencia de otro tipo de secadores. El producto se obtiene en forma de esferitas que son razonablemente uniformes en tamaño y relativamente libres de polvo. Por estas razones, el secado mediante aspersión es aconsejable en la producción de leche en polvo, café, jabones, detergentes e infinidad de productos de uso común, en la operación de secado mediante aspersión la suspensión o pasta se bombea hasta una esprea ó un disco rotatorio atomizador, que

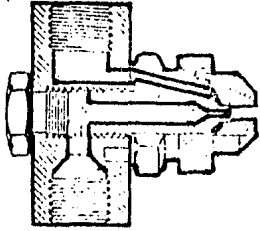
rocia la carga en forma de gotitas muy finas. Estas gotitas es tan scmetidas a una corriente de aire caliente que puede fluir a contracorriente ó en paralelo, en relación con las gotitas que caen.; o bien inclusive según un patrón complejo de los dos citados. Una vez secado, el sólido en particulas se separa del aire mediante gravedad. El aire de salida transporta las partes más finas de la cámara de secado, pasando a través de separadores de tipo ciclón e inclusive filtros de bolsa, ó bur bujeadores húmedos, antes de salir a la atmósfera.

Cualquier unidad de secado mediante aspersión tiene como una de sus partes fundamentales; el suministro de la carga y el sistema de atomización, el sistema de producción y de sopla do de gas caliente, una cámara de secado, un sistema de separa ción de gases y sólidos y finalmente un sistema para la descar ga del producto. Las propiedades del producto dependen en gran medida de las condiciones bajo las cuales ha sido secado. La finura y la uniformidad de la aspersión el comportamiento de las gotitas rociadas durante el secado, la temperatura la húme dad, la proporción de flujo de masa y el patrón de flujo del aire secante, influyen todas las propiedades del producto seco.

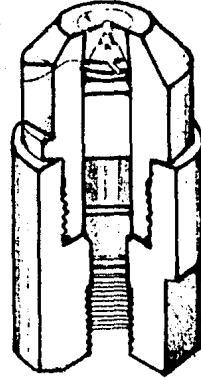
Quizá la parte más importante de un sistema de secado mediante aspersión es la carga al atomizador. En el comercio se encuentran principalmente tres clases de atomizadores.

- 1.- Esprea de dos fluidos.
- 2.- Esprea a presión de un solo fluido.
- 3.- Discos centrífugos.

Tanto las espreas de dos fluidos como las de presión, re quieren que el fluido que se va a rociar fluya a través de pa sajés angostos, por lo que cualquier grumo, cristal u otro só lído suspendido dentro del fluido taponará la esprea.



1.- Esprea para dos fluidos.



2.- Esprea a presión para un sólo fluido.

Más aún, la más pequeña partícula erosionará la punta de la esprea haciendola más grande y ocasionando una atomización desigual. Por estas razones, el material que se entregue a la esprea debe ser completamente homogéneo.

El tiempo de secado dependerá de la humedad, de la temperatura y de las condiciones del gas secante, del tamaño de la gotita producida por el atomizador y de las propiedades del material que se esta secando. Así mismo, las propiedades del producto dependeran de los mismos factores.

Balance de materia.

De acuerdo con el esquema siguiente ;

El balance global de materia y el balance parcial para el componente agua se expresarian de la manera siguiente.,

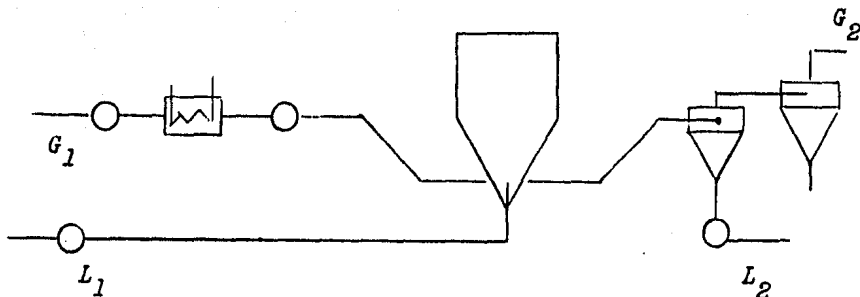


Figura 1. Balance de materia (secado por atomización.)

Balance global de materia.

$$L_1 + G_1 = L_2 + G_2 \quad .$$

Balance parcial para el componente agua.

$$L_1 x_1 + G_s y_1 = L_2 x_2 + G_s y_2 \quad .$$

DESCRIPCION DEL EQUIPO.

El secador de espreas que se encuentra en el laboratorio de Ingeniería Química es del tipo experimental, a base de tobera y que usa aire caliente como medio de secado. Este secador presenta límites de trabajo y no se puede operar a presiones de trabajo en la alimentación y atomización altas, ya que de hacerlo, la solución ó suspensión esparcida se adhiere a todo el equipo sin que se logre el secado.

El equipo de secado consta de un filtro y un calentador de aire (antes de calentar el aire pasa por un filtro de lana de vidrio) y posteriormente el aire se calienta por medio de 16 resistencias electricas del tipo de cinta astriada.

Cada resistencia tiene 1250 vatios de capacidad y operan con corriente de 220 voltios, tres fases y 60 ciclos.

El pulverizador ó boquilla pulverizadora consiste fundamentalmente de una boquilla ó esprea para dos fluidos, con chaqueta de agua, un tanque de alimentación y la tubería necesaria para conectar estos equipos. El atomizador consta de una línea de alimentación, una línea de aire comprimido y dos líneas para circular agua de enfriamiento por la camisa que rodea la esprea, con el objeto de evitar un sobrecalentamiento de la misma, pues un sobrecalentamiento causaría la deformación del material de construcción de la esprea y por consiguiente la desviación del chorro pulverizado. La cámara de secado es de acero inoxidable 304 y está formada por una sección cilíndrica de 94 cm de diámetro interior por 152 cm de alto y un fondo cónico a 60° y termina en una boca de descarga de 10 cm de diámetro. En la sección cónica se encuentra la entrada para el aire de secado y el registro con cuatro aberturas para las líneas conectadas al atomizador. Para evitar pérdidas de calor, la cámara está aislada con lana de vidrio y con envolvente exterior de acero de 96.5 cm de diámetro; la sección cilíndrica está provista de una pequeña puerta de vidrio para observar tanto la atomización de la solución como la salida del material seco. El transporte del aire para secado se efectúa a través de ductos de acero inoxidable y por medio de un ventilador equipado con un motor de 1/2 Hp para corriente de 220 voltios.

La recolección del producto seco se efectúa en un ciclón equipado en su boca de descarga con recipientes debidamente sellados. Para regular el proceso se disponen de los siguientes instrumentos de control.

Dos valvulas reductoras de presión para aire, de operación manual, dos manómetros para medir la presión del aire.

Un termómetro indicador de la temperatura del aire caliente y uno que mide la temperatura de salida de este aire.

TECNICA DE OPERACION.

- 1.- Se deberá preparar la mezcla que se va a utilizar como carga al secador, previamente se debe analizar el contenido de humedad.
- 2.- Cerrar el secador.
- 3.- Conectar el ventilador extractor.
- 4.- Ajustar el control termostático del termómetro regulador de temperatura a la temperatura deseada para el aire de secado.
- 5.- Conectar los bancos calentadores necesarios.
- 6.- Suministrar aire al ultimo banco.
- 7.- Permitir el tiempo suficiente para que el aire alcance la temperatura deseada. No permita en ningún momento que los calentadores trabajen con el ventilador parado ó con la puerta de la cámara abierta.
- 8.- Colocar el material preparado en el tanque de alimentación e introducir este en el secador por medio de presión.
- 9.- Observar un flujo constante en la esprea del atomizador. De no ser así manipular la valvula de alimentación a la esprea y ejercer un control adecuado de la presión.

TRABAJO EXPERIMENTAL.

- 1.- Se determinará el contenido de humedad en el flujo de alimentación, al igual que su densidad.
- 2.- Anotar el flujo volúmetrico registrado en el indicador de nivel del montajugos.

- 3.- Llevar a cabo una eficiente manipulación y control - de las presiones, en la alimentación de la carga y - en la atomización.
- 4.- Registrar el tiempo de operación, desde el inicio del espreado, hasta obtener la cantidad de sólidos finales secos, la temperatura de los sólidos secos y la humedad correspondiente a los mismos.

DATOS POR CONSIGNAR.

1.- Características del líquido alimentado.

Líquido empleado ----- Densidad ----- g/cm³

Temperatura de alimentación ----- °C

Contenido de humedad ----- kg H₂O / kg ss.

Presión de alimentación ----- kg / cm²

Flujo de alimentación ----- Lt/ seg.

2.- Características del aire de secado.

Temperatura de bulbo seco atmosférico. ----- °C.

Temperatura de bulbo húmedo atmosférico. ----- °C.

Temperatura de entrada al secador. ----- °C.

Temperatura de bulbo seco a la salida. ----- °C.

Temperatura de bulbo húmedo a la salida. ----- °C.

3.- Características del producto obtenido.

Temperatura ----- °C.

Contenido de humedad ----- kg H₂O/kg ss.

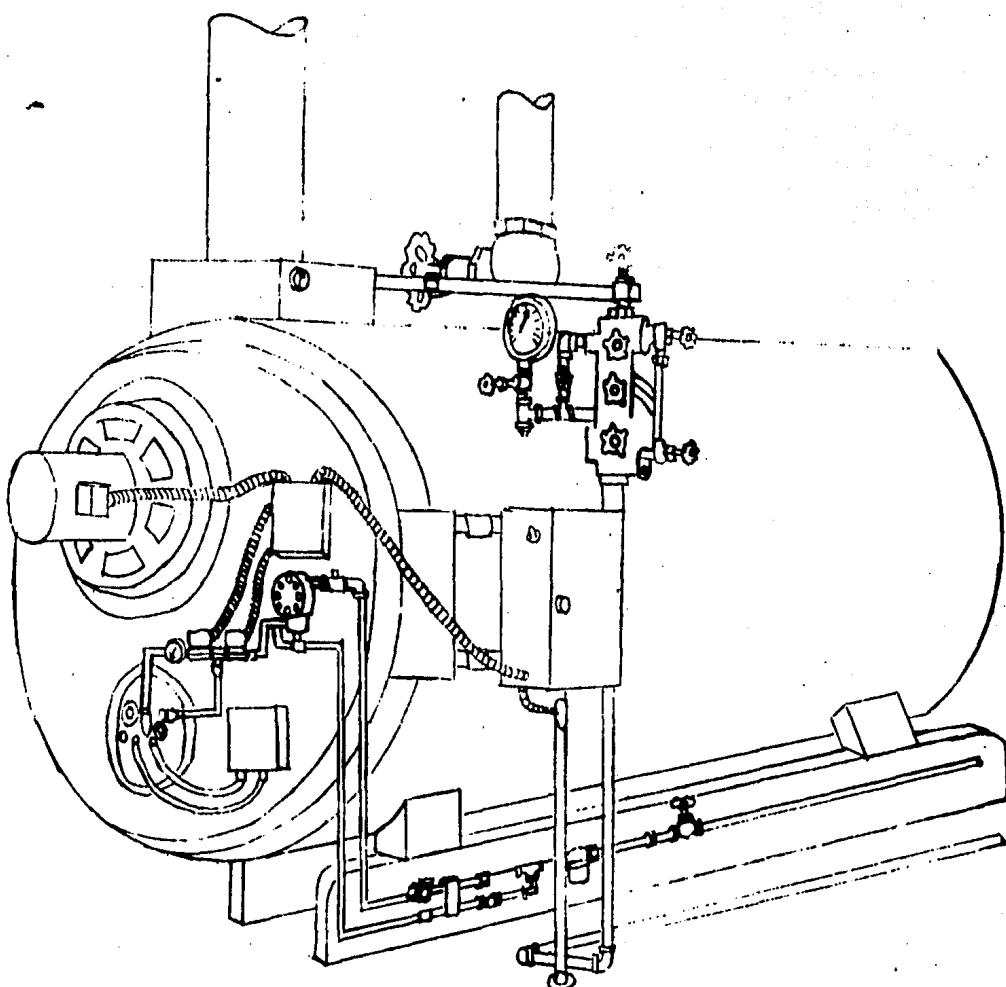
Cantidad obtenida. ----- kg.

Tiempo de operación. ----- minutos.

PUNTOS SOBRE LOS CUALES INFORMAR.

- 1.- Reportar el balance de materia.*
- 2.- Cuantificar la cantidad de agua evaporada.*
- 3.- Que sucede con las condiciones del aire empleado, -
representarlas en la carta psicrométrica.*
- 4.- Concluir.*

Referencias.- 21, 33, 35, 37.



" BALANCE DE MATERIA EN COMBUSTION ".

PRACTICA DE INGENIERIA QUIMICA I BALANCE DE MATERIA.

PROPUESTA DE PRACTICA No. 6.

" BALANCE DE MATERIA EN COMBUSTION "

OBJETIVOS.

- 1.- Conocer los fundamentos para la realización de un balance de materia en un proceso de combustión.*
- 2.- Aplicar el método UOP (Universal Oil Products Company) para la predicción de las propiedades del combustible, empleado.*
- 3.- Utilizar el método Orsat de análisis de gases en combustión.*

INTRODUCCION.

La combustión se define como la reacción química de origé no con un combustible, que ocurre rápidamente con la emisión - de luz y calor. Se diferncia de la oxidación en que en está no ocurre emisión de luz y usualmente es un proceso lento.

La mayoría de los procesos de combustión ocurren en una - caldera, la cual produce vapor para la realización de un traba jo (por medio de una turbina por ejemplo) y propositos de ca - lentamiento. Los principales combustibles son los proventientes del petróleo y para su caracterización la UOP (Universal Oil - Products Company) ha desarrollado el término denominada "factor de caracterización" el cual se ha relacionado empíricamente con diversas propiedades de los derivados del petróleo.

El factor de caracterización se define como.,

$$K = \frac{(P)^{1/3}}{d_r - T_B}$$

En la ecuación anterior se tiene lo siguiente.,

- K = Factor de caracterización UOF.
- T_B = Temperatura de ebullición promedio a 1 atmósfera en $^{\circ}R$.
- d_r = Densidad relativa a la temperatura de $15^{\circ}C$.

A continuación se presentan diversas propiedades de los hidrocarburos que han sido relacionadas con el factor de caracterización.

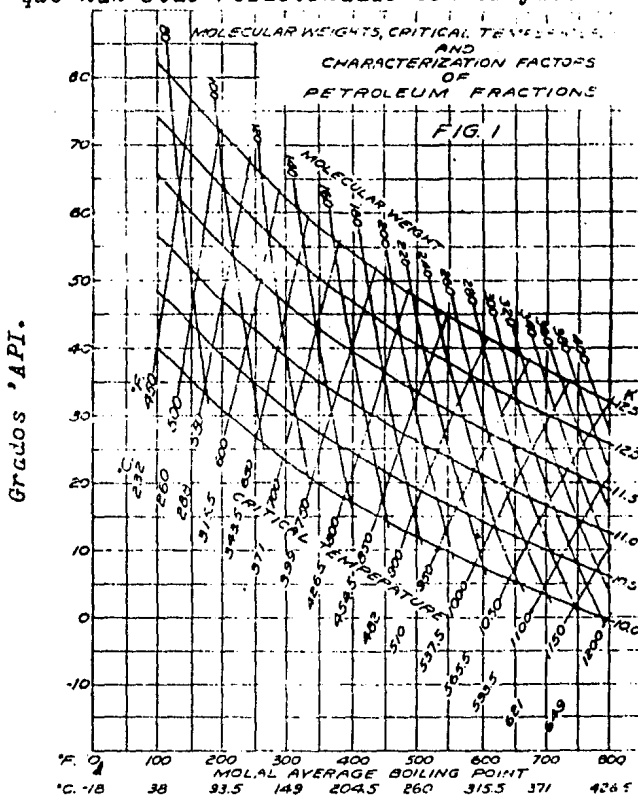


Figura 1. Pesos moleculares, temperaturas críticas y temperaturas promedio de ebullición para fracciones provenientes del petróleo.

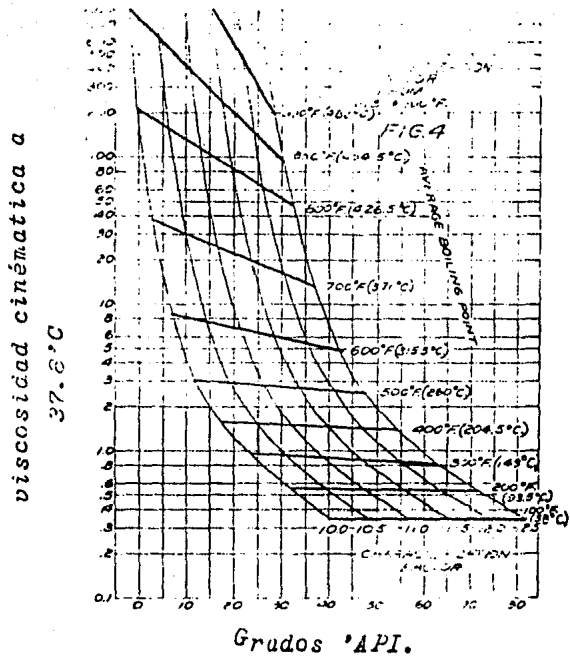


Figura 2. Viscosidad cinemática a 37.8°C para derivados del petróleo.

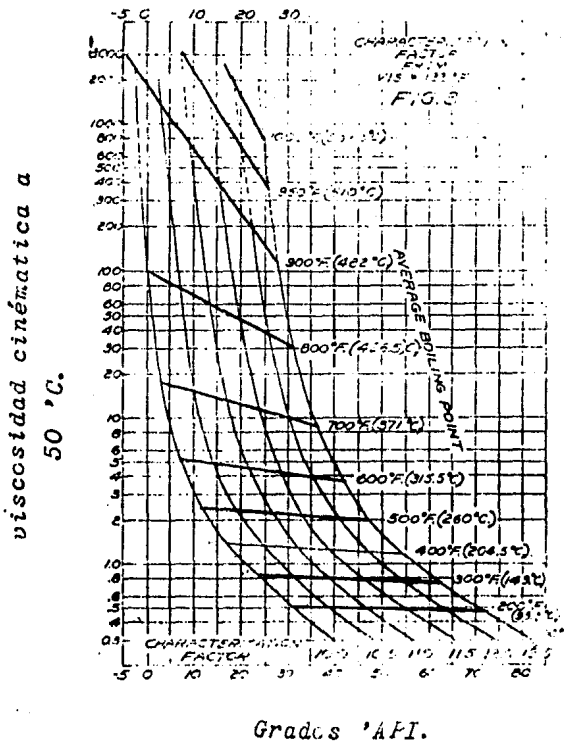


Figura 3. Viscosidad cinemática a 50°C para fracciones del petróleo.

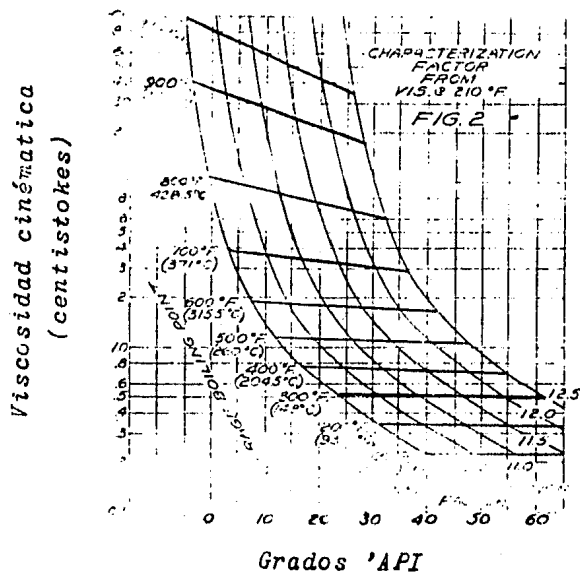


Figura 4. Viscosidad cinemática a 99°C.

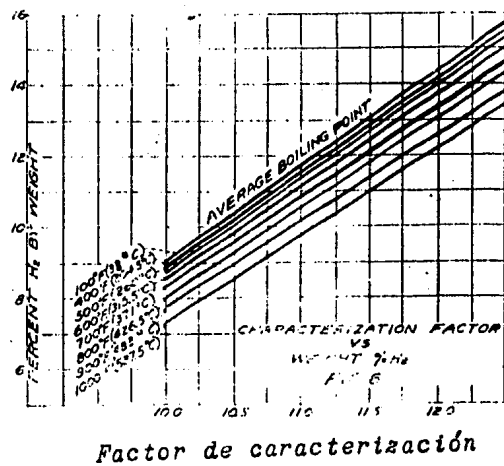


Figura 5. Porcentaje en peso de H₂ como función de k y T_B .

En los procesos de combustión existe una corriente de combustible una de aire y una de gases de combustión. La relación entre los elementos en el combustible, el aire alimentado, los gases de combustión y los desechos de combustión se muestran esquemáticamente en la siguiente figura para el caso general.,

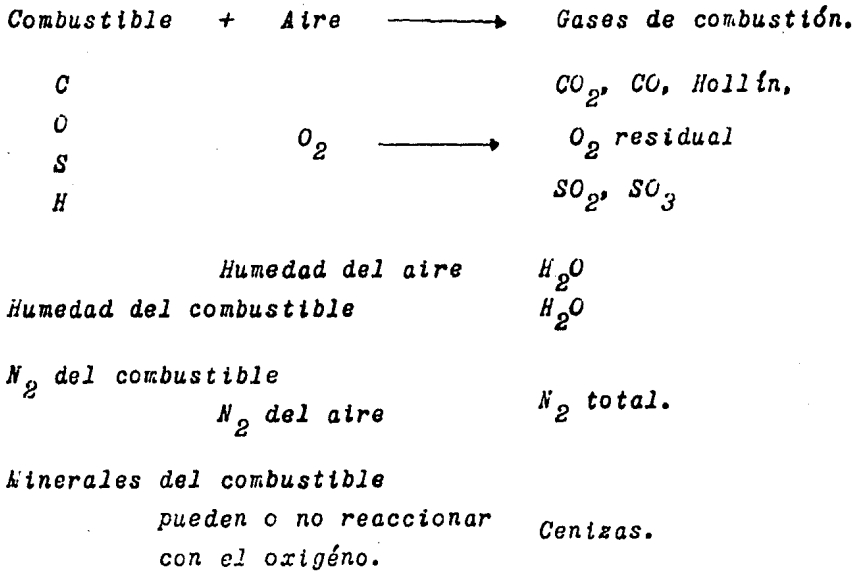


Figura 6. Relación entre el combustible, aire y gases de combustión.

En los cálculos de combustión se utilizan ciertas definiciones las cuales se ilustran a continuación.

Combustión completa. - Es la conversión de todo el C a CO₂ H a H₂O y en el caso de estar presente S a SO₂.

Aire teórico. - Es la cantidad de aire atmosférico que debe alimentarse para que ocurra la combustión completa.

‰ de aire en exceso.- Es el porcentaje de aire alimentado por encima de la cantidad teórica.

$$\% \text{ Exceso} = \frac{\text{Aire alimentado} - \text{aire teórico}}{\text{Aire teórico}} \times 100.$$

Se pueden establecer algunas reglas con respecto al balance de materia en combustión, las cuales se dan a continuación. En estas reglas se ha tomado como base de cálculo 1kgmol de gases de combustión.

Regla 1.- El balance de materia del carbono se utiliza para relacionar las cantidades de combustible y los gases de combustión.,

$$\frac{\text{kg combust.}}{\text{kgmol gcs}} = \frac{\text{kgmol C}}{\text{kgmol gcs}} \times \frac{12 \text{ Kg C}}{1 \text{ kgmol C}} \times \frac{\text{kg combust.}}{\text{kg C.}}$$

Regla 2.- El balance de materia de N_2 es utilizado para encontrar la cantidad de aire seco alimentado.

$$\frac{\text{kgmol as}}{\text{kgmol gcs}} = \frac{\text{kgmol } N_2 \text{ del aire}}{\text{kgmol gcs}} \times \frac{100 \text{ kgmol as}}{79 \text{ kgmol } N_2}$$

Regla 3.- La humedad de los gases de combustión se obtienen sumando la cantidad de agua en el aire alimentado, la humedad del combustible y el agua formada por la reacción.

$$\frac{\text{kg agua del aire}}{\text{kg mol gcs}} = \frac{\text{kgmol as}}{\text{kgmol gcs}} \times \frac{29 \text{ kg as}}{1 \text{ kgmol as}} \times \frac{\text{kg } H_2O}{\text{kg as.}}$$

$$\frac{\text{kg agua del combst.}}{\text{kgmol gcs}} = \frac{\text{kg combust.}}{\text{kgmol gcs}} \times \frac{\text{kg agua}}{\text{kg combust.}}$$

$$\frac{\text{kg agua produc.}}{\text{kgmol gcs}} = \frac{\text{kg combust.}}{\text{kgmol gcs}} \times \frac{\text{kg de H}}{\text{kg combust.}} \times \frac{18 \text{ kgH}_2\text{O}}{2 \text{ kg H}}$$

Se aclara que en las ecuaciones anteriores gcs indica gases de combustión secos y as aire seco.

DESCRIPCION DEL EQUIPO.

La caldera del laboratorio de Ingeniería Química, es una caldera totalmente automatizada de tubos de humo horizontales de 4 pasos, con una capacidad de 940 kg/hr, marca monitor construida en 1979 por la compañía Cleaver Broks de México.

En la caldera la combustión se inicia y termina en el tubo principal de humo u horno. Los gases son forzados por un soplador centrífugo para que circulen a través de los 4 pasos saliendo finalmente por la chimenea. La caldera cuenta con un registro de aire que tiene un dispositivo de compuerta el cual permite controlar el flujo de aire al soplador, optimizandose así la cantidad de aire para el soplador, y por ende, a la combustión.

El quemador de la caldera utiliza combustible diesel, del tipo de alta presión (inyector) encendiendose mediante una chispa electrica la cual es producida mediante la diferencia de potencial entre dos electrodos.

El agua que se alimenta a la caldera es la proveniente de dos fuentes, la condensación del vapor utilizado en el laboratorio y la linea general las cuales se mezclan y antes de ser alimentadas se les proporciona un tratamiento de suavización (eliminación de los iones Ca^{++} y Mg^{++}).

Los controles integrales de seguridad con que cuenta la caldera apagan el quemador cuando se presentan condiciones de

nivel de agua, exceso de presión de vapor, ó cuando por alguna razón se apaga la flama.

Para más información a cerca de los dispositivos de control automatico consultese el manual de operación de la caldera en la sección de mantenimiento de laboratorio.

Analizador de gases Orsat Hays.

Probablemente es el aparato más empleado para analizar gases de combustión. Consiste en un bureta de 50 ml de capacidad unida a tres pipetas, las cuales contienen absorbentes selectivos para algunos de los siguientes gases; CO_2 , O_2 y CO debiendo ser absorbidos en ese orden.

Para absorber el CO_2 se utiliza una solución de KOH al 33% el O_2 se analiza en una solución básica de Pirogalolato de Potasio y por ultimo el CO se remueve con una solución ácida de cloruro cuproso. Las dos primeras pipetas se encuentran llenas de viruta de Fe y la ultima de Cu esto es con el objeto de presentar mayor superficie de contacto con el gas. La bureta y el deposito al cual está unida, contienen agua acidulada, coloreada con naranja de metilo, para indicar en un momento dado cualquier paso accidental de reactivo. La muestra gaseosa se alimenta al aparato a través de un filtro y mediante una valvula de tres pasos.

TECNICA DE OPERACION.

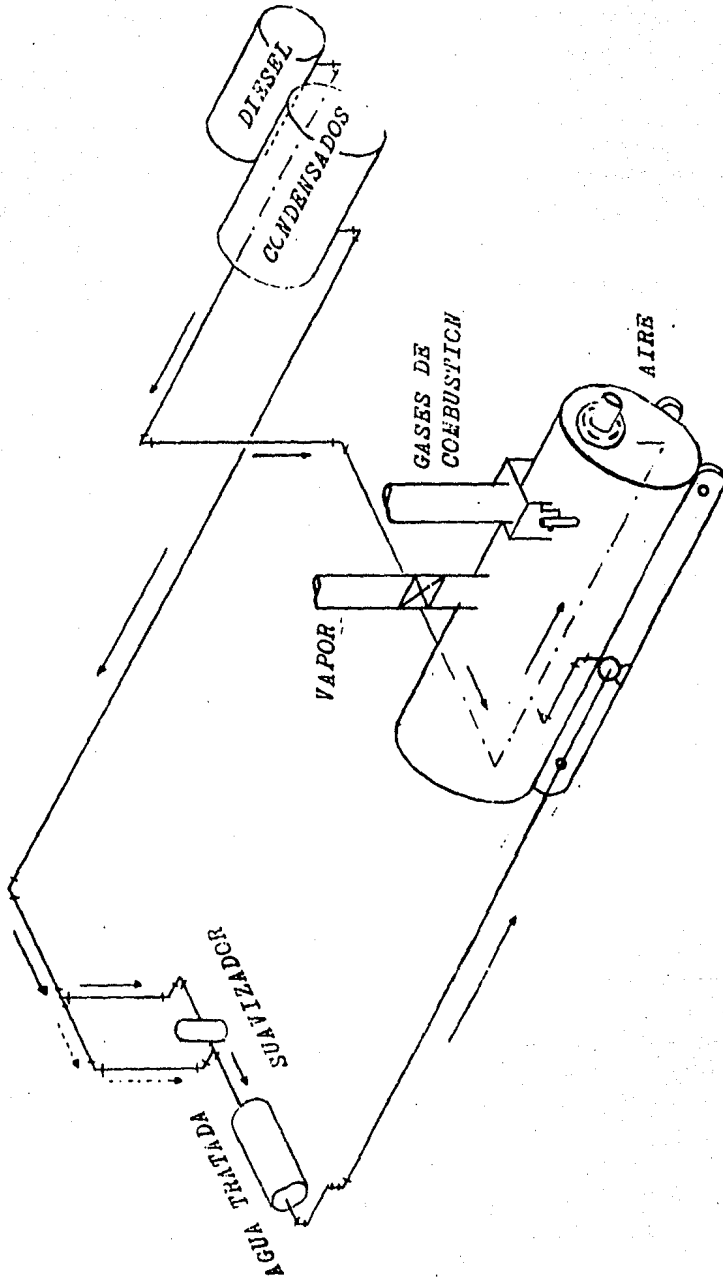
Encendido de la caldera.

- 1.- Abrir las valvulas de; alimentación de agua a la caldera, salida del tanque de agua tratada y de entrada de agua al suavizador.
- 2.- Llenar la caldera con agua hasta el nivel apropiado para la operación (5 cm desde el fondo del indicador) accionando los interruptores de la bomba de alimentación.

- 3.- Abrir todas las valvulas de la linea de abastecimiento de combustible a la caldera.
- 4.- Accionar el interruptor del quemador a "DENTRO".
- 5.- Abrir la valvula de salida del vapor..

Una vez encendida la caldera tomar muestras gaseosas durante el tiempo que la caldera esté funcionando, antes de llegar a la presión de trabajo y despues durante los periodos en que nuevamente se enciende para recuperar la pérdida de presión por el consumo de vapor en los diferentes equipos que se emplean.

DIAGRAMA DE FLUJO.



DATOS POR CONSIGNAR.

Prueba No. -----
 Presión de calibración. kg/cm² -----
 Gasto de combustible. Lt/min -----

Características de aire ambiental.
 Temperatura de bulbo seco. °C -----
 Temperatura de bulbo húmedo. °C -----

Análisis de los gases de combustión.
 Volumen de la muestra gaseosa. ml -----
 Volumen después de absorber el CO₂ ml -----
 Volumen después de absorber el O₂ ml -----
 Volumen después de absorber el CO. ml -----

Además se deben tener en cuenta los siguientes datos;

Análisis elemental del combustible;

| Componente | % Peso. |
|------------------|---------|
| C | 85 |
| H | 12 |
| H ₂ O | 1 |
| O | 1 |
| S | 0.8 |
| N | 0.2 |

Densidad del combustible ; 37.8 °API.

Factor de caracterización; 12.24

Observaciones. ↓

PUNTOS SOBRE LOS CUALES INFORMAR.

- 1.- Reportar las propiedades del combustible a partir de las graficas 1, 2, 3 y 4.
- 2.- Análisis global del combustible a partir de la grafica 5.
- 3.- Análisis en base seca de los gases de combustión.
- 4.- Flujo de los gases de combustión secos.
- 5.- Porcentaje de conversión de C a CO_2 .
- 6.- Humedad de los gases de combustión.
- 7.- Aire seco alimentado.
- 8.- Cantidad de los gases de combustión húmedos.
- 9.- Aire húmedo alimentado.
- 10.- Aire teórico.
- 11.- Porcentaje en el exceso de aire.
- 12.- Análisis en base húmeda de los gases de combustión.

