

24.84



**Universidad Nacional Autónoma
de México**

FACULTAD DE QUIMICA

**Estudio Técnico Económico para instalar un
Equipo de Secado en una Planta de Urea.**

T E S I S

**Que para obtener el título de
INGENIERO QUIMICO**

p r e s e n t a

Miguel Angel Vélez Hernández



**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

México, D. F.

1988



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 está 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.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

INDICE

1.-	Introducción	
1.1.-	Presentación del problema.....	5
1.2.-	Características del CO ₂	7
1.3.-	Procesos de obtención del CO ₂	81
2.-	Téoría del secado.	
2.1.-	Secado de sustancias solidas	18
2.2.-	Secado de sustancias gaseosas	27
3.-	Selección del proceso de secado.....	
3.1.-	Descripción del proceso de secado....	47
3.2.-	Determinación de los equipos de secado	51
3.3.-	Diágrama del flujo de proceso.....	57
3.4.-	Operación del equipo de secado.....	60
4.-	Dimencionamiento de equipos de proceso.	
4.1.-	Dimencionamiento de las torres de se- cado.....	63
4.2.-	Dimencionamiento del calentador de - gas.....	72
4.3.-	Dimencionamiento del enfriador de gas	78
4.4.-	Dimencionamiento del separador de hume- dad.....	84
5.-	Estudio económico del proyecto.	
5.1.-	Principios económicos.....	87
5.2.-	Características y evaluación de un - proyecto.....	87
5.3.-	Estimación de la utilidad esperada...	90
5.4.-	Estimación de la inversión.....	92
5.5.-	Estudio de rentabilidad.....	101
5.6.-	Curva de equilibrio.....	102
6.-	Conclusiones.....	105
7.-	Apendice, simbología utilizada.....	108
8.-	Bibliografía	111

CAPITULO PRIMERO

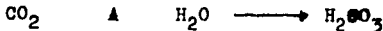
INTRODUCCION

PRESENTACION DEL PROBLEMA.

Fertimex en la producción de urea, que es uno de los fertilizantes nitrogenados más importantes, utiliza como materia prima el CO_2 , el cual se compra a PEMEX. Este gas es obtenido como subproducto de la elaboración del amoníaco.

El problema a que se enfrenta Fertimex, al utilizar el CO_2 , se debe al grado tan alto de corrosión -- que ocasiona éste gas en los diferentes equipos en -- donde entra en contacto, tales como, tuberías, válvulas, compresores, tanques de almacenamiento, intercambiadores de calor y reactores.

El problema de la corrosión es consecuencia del ataque químico del ácido carbónico formado, sobre las diferentes materiales que forman los equipos mencionados. El ácido carbónico resulta de la reacción que se efectúa entre el CO_2 y la humedad que contamina la corriente del gas mencionado, una vez que ésta condensa. La reacción entre las sustancias mencionadas es.



Desde luego la cantidad de agua contenida en el flujo de bióxido de carbonó es pequeña y la forma---
ción de ácido carbónico también es pequeña, pero su-
ficiente para que se produzca el problema de corre-
sión del equipo.

Este problema tiene como consecuencia: que la -
vida útil del equipo que está en contacto con el CO_2
se reduzca en forma considerable, que los costos de
mantenimiento se incrementen, que no se cumplan con
los programas de producción debido a paros para eli-
minar fugas en los diferentes equipos de proceso y -
finalmente origina también que los costos de la urea
se incrementen.

La finalidad de realizar el presente trabajo,-
es la de establecer un anteproyecto para instalar un
sistema de secado en la corriente de bióxido de car-
bóno que nos permita tratar 1200 toneladas por día.

El secado debe de hacerse a un grado tal que -
no cause problemas de corrosión, y el resultado será
que el equipo se proteja, que no haya fugas de gas -
que disminuyan los costos de producción de la urea -
con lo cual se obtendrá finalmente mayor cantidad de
fertilizante a un costo más económico.

I.- Características del CO₂.