Referencias.- 4, 6, 28, 30, 32, 41.

PRACTICAS DE INGENIERIA

QUIMICA (II) BALANCES

DE ENERGIA.

P R O L O G O.

El balance de energía es junto con el balance de materia una de las principales herramientas con las que cuenta el Ingeniero - químico para la resolución de los problemas de la industria de - proceso. Siendo además el primer paso en el diseño de los equipos industriales.

Ambos balances deben de realizarse siempre en forma conjunta para evitar una visión fragmentada del sistema en estudio.

Ai igual que el balance de materia encuentra su fundamento - en el principio de conservación (el de materia), el balance de - energía reposa en otro principio de conservación, el de energía. La energía se manifiesta en muchas formas, sin embargo en los cálculos prácticos solo se toman en cuenta las mas importantes que - son en general, ; la potencial, la cinética, la de flujo, trabajo externo, la de fricciones y la de transferencia de calor, en caso de existir.

Además del balance general de energía, se puede realizar un "balance de entalpías", el cual considera unicamente la energía - calorica transferida en el sistema. Este balance nos permite cal - cular las perdidas de calor que presenta un sistema determinado - que, por regla general, son considerables.

PRACTICA DE INGENIERIA QUIMICA II BALANCE DE ENERGIA.

PROPUESTA DE PRACTICA No. 1.

" INTRODUCCION A LOS BALANCES DE ENERGIA ".

Quando se estudia un proceso determinado y después de establecer el balance de materia apropiado, deben de estimarse los requerimientos de energía del proceso. De modo similar al balance de materia, el balance de energía, encuentra su fundamento en la ley de la conservación de la energía que postula;

" La energía no puede ser creada ni destruida, solo sufre transformaciones."

La formulación del balance de energía es exactamente analoga a la del balance de materia, entonces para un sistema cualquiera

$$\begin{array}{rcccl} \text{Entrada de} & & \text{Acumulación de} & + & \text{Salida de} \\ \text{energía} & = & \text{energía} & & \text{energía.} \end{array}$$

Al igual que para los balances de materia, si en el proceso que se estudia, prevalece un estado estable, entonces el término de acumulación es igual a cero.

La energía puede ser clasificada como de flujo y almacenada. La energía de flujo tiene por característica que existe en tránsito continuo y que es debida a un gradiente; ejemplos de energía en flujo son; el calor, el trabajo y la radiación. La energía almacenada ó de no tránsito puede a su vez ser clasificada en energía cinética y en energía potencial. La relación de todas las formas de energía deben obedecer durante cualquier cambio en un proceso la primera ley de la termodinámica.

Quando el proceso ó sistema absorbe una cantidad de calor Q (

entrada de energía), y al mismo tiempo desarrolla un trabajo W (salida de energía), la acumulación de energía E , en el sistema debida a estos cambios está dada por;

$$\Delta E = Q - W$$

La ecuación anterior es la primera ley de la Termodinámica, la cual define un cambio en la energía interna (acumulación), - siendo completamente rigurosa y aplicable a cualquier proceso ó sistema. Por convención, los valores de Q , W y ΔE son positivos, para el calor absorbido, el trabajo hecho por el sistema - y el incremento de la energía interna en el sistema.

La aplicación del balance de energía, conjuntamente con el de materia, constituye el fundamento de los calculos de diseño y estudio de los procesos de Ingeniería Química.

BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA.

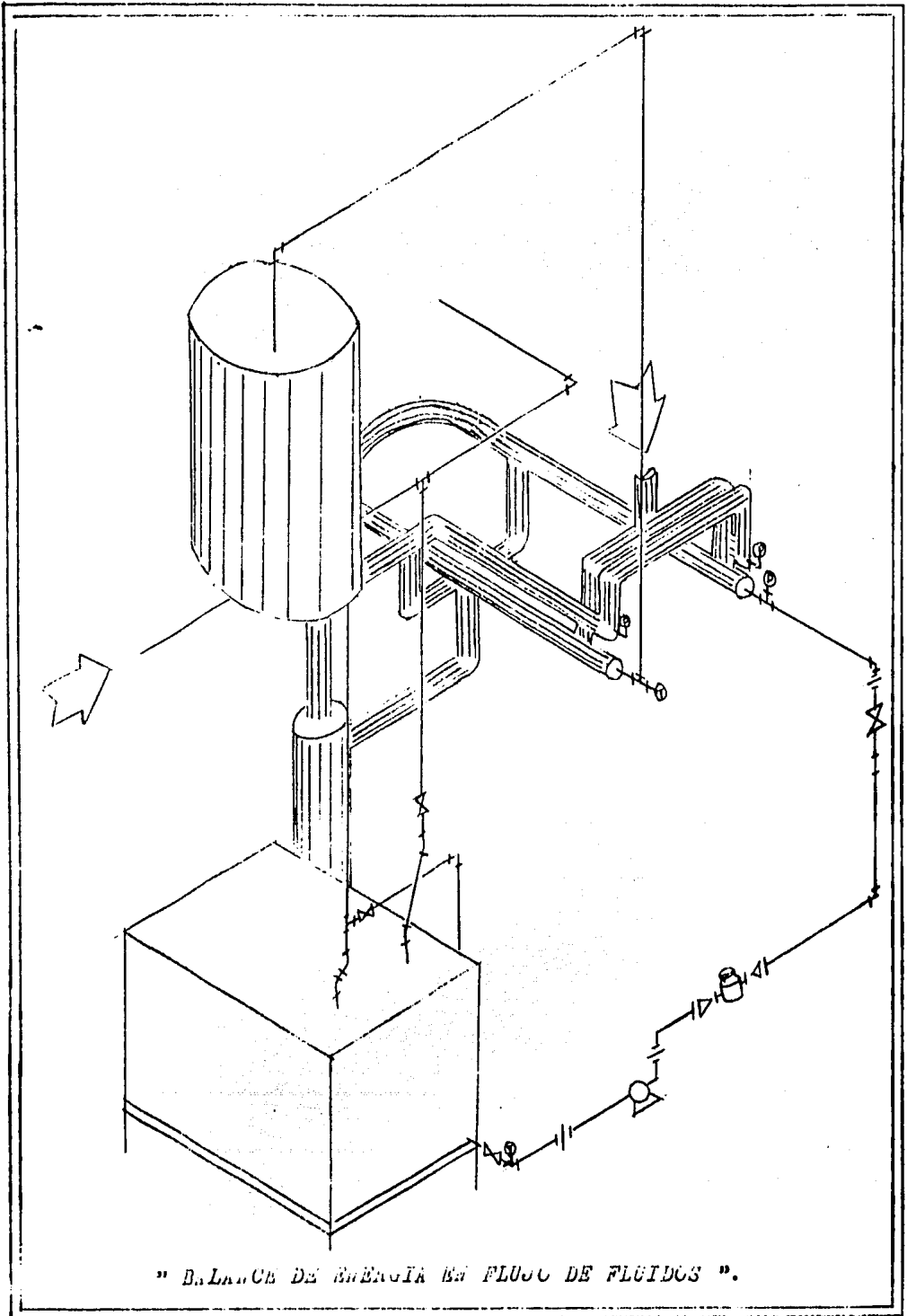
Esté curso constituye una introducción al modelamiento en Ingeniería Química. Es decir, se trata de que el alumno desarrolle la habilidad para representar a través de un modelo matemático (ecs. algebraicas, diferenciales ordinarias, diferenciales parciales) una versión simplificada, pero sin perder los rasgos esenciales de lo que ocurre en un proceso dado, independientemente del tamaño del sistema en que ocurre dicho proceso. Dicha habilidad indispensable en cursos subsecuentes enfocados al diseño, solo podrá obtenerse a base del tratamiento sistemático e intensivo de las diferentes situaciones que puedan presentarse en procesos de Ingeniería Química en cuanto a ecs. de conservación se refiere (v. gr. procesos con y sin reacción química, sistemas en régimen estable y no estable con y sin recirculación, etc.). Es importante tratar simultáneamente las ecs. de conservación de masa y energía para evitar una

visión fragmentada de los procesos. Es decir, debe quedar claro que en general no se puede resolver una de ellas sin resolver la otra.

CONTENIDO.

- El modelo y las dimensiones.
- La ley de la conservación de la masa.
- La ley de la conservación de la energía.
- La reacción química. Balances de materia y estequiometría. Balances de energía con reacción química.
- Balances de energía y materia en procesos.

Referencias.- 13, 26, 31, 34, 35.



" BALANCE DE ENERGIA EN FLUJO DE FLUIDOS ".

PRACTICA DE INGENIERIA QUIMICA II BALANCE DE ENERGIA.

PROPUESTA DE PRACTICA No. 2.

" BALANCE DE ENERGIA EN FLUJO DE FLUIDOS ".

OBJETIVOS.

- 1.- Introducirse en los cálculos de balance de energía.
- 2.- Estudiar el caso específico del balance de energía, en flujo de fluidos.
- 3.- Realizar el balance de energía en un proceso específico.

INTRODUCCION.

El principio de conservación de energía establece; " la totalidad de energía que entra a un proceso ó sistema debe ser exactamente igual a la cantidad que lo abandona más alguna acumulación." A la expresión algebraica resultado del principio de conservación de la energía se le denomina BALANCE DE ENERGIA, que conjuntamente con un balance de materia, es de suma importancia en la resolución de los problemas de diseño y operación de los procesos.

Para ilustrar lo anterior considerese el sistema mostrado en la figura 1.

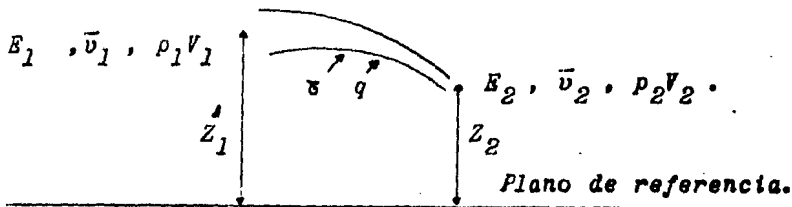


Figura 1. Cantidades para el proceso de flujo.

Para obtener una ecuación que relacione los diferentes tipos de energías involucrados en el sistema de la figura 1 - entenderemos primeramente que significa cada uno de estos términos.

- 1.- Energía interna (E). Está es una propiedad intrínseca del fluido siendo función únicamente de la temperatura.
- 2.- Energía potencial (Zg/g_c). Es la debida a la posición del fluido con respecto a un plano de referencia arbitrario.
- 3.- Energía cinética ($\bar{v}^2 / 2g_c$). Es la energía asociada al movimiento del fluido, de modo general la contribución de esta energía es pequeña y se acostumbra considerar la despreciable, en el balance general de energía.
- 4.- Energía de presión ó de flujo (pV). Es la transportada por el fluido como resultado de haber sido introducido al sistema.
- 5.- El calor absorbido por el material (q). Es el calor que se está transfiriendo entre el sistema y el exterior. Por convención, el signo q es positivo si el calor se transfiere del exterior al sistema.
- 6.- El trabajo de bombeo (\dot{W}). Es el trabajo aprovechado - del total transferido del exterior al fluido a medida que esté pasa por el equipo. Aquí el signo es positivo si se realiza trabajo sobre el fluido.

En todos los casos las unidades deben ser $\text{Kg m} / \text{Kg}$.

La contabilidad de todos los términos de energía que intervienen en el sistema de la figura 1, expresadas por unidad de masa es.,

$$E_1 + \frac{\bar{v}_1^2}{2g_c} + z_1 \frac{g}{g_c} + P_1 V_1 + q + \tau = H_2 + \frac{\bar{v}_2^2}{2g_c} + z_2 \frac{g}{g_c} + P_2 V_2 \quad (1)$$

La ecuación (1) es un balance total de energía, que expresado en términos de entalpías resulta.,

$$H_1 + \frac{\bar{v}_1^2}{2g_c} + z_1 \frac{g}{g_c} + q + \tau = H_2 + \frac{\bar{v}_2^2}{2g_c} + z_2 \frac{g}{g_c} \quad (2)$$

En los fluidos en flujo existen fricciones debidas al deslizamiento de una capa del fluido sobre otra y al paso de éste a través del equipo, estas fricciones convierten la energía mecánica suministrada en calor que se disipa.

Así que si ΣF representan las pérdidas de energía por fricciones y aplicando la primera ley de la termodinámica obtenemos la ecuación.,

$$\frac{\Delta(\bar{v}^2)}{2g_c} + \Delta z \frac{g}{g_c} + \int V dp + \Sigma F = \tau \quad (3)$$

La ecuación anterior se puede aplicar tanto a fluidos compresibles (vapores ó gases), como a fluidos incompresibles (líquidos) en el caso de estos últimos $V = 1/\rho$ es prácticamente constante.

Para el caso de que se esté trabajando con un fluido compresible y de suponerse que se comporta idealmente y de acuerdo con la ecuación de estado, además de considerarse flujo isotérmico encontramos conveniente sustituir.,

$$\int V dp = \frac{R'}{k} \ln \frac{P_1}{P_2} \quad (4)$$

A continuación se mencionan ciertos términos que són de gran utilidad en los cálculos del balance de energía.

Potencia hidráulica.

Es la razón del trabajo requerido para variar la posición de un líquido, ó también cambiar en el proceso su presión y - velocidad.

$$P_h = \gamma L$$

Potencia al freno. (P_f)

Es la potencia necesaria para proporcionar al fluido la - energía deseada y compensar todas las pérdidas de energía. Se puede considerar que está potencia es aproximadamente igual a la potencia eléctrica que se suministra al sistema motor-bomba.

Eficiencia.

La eficiencia de la bomba es la relación entre la potencia hidráulica y la potencia al freno.

$$\eta = \frac{P_h}{P_f} \quad (100)$$

Diametro nominal.

Es una especificación comercial que se utiliza para designar un diametro de tubería, se expresa siempre en pulgadas, re presentandose por la letra griega ϕ .

En función del diametro nominal y el material de construcción de la tubería es posible encontrar en tablas las especificaciones de está, como por ejemplo, diametro exterior, diametro interior, área de flujo, etc.

DESCRIPCION DEL EQUIPO.

El equipo consta de los accesorios, máquinas y dispositivos más comunes, así como instrumentos de medición.

Las partes más importantes del sistema son.,

- Un tanque de alimentación, con indicador de nivel.
- Un tanque receptor elevado con descarga para el tanque de alimentación ó al drenaje.
- Una bomba que impulsa el líquido a través del sistema.
- Un cambiador de calor de tubo concéntrico en forma de U alimentado con vapor.
- Un segundo cambiador de calor también de tubo concéntrico cuyo objeto es condensar todo el vapor.
- Un tanque receptor de condensados.
- Un medidor de volumen.
- Un motor de 1/2 Hp.
- Un vatímetro.

TECNICA DE OPERACION.

Llenar el tanque de alimentación hasta el nivel indicado por el instructor. Alinear la tubería de manera que se descargue en el tanque receptor y de ahí pase al de alimentación.

Conectar el medidor de potencia, operar el sistema por - aproximadamente 10 minutos y hacer las anotaciones correspondientes cuando el indicador de nivel en el tanque de alimentación permanezca constante.

Operación con transferencia de calor.

Alinear la tubería de modo que el tanque receptor descargue al drenaje y que se alimente continuamente agua al tanque de alimentación para que el nivel se mantenga constante. Una vez logrado esto, se abre el vapor, eliminando los condensados del-

tanque receptor, mediante la valvula de descarga, cuando salga vapor por está valvula, se cierra, a partir de entonces se comienza la medición de los condensados. El equipo bajo tales condiciones debere permanecer a regimen permanente.

TRABAJO EXPERIMENTAL.

- 1.- Determinar el nivel del agua en el tanque de alimentación y la altura del punto de descarga en el tanque-receptor.
- 2.- Medir el gasto volumetrico del líquido a una determinada abertura de la valvula de control, mediante el - medidor de flujo instalado en el equipo ó por medición directa.
- 3.- Anotar la potencia electrica consumida en cada prueba (Wattimétro)

Con el intercambiador de calor.

Determinar los puntos anteriores y además.,

- a) Temperatura de entrada y salida del agua en el intercambiador de calor.
- b) Fijar la presión de calentamiento en 1 ó 1.5 Kg/cm².
- c) Medir el gasto de condensados.
- d) Anotar los diferentes diametros de las tuberias.

DATOS POR CONSIGNAR.

Z_1 ----- m. Z_2 ----- m.

Sin el intercambiador de calor.

Prueba No. -----

Abertura de la valvula de descarga ----- % (porcentaje)

Volúmen del líquido medido en el medidor de flujo instalado

----- lt.

Tiempo ----- s.
 Potencia electrica ----- w.
 Temperatura del liquido. ----- °C.

Datos con el intercambiador de calor.

Prueba No. -----
 Abertura de la valvula de descarga ----- % (porcentaje)
 Volúmen. del liquido medido. en el medidor de flujo instalado
 ----- Lt.

Tiempo ----- s.
 Temperatura de entrada del liquido ----- °C.
 Temperatura de salida del liquido . ----- °C.
 Presión de vapor. ----- Kg/cm².
 Volúmen de condensados. ----- lt.

Tiempo ----- s.
 Potencia electrica ----- w.
 Tuberia No. -- -- -- -- --
 D externo (cm) -- -- -- -- --
 D descarga ----- cm D intercambiador ----- cm.

Para poder realizar el balance de energía considerese que las pérdidas por fricción son aproximadamente igual al 2% de la potencia electrica consumida.

PUNTOS SOBRE LOS CUALES INFORMAR.

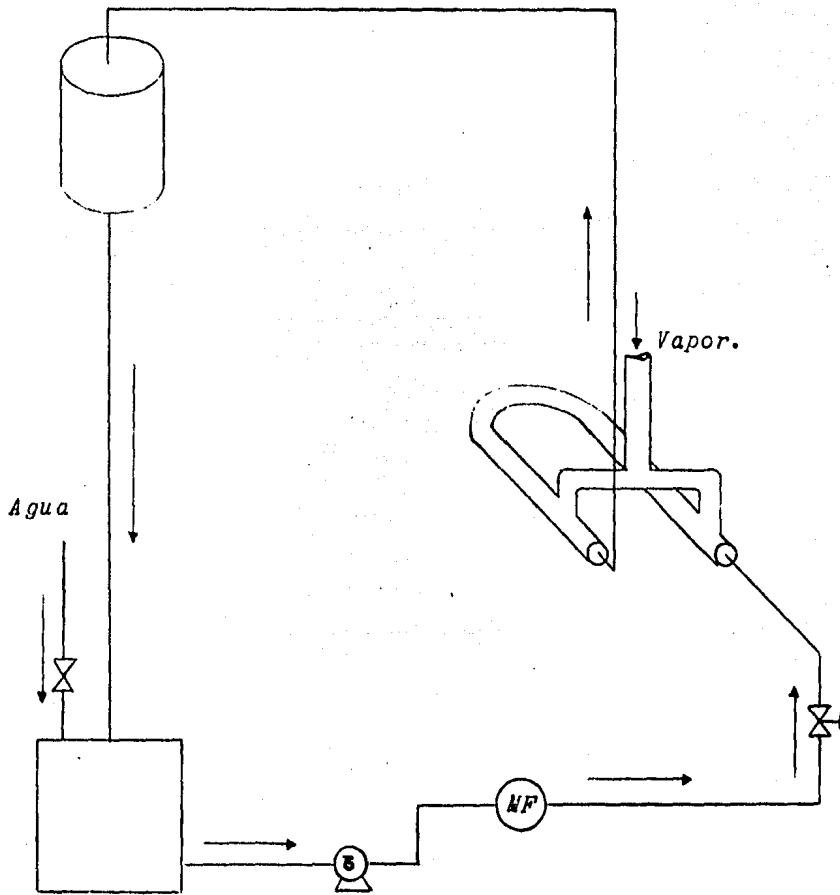
- 1.- Trabajo de bombeo.
- 2.- Potencia hidraulica y al freno.
- 3.- Eficiencia.
- 4.- Con el diametro exterior de cada tuberia, buscar en tablas el diametro nominal y el interior de cada una calcular la velocidad en cada tuberia.

- 5.- Flujo volumetrico y masico.
- 6.- El calor total cedido por el vapor.
- 7.- El calor añadido por el vapor al fluido.
- 8.- Porcentaje del calor total que aprovecha el fluido.

Los calculos anteriores deben de realizarse para cada prueba.

Referencias.- 11, 26, 32, 33, 35, 36, 37, 40.

DIAGRAMA DE FLUJO.



PRACTICA DE INGENIERIA QUIMICA II BALANCE DE ENERGIA.

PROPUESTA DE PRACTICA No. 3.

" BALANCE DE ENERGIA EN UN SECADOR ROTATORIO ".

OBJETIVOS.

El alumno será capaz de .;

- 1.- Obtener los datos experimentales de un secador rotatorio.
- 2.- Efectuar el balance de materia y energía utilizando los datos obtenidos.

INTRODUCCION.

El material que se maneje en un secador rotatorio debe ser granular ó cristalino, debe manejarse en pasta. El sólido por secar se introduce continuamente en uno de los extremos en el cilindro giratorio, si porque, un secador rotatorio está formado fundamentalmente por un cilindro horizontal en el cual el medio de calentamiento (gases de combustión ó aire caliente) está en contacto con la carga. El cilindro está instalado en un pequeño ángulo con respecto a la horizontal; en consecuencia el sólido se mueve lentamente a través del aparato. Dentro del secador unos elevadores se extienden desde las paredes del cilindro en la longitud total del secador levantan el sólido y lo riegan en una cortina móvil a través del aire; así lo exponen completamente a la acción secadora del gas. Esta acción elevadora también contribuye al movimiento hacia adelante del sólido.

Es obvio que el sólido no debe ser pegajoso ni chicloso, puesto que podría pegarse a las paredes del secador o tendería a aglutinarse.

Retención en secadores rotatorios.

El tiempo promedio de paso, o tiempo de retención del sólido en el secador debe ser igual al tiempo promedio de secado, si el sólido va a salir al contenido deseado de humedad, por supuesto, debe recordarse que el tiempo de retención de cada partícula puede diferir apreciablemente del promedio, esto puede hacer que la calidad del producto no sea uniforme.

Diferentes factores pueden provocar el movimiento de las partículas sólidas a través del secador rotatorio. La acción de vuelo es la acción de levantar y dejar caer las partículas mediante los elevadores en la cubierta del secador. En ausencia de flujo de aire, cada vez que el sólido se levanta y se deja caer avanza una distancia igual al producto de la longitud de la caída y la pendiente del secador. Las partículas también rebotan hacia adelante después de caer de los elevadores. Además el movimiento del sólido es impedido por el flujo del aire a contracorriente ó favorecido por el flujo a corriente paralela.

Balance de materia y energía.

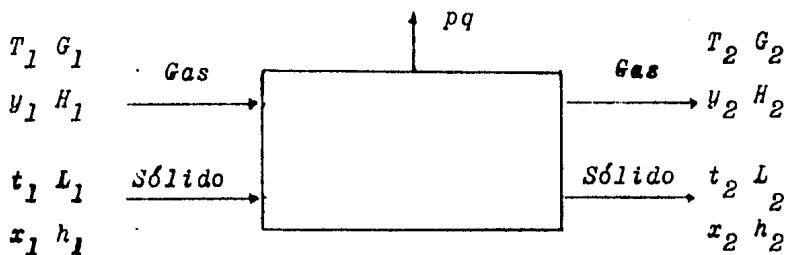


Figura 1. Balance de materia y energía.

El balance global de materia se expresa.,

$$G_1 + L_1 = G_2 + L_2$$

Balance parcial.

$$G_s y_1 + L_1 x_1 = G_s y_2 + L_2 x_2$$

Debemos hacer notar que en el balance anterior se evaluando en cuenta que las corrientes de sólido y gas, así como las húmedades están expresadas en base seca.

Balance de energía.

En la mayor parte de las operaciones de secado, el balance global de energía se reduce al balance entalpico, debido a que los efectos energeticos cinéticos, potencial, etc., son despreciables, de tal manera que.,

$$G_s H_1 + L_1 h_1 = G_s H_2 + L_2 h_2 + pq.$$

Las pérdidas de calor (pq) a los alrededores se representa por $(+pq)$ mientras que si se suministra calor al secador ese termino será $(-pq)$. De manera evidente si el funcionamiento del secador es adiabatico, $pq=0$.

La entalpía del aire (H) puede ser evaluada mediante la ecuación.,

$$H = (Cp_{\text{aire}} + Cp_{H_2O_v} y) T + \lambda y$$

o bien mediante el empleo de la carta psicrométrica.

Por otra parte la entalpía del sólido puede ser evaluada por la ecuación.,

$$h = (Cp_s + Cp_l x) t_s$$

Siendo Cp_s el calor específico del sólido seco y Cp_l el calor específico del líquido que acompaña al sólido, t_s la temperatura del sólido húmedo.

DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.

El secador que se encuentra en el laboratorio de Ingeniería Química, trabaja con aire filtrado y precalentado en dos bancos de tubos con vapor. Este aire se hace circular por el tambor mediante la succión de un ventilador que mantiene una presión negativa dentro del cilindro. Para el calentamiento del aire se emplea vapor y se cuenta con unas trampas para eliminar los condensados. En la descarga del ventilador se tiene una compuerta de diferentes posiciones que permite modificar la cantidad de aire que circula por el tambor, sin tener que hacer ninguna modificación a la transmisión del ventilador. A la salida del aire se cuenta con un separador ciclónico que permite recolectar los polvos arrastrados por el aire. Para la alimentación del material por secar, se cuenta con una tolva de alimentación y un gusano alimentador accionado por una turbina de aire. La rapidez de giro del gusano puede cambiarse fácilmente con lo que también se varía la cantidad de material alimentado por unidad de tiempo. El tambor tiene un mecanismo que permite modificar el ángulo de inclinación del cilindro con lo que se puede alterar la permanencia del material y por lo tanto la capacidad del secador.

El material y el aire circulan en corriente paralela en el interior del tambor. Se cuenta con un mecanismo de martillos que golpean la pared del cilindro y despegan cualquier cantidad de material adherido en el interior. Tiene también dos termómetros uno a la entrada y el otro a la salida del secador.

FABRICA DE CALIFICACION.

- 1.- Encender el ventilador.
- 2.- Hacer pasar vapor por el calentador del equipo.
- 3.- Colocar el recipiente de recolección de producto.
- 4.- Fijar un gasto de aire con la compuerta.
- 5.- Preparar el sólido. Pesar de 6 a 10 kg de arena y agregar una cantidad conocida de agua 5% en peso. Se homogeniza la mezcla y se determina la humedad de los sólidos a la entrada.
- 6.- Esperar a que el aire alcance una temperatura de 100°C.
- 7.- Depositar el material humedo en la tolva, agregando poco a poco con el objeto de evitar un atascamiento del gusano alimentador.
- 8.- Alimentar el material humedo al secador ajustando la valvula de aire a la turbina.
- 9.- Esperar aproximadamente 10 minutos a partir del momento en que aparezca material seco en el otro extremo del secador, con el objeto de tener condiciones estables de operación.
- 10.- Tomar muestras de material seco y leer temperaturas de esté y del aire saliente, así como la temperatura de bulbo humedo y bulbo seco del aire entrante y saliente para evaluar sus respectivas humedades. Determinar la humedad con que salen los sólidos.

TRABAJO EXPERIMENTAL.

- 1.- Preparación del sólido. Se pesan de 6 a 10 kg de arena y se le agrega una cantidad conocida de agua aproximadamente 5% en peso. Se homogeniza la mezcla y se determina nuevamente la humedad.
- 2.- Una vez logradas las condiciones estables en el equipo se procede a determinar las condiciones del aire a la entrada y salida.

- 3.- Anotar el tiempo, temperatura, peso y contenido de humedad del sólido obtenido.

DATOS POR CONSIGNAR.

- 1.- Características del sólido húmedo alimentado.

Material empleado ----- kg.

Humedad inicial ----- $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}} / \text{kg}_{\text{SS}}$

Cantidad de agua agregada ----- ml.

Temperatura de alimentación al secador ----- °C.

Humedad de alimentación. ----- $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}} / \text{kg}_{\text{SS}}$

- 2.- Características del aire.

Temperatura de bulbo seco atmosférico ----- °C.

Temperatura de bulbo húmedo atmosférico ----- °C.

Temperatura de entrada al secador. ----- °C.

Temperatura de bulbo seco a la salida ----- °C.

Temperatura de bulbo húmedo a la salida. ----- °C.

- 3.- Características del producto seco.

Temperatura ----- °C.

Contenido de humedad ----- $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}} / \text{kg}_{\text{SS}}$

Cantidad obtenida ----- kg.

Tiempo de operación. ----- Hrs.

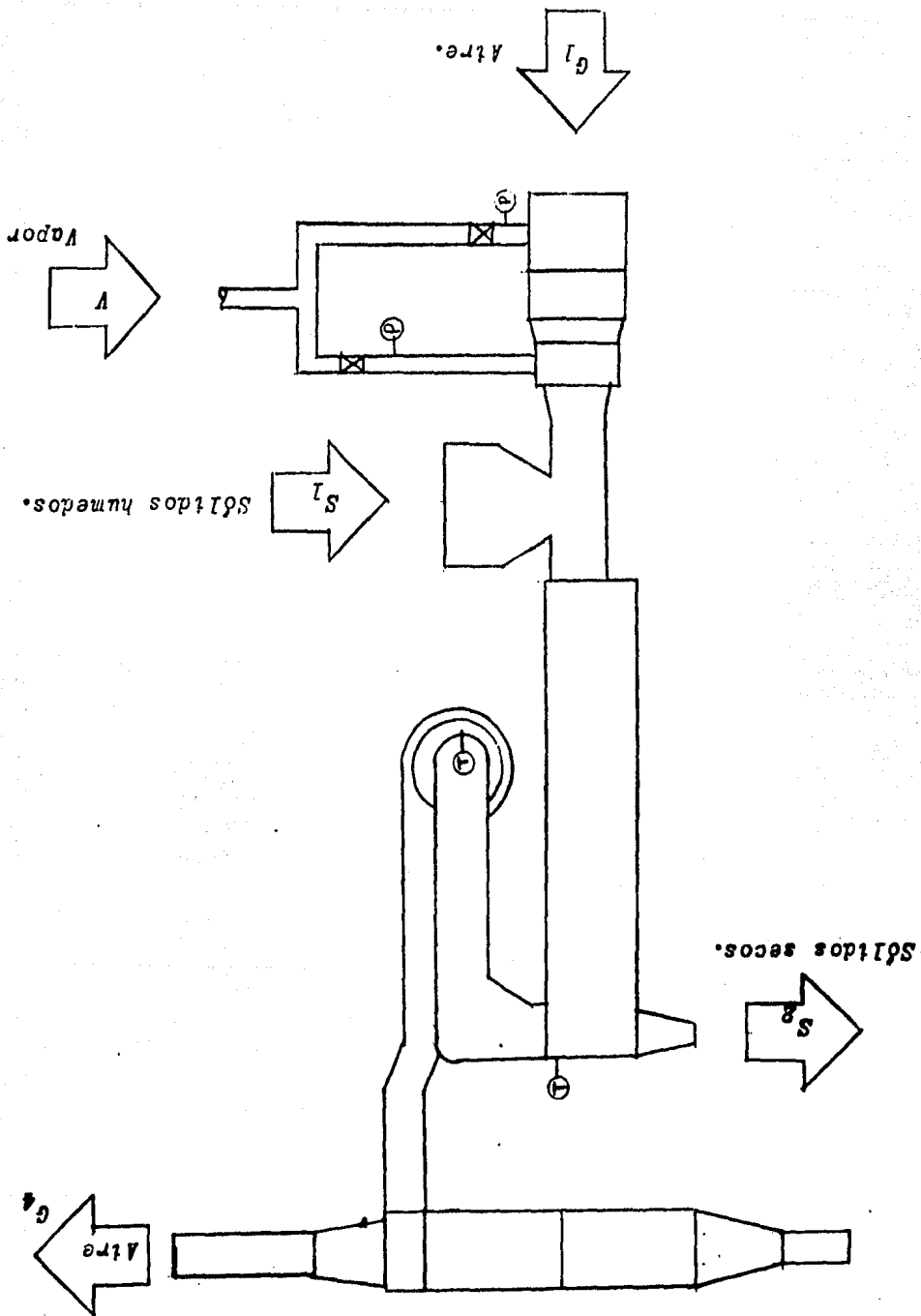
PUNTOS SOBRE LOS CUALES INFORMAR.

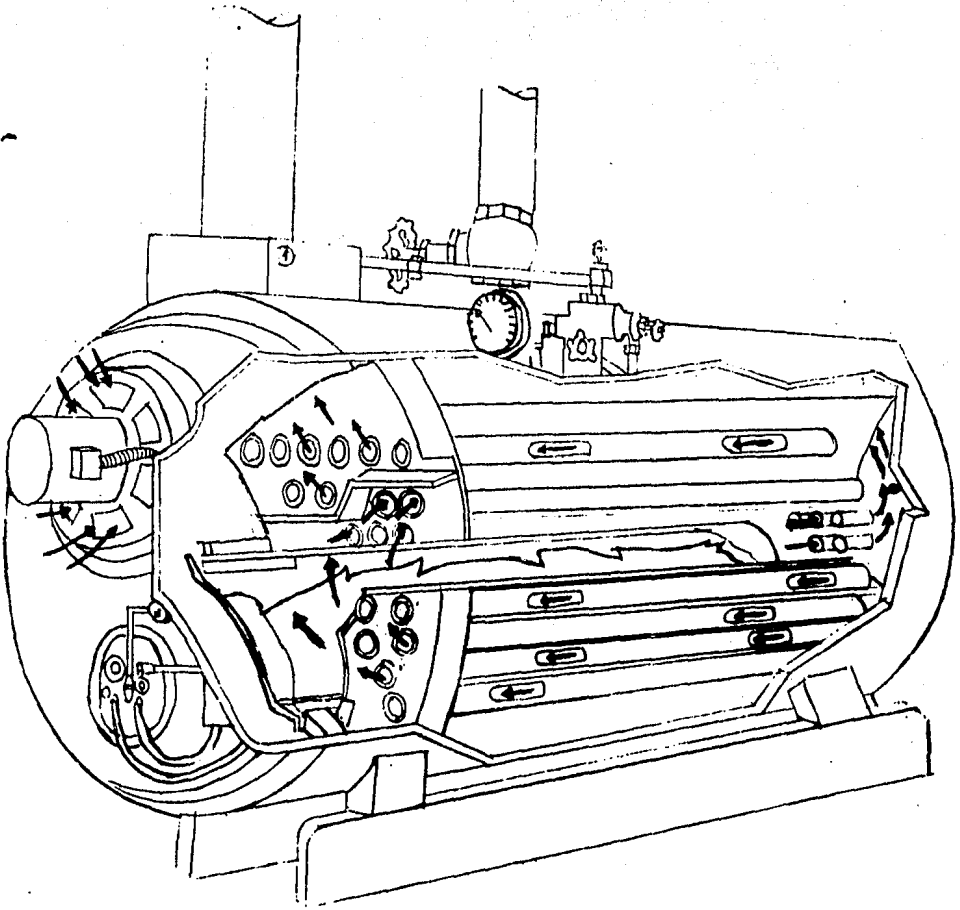
- 1.- Reportar el balance de materia y energía.

- 2.- Representar en una carta psicrométrica el paso del aire.

- 3.- Concluir.

Referencias.- 11, 33, 35, 40.





" BALANCE DE ENERGIA EN COMBUSTION ".

PRACTICA DE INGENIERIA QUIMICA II BALANCE DE ENERGIA.

PROPUESTA DE PRACTICA No. 4.

" BALANCE DE ENERGIA EN COMBUSTION "

OBJETIVOS.

- 1.- Conocer los principios y términos empleados en la realización de los balances de energía en el proceso de combustión.
- 2.- Aplicar los principios y términos anteriores para realizar un balance de materia y energía en la caldera de el laboratorio.

INTRODUCCION.

El proceso de combustión es la principal fuente de energía calorífica en la industria. El balance de energía en una caldera se utiliza para mostrar la distribución de la energía en una combustión, en entalpías del vapor y pérdidas de calor debidas a los gases de combustión y a la transferencia de calor através de las paredes de la caldera. En seguida se tratarán ciertos términos que son útiles en el balance de energía de la combustión.

El establecimiento del balance de energía en combustión implica tener en cuenta todos los términos ó fuentes de energía térmica, que figuran como términos de entrada y los de utilización y disipación de calor como términos de salida. También es conveniente tomar una temperatura base para el cálculo de todas las magnitudes del balance, una temperatura que se recomienda es la de 25°C, ya que esto permite la utilización de modo directo de los datos térmicos normales, ó termoquímicos normales.

Capacidad calorífica.-

En los derivados líquidos del petróleo se ha establecido una relación entre C_p , 'API y K representada en la figura 1. En esta figura, las líneas de la grafica principal se aplican directamente

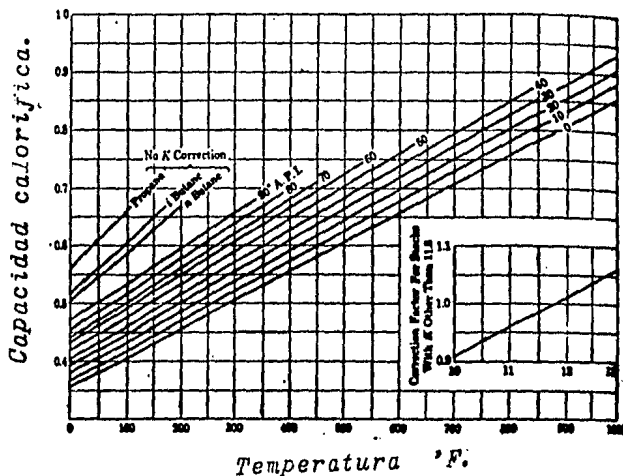


Figura 1. Calor específico de hidrocarburos líquidos.

Calor de combustión.

Pueden tenerse dos valores del calor de combustión ó poder calorífico para los combustibles que contiene hidrógeno.

- 1.- El valor calorífico total ó alto en el cual toda el agua formada se condensa al estado líquido.
- 2.- El valor calorífico neto ó bajo en el cual toda el agua formada se encuentra en fase vapor.

El valor calorífico neto se puede obtener sumando 572.2 Kcal/Kg al valor calorífico alto.

El calor de combustión depende de los productos finales de la reacción y a menos que se indique lo contrario, un valor de combustión corresponde a la oxidación de todo el carbono a CO_2 y todo el hidrogeno a agua líquida.

Los valores medios de calores de combustión de fracciones del petróleo é hidrocarburos líquidos se representan en la figura 2 como función de los 'API y K.

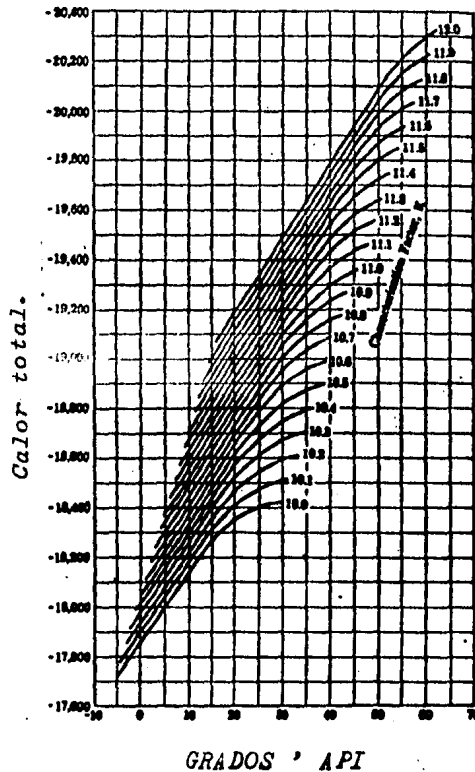


Figura 2. Calores totales de combustión de hidrocarburos líquidos del petróleo.

Eficiencia térmica.

La eficiencia térmica de un proceso es el porcentaje de calor aprovechado que efectivamente se utiliza de la forma deseada. Debido a esta definición la eficiencia térmica es convencional ya que depende de la designación del calor aportado y la de calor efectivamente aprovechado. Aquí tomaremos como base de calor aportado la suma de los términos de entrada del balance de energía y como calor aprovechado el utilizado para la producción de vapor.

$$\eta = \frac{\text{Entalpia del vapor producido.}}{\text{Entrada de energía.}}$$

Calidad de vapor.

Al enfriarse o comprimirse un vapor saturado habrá una condensación y se formará lo que se llama vapor humedo. En consecuencia se puede definir la calidad de un vapor como la fracción de vapor seco con relación al vapor humedo.

$$(x) = \text{Calidad} = \frac{\text{Peso del vapor seco}}{\text{Peso del vapor humedo.}}$$

Por tratarse de un vapor humedo las propiedades de éste no serán iguales a la del vapor saturado, sino que estarán dadas por las siguientes ecuaciones.,

$$V = V_f (1 - x) + V_g x$$

$$H = h_f (1 - x) + H_g x$$

$$S = S_f (1 - x) + S_g x$$

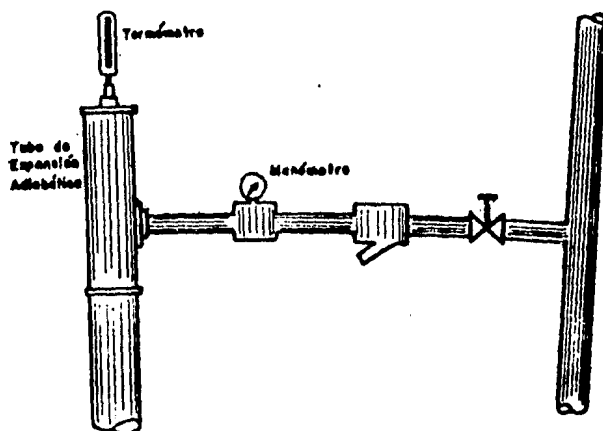
El subíndice *f* es para el líquido saturado y el *g* para el vapor saturado.

DESCRIPCION DEL EQUIPO.

La descripción de la caldera del laboratorio de Ingeniería Química y el analizador Orsat se encuentra en la práctica de Balances de materia en combustión.

Caloriméto isoentalpico.

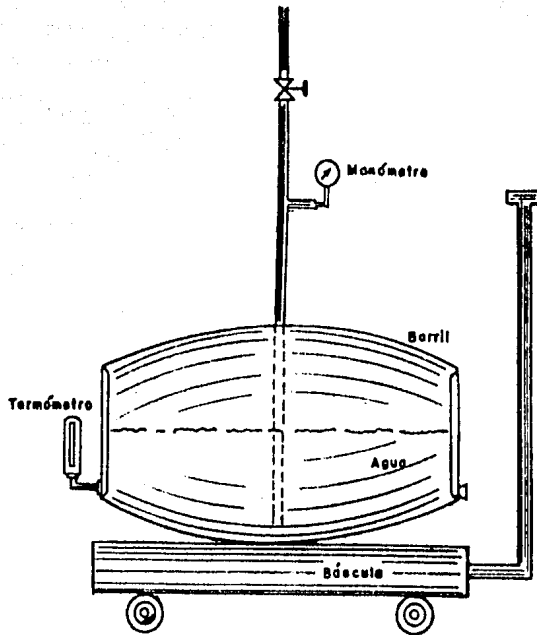
Es un aparato mediante el cual el vapor se expande a través de un pequeño orificio dentro de una cámara conectada a presión atmosférica, presión que se considera se tiene más allá del orificio. El caloriméto consiste de un tubo de expansión adiabática, una valvula de alimentación del vapor, manómetro y termómetro.



Calorimetro isoentalpico.

Calorimetro de barril.

Consiste en un barril de madera de aproximadamente 200 litros de capacidad, complementado con una bascula de 500 kg de capacidad, una línea de vapor con su valvula un manómetro y un termómetro.



Caloriméto de barril.

TECNICA DE OPERACION.

Para revisar la técnica de operación de la caldera consulte la práctica de Balances de materia en combustión.

Deben de tomarse muestras gaseosas cuando la caldera se encuentre en funcionamiento para determinar la composición de los gases de combustión mediante el analizador Ursat.

Operación del caloriméto isoentalpíco.

- 1.- Verificar la presión de vapor en la caldera.*
- 2.- Pasar vapor por el caloriméto fijando una presión en la valvula de control.*

3.- Tomar las lecturas de presión y temperatura del vapor.

4.- Repetir la operación a diferentes presiones.

La calidad del vapor se determina mediante el diagrama de mollier según se explica a continuación.

- a) Localizar la entalpía del punto correspondiente a la intersección de la presión atmosférica de la Ciudad de México y de la temperatura que se lee en el tubo de expansión adiabática.
- b) A partir del punto anterior trazar una línea a entalpía constante hasta intersectar la línea de presión absoluta del vapor.
- c) En la intersección anterior leer directamente la calidad o si el porcentaje de humedad y a partir de este obtener la calidad.

$$x = \frac{\text{Porcentaje de humedad}}{100}$$

Operación del calorímetro de barril.

- 1.- Pesar el barril vacío.
- 2.- Alimentar agua hasta la mitad del barril.
- 3.- Pesar nuevamente el barril y medir la temperatura del agua.
- 4.- Burbujear vapor a presión constante durante 7 - 10 minutos.
- 5.- Agitar el barril, determinar la temperatura del agua y volver a pesar.

La calidad del vapor se determina mediante;

$$x = \frac{w_{av} C_p (t_2 - t_1) - w_v C_p (t_3 - t_1)}{w_v \lambda_v}$$

Donde;

w_{av} = masa del agua con el vapor.

C_p = Calor específico del agua.

t_1 = Temperatura del agua fría.

t_2 = Temperatura del agua con el vapor en su seno.

t_3 = Temperatura del vapor.

λ_v = Calor latente del vapor.

DATOS FOR CONSIGNAR.

Prueba No

Presión de calibración.

Gasto de combustible.

Características del aire ambiental.

Temperatura de bulbo seco.

Temperatura de bulbo húmedo.

Análisis de los gases de combustión.

Volúmen de la muestra gaseosa.

Volúmen despues de absorber el CO_2

Volúmen despues de absorber el O_2

Volúmen despues de absorber el CO

Calidad del vapor.

Con el calorimétre isentaipico.

| Determinación | P_v (kg/cm^2) | t ($^{\circ}C$). |
|---------------|---------------------|----------------------|
| 1 | -- | -- |
| 2 | -- | -- |
| 3 | -- | -- |
| 4 | -- | -- |
| 5 | -- | -- |

Con el calorímetro de barril.

| Concepto. | masa (Kg) | P_v (Kg/cm. ²) | t (°C). |
|--------------|-----------|------------------------------|---------|
| Barril | -- | -- | -- |
| agua | -- | -- | -- |
| agua + vapor | -- | -- | -- |
| vapor. | -- | -- | -- |

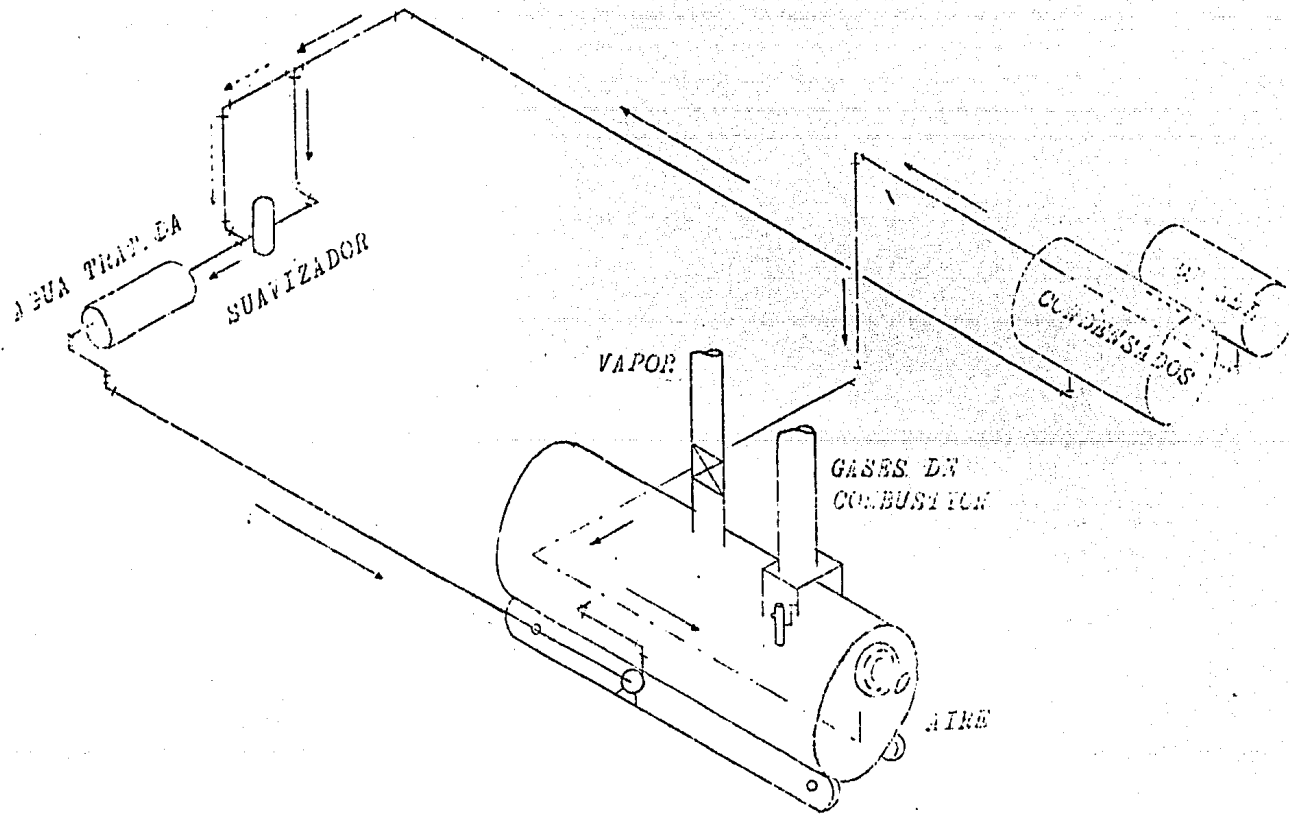
Además considerense los datos proporcionados para el combustible en la práctica de Balance de materia en combustión.

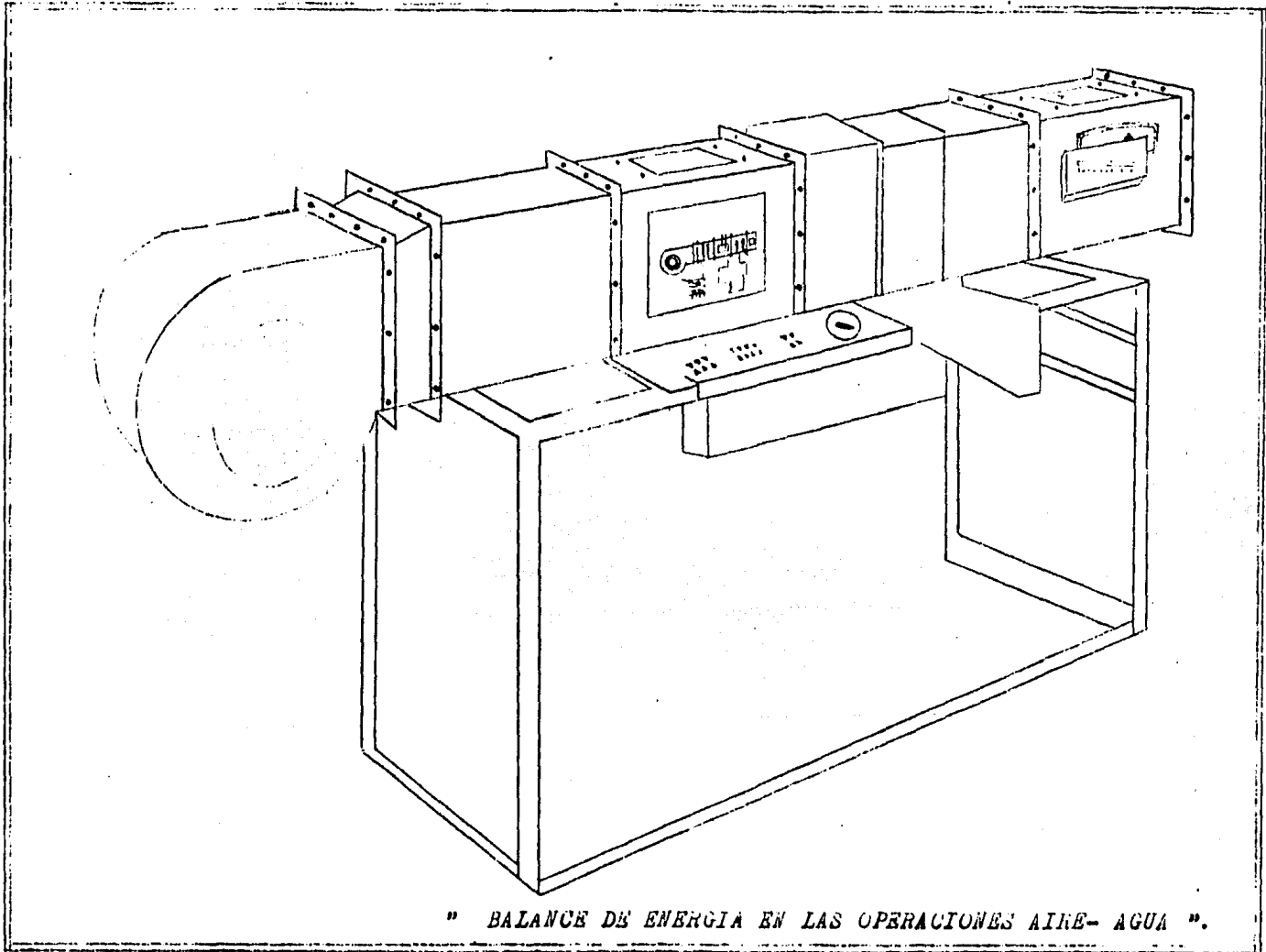
PUNTOS SOBRE LOS CUALES INFORMAR.

- 1.- Balance de materia del proceso.
- 2.- Entalpía del aire alimentado.
- 3.- Entalpía del combustible.
- 4.- Entalpía del agua alimentada a la caldera.
- 5.- Calor de combustión del combustible.
- 6.- Entarदा total de energía.
- 7.- Calidad del vapor.
 - a) con el calorímetro isoentalpico.
 - b) con el calorímetro de barril.
- 8.- Entalpía del vapor producido.
- 9.- Entalpía de los gases de combustión.
- 10.- Porcentaje de pérdidas de calor.
- 11.- Calor aprovechado para generar vapor.
- 12.- Eficiencia térmica.

Referencias. - 4, 6, 28, 33, 35, 38, 41.

DIAGRAMA DE FLUJO.





" BALANCE DE ENERGIA EN LAS OPERACIONES AIRE- AGUA ".

PRÁCTICA DE INGENIERÍA QUÍMICA II BALANCE DE ENERGÍA.

PROPUESTA DE PRÁCTICA No. 5.

" BALANCE DE ENERGÍA EN LAS OPERACIONES AIRE-AGUA ".

OBJETIVOS.

- 1.- Establecer el balance de materia y energía para el equipo de acondicionamiento de aire.
- 2.- Representar en una carta psicrométrica el paso del aire a través de las diferentes secciones del equipo.
- 3.- Representar en un diagrama de Mollier los cambios que se efectúan en el refrigerante (freón-12).

INTRODUCCION.

Acondicionar el aire es controlar su temperatura, humedad distribución y pureza. Su objeto es procurar la comodidad de los ocupantes de residencias, escuelas, centros de convivencia etc., ó bien en la industria mantener productos alimenticios - productos químicos, productos farmacéuticos y otros. En México el sistema de acondicionamiento de aire se emplea principalmente en aquellas industrias que por el tipo y naturaleza del proceso, requieren de un medio ambiente rigurosamente controlado, así como en oficinas, hoteles y edificios de servicios donde también es importante mantener un ambiente agradable para el ocupante.

Clasificación.- Los sistemas de acondicionamiento de aire son clasificados (generalmente) en cuatro tipos básicos, determinados en base al método por el cual el calentamiento ó enfriamiento del aire es alcanzado. La clasificación es la siguiente;

- a) Sistema a expansión directa. c) Sistema total con aire
 b) Sistema total con agua d) Sistema aire-agua.

En el laboratorio de Ingeniería Química de la Facultad de Química se emplea un sistema que se puede clasificar dentro de dos grupos.;

Grupo a).- Sistema de expansión directa, debido a que se emplea un refrigerante como medio de enfriamiento y al cual se le ha denominado refrigerante R-12 correspondiente al diclorodifluorometano (CCl_2F_2); y al

Grupo c) Sistema total con aire debido esto a que el ventilador se encuentra conectado en forma directa al ducto y no en forma remota.

Carta Psicrométrica.

En una carta psicrométrica generalmente se grafica temperatura ($^{\circ}\text{C}$ o $^{\circ}\text{F}$) en las abscisas y la humedad (kg vapor/kgas.) ó (Lb vapor/Lb as), en las ordenadas la carta más comunmente empleada y la que se aplicará al sistema de aire acondicionado en estudio, es la carta psicrométrica del sistema aire-agua.

Ciclo de refrigeración y diagrama de Mollier.

El ciclo de refrigeración por compresión emplea dos fenómenos.,

- a) La evaporación del refrigerante líquido por la absorción de calor de los alrededores, y
 b) La condensación del refrigerante en fase vapor, por el retorno del calor adquirido a los alrededores.

Diagrama de Mollier.

El diagrama de Mollier es un diagrama entalpía-entropía -

(la entalpía h , es igual a la energía interna U , más el producto PV) al cual se le agregan líneas de temperatura y presión constantes (y ocasionalmente otras líneas) para utilidad extra. Es usado comunmente para calculos de calentamiento, en -
 friamiento, expansión ó compresión y otros. Soló se disponen
 de diagramas de Mollier completos para unas pocas sustancias-
 pero cuando existen son extremadamente utiles. Uno de los dia-
 gramas de Mollier más conocido es el que corresponde al vapor
 de agua.

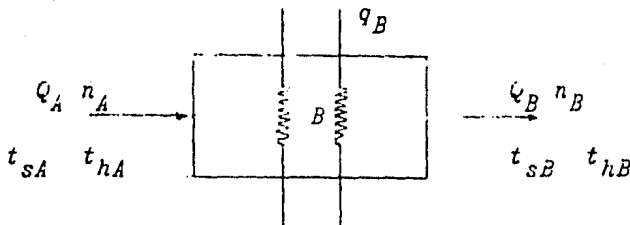
Balance de materia y energía.

Sección A.- En está sección unicamente se introduce aire al sistema a un flujo determinado, el que depende de las revu-
 luciones por minuto del ventilador, y que se indica indirecta-
 mente mediante los milímetros de agua del manómetro instalado en la parte final del equipo, las condiciones en está sección
 serán las condiciones ambientales.

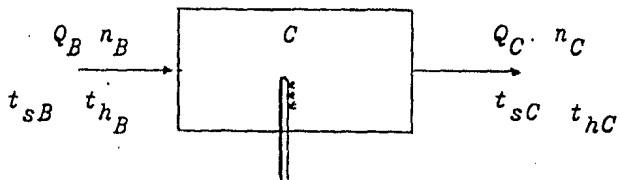


Sección B.- La sección B consta de dos calentadores en -
 forma de resistencias, las que pueden ó no proporcionar una -
 determinada cantidad de calor al aire que pasa a través de es-
 tá sección dependiendo de que las resistencias estén ó no co-
 nectadas.

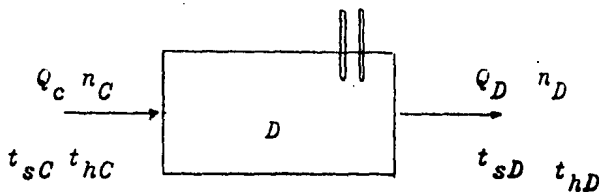
En está sección se puede realizar un balance de calor to-
 mando en cuenta que la cantidad de calor suministrado al aire
 nó podrá ser medida en está sección, sino al final de la se-
 cción D del equipo.



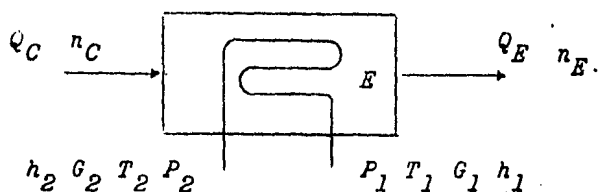
Sección C.- Está sección consta de un inyector de vapor - que proporcionará humedad al aire caliente que pasa a través - de la misma. La cantidad de vapor de agua en la sección, dependerá del número de resistencias que se encuentren funcionando- éstas son tres y el valor de cada una es de 1.5 kw.



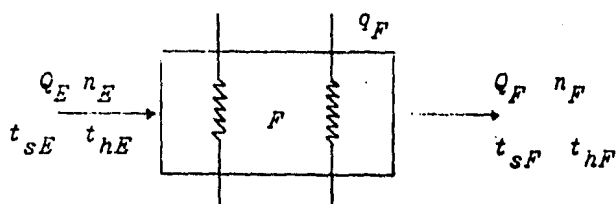
Sección D.- En está sección se encuentran los puntos de- medición de las secciones B y C las estimaciones efectúadas de los balances de materia y energía se podrán confirmar por las temperaturas de bulbo húmedo y bulbo seco que aparecen en los termómetros respectivos localizados en está sección del equi- po.



Sección E.- En esta sección se presenta la eliminación de calor por medio de un serpentín, el que contiene en su interior la sustancia refrigerante (freón -12) y el cual elimina el calor del aire evaporándose y sobrecalentándose, de tal manera que el aire es enfriado pasándolo a través del serpentín. Para comprobar la cantidad de calor adquirido por el refrigerante, se procederá a realizar un balance de entalpías.



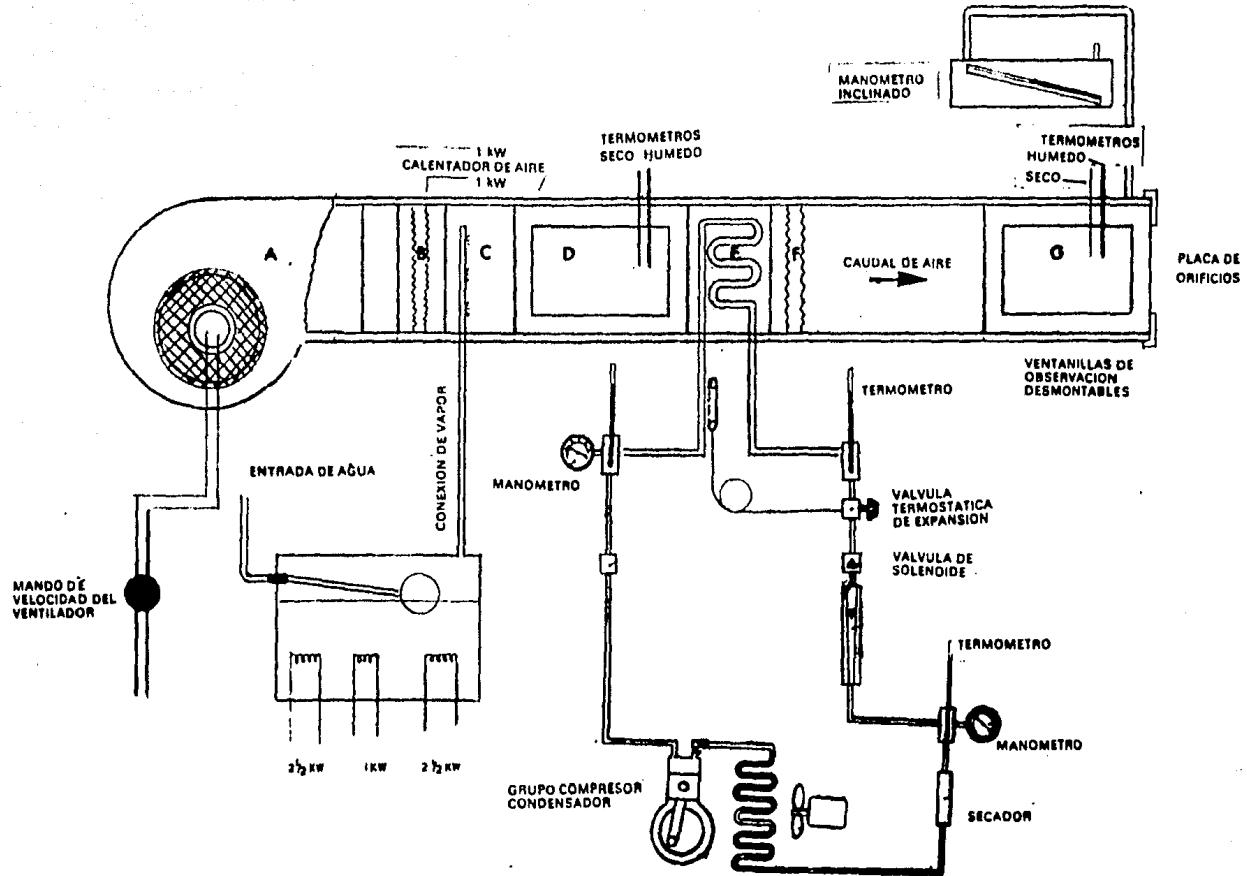
Sección F.- En esta sección se presenta la eliminación de humedad del aire sin caída general en la temperatura de bulbo seco, puede añadirse calor mediante una ó dos de las resistencias instaladas de 0.5 Kw cada una.