El anhídrido carbonico en condiciones normales de presión y temperatura, es un gas de peso molecular de 44 gr/grmol. Este gas tiene la particularidad de ser; incoloro, inodoro e insípido cuando está seco. Su densidad es 1.5 veces la del aire, su volumen específico es de 0.537 m³/kg a una atmósfera de presión y 15 °C.

El CO₂ es un compuesto muy estable y esta formado por dos átomos de oxígeno y uno de carbono. Este compuesto puede existir en los tres estados físicos de la materia con solo cambiar sus condiciones de presión y temperatura. En la tabla N-I se indican algunas condiciones en las que el CO₂ esta en los tres estados físicos de la materia.

Estado físico	Presión (atm)	Temperatura (°C)
Gas	10	40
Gas	25	100
Líquido	21	- 18
Sólido	4	- 56

Tabla N-I. Estados físicos de la materia para el CO₂.

El CO_2 es un compuesto que tiene una gran aplicación en la industria, como consecuencia de sus propiedades físicas y químicas. Una de las más importantes es la temperatura crítica, con un valor de 31°C y para valores mayores de éste, no se licua el CO_2 por alta que sea la presión. En lo que se refiere a las propiedades químicas, se destaca el carácter ácido de este compuesto. Para tener una imagen más amplia del CO_2 , a continuación se muestran en la tabla N-2. algunas de sus principales propiedades.

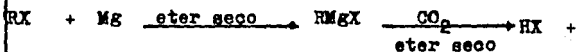
Conductividad	0.0266 Kcal/ mh $^\circ \text{C}$
Viscosidad	2.2×10^{-5} kg / m seg
Calor latente de evap.	50 Kcal / kg
Calor específico	0.255 Kcal / kg $^\circ \text{C}$
Densidad	1.86 Kg / m ³
Difusividad	0.088 m ² / h
Volumen específico	0.537 m ³ / kg

Tabla N-2. Propiedades físicas del CO_2 a 25°C y a 1 atmósfera de presión.

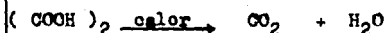
En la tabla N-3., se indican algunas de las propiedades químicas de este gas.

///

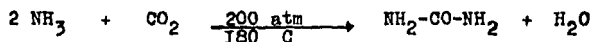
Obtención de ácidos carboxílicos.



Descomposición de un ácido dicarboxílico.



Formación de urea.



Formación de carbonatos.



Combustión de hidrocarburos.



Obtención a partir de arenos.

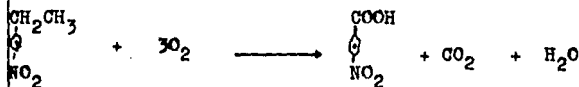


Tabla N-3. Propiedades químicas del CO_2

Densidad	1.8 kg / m ³
Viscosidad	2.25 kg / m seg
Calor latente de evap.	50 Kcal / kg
Capacidad calorífica	45 cal / kg °C
Difusividad	0.088 m ² / h
Conductividad	0.266 Kcal/ mh °C
Pureza	99.01 %
Humedad inicial	0.009 kg agua/kg sólido

Tabla N-4. Características del CO₂ obtenido por pemex, en condiciones estandar de -- presión y temperatura.

1.3.- Procesos de obtención del CO_2 .

El anhídrido carbónico se obtiene industrialmente por tres fuentes principales, que son las -- que se indican en seguida.

- 1) Como subproducto de procesos químicos.
- 2) A partir de pozos naturales.
- 3) Por métodos de manufactura directa.

1).- Como subproducto de procesos químicos.

En la industria, existen una gran cantidad de procesos que proporcionan al anhídrido carbónico como subproducto, sin embargo en todos los casos el CO_2 esta contaminado con otros subproductos, producto principal y materias primas del proceso de que se trate. Por esta razón es necesario tratar previamente el CO_2 para purificarlo y así poder utilizarlo como reactivo.

Entre los procesos industriales mas comunes -- que proporcionan como subproducto al CO_2 , tenemos -- los que se indican a continuación

Proceso de obtención de la cal.