Si se realiza el balance de calor en las secciones E y F se tiene que en la sección E se le está eliminando calor al aire, por lo que se restará y en la sección F se le agrega.

Sección G.- Medición de flujo (manómetro de agua) en el laboratorio se encuentra disponible la gráfica de lectura del manómetro contra flujo de aire.

DIAGRAMA DE FLUJO



DESCRIPCION DEL EQUIPO.

El equipo consta de varios controles, instrumentos y accesorios divididos en dos secciones que son;

Sistema de aire.

- 1.- Ventilador con control de velocidad. Sección A.
- 2.- Calentadores de resistencias en las secciones B y F.
- 3.- Humidificador (vapor) en la sección C.
- 4.- Medición de flujo (manómetro de agua) sección G.

Sistema de refrigeración.

- 1.- Unidad compresora-condensadora.
- 2.- Deshumidificador (serpentin) sección E.
- 3.- Controles e interruptores, instrumentación.

El ducto por el cual circula el aire es de 254 mm de lado.

TECNICA DE OPERACION.

- 1.- Conectar el interruptor general de corriente y luego el del equipo.
- 2.- Quitar el tapón de conexión a la atmósfera del manómetro diferencial. Prender el botón de encendido del ventilador, luego mover el reostato a la posición en la que se encuentre la lectura mínima de 4 mm de agua en el manómetro inclinado. Mantener encendido este ventilador durante toda la operación, siendo el último en apagarse.
- 3.- Prender el botón del compresor y esperar 2 minutos - aproximadamente para que se establezca el flujo del refrigerante el cual se verá en el rotámetro corres

pondiente cuando ya no haya burbujeo y el flotador se mantenga estable.

- 4.- Apretar los botones de encendido de las resistencias de inmersión de el vaporizador y esperar de 5 a 10 minutos para obtener flujo constante de vapor al ducto; esto se comprobará por la emisión de vapores en la parte abierta del vaporizador.
- 5.- Apretar los botones de las resistencias de calentamiento de aire que se encuentran en el ducto.
- 6.- Ya estabilizados los puntos anteriores, se pueden tomar datos de temperatura de bulbo húmedo y bulbo seco en las secciones correspondientes, la lectura del manómetro diferencial, para evaluar el gasto de aire y las lecturas del manómetro y termómetro del refrigerante.
- 7.- Cambiar las condiciones de operación para lo cual se puede hacer lo siguiente.,
 - a) Variar el flujo del ventilador por medio del reostato sin bajar nunca de 4 mm de H_2O y máximo 12mm.
 - b) Conectar las 4 resistencias ó poner 2 solamente ó no utilizarlas.
 - c) Variar ambas cosas al mismo tiempo.
- 8.- Para parar la operación del equipo , desconectar en el siguiente orden.,
 - a) Resistencias de calentamiento de aire.
 - b) Resistencias de inmersión.
 - c) Compresor.
 - d) Esperar de 10 a 15 minutos despues de apagar el compresor para regresar el reostato del ventilador a su lectura de cero., lo mismo para el manómetro diferencial y tapar despues la conexión abierta a la atmósfera.

TRABAJO EXPERIMENTAL.

- 1.- Mantener siempre en el ventilador una lectura minima de 4 mm de H_2O en el manómetro inclinado y tenerlo trabajando durante todo el proceso.
- 2.- Verificar que la temperatura de entrada del refrigerante al expansor sea menor ó igual que la temperatura de salida del mismo refrigerante. En caso contrario avisar al departamento de mantenimiento.
- 3.- Verificar que al comenzar la práctica, el vaporizador tenga agua suficiente, lo mismo que el tanque vertical azul, en caso contrario, llenar con agua destilada unicamente.
- 4.- Revisar que los recipientes que están abajo de los termómetros de bulbo húmedo contengan agua, si no, llenarlos unicamente con agua destilada.
- 5.- Anotar la lectura del manómetro diferencial, las temperaturas de bulbo húmedo y seco de las secciones, la cantidad de agua precipitada, la presión y la temperatura del refrigerante, presión y temperatura a la entrada al evaporador, lo mismo que a la salida.

DATOS POR CONSIGNAR.

- 1.- Características del sistema de aire.

| | | |
|---------------------------------|-------|-----------|
| Lectura del manómetro | ----- | mm H_2O |
| Temperatura de bulbo seco (A) | ----- | 'C |
| Temperatura de bulbo húmedo (A) | --- | 'C |
| Temperatura de bulbo seco (D) | ----- | 'C |
| Temperatura de bulbo húmedo (D) | --- | 'C |
| Temperatura de bulbo seco (G) | ----- | 'C |
| Temperatura de bulbo húmedo (G) | --- | 'C |

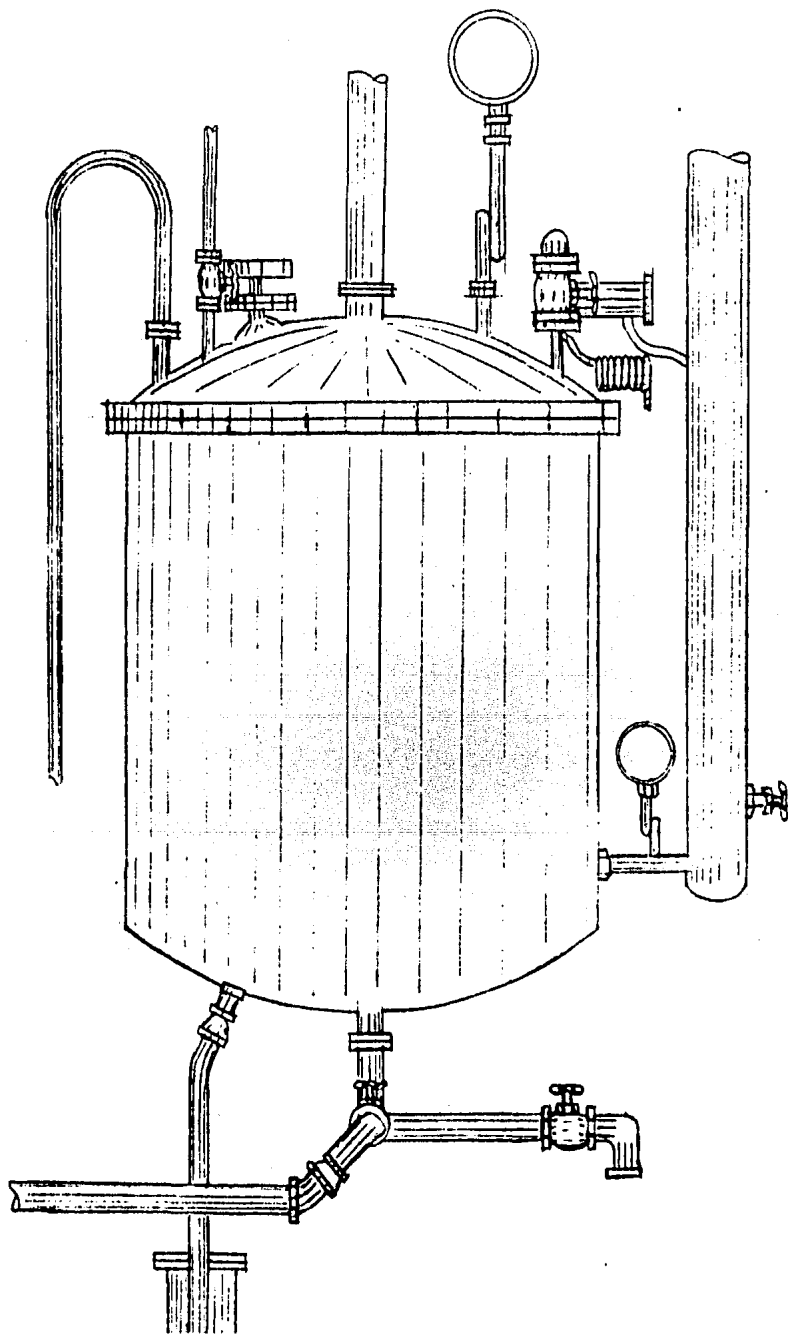
Características del sistema de refrigeración.

| | | |
|----------------------------------------------|-------|---------------|
| <i>Flujo másico del refrigerante (R-12)</i> | ----- | <i>Kg/hr</i> |
| <i>Presión del R-12 líquido.</i> | ----- | <i>Bar.</i> |
| <i>Temperatura R-12 líquido.</i> | ----- | <i>'C.</i> |
| <i>Presión de entrada al evaporador.</i> | ----- | <i>Bar.</i> |
| <i>Temperatura de entrada al evaporador.</i> | ----- | <i>'C.</i> |
| <i>Presión de salida del evaporador.</i> | ----- | <i>Bar.</i> |
| <i>Temperatura de salida del evaporador.</i> | ----- | <i>'C.</i> |
| <i>Cantidad de agua condensada. (E)</i> | ----- | <i>ml/hr.</i> |

PUNTOS SOBRE LOS CUALES INFORMAR.

- 1.- Reportar el balance de materia y energía.*
- 2.- Representar en una carta psicrométrica el paso del aire por las diferentes secciones del equipo.*
- 3.- Representar en un diagrama de Mollier lo que sucede con el refrigerante.*
- 4.- Conclusiones.*

Referencias.- 1, 2, 24, 35.



" BALANCE DE ENERGIA EN DESTILACION A REGIMEN INESTABLE ".

PRACTICA DE INGENIERIA QUIMICA II BALANCE DE ENERGIA.

PROPUESTA DE PRACTICA No. 6.

" BALANCE DE ENERGIA EN DESTILACION A REGIMEN INESTABLE "

OBJETIVOS.

- 1.- Estudiar un caso de operación en regimen inestable.*
- 2.- Realizar el balance de materia en un proceso en estado inestable.*
- 3.- Comparar los resultados obtenidos en el experimento - con los proporcionados por diferentes ecuaciones teóricas.*

INTRODUCCION.

El regimen permanente ó estable ocurre cuando la acumulación en el sistema es igual a cero y las propiedades del sistema no varían con el tiempo, sin embargo existen muchos procesos en los cuales no se encuentran en estado estable.

En aquellos procesos en los cuales la acumulación es diferente a cero y entonces las propiedades varían con el tiempo, - se dice que se encuentran en regimen inestable o transitorio. - Hay una gran variedad de situaciones industriales que se encuentran en este caso, tal como la iniciación de operación de un equipo o las reacciones intermitentes, el cambio en las condiciones de operación o alteraciones que ocurren cuando cambian - las condiciones de un proceso.

El regimen inestable es más difícil de manejar desde el punto de vista matemática y su resolución analítica es por lo general compleja, las soluciones prácticas que se pueden obtener dependen de las simplificaciones que se realicen, utilizando suposiciones necesarias y razonables.

En la resolución de este tipo de problemas, deben de seguirse las siguientes dos etapas.,

- a) Establecer la ecuación del proceso en estado inestable.
- b) Resolver la ecuación desarrollada.

Para ejemplificar lo anterior se ilustrará a continuación un proceso que ocurre en estado inestable.

Cuando dos materiales con diferente volátilidad se cargan a un alambique ó calderín aplicando calor hasta que la mezcla ebulle, se retira continuamente el vapor producido, sin permitir que nada de él regrese al líquido, y se condense por separado (ver figura 1), se tendrá una destilación diferencial ó destilación intermitente simple, en el cual el líquido se irac empobreciendo continuamente del componente más volátil al igual que el vapor.

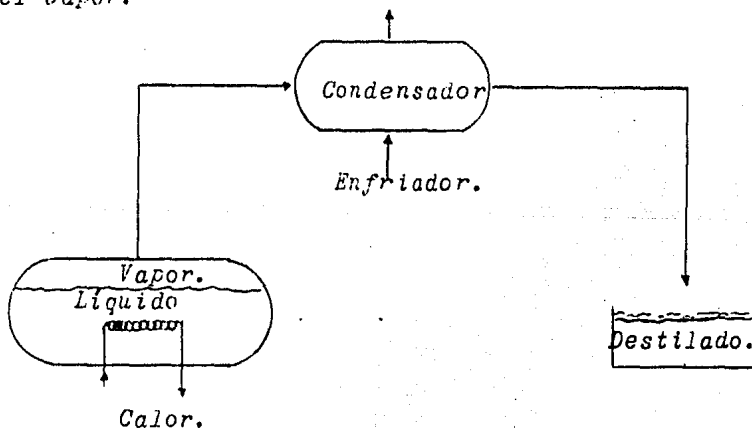


Figura 1.- Representación de la destilación diferencial.

Debido a que continuamente las concentraciones de ambas - fases cambian la relación entre las cantidades y concentraciones de líquido inicial y final, debe establecerse mediante un balance de materia para el regimen transitorio.

Las moles evaporadas de la fase líquida deben ser igual a las que se encuentran en ese instante en la fase vapor...

$$-d(\tilde{L} \tilde{x}_A) = \tilde{y}_A d\tilde{V} \quad (1)$$

Como además la cantidad total evaporada de la fase líquida debe ser igual a la que se condensa de la fase vapor, $dV = -dL$ sustituyendo la igualdad anterior en la ecuación (1) y desarrollando el término de la izquierda de está resulta.,

$$\frac{d\tilde{L}}{\tilde{L}} = \frac{d\tilde{x}_A}{\tilde{y}_A - \tilde{x}_A} \quad (2)$$

La ecuación anterior debe integrarse entre los límites L_0 carga inicial de líquido, L_f carga final, x_0 concentración inicial y x_f concentración final.

$$\ln \frac{\tilde{L}_f}{\tilde{L}_0} = \int_{x_0}^{x_f} \frac{d\tilde{x}_A}{\tilde{y}_A - \tilde{x}_A} \quad (3)$$

La ecuación anterior es conocida con el nombre de ecuación de Rayleigh, la función $dx_A / (y_A - x_A)$ puede integrarse gráficamente si se conocen las composiciones del vapor y del líquido en equilibrio a diferentes intervalos de tiempo. Lo anterior se consigue graficando la función $1/(y_A - x_A)$ frente a x_A y calculando el área comprendida bajo la curva que se obtenga.

La evaluación de la integral también puede hacerse mediante la aplicación de alguna fórmula de aproximación, por ejemplo,

$$\int f(x) dx = \frac{\Delta x}{2} \left[f(x_0) + f(x_n) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} f(x_i) \right] \quad (4)$$

La composición promedio del destilado puede obtenerse mediante la aplicación de un balance de materia.,

$$\bar{y} = \frac{\tilde{L}_0 \tilde{x}_0 - \tilde{L}_f \tilde{x}_f}{\tilde{D}} \quad (5)$$

Para poder realizar analíticamente la integración de la ecuación de Rayleigh, se debe conocer una relación matemática entre las concentraciones en equilibrio del líquido y el vapor. En seguida se tratan algunos casos.,

El sistema sigue la Ley de Raoult.

Si se considera que el sistema sigue la Ley de Raoult y además en el intervalo de operación considerado la volatilidad relativa $\alpha = p_A^0 / p_B^0$, permanece constante, las composiciones en equilibrio estarán relacionadas según la ecuación.,

$$\tilde{y}_A = \frac{\tilde{x}_A}{1 + (\alpha - 1)} \quad (6)$$

Si la ecuación anterior se sustituye en la ecuación de Rayleigh, y se integra resulta.,

$$\ln \frac{\tilde{L}_0}{\tilde{L}_f} = \left[\frac{1}{\alpha - 1} \ln \frac{\tilde{x}_0}{\tilde{x}_f} + \ln \left(\frac{1 - \tilde{x}_f}{1 - \tilde{x}_0} \right) \right] \quad (7)$$

El sistema sigue la ley de Henry.

Para las soluciones diluidas, se cumple que $y = Hx$, sustituyendo lo anterior en la ecuación de Rayleigh, se llega a.,

$$\ln \frac{\tilde{L}_0}{\tilde{L}_f} = \frac{1}{H - 1} \ln \frac{\tilde{x}_0}{\tilde{x}_f} \quad (8)$$

El sistema se comporta según., $y = ax + b$.,
 si esto se cumple entonces se tendrá la siguiente relación.,

$$\ln \frac{\tilde{L}_0}{\tilde{L}_f} = \frac{1}{a-1} \ln \left[\frac{(a-1)\tilde{x}_0 + b}{(a-1)\tilde{x}_f + b} \right] \quad (9)$$

Para los sistemas reales, se puede aplicar el coeficiente de distribución, $K = \tilde{y}/\tilde{x}$, que en el caso de suponerse constante en el intervalo de operación considerado ó utilizando un valor promedio de éste, se llega a la siguiente relación.;

$$\ln \frac{\tilde{L}_0}{\tilde{L}_f} = \frac{1}{K-1} \ln \frac{\tilde{x}_0}{\tilde{x}_f} \quad (10)$$

Balance de materia del proceso.,

$$\text{Global} \quad \tilde{L}_0 = \tilde{L}_f + \tilde{D} \quad (11)$$

$$\text{Componente más volátil} \quad ; \quad \tilde{L}_0 \tilde{x}_0 = \tilde{L}_f \tilde{x}_f + \tilde{D} \tilde{y} \quad (12)$$

Balance de energía del proceso;

$$\tilde{L}_0 \tilde{h}_0 + q = \tilde{L}_f \tilde{h}_f + \tilde{D} \tilde{H}_D \quad (13)$$

q = calor agregado al sistema.,

Las entalpías se calculan, para una mezcla binaria, según;

$$\tilde{h} = (\tilde{C}_{p_A} \tilde{x}_A + \tilde{C}_{p_B} \tilde{x}_B) (t - t_r) + \Delta \tilde{H}_m \quad (14)$$

t = Temperatura de la mezcla líquida.

t_r = Temperatura de referencia 0 °C.

$\Delta \tilde{H}_m$ = Calor de mezclado.

$$\tilde{H} = (\tilde{C}_{pA}\tilde{y}_A + \tilde{C}_{pB}\tilde{y}_B) (t_{eb} - t_r) + \tilde{\lambda}_A\tilde{y}_A + \tilde{\lambda}_B\tilde{y}_B + \Delta\tilde{H}_m \quad (15)$$

t_{eb} = temperatura de ebullición de la mezcla.

$\tilde{\lambda}_A, \tilde{\lambda}_B$ = Calor latente de vaporización a la t_{eb} .

DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.

El equipo de destilación diferencial forma parte del de - destilación simple, que consta de una columna de rectificación una olla vaporizadora y un juego de tres condensadores.

El equipo de destilación diferencial consiste en una olla vaporizadora calentada mediante un serpentín de vapor, cuenta - además con una línea de cobre de 1 1/2 pulgada de diámetro que lleva los vapores directamente a los condensadores, un medidor de nivel graduado, un manómetro que indica la presión del va - por producido y un termómetro para medir la temperatura de es - té.

Una vez que el vapor procedente de la olla ha pasado por - los condensadores baja, pasando por un medidor de flujo y de - ahí a un enfriador de producto, finalmente llega a un tanque - recolector que tiene un medidor de nivel graduado para regis - trar la cantidad de producto obtenido.

Para cargar la olla vaporizadora se utiliza una bomba de alimentación que está conectada al tanque de alimentación si - tuado a nivel de piso en el sótano.

TECNICA DE OPERACION.

- 1.- Preparar el sistema que se quiere destilar en el tan - que de alimentación y pasarlo directamente a la olla de manera que está se llene hasta un cierto nivel.

- 2.- Cerrar todas las conexiones con la columna fraccionadora para hacer de la olla un solo sistema independiente de la columna.
- 3.- Tomar una muestra del líquido que se va a destilar analizandola para determinar su composición,
- 4.- Conectar el agua de enfriamiento al sistema de condensadores y al enfriador de producto.
- 5.- Pasar vapor de calentamiento a la olla a la presión - que se indique.
- 6.- Esperar la estabilización de la operación y de acuerdo con lo que se convenga tomar muestras de líquido y de vapor de la olla.
- 7.- Al mismo tiempo tomar los datos de volúmen de líquido - temperatura de los vapores y tiempo de operación.
- 8.- Anotar el nivel del tanque de producto y el tiempo en que esté se obtiene.

TRABAJO EXPERIMENTAL.

Una vez llenada la olla vaporizadora hasta un cierto nivel, a diferentes intervalos de tiempo deben de tomarse muestras de líquido y vapor de está, anotando además los datos de volúmen de líquido en la olla y la temperatura de los vapores.

Además ueben anotarse los datos de volúmen de destilado - obtenido y el tiempo en que esté se obtuvo y su composición.

Por ultimo debe anotarse la presión de vapor de calentamiento utilizado.

DATOS POR CONSIGNAR.

- 1.- Sistema empleado -----

| θ (min) | V (lt) | n_1 | \tilde{x} | n_v | \tilde{y} | T(°C). |
|----------------|--------|-------|-------------|-------|-------------|--------|
| -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |

Presión de vapor; ----- kg/Cm²
 Gasto de destilado ----- Lt/min.

$n_{\text{destilado}}$; ----- $\tilde{x}_{\text{destilado}}$ -----

Observaciones.

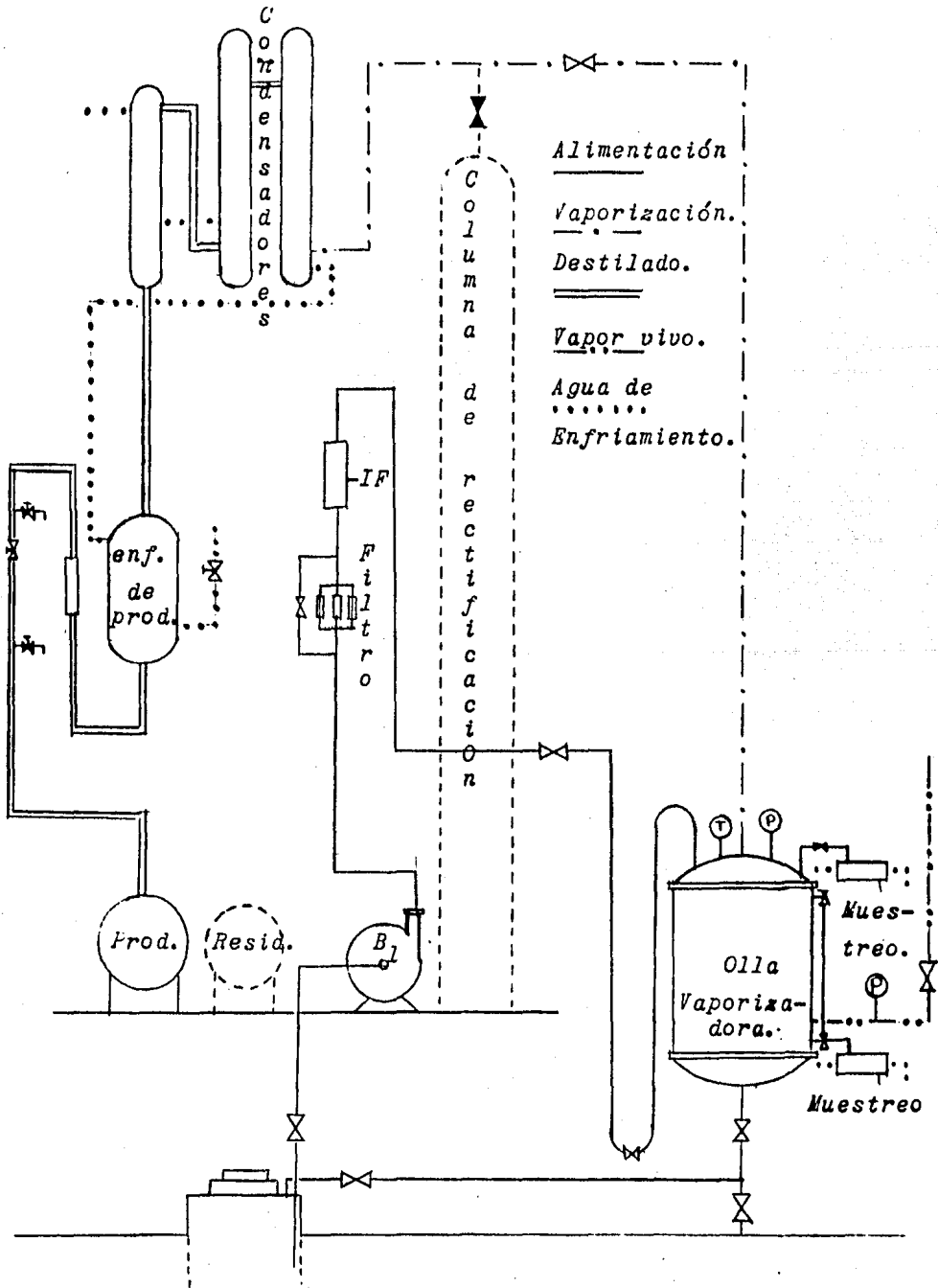
Nota., Considerese que el calor de mezclado es despreciable.

PUNTOS SOBRE LOS CUALES INFORMAR.

- 1.- Con los datos de volúmen de destilado inicial y final obtengase a partir del balance de materia la cantidad de destilado que debió de obtenerse y compárese con el obtenido experimentalmente.
- 2.- Calcúlese el valor de la composición promedio del destilado con la ecuación(5) y compárese está con el valor obtenido experimentalmente.
- 3.- Calcular la cantidad de calor agregado al sistema.
- 4.- Calcular la cantidad de vapor utilizado para el calentamiento.
- 5.- Calcular el valor de la carga final de líquido a partir de;

- a) La integración grafica de la ecuación de Rayleigh.
- b) La ecuación obtenida a partir de la ley de Raoult.
- c) La ecuación obtenida a partir de la ley de Henry.
- d) La ecuación obtenida a partir de $y = ax + b$.
- e) La ecuación obtenida utilizando el coeficiente de distribución.

DIAGRAMA DE FLUJO.



CONCLUSIONES.

El anteproyecto de un manual de prácticas para Ingeniería Química I y II constituye una etapa en el proceso de crear un sistema que permita orientar el desarrollo de los alumnos sobre bases de mayor racionalidad y práctica.

El anteproyecto postula, como objetivos básicos reafirmar y fortalecer los conocimientos de teoría; proveer a los alumnos de experiencias prácticas; promover un crecimiento intelectual alto y sostenido y mejorar la distribución de los conocimientos entre la comunidad de química y más particularmente a nivel Ingeniería.

El anteproyecto de prácticas aspira a ser el manual que más adelante se emplee, y no solo un anteproyecto, de aquí la conveniencia de dar a conocer su contenido a más amplios sectores (profesorado de laboratorio y teoría.)

El proceso del anteproyecto se ve acompañado por el surgimiento de nuevas y crecientes demandas, a la vez que aparecen sectores de alumnos también crecientes y participantes. Esta nueva estructura exigirá cambios importantes en la composición y distribución del laboratorio, así como también de transformaciones continuas en la morfología de las materias teóricas.

Para alcanzar el modelo de anteproyecto propuesto, se ha establecido una estrategia que, a partir de los objetivos particulares que presenta el problema, dirija e induzca el desarrollo teórico y práctico hacia los propósitos de equilibrio didáctico y de aprendizaje.

En síntesis, el anteproyecto cumple con la finalidad primordial de dotar al alumno con los conocimientos fundamentales y esenciales para que pueda llevar a cabo la resolución, de una forma sistematizada, de aquellos problemas típicos de Ingeniería Química, que son de carácter totalmente práctico y que se presentan frecuentemente en la industria química.

Dada la naturaleza misma de los problemas, muy diversos, - sería pretencioso esperar que los alumnos que concluyeran estos cursos (Balance de materia y Balance de materia y energía) es - tuviesen en capacidad de resolver de una forma enteramente sa - tisfactoria problemas bastante elaborados, ya que la habilidad - para ello se acaba de desarrollar con la experiencia y los sub - secuentes cursos, sin embargo en el presente anteproyecto se - contempla que el alumno se familiarice con todas aquellas opera - ciones y conocimientos fundamentales y claves para la resolución de dichos problemas.

En todo momento en las prácticas propuestas, se trata de - desarrollar la iniciativa de los alumnos, facultad de primordi - al importancia, desde la creación de las mismas.

Así mismo se hace hincapie en la necesidad de adquirir - gran habilidad en el analisis de los problemas, y la creación - en los alumnos de la capacidad de poder utilizar la información disponible, que generalmente no se aplica directamente a las ne - cesidades inmediatas y que comprenderian puntos especificos en - la aplicación práctica de la teoria desarrollada, se propone a - la vez que el trabajo elaborado por cada uno de los grupos de - alumnos, se juzgue en presencia de ellos al terminar cada una - de las prácticas, ó la entrega de el informa correspondiente, - con re. lación a esto ultimo y envista de la cantidad de alumnos que realizarán las prácticas se recomienda la creación de gru - pos con una capacidad no superior a 15 alumnos, esto es, una - cantidad superior dificultaria la operación del equipo, se pro - pone una práctica cada 15 dias, a los 8 dias de haber realizado la práctica habra una sesión llamada "De cuestiones sobre el in - forme" y evaluación de informes anteriores, siendo necesaria la presencia de todos los alumnos del grupo correspondiente,

A su vez se juzga que las prácticas propuestas forman parte esencial de lo que es la Ingeniería Química, del mismo modo se - ccsidero que se debería de trabajar con dos tipos de problemas

aqueillos que ejemplifiquen cada uno de los temas que se desarrollan en la clase (teoría) y aquellos que comprenderían problemas típicos de los que se presentan en la industria y que justificarían la manera en que los conocimientos adquiridos en las materias citadas, se combinan para resolver dichos problemas.

El logro de las metas anteriores no se dará en forma espontánea, sino que, requerirá de un esfuerzo coordinado y de gran disciplina en el manejo de los instrumentos de los que se disponen, para llevar a cabo esto es necesario, vencer inercias ajustar esquemas y superar ineficiencias; reconocer y enfrentar los problemas, en la medida y magnitud que se presenten para avanzar en el esquema programado.

SEPTIEMBRE DE 1983. (JAGC/EVB)

" POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU."

A

P

E

N

D

I

C

E

S

Propiedades de los materiales utilizados en el laboratorio de
Ingeniería Química

SOLIDOS

| Compuesto | Fórmula | M(Kg/Kg) | $\rho^{25^{\circ}\text{C}}$ (Kg/m ³) | C_p (Kcal/Kg ^o C) |
|------------------------------------------------|---------------------------------|----------|--------------------------------------------------|--------------------------------|
| Arena | ----- | ----- | ----- | 0.36 |
| Carbonato de Calcio | CaCO ₃ | 100.09 | 2710 | 0.196 |
| Leche en polvo (3.5 %p de H ₂ O) | ----- | ----- | 700* 375** | 0.23 |
| Sulfato de Sodio | Na ₂ SO ₄ | 142.05 | 2671 | 0.61 |

| Compuesto | g/100 g H ₂ O _{FRÍO} | g/100 g H ₂ O _{CALIENTE} |
|------------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Arena | ----- | ----- |
| Carbonato de Calcio | 0.0014 ^{25°C} | 0.002 ^{100°C} |
| Leche en polvo (3.5 %p de H ₂ O) | ----- | ----- |
| Sulfato de Sodio | 36 ^{25°C} | 42 ^{34°C} |

* Secada una vez ; ** Secada dos veces .

LIQUIDOS

| Compuesto | Fórmula | M(Kg/Kg) | t_B (°C) | ρ (Kg/m ³) | μ (cp) |
|----------------|----------------------------------------------|----------|------------|-----------------------------|------------|
| Acetona | C ₆ H ₆ O | 58.080 | 48.9 | 790 | 0.32 |
| Agua | H ₂ O | 18.015 | 92.9 | 998 | 1.005 |
| Etilen Glicol | C ₂ H ₆ O ₂ | 62.069 | 189.1 | 1114 | 20.9 |
| 2-Etil Hexanol | C ₈ H ₁₈ O | 130.231 | 175.4 | 833 | 10.4 |
| Leche | — | — | 93.1 | 1030 | 2.2 |

| Compuesto | C_p (Kcal/Kg °C) | A | B | C |
|----------------|--------------------|---------|---------|--------|
| Acetona | 0.5270 | 16.6513 | 2940.46 | -35.93 |
| Agua | 1.0014 | 18.3036 | 3816.44 | -46.13 |
| Etilen Glicol | 0.5740 | 20.2501 | 6022.18 | -28.25 |
| 2-Etil Hexanol | | 15.3614 | 2773.46 | -140.0 |
| Leche | 0.9380 | — | — | — |

$$\ln p^{\circ} = A - \frac{B}{T + C} ; \quad p^{\circ} \text{ en mm de Hg, } T \text{ en } ^{\circ}\text{K} .$$

GASES

| Compuesto | Fórmula | M(Kg/Kg) | a | b E+2 | c E+7 |
|---------------------|------------------|----------|-------|----------|--------|
| Aire | — | 29 | 6.713 | 0.04697 | 1.147 |
| Dioxido de Carbono | CO ₂ | 44.010 | 5.316 | -1.4285 | -8.362 |
| Monoxido de Carbono | CO | 28.010 | 6.726 | 0.04001 | 1.283 |
| Nitrogeno | N ₂ | 28.013 | 6.903 | -0.03753 | 1.930 |
| Oxigeno | O ₂ | 31.999 | 6.805 | 0.3631 | -1.709 |
| Vapor de agua | H ₂ O | 18.015 | 7.700 | 0.04594 | 2.521 |

| Compuesto | d E+10 | intervalo °K |
|---------------------|--------|--------------|
| Aire | -4.696 | 273 - 1800 |
| Dioxido de Carbono | 17.84 | 273 - 1800 |
| Monoxido de Carbono | -5.307 | 273 - 1800 |
| Nitrogeno | -6.861 | 273 - 1800 |
| Oxigeno | 3.133 | 273 - 1800 |
| Vapor de agua | -8.587 | 273 - 1800 |

$$\bar{C}_p = a + bT + cT^2 + dT^3$$

$$\bar{C}_p \text{ en Kcal/Kg}^\circ\text{K}, \quad T \text{ en } ^\circ\text{K}.$$

APENDICE I : Datos Físicos y Técnicos

Tablas de conversión o equivalencias
Equivalencias entre unidades de longitud

| Kilómetros (Km) | Metros (m) | Centímetros (cm) | Milímetros (mm) | Pulgadas (pulg) | Pies | Yardas (yd) | Micras (μ) | Millas |
|--------------------------|------------------|------------------|------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------|------------------|
| 1 | 1000 | 10 ² | 10 ³ | 39 370 | 3 280.83 | 1 093.61 | 10 ⁶ | 0.621 37 |
| 0.001 | 1 | 100 | 1 000 | 39.37 | 3.28081 | 1.09161 | 10 ⁶ | 0.000 6214 |
| 10 ⁻³ | 0.01 | 1 | 10 | 0.3917 | 0.032808 | 0.010916 | 10 ⁴ | 0.000 0062 |
| 10 ⁻⁶ | 0.001 | 0.1 | 1 | 0.03917 | 0.0032808 | 0.0010916 | 10 ³ | 0.000 00062 |
| 2.54 × 10 ⁻⁵ | 0.0254 | 2.540 | 25.40005 | 1 | 0.03113 | 0.02778 | 25 400 | 0.000 0158 |
| 3.048 × 10 ⁻⁵ | 0.30480 | 30.480 | 104.801 | 12 | 1 | 0.33333 | 304 801 | 0.000 18939 |
| 9.144 × 10 ⁻⁴ | 0.914402 | 91.440 | 914.4 | 36 | 3 | 1 | 914 402 | 0.000 5682 |
| 10 ⁻⁹ | 10 ⁻⁶ | 10 ⁻⁴ | 10 ⁻³ | 3.937 × 10 ⁻³ | 3.2808 × 10 ⁻³ | 1.0916 × 10 ⁻³ | 1 | 1 |
| 10 ⁻¹² | 10 ⁻⁹ | 10 ⁻⁷ | 10 ⁻⁶ | 3.937 × 10 ⁻⁶ | 3.2808 × 10 ⁻⁶ | 1.0916 × 10 ⁻⁶ | 10 ⁻³ | 10 ⁻³ |

Equivalencias entre unidades de superficie

| m ² | pulg ² | pie ² | yd ² | Acres | Millas | cm ² | mm ² |
|----------------|-------------------|------------------|-----------------|----------------|----------------|------------------------|-------------------------|
| 1 | 1 550 | 10.76 | 1.196 | 0.0002471 | 0.000 000 1861 | 10 000 | 10 ⁶ |
| 0.0006452 | 1 | 0.006944 | 0.0007716 | 0.000 000 1594 | 0.0.2491 | 6.452 | 645.2 |
| 0.09290 | 144 | 1 | 0.1111 | 0.0.2296 | 0.0.3587 | 929.0 | 92 901 |
| 0.8361 | 1 296 | 9 | 1 | 0.0002066 | 0.0.3228 | 8 361 | 836 131 |
| 25.29 | 39 204 | 272.25 | 30.25 | 0.00625 | 0.0.9766 | 252 910 | 25 29 × 10 ⁶ |
| 404.7 | 627 261 | 4 356 | 484 | 0.1 | 0.0001562 | 4 016 871 | 404.7 × 10 ⁶ |
| 4 047 | 6 272 640 | 43 560 | 4 840 | 1 | 0.001562 | 40 468 726 | 4 047 × 10 ⁶ |
| 2 589 998 | | 27 878 400 | 3 097 600 | 640 | 1 | 25.9 × 10 ⁷ | 25.9 × 10 ¹¹ |

* Datos del Dr. Lewis V. JUDSON, National Bureau of Standards. Con autorización.

* Datos tomados del Chemical Engineers' Handbook, J. H. PERRY. Copyright 1950. McGraw-Hill Book Company, Inc. Con autorización.

Equivalencias entre unidades de volumen y capacidad

| pulg ³ | Pies ³ | yd ³ | Onzas flui- das de U.S. | Cuartos (qt) de U.S. | | Galones U.S. | Galones imperiales | Litros | cm ³ | m ³ |
|-------------------|-------------------|-----------------|----------------------------|----------------------|---------|--------------|-----------------------|---------|-----------------|--------------------------|
| | | | | Líquidos | Áridos | | | | | |
| 1 | 0.0,5787 | 0.0,2143 | 0.5541 | 0,01732 | 0.01488 | 0.0,4329 | 0.0036 | 0.01639 | 16.39 | 1.639 × 10 ⁻³ |
| 1 728 | 1 | 0.03704 | 957.5 | 29.92 | 25.71 | 7.481 | 6.24 | 28.32 | 28 320 | 0.02832 |
| 46,656 | 27 | 1 | 25 853 | 807.9 | 694.3 | 202.0 | 168.4 | 764.6 | 764 559 | 0.7646 |
| 1,805 | 0.001044 | 0.0,3868 | 1 | 0.03125 | 0.02686 | 0.007812 | 0.0065 | 0.02957 | 29.57 | 2.957 × 10 ⁻³ |
| 57.75 | 0.03142 | 0.001238 | 32 | 1 | 0.8594 | 0.25 | 0.208 | 0.9453 | 964.3 | 9.463 × 10 ⁻⁴ |
| 67.20 | 0.03389 | 0.00114 | 37.24 | 1,164 | 1 | 0.2909 | 0.242 | 1 101 | 1 101 | 11.01 × 10 ⁻⁴ |
| 231 | 0.1337 | 0.001951 | 128 | 4 | 3.437 | 1 | 0.8327 | 3 785 | 3 785 | 3.785 × 10 ⁻³ |
| 277 | 0.1605 | 0.0059 | 153.5 | 4.80 | 4.12 | 1.20 | 1 | 4.536 | 4 536 | 4.536 × 10 ⁻³ |
| 61.03 | 0.03531 | 0.001308 | 33.81 | 1.057 | 0.9081 | 0.2642 | 0.2205 | 1 | 1 000 | 1 × 10 ⁻³ |

Equivalencias entre unidades de densidad

| g/cm ³ | kg/m ³ | lb/pulg ³ | lb/pie ³ | lb/yd ³ | lb/galón U.S. | ton (2 000 lb) | ton (2 240 lb) | ton (métrica) |
|-------------------|-------------------|----------------------|---------------------|--------------------|------------------|---------------------------|---------------------------|----------------|
| | | | | | | yd ³ | yd ³ | m ³ |
| 1 | 1 000 | 0.01613 | 62.43 | 1 686 | 8.345 | 0.8428 | 0.7525 | 1.0000 |
| 0.001 | 1 | 0.00001613 | 0.06243 | 1.686 | 0.008345 | 0.8428 × 10 ⁻³ | 0.7525 × 10 ⁻³ | 0.001 |
| 27.68 | 27 680 | 1 | 1 728 | 46.656 | 231 | 23.33 | 20.81 | 27.68 |
| 0.01602 | 16.02 | 0.0005787 | 1 | 27 | 0.1337 | 0.01350 | 0.012054 | 0.01602 |
| 0.005933 | 5.9327 | 0.0002143 | 0,01704 | 1 | 0.001951 | 0.0005 | 0.0004464 | 0.005933 |
| 0.1198 | 119.8 | 0.004329 | 7.481 | 202.0 | 1 | 0.1010 | 0.09017 | 0.1198 |
| 1.187 | 1 187 | 0.04287 | 74.07 | 2 000 | 9.902 | 1 | 0.8929 | 1.187 |
| 1.329 | 1 329 | 0.0101 | 82.96 | 2 240 | 11.09 | 1.12 | 1 | 1.329 |

Equivalencias entre unidades de masa

| kg | Granos | Onzas | | Libras | | Toneladas | | | Gramos |
|----------|------------|---------------|----------|---------------|----------|-----------|----------|----------|-----------|
| | | Troy y apoth. | Avoir | Troy y apoth. | Avoir | Cortas | Largas | Métricas | |
| 1 | 15 432 | 32.15 | 35.27 | 2.6792 | 2.205 | 0.001102 | 0.009842 | 0.001 | 1 000.0 |
| 0.0,6180 | 1 | 0.002083 | 0.002286 | 0.000174 | 0.000129 | 0.001143 | 0.006375 | 0.006480 | 0.06480 |
| 0.03110 | 480 | 1 | 1.09714 | 0.05333 | 0.06857 | 0.03429 | 0.03061 | 0.03110 | 31.1 |
| 0.02835 | 437.5 | 0.9115 | 1 | 0.07595 | 0.0625 | 0.03125 | 0.02790 | 0.02835 | 28.35 |
| 0.3732 | 5 760 | 12 | 13.17 | 1 | 0.8229 | 0.04114 | 0.03673 | 0.03732 | 373.2 |
| 0.4536 | 7 000 | 14.58 | 16 | 1.215 | 1 | 0.0005 | 0.004164 | 0.004536 | 453.59 |
| 907.2 | 140. | 29.167 | 32 000 | 2 431 | 2 000 | 1 | 0.8929 | 0.9072 | 907.184 |
| 0.016 | 15 680 000 | 32 667 | 35 840 | 2 722 | 2 240 | 1.12 | 1 | 1.016 | 1 016 047 |
| 1 000 | 15 432 356 | 32 151 | 35 274 | 2 679 | 2 205 | 1.102 | 0.9842 | 1 | 1 000 000 |
| 0.001 | 15.432 | 0.03215 | 0.03527 | 0.00268 | 0.00220 | 0.001102 | 0.00984 | 0.001 | 1 |

Equivalencias entre pesos o masas por unidad de longitud

Para alambres, tuberías, raffles, etc.

| g/cm | kg/km | kg/m | granos/pulg | lb/pie | lb/yd | lb/milla |
|-----------|----------|------------|-------------|------------|------------|----------|
| 1 | 100 | 0.1 | 39.1983 | 0.067197 | 0.201591 | 354.80 |
| 0.01 | 1 | 0.001 | 0.391983 | 0.00067197 | 0.00201591 | 3.54800 |
| 10 | 1 000 | 1 | 391.983 | 0.67197 | 2.01591 | 3 548.00 |
| 0.025511 | 2.5511 | 0.0025511 | 1 | 0.00171429 | 0.00514286 | 9.0514 |
| 14.8816 | 1 488.16 | 1.48815 | 583.333 | 1 | 3 | 5 280 |
| 4.96054 | 496.054 | 0.49605 | 194.344 | 0.33333 | 1 | 1 760 |
| 0.0028185 | 0.28185 | 0.00028185 | 0.11048 | 0.00018939 | 0.00056818 | 1 |

Equivalencias entre unidades de velocidad

| cm/seg | m/seg | m/min | km/h | Pies/seg | Pies/min | Millas/h | Nudos (millas marinas) |
|--------|----------|--------|---------|----------|----------|----------|------------------------|
| 1 | 0.01 | 0.6 | 0.036 | 0.03281 | 1.9685 | 0.02237 | 0.01943 |
| 100 | 1 | 60 | 3.6 | 3.281 | 196.85 | 2.237 | 1.943 |
| 1.667 | 0.01667 | 1 | 0.06 | 0.0547 | 3.281 | 0.03728 | 0.03238 |
| 27.78 | 0.2778 | 16.67 | 1 | 0.9113 | 54.68 | 0.6214 | 0.53960 |
| 30.48 | 0.3048 | 18.29 | 1.097 | 1 | 60 | 0.6818 | 0.59209 |
| 0.5080 | 0.005080 | 0.3048 | 0.01829 | 0.01667 | 1 | 0.01136 | 0.00987 |
| 44.70 | 0.4470 | 26.82 | 1.609 | 1.467 | 88 | 1 | 0.86839 |
| 51.48 | 0.5148 | 30.887 | 1.8532 | 1.6889 | 101.337 | 1.15155 | |

Equivalencias entre unidades de presión

| kgabars segadi- as/cm ² | kg/cm ² | lb/pulg ² | ton cor- tas/pies ² | atm | Columnas de mer- curio a 0°C | | Columnas de agua a 15°C | | | lb/pie ² | kg/m ³ | mm de mercurio |
|------------------------------------------|--------------------|----------------------|-----------------------------------|----------|---------------------------------|---------|----------------------------|--------|---------|---------------------|-------------------|-------------------|
| | | | | | m | pulg | m | pulg | pies | | | |
| | 1.0197 | 14.50 | 1.044 | 0.9869 | 0.7500 | 29.53 | 10.21 | 401.8 | 33.48 | 2 088.55 | 10 197 | 750.062 |
| 1807 | 0.06895 | 0.07031 | 1 | 0.9678 | 0.7355 | 28.96 | 10.01 | 394.95 | 32.84 | 2 048.16 | 10 000 | 735.559 |
| 0.9765 | 0.9765 | 13.89 | 1 | 0.96804 | 0.07171 | 2.016 | 0.7037 | 27.70 | 2.309 | 144 | 703.1 | 51.7147 |
| 0.1133 | 1.0332 | 14.696 | 1.058 | 0.9450 | 0.7182 | 28.28 | 9.773 | 384.8 | 32.06 | 2 000 | 9 765 | 718.26 |
| 0.333 | 1.3596 | 19.34 | 1.392 | 1 | 0.76 | 29.92 | 10.14 | 407.14 | 33.93 | 2 116.2 | 10 333 | 760 |
| 0.3386 | 0.03453 | 0.4912 | 0.03536 | 0.0342 | 0.02540 | 1 | 0.3456 | 13.61 | 1.134 | 70.7266 | 345.3 | 25.400 |
| 0.09789 | 0.09991 | 1.421 | 0.1023 | 0.0967 | 0.07349 | 2.893 | 1 | 39.37 | 3.281 | 204.633 | 999.1 | 73.4898 |
| 0.002489 | 0.002518 | 0.0361 | 0.002599 | 0.002456 | 0.001867 | 0.07349 | 0.02540 | 1 | 0.08333 | 5.19768 | 25.38 | 1.867 |
| 0.2986 | 0.03045 | 0.4332 | 0.03119 | 0.02947 | 0.0224 | 0.9819 | 0.3048 | 21 | 1 | 62.3722 | 304.5 | 22.3997 |

1 g/cm² = 980.655 dinas/cm² = 0.45362 poundal/pulg².

1 dina/cm² = 0.001019716 g/cm² = 0.00046042 poundal/pulg².

1 poundal/pulg² = 2.14797 dinas/cm² = 2.18536 g/cm² = 0.011081 lb-pulg².

Equivalencia entre unidades de calor, energía o trabajo

| Joules = 10 ⁷ ergs | kg-m | lb-pie | kw-h | C.V.-h | atm-litros | kcal | Btu | cal |
|-------------------------------|--------------------------|-------------------------|----------|-----------|------------|----------|----------|---------|
| 1 | 0.10197 | 0.7376 | 0.0,2773 | 0.0,3725 | 0.009869 | 0.0,2190 | 0.0,9478 | 0.2390 |
| 9,80665 | 1 | 7.233 | 0.0,2724 | 0.0,3653 | 0.09678 | 0.002344 | 0.009396 | 2.3438 |
| 1.356 | 0.1383 | 1 | 0.0,3766 | 0.0,50505 | 0.01333 | 0.0,324 | 0.001285 | 0.3241 |
| 3.6 × 10 ⁸ | 3.671 × 10 ³ | 2.655 × 10 ⁸ | 1 | 1.341 | 35 534.3 | 860.57 | 3 412.76 | 860 565 |
| 2.6845 × 10 ⁸ | 2.7375 × 10 ³ | 1.98 × 10 ⁸ | 0.7455 | 1 | 26 494 | 641.62 | 2 545 | 641 615 |
| 101.33 | 10.333 | 74.73 | 0.0,2815 | 0.0,3774 | 1 | 0.02422 | 0.09604 | 24.218 |
| 4 184 | 426.7 | 3 086 | 0.001162 | 0.001538 | 41.29 | 1 | 3.9657 | 1 000 |
| 1 055 | 107.58 | 778.16 | 0.0,2910 | 0.0,3930 | 10.41 | 0.252 | 1 | 252 |
| 4.184 | 0.4267 | 3.086 | 0.0,1162 | 0.0,1538 | 0.04129 | 0.001 | 0.00397 | 1 |

1 therm = 100 000 Btu

La caloría termoquímica se define como 4.1840 joules absolutos

Equivalencia entre unidades de potencia

| C.V. (550 lb-pie standard/seg) | C.V. métricas | kw (1 000 joules seg) | kgm/seg | lb-pie/seg | kcal/seg | Btu/seg | cal/seg |
|--------------------------------|---------------|-----------------------------|---------|------------|----------|----------|---------|
| 1 | 1.0138 | 0.7457 | 76.04 | 550 | 0.1782 | 0.7068 | 178.23 |
| 0.9863 | 1 | 0.7355 | 75 | 542.5 | 0.1758 | 0.6971 | 175.79 |
| 1.341 | 1.3596 | 1 | 101.97 | 737.56 | 0.2390 | 0.9478 | 239.01 |
| 0.00135 | 0.01311 | 0.009807 | 1 | 7.233 | 0.00234 | 0.009295 | 2.3438 |
| 0.001818 | 0.001843 | 0.001356 | 0.1381 | 1 | 0.000324 | 0.001285 | 0.3240 |
| 5.611 | 5.689 | 4.1840 | 426.7 | 3 086 | 1 | 3.966 | 1 000 |
| 1.415 | 1.434 | 1.055 | 107.58 | 778.16 | 0.2522 | 1 | 252.16 |
| 0.005611 | 0.005689 | 0.004184 | 0.4267 | 3.086 | 0.001 | 0.00397 | 1 |

1 boiler h. p. = 33 475 Btu/h; 1 ton refrigeración = 200 Btu/min.

* Datos de LEWIS V. JUDSON y CARL S. CRAGOE, National Bureau of Standards. Con autorización.

Equivalencias entre unidades de flujo de calor *

| cal/seg-cm ² | cal/h-cm ² | Btu/h-pie ² | Btu/día-pie ² | watts/cm ² |
|-------------------------|-----------------------|------------------------|--------------------------|-----------------------|
| 1 | 3 600 | 13 263 | 318 322 | 4.183 |
| 0.0002778 | 1 | 3.684 | 88.42 | 0.001162 |
| 0.0000754 | 0.2714 | 1 | 24 | 0.0003154 |
| 0.00000314 | 0.01131 | 0.04167 | 1 | 0.00001114 |
| 0.2390 | 860.6 | 3 171 | 76.094 | 1 |

Equivalencias entre unidades de conductividad térmica *

| cal seg-cm ² -°C/cm | watts internacionales cm ² -°C/cm | cal h-cm ² -°C/cm | Btu h-pie ² -°F/pulg | Btu día-pie ² -°F/pulg |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|
| 1 | 4.1833 | 3 600 | 2 901.0 | 69 624 |
| 0.2390 | 1 | 860.6 | 693.5 | 16 643 |
| 0.000278 | 0.001162 | 1 | 0.8058 | 19.34 |
| 0.0003447 | 0.001441 | 1.241 | 1 | 24.0 |
| 0.0000144 | 0.000601 | 0.05171 | 0.04167 | 1 |

Equivalencias entre unidades angulares.

| Círculo | Grados sexagesimales | Grados centesimales | Minutos | Segundos | Radianes |
|------------------------|----------------------|---------------------|----------|-----------|-------------|
| 1 | 360 | 400 | 21 600 | 1 296 000 | 6.283185 |
| 0.00278 | 1 | 1.11111 | 60 | 3 600 | 0.017453 |
| 0.0025 | 0.9000 | 1 | 54 | 3 240 | 0.015708 |
| 0.0000463 | 0.01667 | 0.01852 | 1 | 60 | 0.0002909 |
| 7.7 × 10 ⁻⁷ | 0.00025 | 0.00031 | 0.01667 | 1 | 0.000048481 |
| 0.159155 | 57.2958 | 63.662 | 3 437.75 | 206 265 | 1 |

* Datos de LEWIS V. JUDSON y CARL S. CRAGOE, National Bureau of Standards. Con autorización.

Valores de la constante universal de los gases :

| | |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0.082057 | $\frac{\text{atm l}}{\widetilde{g}^{\circ}\text{K}}$ |
| 62.363 | $\frac{\text{mm Hg l}}{\widetilde{g}^{\circ}\text{K}}$ |
| 0.084781 | $\frac{(\overrightarrow{\text{Kg/cm}^2}) \text{ m}^3}{\widetilde{\text{Kg}}^{\circ}\text{K}}$ |
| 0.082057 | $\frac{\text{atm m}^3}{\widetilde{\text{Kg}}^{\circ}\text{K}}$ |
| 10.7306 | $\frac{(\overrightarrow{\text{lb/in}^2}) \text{ ft}^3}{\overline{\text{lb}}^{\circ}\text{R}}$ |
| 8.3148 | $\frac{\text{Joules}}{\widetilde{g}^{\circ}\text{K}}$ |
| 1.9873 | $\frac{\text{Calorias}}{\widetilde{g}^{\circ}\text{K}}$ |
| 847.897 | $\frac{\overrightarrow{\text{Kg}} \text{ m}}{\widetilde{\text{Kg}}^{\circ}\text{K}}$ |
| 1545.18 | $\frac{\overline{\text{lb}} \text{ ft}}{\overline{\text{lb}}^{\circ}\text{R}}$ |

Propiedades del agua líquida :

| Temperatura (°C) | Viscosidad (cn) | Densidad (Kg/m ³) |
|------------------|-----------------|-------------------------------|
| 0 | 1.794 | 999.87 |
| 5 | 1.519 | 999.99 |
| 10 | 1.310 | 999.73 |
| 15 | 1.140 | 999.13 |
| 20 | 1.005 | 998.23 |
| 25 | 0.894 | 997.07 |
| 30 | 0.801 | 995.67 |
| 35 | 0.723 | 994.06 |
| 40 | 0.656 | 992.24 |
| 45 | 0.599 | 990.25 |
| 50 | 0.549 | 988.07 |
| 55 | 0.506 | 986.00 |
| 60 | 0.470 | 983.24 |
| 65 | 0.438 | 980.06 |
| 70 | 0.406 | 977.81 |
| 75 | 0.393 | 974.11 |
| 80 | 0.357 | 971.83 |
| 85 | 0.337 | 968.17 |
| 90 | 0.317 | 965.34 |
| 95 | 0.299 | 962.22 |
| 100 | 0.284 | 958.38 |

DIMENSIONES Y PESOS DE LAS TUBERÍAS SOLDADAS Y SIN COSTURA
(A.S.A. B36,10, 1939)

| Tamaño nominal de la tubería en pulgadas | Diámetro exterior, mm | Espesor nominal de la pared y peso para los números de catálogo | | | | | |
|------------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------------------|--------------|------------------------|--------------|-------------------------|--------------|
| | | Número de catálogo, 40 | | Número de catálogo, 80 | | Número de catálogo, 120 | |
| | | Pared, mm | Peso, * kg/m | Pared, mm | Peso, * kg/m | Pared, mm | Peso, * kg/m |
| 1/4 | 10,3 | 1,72 | 0,375 | 2,41 | 0,475 | | |
| | 13,7 | 2,24 | 0,640 | 3,00 | 0,806 | | |
| 3/8 | 17,2 | 2,30 | 0,850 | 3,20 | 1,100 | | |
| | 21,3 | 2,77 | 1,280 | 3,73 | 1,625 | | |
| 1/2 | 26,7 | 2,87 | 1,700 | 3,01 | 2,205 | | |
| | 33,4 | 3,38 | 2,600 | 4,55 | 3,250 | | |
| 3/4 | 42,2 | 3,50 | 3,400 | 4,85 | 4,470 | | |
| | 48,3 | 3,68 | 4,060 | 5,08 | 5,425 | | |
| 2 | 60,3 | 3,00 | 6,450 | 5,54 | 7,500 | | |
| | 73,0 | 6,16 | 8,050 | 7,00 | 11,460 | | |
| 3 | 88,0 | 6,50 | 11,300 | 7,62 | 16,350 | | |
| | 101,0 | 6,74 | 13,575 | 8,08 | 18,625 | | |
| 4 | 114,3 | 0,02 | 16,100 | 8,56 | 22,360 | 11,10 | 28,310 |
| | 141,3 | 6,55 | 21,000 | 9,53 | 31,000 | 12,70 | 40,375 |
| 6 | 168,3 | 7,10 | 28,310 | 10,97 | 42,615 | 14,27 | 54,250 |
| | 219,1 | 8,18 | 42,615 | 12,70 | 64,670 | 18,24 | 90,450 |
| 10 | 273,05 | 9,27 | 60,350 | 15,06 | 95,950 | 21,40 | 132,000 |
| | 325,0 | 10,30 | 70,815 | 17,45 | 132,000 | 26,40 | 187,750 |
| 14 D.E. | 355,8 | 11,10 | 84,315 | 19,05 | 150,430 | 26,67 | 210,000 |
| 16 D.E. | 406,4 | 12,70 | 123,375 | 21,40 | 204,130 | 30,94 | 287,670 |
| 18 D.E. | 467,2 | 14,27 | 156,450 | 23,80 | 254,800 | 34,10 | 366,110 |
| 20 D.E. | 508,0 | 15,06 | 183,275 | 26,20 | 311,410 | 38,10 | 442,630 |
| 24 D.E. | 600,6 | 17,45 | 254,800 | 30,04 | 442,630 | 44,45 | 610,850 |
| 30 D.E. | 762,0 | | | | | | |

* Los pesos se expresan en kg/m de longitud de la tubería.

DIMENSIONES DE LAS TUBERÍAS DE ACERO, CAPACIDADES Y PESOS
(A. S. A. Standards B36,10, 1939)

| Tamaño nominal de la tubería en pulg. | Número de catálogo | Diámetro interior, mm | Área de la sección transversal del metal, cm ² | Área de la sección transversal interior, m ² | Circunferencia, m o superficie en m ² /m de longitud | | Capacidad a la velocidad de 1m/seg. | |
|---------------------------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|----------|-------------------------------------|-------------|
| | | | | | Exterior | Interior | Litros/min | Kg/hr. agua |
| | | | | | | | | |
| 1/4 | 40 | 6,81 | 0,46 | 0,000037 | 0,0323 | 0,0215 | 2,22 | 134,0 |
| | 80 | 5,46 | 0,60 | 0,000023 | 0,0323 | 0,0172 | 1,39 | 83,5 |
| 3/8 | 40 | 9,25 | 0,81 | 0,000057 | 0,0430 | 0,0291 | 4,01 | 240,0 |
| | 80 | 7,67 | 1,01 | 0,000046 | 0,0430 | 0,0241 | 2,78 | 167,0 |
| 1/2 | 40 | 12,52 | 1,08 | 0,000124 | 0,0539 | 0,0394 | 7,40 | 440,0 |
| | 80 | 10,74 | 1,40 | 0,000091 | 0,0539 | 0,0338 | 5,46 | 327,3 |
| 3/4 | 40 | 15,80 | 1,61 | 0,000196 | 0,0671 | 0,0497 | 11,74 | 684,4 |
| | 80 | 13,87 | 2,06 | 0,000151 | 0,0671 | 0,0436 | 9,07 | 544,2 |
| | 160 | 11,84 | 2,48 | 0,000110 | 0,0671 | 0,0372 | 6,57 | 394,2 |
| 1 | 40 | 20,93 | 2,15 | 0,000345 | 0,0838 | 0,0658 | 20,68 | 1,229 |
| | 80 | 18,85 | 2,79 | 0,000279 | 0,0838 | 0,0592 | 16,70 | 882 |
| | 160 | 15,60 | 3,68 | 0,000191 | 0,0838 | 0,0491 | 11,46 | 688,8 |
| 1 1/4 | 40 | 26,65 | 3,19 | 0,000557 | 0,1049 | 0,0837 | 33,41 | 2,005 |
| | 80 | 24,31 | 4,12 | 0,000461 | 0,1049 | 0,0764 | 27,82 | 1,670 |
| | 160 | 20,70 | 5,40 | 0,000336 | 0,1049 | 0,0651 | 20,18 | 1,210 |
| 1 1/2 | 40 | 35,05 | 4,32 | 0,000966 | 0,1326 | 0,1103 | 56,76 | 3,405 |
| | 80 | 32,46 | 5,68 | 0,000828 | 0,1326 | 0,1021 | 49,56 | 2,975 |
| | 160 | 29,46 | 7,14 | 0,000682 | 0,1326 | 0,0927 | 40,86 | 2,450 |
| 2 | 40 | 40,89 | 5,16 | 0,001314 | 0,1518 | 0,1286 | 78,74 | 4,725 |
| | 80 | 38,10 | 6,89 | 0,001138 | 0,1518 | 0,1198 | 68,19 | 4,090 |
| | 160 | 33,99 | 9,22 | 0,000907 | 0,1518 | 0,1067 | 54,40 | 3,665 |
| 2 1/2 | 40 | 52,50 | 6,94 | 0,002165 | 0,1896 | 0,1652 | 129,8 | 7,780 |
| | 80 | 49,25 | 9,53 | 0,001905 | 0,1896 | 0,1518 | 114,3 | 6,860 |
| | 160 | 42,90 | 14,13 | 0,001416 | 0,1896 | 0,1317 | 86,57 | 5,195 |
| 3 | 40 | 62,71 | 10,99 | 0,003090 | 0,2295 | 0,1972 | 185,1 | 11,120 |
| | 80 | 59,00 | 14,54 | 0,002733 | 0,2295 | 0,1856 | 163,9 | 9,835 |
| | 160 | 53,98 | 19,00 | 0,002288 | 0,2295 | 0,1698 | 137,5 | 8,250 |
| 4 | 40 | 77,93 | 14,38 | 0,004766 | 0,2795 | 0,2451 | 285,7 | 17,140 |
| | 80 | 73,66 | 19,46 | 0,004261 | 0,2795 | 0,2316 | 256,2 | 15,370 |
| | 160 | 66,70 | 27,13 | 0,003491 | 0,2795 | 0,2097 | 209,9 | 12,600 |
| 5 | 40 | 90,12 | 17,29 | 0,006382 | 0,3191 | 0,2835 | 383,5 | 22,950 |
| | 80 | 85,45 | 23,71 | 0,005732 | 0,3191 | 0,2688 | 341,0 | 20,640 |
| 6 | 40 | 102,3 | 20,47 | 0,008212 | 0,3591 | 0,3216 | 491,8 | 29,510 |
| | 80 | 97,18 | 28,43 | 0,007419 | 0,3591 | 0,3058 | 444,6 | 26,680 |
| | 160 | 87,33 | 42,72 | 0,005990 | 0,3591 | 0,2746 | 358,9 | 21,335 |
| 8 | 40 | 128,19 | 27,67 | 0,01291 | 0,4438 | 0,4029 | 773,8 | 46,480 |
| | 80 | 122,23 | 39,43 | 0,01173 | 0,4438 | 0,3850 | 716,6 | 41,000 |
| | 160 | 109,55 | 62,56 | 0,009429 | 0,4438 | 0,3450 | 563,1 | 33,910 |

(Conclusión)

| Vapor saturado temperatura | | | | | | |
|----------------------------|----------|----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------|----------------------|--|
| Temperatura | | Presión absoluta Kg/cm ² | Volumen específico, m ³ /Kg | | | |
| °C. | °F. | | Líquido saturado | Evap. | vapor saturado | |
| <i>t</i> | <i>t</i> | <i>P</i> | <i>v_l</i> | <i>v_g</i> | <i>v_o</i> | |
| 1 | 32 | 0.001223 | 0.001070 | 206.4 | 206.4 | |
| 1.67 | 33 | 0.001227 | 0.001070 | 191. | 191.0 | |
| 4.44 | 40 | 0.001571 | 0.001070 | 152.6 | 152.6 | |
| 7.22 | 45 | 0.001872 | 0.001070 | 127.1 | 127.1 | |
| 10.0 | 50 | 0.002273 | 0.001070 | 106.3 | 106.3 | |
| 15.6 | 60 | 0.003070 | 0.001070 | 75.13 | 75.13 | |
| 21.1 | 70 | 0.004126 | 0.001070 | 54.10 | 54.10 | |
| 26.7 | 80 | 0.005440 | 0.001070 | 39.32 | 39.32 | |
| 32.2 | 90 | 0.007099 | 0.001070 | 29.21 | 29.21 | |
| 37.8 | 100 | 0.009107 | 0.001070 | 21.87 | 21.87 | |
| 43 | 110 | 0.011631 | 0.001070 | 16.57 | 16.57 | |
| 49 | 120 | 0.014899 | 0.001070 | 12.69 | 12.69 | |
| 54 | 130 | 0.018846 | 0.001070 | 9.821 | 9.822 | |
| 60 | 140 | 0.023512 | 0.001070 | 7.678 | 7.679 | |
| 66 | 150 | 0.26111 | 0.001070 | 6.059 | 6.060 | |
| 71 | 160 | 0.31333 | 0.001070 | 4.824 | 4.825 | |
| 77 | 170 | 0.37170 | 0.001070 | 3.873 | 3.874 | |
| 82 | 180 | 0.43693 | 0.001070 | 3.135 | 3.136 | |
| 88 | 190 | 0.50863 | 0.001070 | 2.556 | 2.557 | |
| 93 | 200 | 0.58699 | 0.001070 | 2.099 | 2.100 | |
| 99 | 210 | 0.67299 | 0.001070 | 1.756 | 1.756 | |
| 105 | 220 | 1.7631 | 0.001070 | 1.432 | 1.432 | |
| 109 | 230 | 1.2483 | 0.001070 | 1.144 | 1.144 | |
| 110 | 230 | 1.4610 | 0.001070 | 1.209 | 0.7343 | |
| 116 | 240 | 1.7576 | 0.001070 | 1.018 | 1.737 | |
| 121 | 250 | 2.0960 | 0.001070 | 0.861 | 1.673 | |
| 127 | 260 | 2.4910 | 0.001070 | 0.7317 | 1.445 | |
| 132 | 270 | 2.9448 | 0.001070 | 0.6270 | 1.210 | |
| 138 | 280 | 3.4595 | 0.001070 | 0.5386 | 1.019 | |
| 143 | 290 | 4.0468 | 0.001070 | 0.4647 | 0.8738 | |
| 149 | 300 | 4.7117 | 0.001070 | 0.4025 | 0.7612 | |
| 154 | 310 | 5.4617 | 0.001070 | 0.3501 | 0.6712 | |
| 160 | 320 | 6.2940 | 0.001070 | 0.3057 | 0.6008 | |
| 166 | 330 | 7.2161 | 0.001070 | 0.2678 | 0.5449 | |
| 171 | 340 | 8.2393 | 0.001116 | 0.2354 | 0.5005 | |
| 177 | 350 | 9.4678 | 0.001123 | 0.2075 | 0.4666 | |
| 182 | 360 | 10.9041 | 0.001171 | 0.1815 | 0.4386 | |
| 188 | 370 | 12.599 | 0.001178 | 0.1576 | 0.4149 | |
| 193 | 380 | 13.765 | 0.001145 | 0.1413 | 0.3948 | |
| 199 | 390 | 15.494 | 0.001155 | 0.1269 | 0.3781 | |
| 204 | 400 | 17.708 | 0.001167 | 0.1152 | 0.3637 | |
| 210 | 410 | 19.458 | 0.001172 | 0.1071 | 0.3513 | |
| 216 | 420 | 21.714 | 0.001182 | 0.09946 | 0.3404 | |
| 221 | 430 | 24.367 | 0.001192 | 0.09308 | 0.3317 | |
| 227 | 440 | 26.500 | 0.001202 | 0.08748 | 0.3250 | |
| 232 | 450 | 29.213 | 0.001211 | 0.08243 | 0.3198 | |
| 238 | 460 | 32.828 | 0.001224 | 0.07785 | 0.3158 | |
| 243 | 470 | 36.189 | 0.001236 | 0.07374 | 0.3121 | |
| 249 | 480 | 39.802 | 0.001249 | 0.06997 | 0.3087 | |
| 254 | 490 | 43.691 | 0.001261 | 0.06654 | 0.3054 | |
| 260 | 500 | 47.87 | 0.001274 | 0.06346 | 0.3021 | |
| 266 | 600 | 106.48 | 0.001423 | 0.05158 | 0.30166 | |
| 271 | 700 | 217.52 | 0.001594 | 0.002446 | 0.004511 | |
| 274.1 | 705.4 | 225.43 | 0.001640 | 0 | 0.001140 | |

| Entalpia, Kcal/Kg | | | | | |
|----------------------|----------------------|--------|----------------------|----------------------|----------------|
| Líquido saturado | | Evap. | Vapor saturado | | Vapor saturado |
| <i>h_l</i> | <i>h_o</i> | | <i>h_l</i> | <i>h_g</i> | |
| 0.00 | 597.66 | 0.0000 | 0.0000 | 2.1677 | 2.1677 |
| 1.68 | 298.30 | 0.0061 | 0.0061 | 2.1709 | 2.1770 |
| 4.43 | 595.44 | 0.0162 | 0.0162 | 2.1735 | 2.1797 |
| 10.04 | 592.01 | 0.0262 | 0.0262 | 2.1767 | 2.1829 |
| 15.59 | 588.85 | 0.0361 | 0.0361 | 2.1791 | 2.1861 |
| 21.13 | 585.70 | 0.0458 | 0.0458 | 2.1817 | 2.1894 |
| 26.68 | 582.54 | 0.0552 | 0.0552 | 2.1843 | 2.1927 |
| 32.21 | 579.39 | 0.0644 | 0.0644 | 2.1871 | 2.1961 |
| 37.76 | 576.23 | 0.0735 | 0.0735 | 2.1899 | 2.1996 |
| 43.30 | 573.08 | 0.0824 | 0.0824 | 2.1931 | 2.2031 |
| 48.84 | 569.88 | 0.0912 | 0.0912 | 2.1964 | 2.2067 |
| 54.38 | 566.67 | 0.1000 | 0.1000 | 2.1998 | 2.2103 |
| 59.93 | 563.40 | 0.1088 | 0.1088 | 2.2033 | 2.2140 |
| 65.49 | 560.11 | 0.1176 | 0.1176 | 2.2069 | 2.2178 |
| 71.04 | 556.81 | 0.1264 | 0.1264 | 2.2104 | 2.2216 |
| 76.60 | 553.50 | 0.1352 | 0.1352 | 2.2140 | 2.2255 |
| 82.17 | 550.10 | 0.1440 | 0.1440 | 2.2177 | 2.2295 |
| 87.74 | 546.70 | 0.1528 | 0.1528 | 2.2215 | 2.2336 |
| 93.32 | 543.28 | 0.1616 | 0.1616 | 2.2254 | 2.2378 |
| 98.91 | 539.81 | 0.1704 | 0.1704 | 2.2294 | 2.2421 |
| 104.50 | 536.29 | 0.1792 | 0.1792 | 2.2335 | 2.2465 |
| 110.12 | 532.65 | 0.1880 | 0.1880 | 2.2377 | 2.2510 |
| 115.73 | 528.99 | 0.1968 | 0.1968 | 2.2420 | 2.2556 |
| 121.37 | 525.29 | 0.2056 | 0.2056 | 2.2464 | 2.2603 |
| 127.01 | 521.48 | 0.2144 | 0.2144 | 2.2509 | 2.2651 |
| 132.68 | 517.61 | 0.2232 | 0.2232 | 2.2554 | 2.2700 |
| 138.35 | 513.70 | 0.2320 | 0.2320 | 2.2600 | 2.2750 |
| 144.03 | 509.72 | 0.2408 | 0.2408 | 2.2647 | 2.2801 |
| 149.76 | 505.62 | 0.2496 | 0.2496 | 2.2694 | 2.2853 |
| 155.50 | 501.41 | 0.2584 | 0.2584 | 2.2742 | 2.2906 |
| 161.25 | 497.19 | 0.2672 | 0.2672 | 2.2791 | 2.2960 |
| 167.03 | 492.80 | 0.2760 | 0.2760 | 2.2840 | 2.3015 |
| 172.83 | 488.33 | 0.2848 | 0.2848 | 2.2890 | 2.3071 |
| 178.67 | 483.71 | 0.2936 | 0.2936 | 2.2940 | 2.3128 |
| 184.53 | 479.02 | 0.3024 | 0.3024 | 2.2991 | 2.3187 |
| 190.42 | 474.28 | 0.3112 | 0.3112 | 2.3042 | 2.3247 |
| 196.34 | 469.46 | 0.3200 | 0.3200 | 2.3094 | 2.3308 |
| 202.30 | 464.58 | 0.3288 | 0.3288 | 2.3146 | 2.3370 |
| 208.26 | 459.62 | 0.3376 | 0.3376 | 2.3199 | 2.3433 |
| 214.23 | 454.58 | 0.3464 | 0.3464 | 2.3252 | 2.3497 |
| 220.20 | 449.46 | 0.3552 | 0.3552 | 2.3306 | 2.3562 |
| 226.16 | 444.28 | 0.3640 | 0.3640 | 2.3361 | 2.3628 |
| 232.12 | 439.02 | 0.3728 | 0.3728 | 2.3416 | 2.3695 |
| 238.09 | 433.70 | 0.3816 | 0.3816 | 2.3472 | 2.3763 |
| 244.06 | 428.33 | 0.3904 | 0.3904 | 2.3529 | 2.3832 |
| 250.02 | 422.90 | 0.3992 | 0.3992 | 2.3586 | 2.3902 |
| 256.00 | 417.42 | 0.4080 | 0.4080 | 2.3644 | 2.3973 |
| 262.00 | 411.88 | 0.4168 | 0.4168 | 2.3702 | 2.4045 |
| 268.00 | 406.29 | 0.4256 | 0.4256 | 2.3761 | 2.4118 |
| 274.00 | 400.65 | 0.4344 | 0.4344 | 2.3820 | 2.4192 |
| 280.00 | 394.96 | 0.4432 | 0.4432 | 2.3880 | 2.4267 |
| 286.00 | 389.22 | 0.4520 | 0.4520 | 2.3940 | 2.4343 |
| 292.00 | 383.43 | 0.4608 | 0.4608 | 2.4000 | 2.4420 |
| 298.00 | 377.59 | 0.4696 | 0.4696 | 2.4060 | 2.4498 |
| 304.00 | 371.70 | 0.4784 | 0.4784 | 2.4120 | 2.4577 |
| 310.00 | 365.76 | 0.4872 | 0.4872 | 2.4180 | 2.4657 |
| 316.00 | 359.77 | 0.4960 | 0.4960 | 2.4240 | 2.4738 |
| 322.00 | 353.73 | 0.5048 | 0.5048 | 2.4300 | 2.4820 |
| 328.00 | 347.64 | 0.5136 | 0.5136 | 2.4360 | 2.4903 |
| 334.00 | 341.50 | 0.5224 | 0.5224 | 2.4420 | 2.4987 |
| 340.00 | 335.31 | 0.5312 | 0.5312 | 2.4480 | 2.5072 |
| 346.00 | 329.08 | 0.5400 | 0.5400 | 2.4540 | 2.5158 |
| 352.00 | 322.80 | 0.5488 | 0.5488 | 2.4600 | 2.5245 |
| 358.00 | 316.48 | 0.5576 | 0.5576 | 2.4660 | 2.5333 |
| 364.00 | 310.11 | 0.5664 | 0.5664 | 2.4720 | 2.5422 |
| 370.00 | 303.70 | 0.5752 | 0.5752 | 2.4780 | 2.5512 |
| 376.00 | 297.24 | 0.5840 | 0.5840 | 2.4840 | 2.5603 |
| 382.00 | 290.74 | 0.5928 | 0.5928 | 2.4900 | 2.5695 |
| 388.00 | 284.19 | 0.6016 | 0.6016 | 2.4960 | 2.5788 |
| 394.00 | 277.60 | 0.6104 | 0.6104 | 2.5020 | 2.5882 |
| 400.00 | 270.97 | 0.6192 | 0.6192 | 2.5080 | 2.5977 |
| 406.00 | 264.30 | 0.6280 | 0.6280 | 2.5140 | 2.6073 |
| 412.00 | 257.58 | 0.6368 | 0.6368 | 2.5200 | 2.6170 |
| 418.00 | 250.82 | 0.6456 | 0.6456 | 2.5260 | 2.6268 |
| 424.00 | 244.02 | 0.6544 | 0.6544 | 2.5320 | 2.6367 |
| 430.00 | 237.18 | 0.6632 | 0.6632 | 2.5380 | 2.6467 |
| 436.00 | 230.30 | 0.6720 | 0.6720 | 2.5440 | 2.6568 |
| 442.00 | 223.38 | 0.6808 | 0.6808 | 2.5500 | 2.6670 |
| 448.00 | 216.42 | 0.6896 | 0.6896 | 2.5560 | 2.6773 |
| 454.00 | 209.42 | 0.6984 | 0.6984 | 2.5620 | 2.6877 |
| 460.00 | 202.38 | 0.7072 | 0.7072 | 2.5680 | 2.6982 |
| 466.00 | 195.30 | 0.7160 | 0.7160 | 2.5740 | 2.7088 |
| 472.00 | 188.18 | 0.7248 | 0.7248 | 2.5800 | 2.7195 |
| 478.00 | 181.02 | 0.7336 | 0.7336 | 2.5860 | 2.7303 |
| 484.00 | 173.82 | 0.7424 | 0.7424 | 2.5920 | 2.7412 |
| 490.00 | 166.58 | 0.7512 | 0.7512 | 2.5980 | 2.7522 |
| 496.00 | 159.30 | 0.7600 | 0.7600 | 2.6040 | 2.7633 |
| 502.00 | 151.98 | 0.7688 | 0.7688 | 2.6100 | 2.7745 |
| 508.00 | 144.62 | 0.7776 | 0.7776 | 2.6160 | 2.7858 |
| 514.00 | 137.22 | 0.7864 | 0.7864 | 2.6220 | 2.7972 |
| 520.00 | 129.78 | 0.7952 | 0.7952 | 2.6280 | 2.8087 |
| 526.00 | 122.30 | 0.8040 | 0.8040 | 2.6340 | 2.8203 |
| 532.00 | 114.78 | 0.8128 | 0.8128 | 2.6400 | 2.8320 |
| 538.00 | 107.22 | 0.8216 | 0.8216 | 2.6460 | 2.8438 |
| 544.00 | 99.62 | 0.8304 | 0.8304 | 2.6520 | 2.8557 |
| 550.00 | 91.98 | 0.8392 | 0.8392 | 2.6580 | 2.8677 |
| 556.00 | 84.30 | 0.8480 | 0.8480 | 2.6640 | 2.8798 |
| 562.00 | 76.58 | 0.8568 | 0.8568 | 2.6700 | 2.8920 |
| 568.00 | 68.82 | 0.8656 | 0.8656 | 2.6760 | 2.9043 |
| 574.00 | 61.02 | 0.8744 | 0.8744 | 2.6820 | 2.9167 |
| 580.00 | 53.18 | 0.8832 | 0.8832 | 2.6880 | 2.9292 |
| 586.00 | 45.30 | 0.8920 | 0.8920 | 2.6940 | 2.9418 |
| 592.00 | 37.38 | 0.9008 | 0.9008 | 2.7000 | 2.9545 |
| 598.00 | 29.42 | 0.9096 | 0.9096 | 2.7060 | 2.9673 |
| 604.00 | 21.42 | 0.9184 | 0.9184 | 2.7120 | 2.9802 |
| 610.00 | 13.38 | 0.9272 | 0.9272 | 2.7180 | 2.9932 |
| 616.00 | 5.30 | 0.9360 | 0.9360 | 2.7240 | 3.0063 |
| 622.00 | -2.82 | 0.9448 | 0.9448 | 2.7300 | 3.0195 |
| 628.00 | -10.90 | 0.9536 | 0.9536 | 2.7360 | 3.0328 |
| 634.00 | -18.94 | 0.9624 | 0.9624 | 2.7420 | 3.0462 |
| 640.00 | -26.94 | 0.9712 | 0.9712 | 2.7480 | 3.0597 |
| 646.00 | -34.90 | 0.9800 | 0.9800 | 2.7540 | 3.0733 |
| 652.00 | -42.82 | 0.9888 | 0.9888 | 2.7600 | 3.0870 |
| 658.00 | -50.70 | 0.9976 | 0.9976 | 2.7660 | 3.1008 |
| 664.00 | -58.54 | 1.0064 | 1.0064 | 2.7720 | 3.1147 |
| 670.00 | -66.34 | 1.0152 | 1.0152 | 2.7780 | 3.1287 |
| 676.00 | -74.10 | 1.0240 | 1.0240 | 2.7840 | 3.1428 |
| 682.00 | | | | | |

Vapor saturado: temperatura

| Temp °F | Pres. abs lb/pulg ² | Volumen específico, gal/lb | | | | Entalpia, Btu/lb | | | | Entropia, Btu/lb-F | | | |
|------------|-----------------------------------|----------------------------|--------|----------------|------|------------------|--------|----------------|--------|--------------------|--------|----------------|--|
| | | Líquido saturado | Exp. | Vapor saturado | | Líquido saturado | Exp. | Vapor saturado | | Líquido saturado | Exp. | Vapor saturado | |
| 32 | 0.08551 | 0.01602 | 1395 | 1395 | 0.01 | 1075.8 | 1075.8 | 0.0000 | 2.1874 | 2.1874 | 1.4877 | 580.16 | |
| 35 | 0.09925 | 0.01602 | 1397 | 1397 | 0.01 | 1074.1 | 1074.1 | 0.0000 | 2.179 | 2.179 | 1.4870 | 581.38 | |
| 40 | 0.12110 | 0.01602 | 1415 | 1415 | 0.01 | 1072.3 | 1072.3 | 0.0000 | 2.1411 | 2.1411 | 1.4859 | 583.99 | |
| 45 | 0.14752 | 0.01602 | 1438.4 | 1438.4 | 0.01 | 1070.4 | 1070.4 | 0.0000 | 2.1032 | 2.1032 | 1.4848 | 586.60 | |
| 50 | 0.17811 | 0.01602 | 1463.2 | 1463.2 | 0.01 | 1068.5 | 1068.5 | 0.0000 | 2.0653 | 2.0653 | 1.4837 | 589.21 | |
| 60 | 0.2283 | 0.01602 | 1506.8 | 1506.7 | 0.01 | 1064.6 | 1064.6 | 0.0000 | 2.0074 | 2.0074 | 1.4826 | 594.82 | |
| 65 | 0.2642 | 0.01602 | 1531.1 | 1531.1 | 0.01 | 1062.7 | 1062.7 | 0.0000 | 2.0074 | 2.0074 | 1.4826 | 594.82 | |
| 70 | 0.3012 | 0.01613 | 1550.3 | 1550.3 | 0.01 | 1060.7 | 1060.7 | 0.0000 | 1.9895 | 1.9895 | 1.4826 | 594.82 | |
| 80 | 0.3716 | 0.01617 | 1585.4 | 1585.4 | 0.01 | 1056.8 | 1056.8 | 0.0000 | 1.9316 | 1.9316 | 1.4815 | 600.43 | |
| 90 | 0.4420 | 0.01621 | 1620.5 | 1620.5 | 0.01 | 1052.9 | 1052.9 | 0.0000 | 1.8737 | 1.8737 | 1.4804 | 606.04 | |
| 100 | 0.5124 | 0.01625 | 1655.6 | 1655.6 | 0.01 | 1049.0 | 1049.0 | 0.0000 | 1.8158 | 1.8158 | 1.4793 | 611.65 | |
| 110 | 0.5828 | 0.01629 | 1690.7 | 1690.7 | 0.01 | 1045.1 | 1045.1 | 0.0000 | 1.7579 | 1.7579 | 1.4782 | 617.26 | |
| 120 | 0.6532 | 0.01633 | 1725.8 | 1725.8 | 0.01 | 1041.2 | 1041.2 | 0.0000 | 1.7000 | 1.7000 | 1.4771 | 622.87 | |
| 130 | 0.7236 | 0.01637 | 1760.9 | 1760.9 | 0.01 | 1037.3 | 1037.3 | 0.0000 | 1.6421 | 1.6421 | 1.4760 | 628.48 | |
| 140 | 0.7940 | 0.01641 | 1796.0 | 1796.0 | 0.01 | 1033.4 | 1033.4 | 0.0000 | 1.5842 | 1.5842 | 1.4749 | 634.09 | |
| 150 | 0.8644 | 0.01645 | 1831.1 | 1831.1 | 0.01 | 1029.5 | 1029.5 | 0.0000 | 1.5263 | 1.5263 | 1.4738 | 639.70 | |
| 160 | 0.9348 | 0.01649 | 1866.2 | 1866.2 | 0.01 | 1025.6 | 1025.6 | 0.0000 | 1.4684 | 1.4684 | 1.4727 | 645.31 | |
| 170 | 1.0052 | 0.01653 | 1901.3 | 1901.3 | 0.01 | 1021.7 | 1021.7 | 0.0000 | 1.4105 | 1.4105 | 1.4716 | 650.92 | |
| 180 | 1.0756 | 0.01657 | 1936.4 | 1936.4 | 0.01 | 1017.8 | 1017.8 | 0.0000 | 1.3526 | 1.3526 | 1.4705 | 656.53 | |
| 190 | 1.1460 | 0.01661 | 1971.5 | 1971.5 | 0.01 | 1013.9 | 1013.9 | 0.0000 | 1.2947 | 1.2947 | 1.4694 | 662.14 | |
| 200 | 1.2164 | 0.01665 | 2006.6 | 2006.6 | 0.01 | 1010.0 | 1010.0 | 0.0000 | 1.2368 | 1.2368 | 1.4683 | 667.75 | |
| 210 | 1.2868 | 0.01669 | 2041.7 | 2041.7 | 0.01 | 1006.1 | 1006.1 | 0.0000 | 1.1789 | 1.1789 | 1.4672 | 673.36 | |
| 220 | 1.3572 | 0.01673 | 2076.8 | 2076.8 | 0.01 | 1002.2 | 1002.2 | 0.0000 | 1.1210 | 1.1210 | 1.4661 | 678.97 | |
| 230 | 1.4276 | 0.01677 | 2111.9 | 2111.9 | 0.01 | 998.3 | 998.3 | 0.0000 | 1.0631 | 1.0631 | 1.4650 | 684.58 | |
| 240 | 1.4980 | 0.01681 | 2147.0 | 2147.0 | 0.01 | 994.4 | 994.4 | 0.0000 | 1.0052 | 1.0052 | 1.4639 | 690.19 | |
| 250 | 1.5684 | 0.01685 | 2182.1 | 2182.1 | 0.01 | 990.5 | 990.5 | 0.0000 | 0.9473 | 0.9473 | 1.4628 | 695.80 | |
| 260 | 1.6388 | 0.01689 | 2217.2 | 2217.2 | 0.01 | 986.6 | 986.6 | 0.0000 | 0.8894 | 0.8894 | 1.4617 | 701.41 | |
| 270 | 1.7092 | 0.01693 | 2252.3 | 2252.3 | 0.01 | 982.7 | 982.7 | 0.0000 | 0.8315 | 0.8315 | 1.4606 | 707.02 | |
| 280 | 1.7796 | 0.01697 | 2287.4 | 2287.4 | 0.01 | 978.8 | 978.8 | 0.0000 | 0.7736 | 0.7736 | 1.4595 | 712.63 | |
| 290 | 1.8500 | 0.01701 | 2322.5 | 2322.5 | 0.01 | 974.9 | 974.9 | 0.0000 | 0.7157 | 0.7157 | 1.4584 | 718.24 | |
| 300 | 1.9204 | 0.01705 | 2357.6 | 2357.6 | 0.01 | 971.0 | 971.0 | 0.0000 | 0.6578 | 0.6578 | 1.4573 | 723.85 | |
| 310 | 1.9908 | 0.01709 | 2392.7 | 2392.7 | 0.01 | 967.1 | 967.1 | 0.0000 | 0.6000 | 0.6000 | 1.4562 | 729.46 | |
| 320 | 2.0612 | 0.01713 | 2427.8 | 2427.8 | 0.01 | 963.2 | 963.2 | 0.0000 | 0.5421 | 0.5421 | 1.4551 | 735.07 | |
| 330 | 2.1316 | 0.01717 | 2462.9 | 2462.9 | 0.01 | 959.3 | 959.3 | 0.0000 | 0.4842 | 0.4842 | 1.4540 | 740.68 | |
| 340 | 2.2020 | 0.01721 | 2498.0 | 2498.0 | 0.01 | 955.4 | 955.4 | 0.0000 | 0.4263 | 0.4263 | 1.4529 | 746.29 | |
| 350 | 2.2724 | 0.01725 | 2533.1 | 2533.1 | 0.01 | 951.5 | 951.5 | 0.0000 | 0.3684 | 0.3684 | 1.4518 | 751.90 | |
| 360 | 2.3428 | 0.01729 | 2568.2 | 2568.2 | 0.01 | 947.6 | 947.6 | 0.0000 | 0.3105 | 0.3105 | 1.4507 | 757.51 | |
| 370 | 2.4132 | 0.01733 | 2603.3 | 2603.3 | 0.01 | 943.7 | 943.7 | 0.0000 | 0.2526 | 0.2526 | 1.4496 | 763.12 | |
| 380 | 2.4836 | 0.01737 | 2638.4 | 2638.4 | 0.01 | 939.8 | 939.8 | 0.0000 | 0.1947 | 0.1947 | 1.4485 | 768.73 | |
| 390 | 2.5540 | 0.01741 | 2673.5 | 2673.5 | 0.01 | 935.9 | 935.9 | 0.0000 | 0.1368 | 0.1368 | 1.4474 | 774.34 | |
| 400 | 2.6244 | 0.01745 | 2708.6 | 2708.6 | 0.01 | 932.0 | 932.0 | 0.0000 | 0.0789 | 0.0789 | 1.4463 | 779.95 | |
| 410 | 2.6948 | 0.01749 | 2743.7 | 2743.7 | 0.01 | 928.1 | 928.1 | 0.0000 | 0.0210 | 0.0210 | 1.4452 | 785.56 | |
| 420 | 2.7652 | 0.01753 | 2778.8 | 2778.8 | 0.01 | 924.2 | 924.2 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 1.4441 | 791.17 | |
| 430 | 2.8356 | 0.01757 | 2813.9 | 2813.9 | 0.01 | 920.3 | 920.3 | 0.0000 | | | 1.4430 | 796.78 | |
| 440 | 2.9060 | 0.01761 | 2849.0 | 2849.0 | 0.01 | 916.4 | 916.4 | 0.0000 | | | 1.4419 | 802.39 | |
| 450 | 2.9764 | 0.01765 | 2884.1 | 2884.1 | 0.01 | 912.5 | 912.5 | 0.0000 | | | 1.4408 | 808.00 | |
| 460 | 3.0468 | 0.01769 | 2919.2 | 2919.2 | 0.01 | 908.6 | 908.6 | 0.0000 | | | 1.4397 | 813.61 | |
| 470 | 3.1172 | 0.01773 | 2954.3 | 2954.3 | 0.01 | 904.7 | 904.7 | 0.0000 | | | 1.4386 | 819.22 | |
| 480 | 3.1876 | 0.01777 | 2989.4 | 2989.4 | 0.01 | 900.8 | 900.8 | 0.0000 | | | 1.4375 | 824.83 | |
| 490 | 3.2580 | 0.01781 | 3024.5 | 3024.5 | 0.01 | 896.9 | 896.9 | 0.0000 | | | 1.4364 | 830.44 | |
| 500 | 3.3284 | 0.01785 | 3059.6 | 3059.6 | 0.01 | 893.0 | 893.0 | 0.0000 | | | 1.4353 | 836.05 | |
| 510 | 3.3988 | 0.01789 | 3094.7 | 3094.7 | 0.01 | 889.1 | 889.1 | 0.0000 | | | 1.4342 | 841.66 | |
| 520 | 3.4692 | 0.01793 | 3129.8 | 3129.8 | 0.01 | 885.2 | 885.2 | 0.0000 | | | 1.4331 | 847.27 | |
| 530 | 3.5396 | 0.01797 | 3164.9 | 3164.9 | 0.01 | 881.3 | 881.3 | 0.0000 | | | 1.4320 | 852.88 | |
| 540 | 3.6100 | 0.01801 | 3200.0 | 3200.0 | 0.01 | 877.4 | 877.4 | 0.0000 | | | 1.4309 | 858.49 | |
| 550 | 3.6804 | 0.01805 | 3235.1 | 3235.1 | 0.01 | 873.5 | 873.5 | 0.0000 | | | 1.4298 | 864.10 | |
| 560 | 3.7508 | 0.01809 | 3270.2 | 3270.2 | 0.01 | 869.6 | 869.6 | 0.0000 | | | 1.4287 | 869.71 | |
| 570 | 3.8212 | 0.01813 | 3305.3 | 3305.3 | 0.01 | 865.7 | 865.7 | 0.0000 | | | 1.4276 | 875.32 | |
| 580 | 3.8916 | 0.01817 | 3340.4 | 3340.4 | 0.01 | 861.8 | 861.8 | 0.0000 | | | 1.4265 | 880.93 | |
| 590 | 3.9620 | 0.01821 | 3375.5 | 3375.5 | 0.01 | 857.9 | 857.9 | 0.0000 | | | 1.4254 | 886.54 | |
| 600 | 4.0324 | 0.01825 | 3410.6 | 3410.6 | 0.01 | 854.0 | 854.0 | 0.0000 | | | 1.4243 | 892.15 | |
| 610 | 4.1028 | 0.01829 | 3445.7 | 3445.7 | 0.01 | 850.1 | 850.1 | 0.0000 | | | 1.4232 | 897.76 | |
| 620 | 4.1732 | 0.01833 | 3480.8 | 3480.8 | 0.01 | 846.2 | 846.2 | 0.0000 | | | 1.4221 | 903.37 | |
| 630 | 4.2436 | 0.01837 | 3515.9 | 3515.9 | 0.01 | 842.3 | 842.3 | 0.0000 | | | 1.4210 | 908.98 | |
| 640 | 4.3140 | 0.01841 | 3551.0 | 3551.0 | 0.01 | 838.4 | 838.4 | 0.0000 | | | 1.4199 | 914.59 | |
| 650 | 4.3844 | 0.01845 | 3586.1 | 3586.1 | 0.01 | 834.5 | 834.5 | 0.0000 | | | 1.4188 | 920.20 | |
| 660 | 4.4548 | 0.01849 | 3621.2 | 3621.2 | 0.01 | 830.6 | 830.6 | 0.0000 | | | 1.4177 | 925.81 | |
| 670 | 4.5252 | 0.01853 | 3656.3 | 3656.3 | 0.01 | 826.7 | 826.7 | 0.0000 | | | 1.4166 | 931.42 | |
| 680 | 4.5956 | 0.01857 | 3691.4 | 3691.4 | 0.01 | 822.8 | 822.8 | 0.0000 | | | 1.4155 | 937.03 | |
| 690 | 4.6660 | 0.01861 | 3726.5 | 3726.5 | 0.01 | 818.9 | 818.9 | 0.0000 | | | 1.4144 | 942.64 | |
| 700 | 4.7364 | 0.01865 | 3761.6 | 3761.6 | 0.01 | 815.0 | 815.0 | 0.0000 | | | 1.4133 | 948.25 | |
| 710 | 4.8068 | 0.01869 | 3796.7 | 3796.7 | 0.01 | 811.1 | 811.1 | 0.0000 | | | 1.4122 | 953.86 | |
| 720 | 4.8772 | 0.01873 | 3831.8 | 3831.8 | 0.01 | 807.2 | 807.2 | 0.0000 | | | 1.4111 | 959.47 | |
| 730 | 4.9476 | 0.01877 | 3866.9 | 3866.9 | 0.01 | 803.3 | 803.3 | 0.0000 | | | 1.4100 | 965.08 | |
| 740 | 5.0180 | 0.01881 | 3902.0 | 3902.0 | 0.01 | 799.4 | 799.4 | 0.0000 | | | 1.4089 | 970.69 | |
| 750 | 5.0884 | 0.01885 | 3937.1 | 3937.1 | 0.01 | 795.5 | 795.5 | 0.0000 | | | 1.4078 | 976.30 | |
| 760 | 5.1588 | 0.01889 | 3972.2 | 3972.2 | 0.01 | 791.6 | 791.6 | 0.0000 | | | 1.4067 | 981.91 | |
| 770 | 5.2292 | 0.01893 | 4007.3 | 4007.3 | 0.01 | | | | | | | | |

(Continúa)

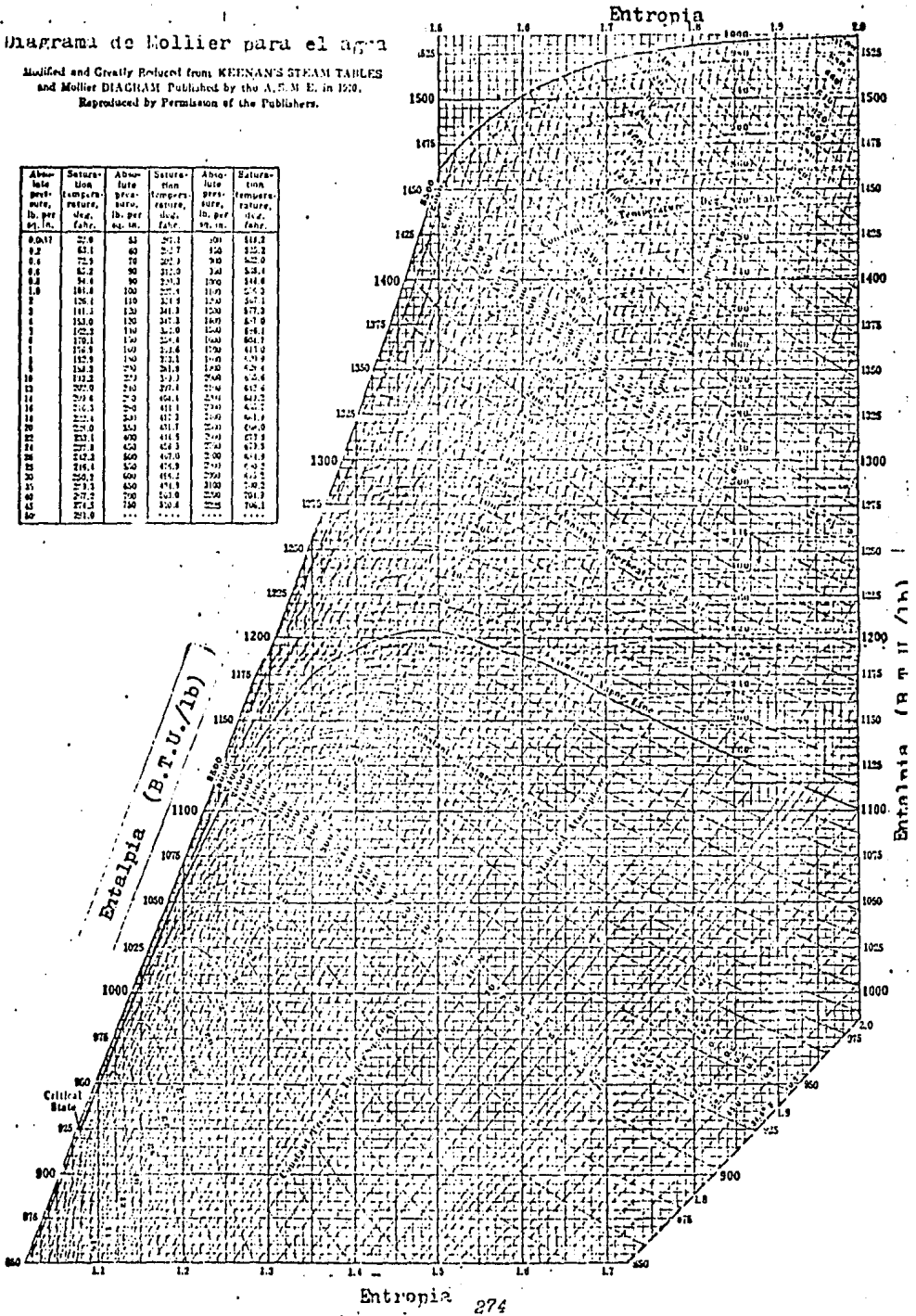
| Presión absoluta | | Temp. °C. | Volumen específico, m ³ /Kg | | Entalpia, Kcal/Kg | | Entropía, Kcal/Kg·°C. | | Energía interna, Kcal/Kg | | | |
|--------------------|----------------------|--------------|----------------------------------------|----------------|-------------------|--------|-----------------------|------------------|--------------------------|----------------|------------------|----------------|
| Kg/cm ² | lb/pulg ² | | Líquido saturado | Vapor saturado | Líquido saturado | Evap. | Vapor saturado | Líquido saturado | Evap. | Vapor saturado | Líquido saturado | Vapor saturado |
| 7.031 | 100 | 164.34 | 0.001108 | 0.2767 | 165.78 | 493.77 | 659.55 | 0.4740 | 1.1286 | 1.6026 | 165.60 | 613.99 |
| 7.7341 | 110 | 168.20 | 0.001113 | 0.2528 | 169.81 | 490.68 | 660.49 | 0.4832 | 1.1117 | 1.5948 | 169.61 | 614.72 |
| 8.4372 | 120 | 171.80 | 0.001117 | 0.2327 | 173.58 | 487.75 | 661.33 | 0.4916 | 1.0962 | 1.5878 | 173.36 | 615.33 |
| 9.1403 | 130 | 175.18 | 0.001121 | 0.2157 | 177.11 | 484.94 | 662.05 | 0.4995 | 1.0817 | 1.5812 | 176.88 | 615.88 |
| 9.8434 | 140 | 178.34 | 0.001125 | 0.2010 | 180.45 | 482.32 | 662.77 | 0.5069 | 1.0682 | 1.5751 | 180.19 | 616.44 |
| 10.547 | 150 | 181.34 | 0.001129 | 0.1882 | 183.61 | 479.77 | 663.38 | 0.5138 | 1.0556 | 1.5694 | 183.34 | 616.94 |
| 11.250 | 160 | 184.18 | 0.001133 | 0.1769 | 186.63 | 477.31 | 663.94 | 0.5204 | 1.0436 | 1.5640 | 186.33 | 617.33 |
| 11.953 | 170 | 186.89 | 0.001137 | 0.1670 | 189.49 | 474.95 | 664.44 | 0.5266 | 1.0324 | 1.5590 | 189.18 | 617.72 |
| 12.656 | 180 | 189.47 | 0.001141 | 0.1581 | 192.24 | 472.70 | 664.94 | 0.5325 | 1.0217 | 1.5542 | 191.80 | 618.05 |
| 13.359 | 190 | 191.95 | 0.001144 | 0.1501 | 194.88 | 470.45 | 665.33 | 0.5381 | 1.0116 | 1.5497 | 194.53 | 618.38 |
| 14.062 | 200 | 194.33 | 0.001148 | 0.1428 | 197.42 | 468.35 | 665.77 | 0.5435 | 1.0018 | 1.5453 | 197.04 | 618.72 |
| 17.578 | 250 | 204.95 | 0.001164 | 0.1151 | 208.89 | 458.38 | 667.27 | 0.5675 | 0.9588 | 1.5263 | 208.41 | 619.88 |
| 21.093 | 300 | 214.07 | 0.001180 | 0.09634 | 218.80 | 449.42 | 668.22 | 0.5879 | 0.9225 | 1.5104 | 218.21 | 620.60 |
| 24.609 | 350 | 222.06 | 0.001194 | 0.08278 | 227.60 | 441.23 | 668.83 | 0.6056 | 0.8910 | 1.4966 | 226.91 | 621.10 |
| 28.124 | 400 | 229.21 | 0.001205 | 0.07250 | 235.55 | 433.61 | 669.16 | 0.6214 | 0.8630 | 1.4814 | 234.75 | 621.38 |
| 31.640 | 450 | 235.71 | 0.001217 | 0.06442 | 242.89 | 426.33 | 669.22 | 0.6356 | 0.8378 | 1.4734 | 241.92 | 621.49 |
| 35.155 | 500 | 241.67 | 0.001230 | 0.05792 | 250.00 | 419.10 | 669.10 | 0.6487 | 0.8147 | 1.4634 | 248.64 | 621.44 |
| 38.670 | 550 | 247.19 | 0.001242 | 0.05259 | 256.00 | 412.83 | 668.83 | 0.6608 | 0.7934 | 1.4542 | 254.9 | 621.22 |
| 42.186 | 600 | 252.34 | 0.001255 | 0.04806 | 262.00 | 406.44 | 668.44 | 0.6720 | 0.7731 | 1.4454 | 260.8 | 620.94 |
| 45.702 | 650 | 257.16 | 0.001267 | 0.04422 | 267.66 | 400.28 | 667.94 | 0.6826 | 0.7548 | 1.4374 | 266.3 | 620.60 |
| 49.217 | 700 | 261.72 | 0.001280 | 0.04091 | 273.05 | 394.28 | 667.33 | 0.6925 | 0.7371 | 1.4296 | 271.5 | 620.16 |
| 52.748 | 800 | 270.13 | 0.001305 | 0.03550 | 283.16 | 382.72 | 665.88 | 0.7108 | 0.7045 | 1.4153 | 281.4 | 619.10 |
| 56.279 | 900 | 277.76 | 0.001324 | 0.03125 | 292.55 | 371.55 | 664.10 | 0.7275 | 0.6744 | 1.4020 | 290.6 | 617.83 |
| 63.31 | 1000 | 284.78 | 0.001348 | 0.02781 | 301.13 | 360.77 | 662.10 | 0.7410 | 0.6467 | 1.3897 | 299.1 | 616.33 |
| 70.34 | 1200 | 297.34 | 0.001372 | 0.02459 | 311.61 | 349.83 | 657.44 | 0.7711 | 0.5956 | 1.3667 | 314.8 | 612.77 |
| 84.372 | 1400 | 308.39 | 0.001442 | 0.01980 | 332.61 | 319.27 | 651.88 | 0.7963 | 0.5491 | 1.3451 | 329.2 | 608.55 |
| 98.434 | 1600 | 313.46 | 0.001467 | 0.01726 | 339.77 | 309.06 | 648.83 | 0.8082 | 0.5269 | 1.3351 | 336.1 | 606.22 |
| 140.62 | 2000 | 335.45 | 0.001604 | 0.01172 | 373.16 | 257.44 | 630.60 | 0.8619 | 0.4230 | 1.2849 | 367.9 | 592.0 |
| 210.93 | 3000 | 368.53 | 0.002160 | 0.005356 | 445.83 | 121.00 | 566.83 | 0.9731 | 0.1885 | 1.1615 | 435.2 | 540.3 |
| 323.43 | 3206.2 | 374.4 | 0.003140 | 0.003140 | 501.49 | 0 | 501.49 | 1.0580 | 0 | 1.0580 | 484.9 | 484.9 |

| Presión | Temp. | Volumen específico | | Entalpia | | Entropía | | Energía interna | |
|---------|--------|--------------------|----------------|------------------|--------|------------------|--------|------------------|----------------|
| | | Líquido saturado | Vapor saturado | Líquido saturado | Evap. | Líquido saturado | Evap. | Líquido saturado | Vapor saturado |
| 7.031 | 100 | 0.001108 | 0.2767 | 165.78 | 493.77 | 0.4740 | 1.1286 | 165.60 | 613.99 |
| 7.7341 | 110 | 0.001113 | 0.2528 | 169.81 | 490.68 | 0.4832 | 1.1117 | 169.61 | 614.72 |
| 8.4372 | 120 | 0.001117 | 0.2327 | 173.58 | 487.75 | 0.4916 | 1.0962 | 173.36 | 615.33 |
| 9.1403 | 130 | 0.001121 | 0.2157 | 177.11 | 484.94 | 0.4995 | 1.0817 | 176.88 | 615.88 |
| 9.8434 | 140 | 0.001125 | 0.2010 | 180.45 | 482.32 | 0.5069 | 1.0682 | 180.19 | 616.44 |
| 10.547 | 150 | 0.001129 | 0.1882 | 183.61 | 479.77 | 0.5138 | 1.0556 | 183.34 | 616.94 |
| 11.250 | 160 | 0.001133 | 0.1769 | 186.63 | 477.31 | 0.5204 | 1.0436 | 186.33 | 617.33 |
| 11.953 | 170 | 0.001137 | 0.1670 | 189.49 | 474.95 | 0.5266 | 1.0324 | 189.18 | 617.72 |
| 12.656 | 180 | 0.001141 | 0.1581 | 192.24 | 472.70 | 0.5325 | 1.0217 | 191.80 | 618.05 |
| 13.359 | 190 | 0.001144 | 0.1501 | 194.88 | 470.45 | 0.5381 | 1.0116 | 194.53 | 618.38 |
| 14.062 | 200 | 0.001148 | 0.1428 | 197.42 | 468.35 | 0.5435 | 1.0018 | 197.04 | 618.72 |
| 17.578 | 250 | 0.001164 | 0.1151 | 208.89 | 458.38 | 0.5675 | 0.9588 | 208.41 | 619.88 |
| 21.093 | 300 | 0.001180 | 0.09634 | 218.80 | 449.42 | 0.5879 | 0.9225 | 218.21 | 620.60 |
| 24.609 | 350 | 0.001194 | 0.08278 | 227.60 | 441.23 | 0.6056 | 0.8910 | 226.91 | 621.10 |
| 28.124 | 400 | 0.001205 | 0.07250 | 235.55 | 433.61 | 0.6214 | 0.8630 | 234.75 | 621.38 |
| 31.640 | 450 | 0.001217 | 0.06442 | 242.89 | 426.33 | 0.6356 | 0.8378 | 241.92 | 621.49 |
| 35.155 | 500 | 0.001230 | 0.05792 | 250.00 | 419.10 | 0.6487 | 0.8147 | 248.64 | 621.44 |
| 38.670 | 550 | 0.001242 | 0.05259 | 256.00 | 412.83 | 0.6608 | 0.7934 | 254.9 | 621.22 |
| 42.186 | 600 | 0.001255 | 0.04806 | 262.00 | 406.44 | 0.6720 | 0.7731 | 260.8 | 620.94 |
| 45.702 | 650 | 0.001267 | 0.04422 | 267.66 | 400.28 | 0.6826 | 0.7548 | 266.3 | 620.60 |
| 49.217 | 700 | 0.001280 | 0.04091 | 273.05 | 394.28 | 0.6925 | 0.7371 | 271.5 | 620.16 |
| 52.748 | 800 | 0.001305 | 0.03550 | 283.16 | 382.72 | 0.7108 | 0.7045 | 281.4 | 619.10 |
| 56.279 | 900 | 0.001324 | 0.03125 | 292.55 | 371.55 | 0.7275 | 0.6744 | 290.6 | 617.83 |
| 63.31 | 1000 | 0.001348 | 0.02781 | 301.13 | 360.77 | 0.7410 | 0.6467 | 299.1 | 616.33 |
| 70.34 | 1200 | 0.001372 | 0.02459 | 311.61 | 349.83 | 0.7711 | 0.5956 | 314.8 | 612.77 |
| 84.372 | 1400 | 0.001442 | 0.01980 | 332.61 | 319.27 | 0.7963 | 0.5491 | 329.2 | 608.55 |
| 98.434 | 1600 | 0.001467 | 0.01726 | 339.77 | 309.06 | 0.8082 | 0.5269 | 336.1 | 606.22 |
| 140.62 | 2000 | 0.001604 | 0.01172 | 373.16 | 257.44 | 0.8619 | 0.4230 | 367.9 | 592.0 |
| 210.93 | 3000 | 0.002160 | 0.005356 | 445.83 | 121.00 | 0.9731 | 0.1885 | 435.2 | 540.3 |
| 323.43 | 3206.2 | 0.003140 | 0.003140 | 501.49 | 0 | 1.0580 | 0 | 484.9 | 484.9 |

Diagrama de Mollier para el agua

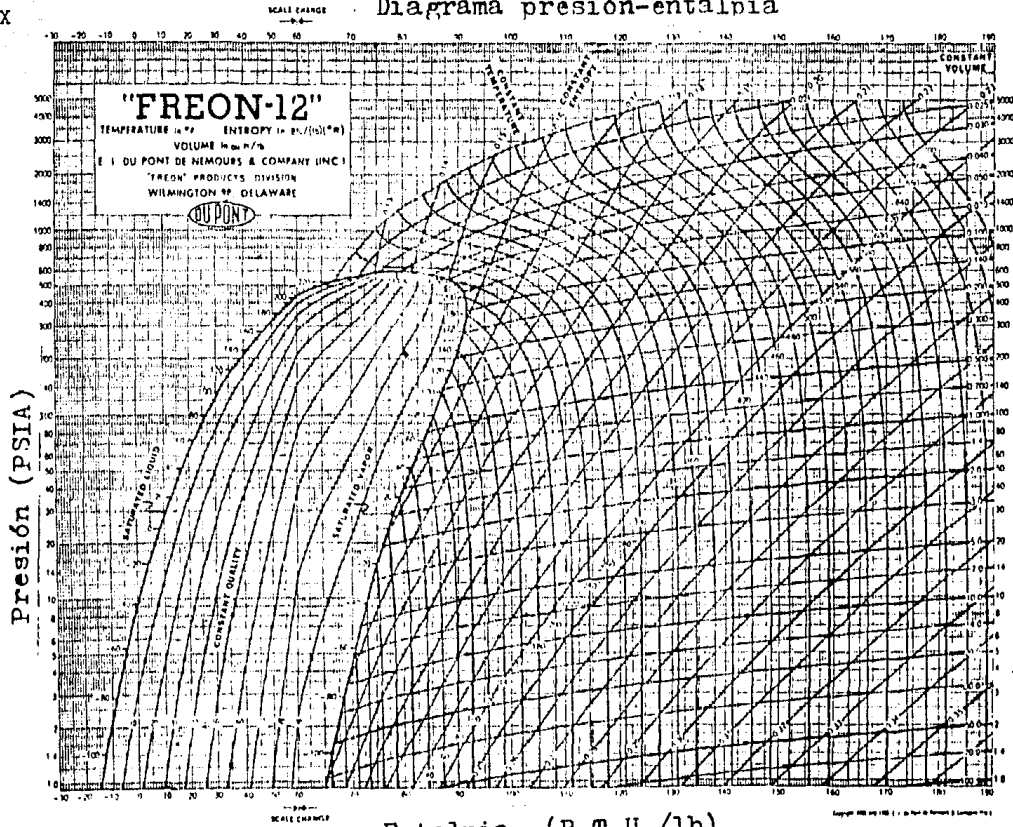
Modified and Greatly Reduced from KEENAN'S STEAM TABLES
and Mollier DIAGRAM Published by the A.S.M.E. in 1910.
Reproduced by Permission of the Publishers.

| Absolute pressure, lb. per sq. in. | Saturation temperature, deg. Fahr. | Absolute pressure, lb. per sq. in. | Saturation temperature, deg. Fahr. | Absolute pressure, lb. per sq. in. | Saturation temperature, deg. Fahr. |
|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 0.011 | 21.9 | 43 | 261.1 | 109 | 319.2 |
| 0.2 | 62.1 | 60 | 257.7 | 150 | 322.3 |
| 0.4 | 72.9 | 70 | 256.3 | 200 | 325.0 |
| 0.6 | 82.2 | 80 | 255.0 | 300 | 327.4 |
| 0.8 | 90.4 | 90 | 253.9 | 400 | 329.6 |
| 1.0 | 98.1 | 100 | 252.9 | 500 | 331.5 |
| 2 | 126.1 | 110 | 251.9 | 750 | 335.1 |
| 3 | 141.1 | 120 | 251.1 | 1000 | 338.2 |
| 4 | 153.0 | 130 | 250.4 | 1250 | 340.8 |
| 5 | 162.2 | 140 | 249.8 | 1500 | 343.1 |
| 6 | 170.1 | 150 | 249.3 | 1750 | 345.1 |
| 8 | 182.9 | 160 | 248.8 | 2000 | 346.8 |
| 10 | 192.9 | 170 | 248.4 | 2250 | 348.2 |
| 15 | 214.2 | 180 | 248.0 | 2500 | 349.4 |
| 20 | 229.8 | 190 | 247.7 | 2750 | 350.4 |
| 25 | 246.1 | 200 | 247.4 | 3000 | 351.2 |
| 30 | 263.1 | 210 | 247.1 | 3250 | 351.9 |
| 35 | 280.7 | 220 | 246.8 | 3500 | 352.4 |
| 40 | 298.7 | 230 | 246.5 | 3750 | 352.8 |
| 45 | 317.1 | 240 | 246.2 | 4000 | 353.1 |
| 50 | 335.8 | 250 | 245.9 | 4250 | 353.3 |
| 60 | 371.0 | 260 | 245.5 | 4500 | 353.4 |



APPENDIX

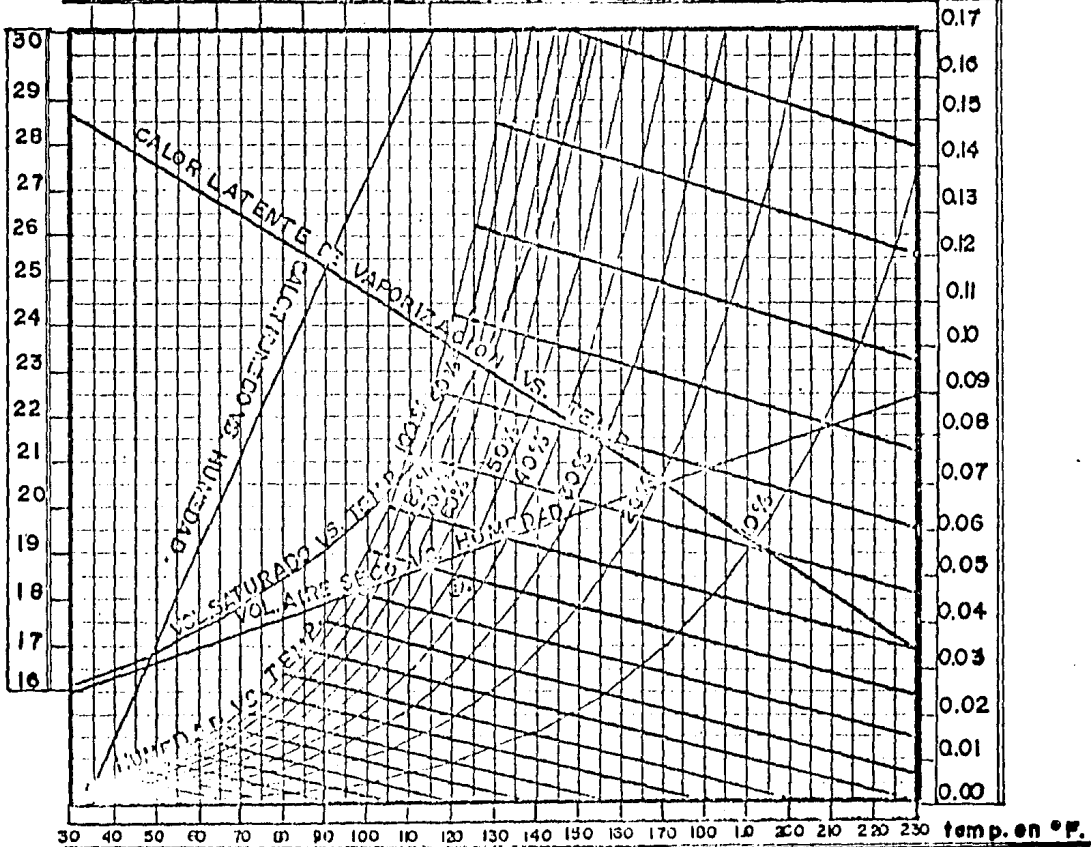
Diagrama presión-entalpia



Published by permission of Freon Product Entalpia (B.T.U./lb)

FIGURA No. 15

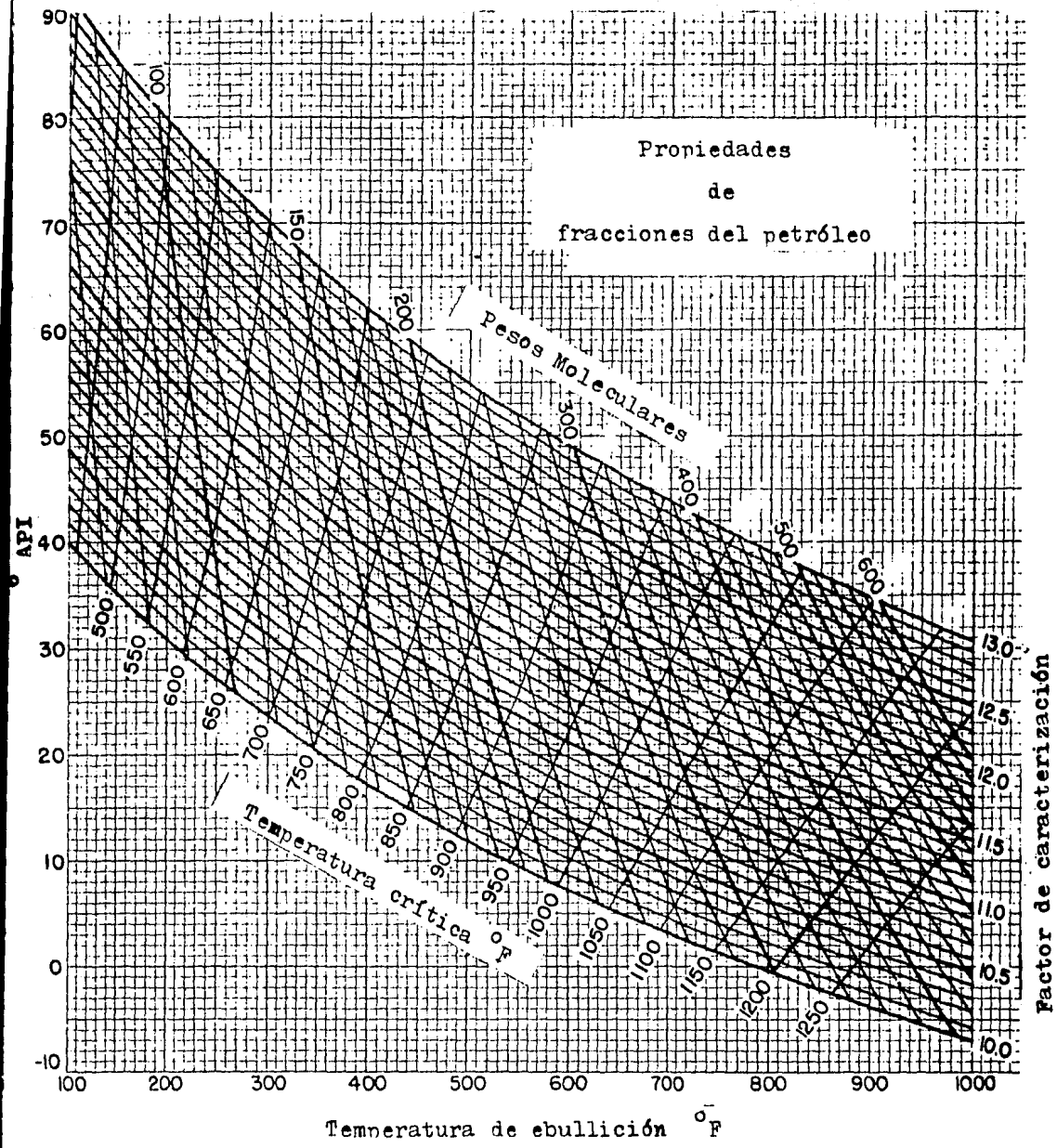
024 0.25 0.26 0.27 0.28 0.29 0.30 0.31 0.32 calor humedo en BTU/°F. lb. aire seco

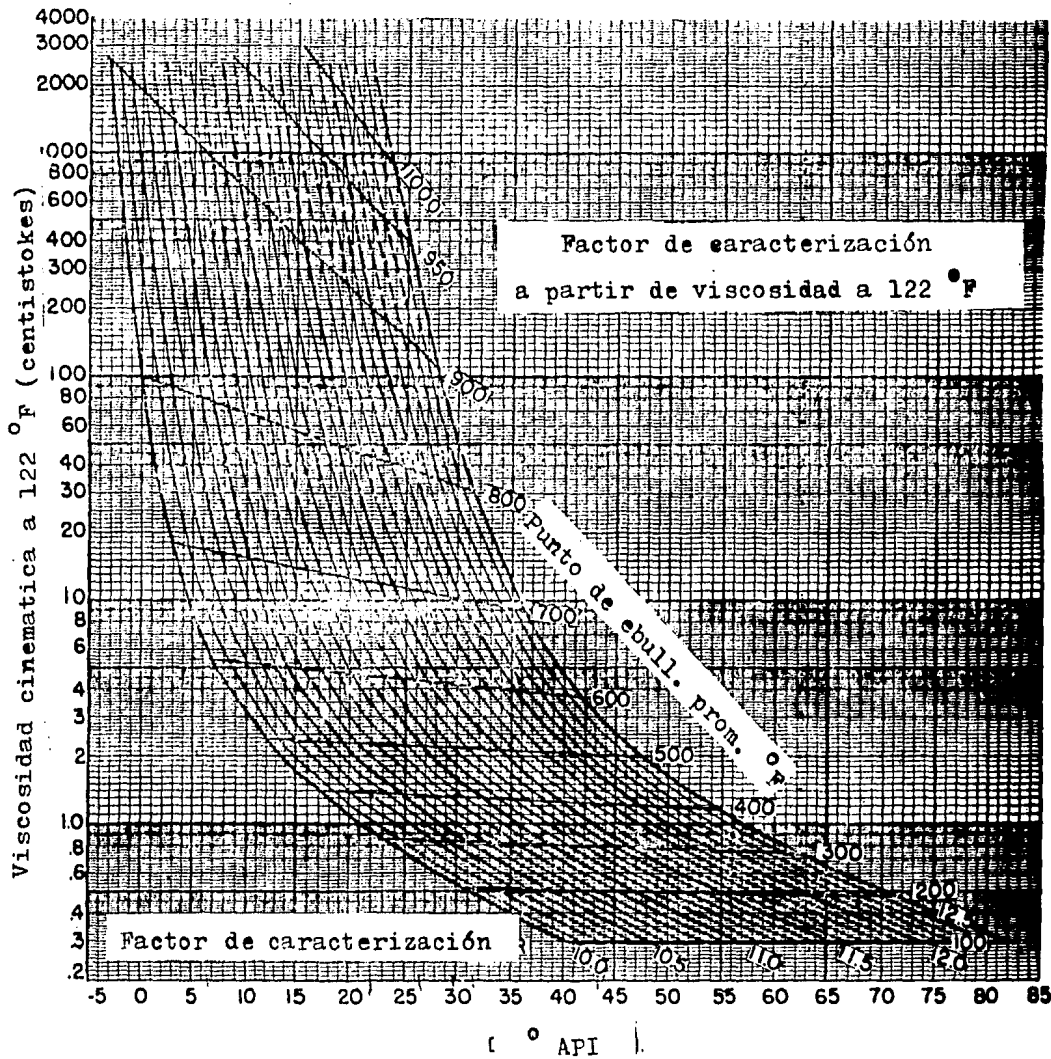


CARTA DE HUMEDAD

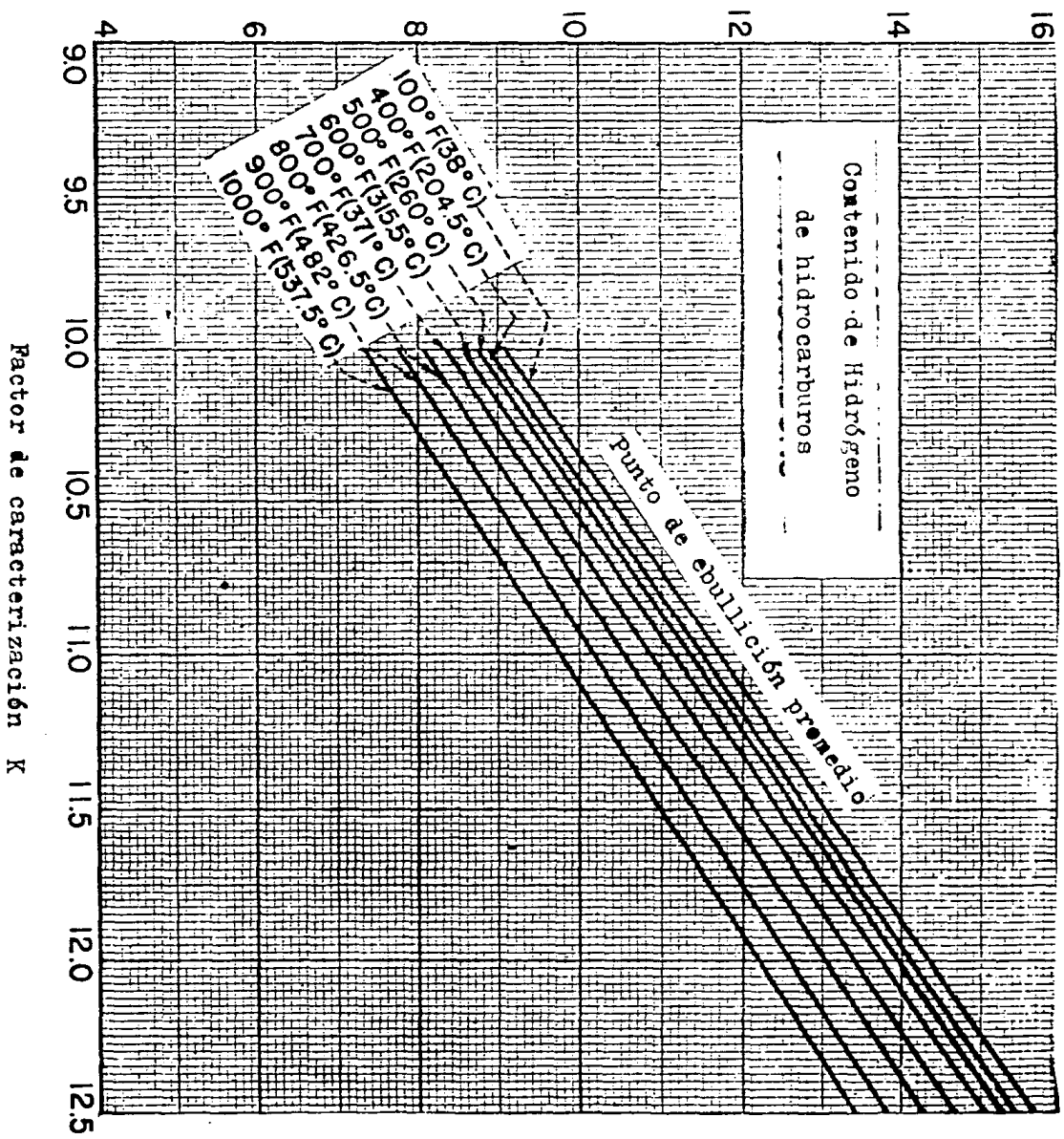
presión 508 mm. Hg.

Propiedades
de
fracciones del petróleo

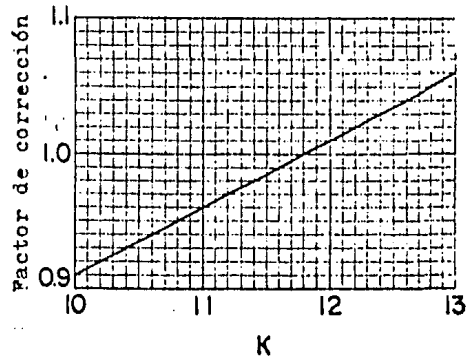
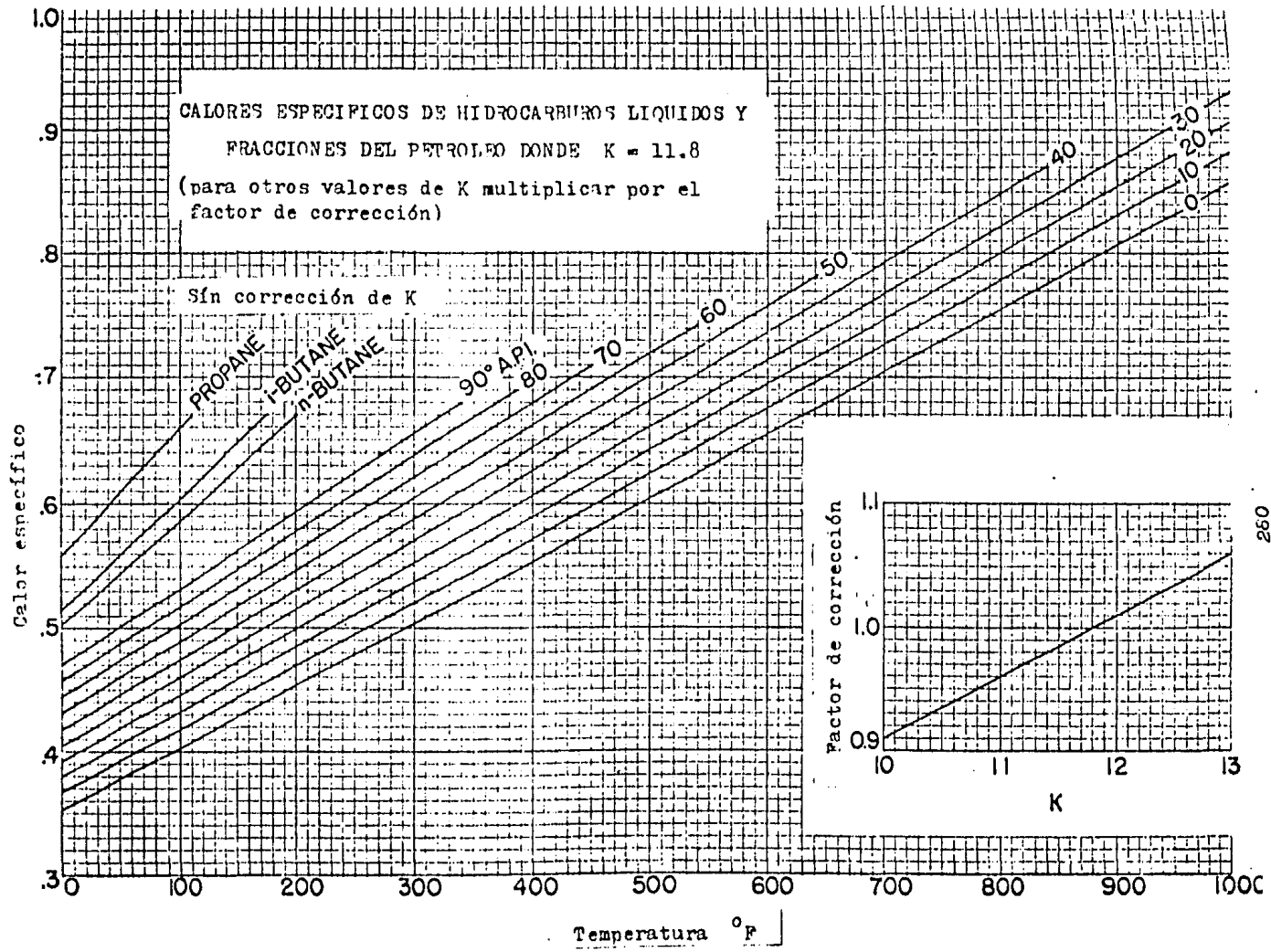




Porcentaje de H₂ en peso




























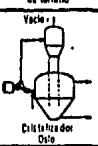
















Factor de caracterización K













































Diagramas de flujo

Algunos símbolos representativos del equipo
en los diagramas de flujo.

| | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  |  |  |  |
| Absorbedor | Agitador de turbina | Agitador de hélice | Agitador de ancla | Agit. de resille en recipiente anclada | Enfriador |
|  |  |  |  |  |  |
| Mezclador de doble cono | Mezclador de láminas | Mezclador de rodillos | Turboventilador | Centrifuga con casaca horizontal | Centrifuga de discos |
|  |  |  |  |  |  |
| Centrifuga con tacho sólido | Centrifuga vertical | Clasificador de aire | Clasificador de telúlos | Compresor centrifugo | Compresor mecánico |
|  |  |  |  |  |  |
| Compresor rotatorio | Condensador hermetico (en contacto, con aspiración) | Transportador de cangilones | Transportador de tornillo | Transportador vibratorio | Torne de enfriamiento |
|  |  |  |  |  |  |
| Quebradora giratoria | Quebradora de rodillos | Cristalizador Pachuca | Distilador Dco | Ciclón | Decantador con cámara de descarga |
|  |  |  |  |  |  |
| Tanque horizontal | Tanque con desagüe | Secador intermitente (charolas) | Secador rotatorio | Secador de charolas rotatorio | Secador por atomización |
|  |  |  |  |  |  |
| Calderas electricas en serie | Calderas electricas en serie | Eyector | Echusor | Aeritador rotatorio | Filtro de bombas |

Blm= vapor, CW= agua de enfriamiento, Cond= condensado

Algunos símbolos representativos del equipo
en los diagramas de flujo (cont.)

| | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  |  |  |  |
| Filtro de hojas | Filtro en baño de aceite | Filtro prensa | Filtro rotatorio | Horno de arco | Combustor Horno a fuego directo |
|  |  |  |  |  |  |
| Molinos rotor | Tanque de almacenamiento de gas | Molino de bolas | Cambiador de calor enfriado por aire | Cambiador de calor de Cajonera | Cambiador de calor de cuba |
|  |  |  |  |  |  |
| Cambiador de calor de tubos y cubierta | Cambiador de calor de rejilla | Tolva | Reactor con cámara de vapor | Horno | Amasador |
|  |  |  |  |  |  |
| Eliminador de niebla | Eliminador de niebla con malla | Mezclador y sedimentador | Montejuco | Tolva granuladora | Molino de engranes |
|  |  |  |  |  |  |
| Bomba de liliaga | Bomba de engranes | Bomba en la línea | Bomba propulsora | Bomba recíproca | Bomba sumergida |
|  |  |  |  |  |  |
| Báscula y tamón | Báscula y tolva | Criba | Tanque esférico | Chimenea | Tanque con techo cónico |
|  |  |  |  |  |  |
| Tanque con techo festoneado | Espesador | Torre de discos y dunes | Torre encajada | Torre de platos | Turbina |

APENDICE II : Programa para calcular
el diagrama de equilibrio
ideal de un sistema binario.

PROGRAM DESCRIPTION

Este programa edifica el diagrama de equilibrio ideal, para un sistema binario, basándose en la ley de Raoult y según las ecuaciones:

$$x_1 = \frac{r_1 - p_2^0}{(r_1 - p_2^0)}; \quad x_2 = 1 - x_1$$

$$y_1 = \frac{p_1^0 x_1}{p}; \quad y_2 = 1 - y_1$$

p es la presión total del sistema.

$$\ln p_1^0 = A_1 - B_1/(T + C_1); \quad \ln p_2^0 = A_2 - B_2/(T + C_2)$$

USER INSTRUCTIONS

| STEP | PROCEDURE | ENTER | PRESS | DISPLAY |
|------|-------------------------------------|----------------|--------|----------------|
| 1 | Introducir el programa | | | |
| 2 | Introducir A ₁ | A ₁ | STO 01 | A ₁ |
| 3 | Introducir B ₁ | B ₁ | STO 02 | E ₁ |
| 4 | Introducir C ₁ | C ₁ | STO 03 | C ₁ |
| 5 | Introducir A ₂ | A ₂ | STO 04 | A ₂ |
| 6 | Introducir B ₂ | B ₂ | STO 05 | E ₂ |
| 7 | Introducir C ₂ | C ₂ | STO 06 | C ₂ |
| 8 | Introducir p (mm Hg) | p | 2nd A' | p |
| 9 | Calcular teb_1 (°C) | | 2nd B' | teb_1 |
| 10 | Calcular teb_2 (°C) | | 2nd C' | teb_2 |
| 11 | Fijar una temperatura (°C) | t | A | T |
| 12 | Calcular p_1^0 (mm Hg) | | B | p_1^0 |
| 13 | Calcular p_2^0 (mm Hg) | | C | p_2^0 |
| 14 | Calcular x_1 | | D | x_1 |
| 15 | Calcular x_2 | | R/S | x_2 |
| 16 | Calcular y_1 | | E | y_1 |
| 17 | Calcular y_2 | | R/S | y_2 |
| 18 | Para otra temperatura ir al paso 11 | | | |

| USER DEFINED KEYS | DATA REGISTERS (mem 00) | LABELS (Op 08) |
|---------------------------------------|---------------------------------------|------------------------|
| A t (°C) | 0 T (K) | mem mem 01 02 03 04 05 |
| B p ₁ ⁰ (mm Hg) | 1 A ₁ | 07 08 09 10 11 12 |
| C p ₂ ⁰ (mm Hg) | 2 B ₁ | 13 14 15 16 17 18 |
| D x_1 | 3 C ₁ | 19 20 21 22 23 24 |
| E y_1 | 4 A ₂ | 25 26 27 28 29 30 |
| F p | 5 B ₂ | 31 32 33 34 35 36 |
| G teb_1 | 6 C ₂ | 37 38 39 40 41 42 |
| H teb_2 | 7 p (mm Hg) | 43 44 45 46 47 48 |
| I | 8 p ₁ ⁰ (mm Hg) | 49 50 51 52 53 54 |
| J | 9 p ₂ ⁰ (mm Hg) | 55 56 57 58 59 60 |

| FLAGS | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

Coding Form

| | 1st Lbl | | 2nd Lbl | | 3rd Lbl |
|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|---------|
| 1 | A + 2 7 3 . 1 5 = STO 00 R/S | | D RCL 07 - RCL 09 = - (RCL 08 - RCL 09) = STO 10 R/S +/- + 1 = R/S | 6 | 12 |
| 2 | 2nd Lbl B RCL 00 + RCL 03 = 1/x x RCL 02 +/- + RCL 01 = INV lnx STO 08 R/S | | E RCL 10 x RCL 08 - RCL 07 - R/S +/- + 1 = R/S | 7 | 13 |
| 3 | 2nd Lbl C RCL 00 + RCL 06 = 1/x x RCL 05 +/- + RCL 04 = INV lnx STO | | 2nd Lbl F RCL 10 x RCL 08 - RCL 07 - R/S +/- + 1 = R/S | 8 | 14 |
| 4 | 2nd Lbl D RCL 00 + RCL 06 = 1/x x RCL 05 +/- + RCL 04 = INV lnx STO | | 2nd Lbl G RCL 07 - R/S +/- + 1 = R/S | 9 | 15 |
| 5 | 2nd Lbl E RCL 07 - R/S +/- | | 2nd Lbl H RCL 07 lnx +/- | 10 | |

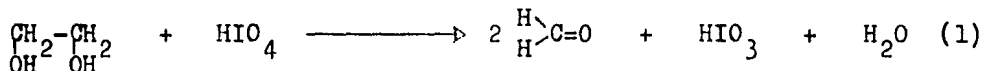
| MERGED CODES | | | | | |
|--------------|----|----|----|----|----|
| 62 | 63 | 64 | 72 | 73 | 74 |
| 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 |
| 83 | 84 | 85 | 92 | 93 | 94 |
| 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 |

TEXAS INSTRUMENTS

APENDICE III : Microanálisis del sistema
monoetilenglicol - agua

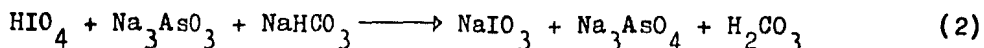
PRINCIPIO

Se puede utilizar ácido periyodico para la determinación de Etilen Glicol, consumiendo éste un equivalente molar de ácido periyodico :



El método descrito a continuación involucra :

- 1.- El tratamiento de la muestra con una cantidad determinada de ácido periyodico .
- 2.- Neutralización de la solución después de que la oxidación ha sido completada .
- 3.- Introducción de un volumen conocido de Arseniato de Sodio 0.06 N , Ec. (2) .
- 4.- Titulación del exceso de Arseniato mediante Yodo 0.025 N, utilizando Almidón como indicador, Ec. (3) .



MATERIAL

Una vez preparados los reactivos se necesita :

- Microbureta de 10 ml de capacidad con divisiones de 0.02 o 0.05 ml .
- 5 + n Matraces Erlen Meyer de 125 ml de capacidad (n es el número de muestras por analizar) .
- 2 pipetas volumetricas de 5 ml .
- 2 pipetas graduadas de 5 ml .
- 1 pipeta volumetrica de 10 ml .
- 1 vidrio de reloj .

- 1 Espatula .
- 1 Jeringa .
- 1 Piseta .
- 1 Soporte Universal .
- 1 Pinzas para bureta .
- Balanza analítica .

REACTIVOS

- Solución de ácido peryodico, 0.1 N . Pesar 11.501 g de metaperyodato de potasio (KIO_4), colocarlos en un vaso de precipitados de 1 lt, añadir 400 ml de agua destilada y 100 ml de H_2SO_4 1 N . Agitar y calentar, si es necesario, hasta que todas las partículas se hayan disuelto, transferir a un matraz aforado de un lt, una vez que la solución se encuentre a temperatura ambiente, aforar hasta a la marca .
- Solución patrón de arsenito de sodio, 0.06 N . Pesar de modo preciso 2.9673 g de trióxido de arsenico (grado estandar primario) colocarlo en un matraz Erlen Meyer de 250 ml. Añadir 60 ml de NaOH 1 N y calentar hasta que el sólido se disuelva. Añadir 100 ml de agua destilada y 2 gotas de indicador de fenolftaleína . Acidificar la solución añadiendo HCL 3 N y añadir entonces 2 gotas de ácido en exceso. Transferir la solución cuantitativamente en un matraz aforado de 1 lt. Diluir a la marca después de que la solución esté a temperatura ambiente.
- Solución valorada de Yodo, 0.025 N . Pesar de modo preciso 3.1728 g de Yodo (grado resublimado) colocarlo en un matraz aforado de 1 lt. Lavar el cuello del matraz con 25 ml de agua destilada conteniendo 8.3 g de Yoduro de potasio. Añadir agua y agitar el matraz hasta que todo el Yodo se haya disuelto . Diluir entonces a la marca y transferir a la microbureta cuando sea necesario (Nota 1) .

Valorar la solución de Yodo de la siguiente manera . Colocar exactamente 4.00 ml de solución de Arsenito de Sodio 0.06 N en un matraz Erlen Meyer de 50 ml. Añadir 2 ml de solución saturada de Bicarbonato de Sodio y unas gotas de solución de indicador de almidón. Introducir la barra del agitador magnetico. Titular la solución con el Yodo utilizando una microbureta de 10 ml (Nota 3).

- Solución de KI, 20 %p . Disolver 20 g de KI (grado reactivo analítico) en 80 ml de agua destilada, almacenar en una botella ambar .
- Solución de indicador de Almidón, 0.5 %p . Combinar 1 g de almidón soluble con 200 ml de agua en ebullición y mantener la ebullición por cinco minutos .
- Solución de Bicarbonato de Sodio, saturada . Añadir 12 g de Bicarbonato de Sodio a 100 ml de agua destilada y agitar hasta que se obtenga una solución saturada .
- Bicarbonato de Sodio anhidro, grado reactivo analítico .

PROCEDIMIENTO

Pipetear 5 ml de la solución de ácido peryodico en cada uno de los matraces para las muestras a analizar y en uno que servira como blanco. Añadir mediante la jeringa alrededor de 400 mg de muestra por analizar en el o los matraces correspondientes, pesando por diferencia en una balanza analítica. Dejar reposar agitando ocasionalmente. Después de que la reacción de oxidación se ha completado (30 minutos aproximadamente), colocar la barra del agitador magnetico, agregar 5 ml de la solución saturada de Bicarbonato de Sodio, agitando la solución vigorosamente. Añadir exactamente 10.00 ml de arseniato de sodio 0.06 N . Agregar 0.5 ml de Yoduro de potasio al 20 %p y 2 g de Bicarbonato de sodio anhidro. Permitir que los matraces de muestra y blanco reposen por 15 min. agitando ocasionalmente . Añadir unas gotas de indicador de almi-

dón y titular el contenido de cada matraz con la solución valora da de Yodo, agitando magnéticamente. El punto final es cuando aparece el color azul pálido .

CALCULOS

$$\% \text{Etilen Glicol} = \frac{(s - b) N M}{2 W} \times 100$$

s = ml de arseniato de sodio equivalentes consumidos por la muestra .

b = ml de arseniato de sodio equivalentes consumidos por el blanco .

N = Normalidad del arseniato de sodio (0.06) .

M = Peso molecular del Etilen Glicol (62.069 Kg/ $\sqrt{\text{Kg}}$) .

W = Peso de la muestra en mg .

NOTAS

- (1) Debido a que la solución de Yodo es sensible a la luz debe exponerse lo menos posible a ésta .
- (2) Es deseable utilizar el agitador magnético en la determinación sin embargo, se puede prescindir de éste agitando manualmente.
- (3) Para mejorar los resultados la solución de Yodo debe ser titulada cada vez que se utilice .

INDICE ALFABETICO DE SI&BOLOS.

- a* - Aceleración.
 - Actividad.
 - Superficie por unidad de volúmen.
- A* - Area.
 - Energía libre de Helmholtz.
 - Factor de absorción.
 - Constante de Antoine.
- b* - Ordenada al origen.
 - Amplitud.
 - Ancho.
- B* - Espesor.
 - Constante de Antoine.
 - Flujo de fondos.
- c* - Concentración.
- C* - Coeficiente cualquiera.
 - Constante de Antoine.
- Ch* - Calor húmedo.
- 'C* - Grados centígrados.
- Cp* - Capacidad calorífica a presión constante.
Cv - Capacidad constante a volúmen constante.
- d* - Operador diferencial.
 - Diámetro menor.

- D* - Diámetro cualquiera.
 - Diámetro mayor.
 - Flujo de destilados.
- e* - Base de los logaritmos naturales.
- E* - Energía.
 - Energía interna.
 - Eficiencia en la destilación.
- f* - Frecuencia.
 - Factor de fricción.
 - Factor de Fanning.
 - Fugacidad.
- f'* - Factor de Darcy.
- F* - Fuerza
 - Fricciones
 - Flujo de alimentación.
- 'F* - Grados Fahrenheit.
- g* - Aceleración de la gravedad.
- g_c* - Factor de conversión entre los sistemas gravitacional y absoluto.
- G* - Flujo másico del gas.
 - Masa velocidad.
 - Energía libre de Gibbs.
- G_s* - Gasto de aire seco.

- n* - *Altura*
 - *Coefficiente individual de transferencia de calor.*
 - *Entalpía del líquido.*
 - *Entalpía del sólido.*
- H* - *Entalpía.*
 - *Entalpía del gas.*
 - *Altura equivalente.*
- Hc* - *Calor de combustión.*
- j* - *Factor de transferencia.*
- J* - *Equivalente mecánico del calor.*
- k* - *Constante en general.*
 - *Factor de proporcionalidad.*
 - *Constante de velocidad de reacción.*
 - *Coefficiente individual de transferencia de masa.*
 - *Conductividad térmica.*
- K* - *Factor de caracterización.*
 - *Constante de equilibrio.*
 - *Coefficiente global de transferencia de masa.*
- 'K* - *Grados Kelvin.*
- l* - *Longitud.*
- ln* - *Logaritmo natural*
- Log* - *Logartimo decimal.*
- L* - *Flujo másico del líquido.*

- L - Flujo volumétrico del líquido.
- L_e - Longitud equivalente.
- m - masa
- Pendiente en general.
- Pendiente de la línea de equilibrio.
- M - Peso molecular.
- n - Número de moles.
- Orden de reacción.
- Revoluciones por unidad de tiempo.
- N - Número adimensional.
- N_A - Número de Avogadro.
- p - Presión.
- P - Potencia.
- P^0 - Presión de vapor.
- q - Flujo de calor.
- Q - Calor.
- Cantidad en general.
- Flujo volumétrico.
- r - Radio
- r_A - Rapidez de reacción de A.

- R* - Constante universal de los gases.
 - Recirculación.
 - Resistencia.
- 'R* - Grados Rankine
- s* - Superficie específica.
- S* - Flujo másico de sólido.
 - Sección transversal.
 - Entropía.
- t* - Temperatura de trabajo ($^{\circ}C$ ó $^{\circ}F$).
 - Temperatura de la corriente fría.
- T* - Temperatura absoluta ($^{\circ}K$ ó $^{\circ}R$).
 - Temperatura de la corriente caliente.
- te* - Temperatura de ebullición.
- th* - Temperatura de bulbo húmedo.
- ts* - Temperatura de bulbo seco.
- tr* - Temperatura de rocío.
- U* - Coeficiente global de transferencia de calor.
- v* - Velocidad.
 - Volumen específico.
- V* - Volumen.

- Vh* - Volúmen humedo.
- w* - Gasto másico.
- W* - Trabajo en general
- Velocidad de secado.
- x* - Título ó calidad de vapor.
- Fracción masa en fase líquida ó sólida.
- X* - Humedad del sólido.
- Relación masa en fase líquida ó sólida.
- y* - Fracción masa en fase vapor.
- Y* - Relación masa en fase vapor.
- Yp* - Humedad relativa.
- z* - Factor de compresividad.
- Z* - Altura con respecto a un plano de referencia.

LETRAS GRIEGAS.

\propto - Indicación de proporcionalidad.
- Volatilidad relativa.

γ - Relación de capacidades caloríficas.
- Coeficiente de actividad en fase líquida.

∂ - Operador diferencial.

δ - Espesor de película.

Δ - Indicación de cambio.

η - Eficiencia.
- Índice de refracción.

θ - Tiempo.

λ - Calor latente.

μ - Viscosidad absoluta.

ρ - Densidad

π - 3.1416

ν - Viscosidad cinématica.

σ - Tensión superficial.
- Diametro de colisión.

Σ - Indicación de suma.

τ - Trabajo de bombeo.

ϕ - Diámetro nominal.

- Coeficiente de fugacidad en fase vapor.

ω - Frecuencia angular.

- Velocidad angular.

\int - Integral de colisión.

SUBINDICES.

a - Aire

ah - Aire húmedo.

as - Aire seco.

A - Componente A.

B - Componente B.

c - Estado crítico.

C - Componente C.

D - Componente D.

f - Líquido saturado.

- Formación.

- Fusión.

fg - Evaporación.

g - Vapor saturado.

h - Húmedo.

i - Cualquier componente i.

l - Líquido.

p - Presión constante.

r - Condiciones reducidas.

- Relativo.

ss - Sólido seco.

- t* - *Transición.*
- T* - *isotérmico.*
- v* - *volúmen constante.*
- V* - *Vapor.*
- $\bar{}$ - *Propiedad volúmetrica.*
- o* - *Valor inicial.*

Superindices.

- \sim - *Propiedad molar.*
- $\bar{}$ - *Propiedad promedio.*
- $\bar{}$ - *Propiedad parcial.*
- \rightarrow - *Magnitud vectorial.*
- \circ - *Estado normal ó de referencia.*
- $*$ - *Estado de equilibrio.*

B I B L I O G R A F I A .

- 1.- *Acondicionamiento de aire*
Meza Gómez Mario Alberto.
Facultad de Química.
U.N.A.M.
México 1979.
- 2.- *Air conditioning laboratory notes.*
P.A. Hilton LTD Engineers.
Inglaterra.
- 3.- *Applied Nomography Vol. I y Vol. II.*
Kuong F. Javier.
Gulf publishing company.
Houston Texas 1965.
- 4.- *Chemical Engineering Fundamentals.*
Chalmer G. Kirkbride.
Mc Graw- Hill Book Company, Inc.
U.S.A. 1947.
- 5.- *Chemical Engineers Handbook*
Perry/Chilton.
Mc Graw- Hill/ Kogakusha.
U.S.A. 1973.
- 6.- *Chemical Process Principles Parte I.*
Material and Energy Balances.
Hougen/Watson/Kagata.
John Wiley & Sons, Inc.
U.S.A. 1954.

- 7.- *Conceptos basicos en termodinamica clasica.*
García/ Colín/ Godoy
Ed. Trillas.
México 1970-.
- 8.- *Conservation of Mass & Energy.*
Whitwell/Toner
Mc Graw -Hill
U.S.A. 1973.
- 9.- *Dimensional Analysis & Theory of Models.*
Langmar Henry.
Jhon Wiley & Sons.
U.S.A. 1951.
- 10.- *Destilación Diferencial*
Manual de Laboratorio de Ingeniería Química.
Facultad de Química.
U.N.A.M.
- 11.- *Diseño de una práctica de laboratorio sobre secadores ro-
tatorios.*
Carranza Abasolo Carlos.
Facultad de Química.
U.N.A.M.
México 1976.
- 12.- *Distillation.*
Van Winkle Mathew
Mc Graw- Hill.
U.S.A. 1967.

- 13.- *Dos relatos y un epilogo.*
Amores José Emilio.
Monterrey N.L.
México 1972.
- 14.- *Elementos de Ingeniería Química*
Vian/Ocon
Ed. Aguilar.
España 1976.
- 15.- *Encyclopedia of Science & Technology Vol. XIII*
Raymond E. Kirk.
Mc Graw-Hill Book company.
U.S.A. 1978.
- 16.- *Encyclopedia of chemical Technology Vol VII.*
Kirk/Othmer.
Jhon Wiley & Sons Inc.
U.S.A. 1965.
- 17.- *Engineering Thermodynamics with applications.*
Harper & Row Publisher
New York 1978.
- 18.- *Experimental General Chemistry.*
Lippincott/Week/Verhoek.
Saunders Golden Series.
Philadelphia 1974.
- 19.- *Fluid Dinamics & Heat Transfer.*
Knudsen/Katz.
Mc Graw-Hill / Kogakusha.
Tokio 1958.

- 20.- *Heat Power Engineering.*
William N. Barnard.
John Wiley & Sons Inc.
New York 1926.
- 21.- *Introducción a la Ingeniería Química.*
Badger/ Banchemo.
Mc Graw- Hill.
México 1977.
- 22.- *Introducción a la Ingeniería Química.*
Littlejohn/Keenaghan.
C. E. C. S. A.
México 1977
- 23.- *Introducción a la Ingeniería Química.*
Russell/Dean.
LIMUSA.
México 1976.
- 24.- *Instalaciones de acondicionamiento de aire*
Vives Escuder José.
Reverte S.A.
España 1947.
- 25.- *La ciencia de los alimentos.*
Potter Norman H.
Edutex.
México 1973.

- 26.- *La Industria Química en México.*
Giral J. Gonzalez S. y Montañó B.
Redacta.
México 1978.
- 27.- *Manómetros Ashcroft.*
Lanning Maxwell & Moore de México S.A.
Manual de manómetros.
- 28.- *Material and Energy*
Schmidt/11st.
Prentice-Hall Inc.
U.S.A. 1962.
- 29.- *Manual for Process Engineering.*
Walker/Lewis/11c Adams.
Mc Graw-Hill Book Co. Inc.
U.S.A. 1937.
- 30.- *Métodos de calculo en los procesos de transferencia de masa.*
H. Sawistowski & W. Smith.
Alhambra.
España 1967.
- 31.- *México, Hoy.*
Varios autores.
Siglo XXI.
México 1979.

- 32.- Operaciones Básicas de Ingeniería Química.
Mc Cabe/C. Smith.
Reverte S.A.
España 1978.
- 33.- Operaciones de Transferencia de Masa.
Treybal Robert E.
Mc Graw-Hill
México 1980.
- 34.- Plan Nacional de Desarrollo Industrial.
Sepafin
México 1979.
- 35.- Prácticas de Ingeniería Química
Valiente/etal.
Facultad de Química.
México 1979.
- 36.- Principios y calculos básicos de la Ingeniería Química.
Himmelblau David M.
C.E.C.S.A.
México 1974.
- 37.- Principios de Operaciones Unitarias.
Foust/Wenzel/etal.
C.E.C.S.A.
México 1980.
- 38.- Principios de los procesos de Ingeniería.
Furón de la Borbolla Alejandro.
LIMUSA.
México 1974.

- 39.- *Principles of Chemical Engineering.*
Walker/Lewis/Mc Adams.
Mc Graw-Hill Book Co. Inc.
U.S.A. 1937.
- 40.- *Problemas de Ingeniería Química.*
Ocon/Tojo.
Ed. Aguilar.
España 1970.
- 41.- *Process Engineering Calculations.*
Material and Energy Balances.
Jack Tyner.
The Ronald Press Co.
U.S.A. 1960.
- 42.- *Properties of gases and liquid.*
Reid/Sherwood/Frausnitz.
Mc Graw-Hill
U.S.A. 1977.
- 43.- *Thermodynamics for Engineering Technologists.*
Will Robert K.
Marcel. Dekker INC.
U.S.A. 1979.
- 44.- *Temperature its measurement and control in Science & Industry.*
American Institute of Physics.
- 45.- *Temperature measurement in Engineering Vol 1.*
American Institute of Physics.
D. Baker/Ryder/J. Baker.

46.- Unit Operations of Chemical Engineering

McCabe/Smith.

McGraw-Hill/Mexico.

México 1965.