Este proceso consiste en calcinar la piedra caliza (CaCO_3) en hornos especiales a altas temperaturas. La reacción que se efectúa es.



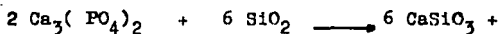
Proceso metalurgico.

Este proceso nos permite obtener los metales - en forma pura, a partir de sus minerales en un paso que se conoce con el nombre de reducción. En éste - proceso los óxidos metálicos son calentados en presencia de carbón, formandose de esta manera el CO_2 , como se observa en las reacciones siguientes.



Procesos de obtención del fósforo.

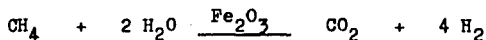
En éste proceso el fosfato de calcio se hace reaccionar con el oxígeno, en hornos eléctrico y - en presencia de sílice, obteniendo silicato y óxido de fósforo. el óxido obtenido se hace reaccionar con carbón, reduciéndose a fósforo metálico. Las reacciones efectuadas son:



Proceso de obtención del amoniaco.

Petróleos mexicanos obtiene el amoniaco por - un proceso que consiste en hacer reaccionar el gas natural con vapor de agua, en presencia de un catalizador. El catalizador mas común es el óxido férrico.

Los productos que se obtienen en éste proceso son; el hidrógeno como producto intermedio y el CO_2 como subproducto. El CO_2 se elimina del proceso, lavando el hidrógeno con agua a alta presión. Finalmente el hidrógeno se hace reaccionar con el nitrógeno del aire, para obtener el producto deseado.



Desde luego que las reacciones indicadas no se efectúan al 100 % de eficiencia, por lo cual se obtienen varios compuestos secundarios que contaminan tanto al amoníaco como al CO_2 . El porcentaje de impurezas normal es.

Hidrógeno	0.60	%
Oxígeno	0.20	%
Nitrogeno	0.72	%
Argón	0.01	%

3.- Usos del anhídrido carbónico.

Este compuesto tiene una gran aplicación industrial, y a continuación se indican algunos de los principales usos.

Producción de ácido salicílico

Como agente refrigerante

Como gas inerte

Como extinguidor contra incendios

En la fabricación de refrescos

Para endurecer piezas metálicas

Como anestésico

Para producir carbonato de plomo

Para obtener hielo seco

En la industria de la cerveza

En la fabricación de polvos para hornear

CAPITULO SEGUNDO**TEORIA DEL SECADO**

Teoría de secado.

El secado de un material cualquiera, sin importar su estado físico, es un proceso mediante el cual se elimina un líquido presente como humedad en una sustancia sólida o gaseosa por procedimientos térmicos o químicos.

El secado de cualquier sustancia, depende de su estado físico, razón por la cual es necesario dividirlo en dos procesos diferentes.

- 1.- Secado de sólidos
- 2.- Secado de gases

Para establecer la teoría que explique la forma en que se elimine la humedad de una sustancia por cualquiera de los dos procesos, es necesario establecer los mecanismos de transferencia de masa y calor para cada caso, y como esto depende de las características de las sustancias, las que son muy diferentes entre gases y sólidos. El estudio del secado debe efectuarse por separado para sólidos y gases.

En éste capítulo se estudiarán los dos métodos de secado, con la finalidad de que se entienda claramente los conceptos del proceso de secado.

I.- Secado de sólidos.

Para realizar el estudio del secado de un sólido, supondremos que el sólido está dividido en pequeñas partículas de forma esférica y que durante el proceso, el sólido pierde líquido por evaporación, presentándose dos procesos en el orden que se indica.

- a).- Transmisión de calor, para poder evaporar el líquido.
- b).- Transferencia de masa, ya que el líquido presente como humedad interna deberá evaporarse es decir que la humedad pasa del sólido al medio secante.

La velocidad de secado depende de los factores que controlan la intensidad de los mecanismos de -- transferencia de masa y de calor, por ésta razón se deben manejar adecuadamente dichos factores para poder controlar el tiempo y la velocidad de secado de el material.

La dirección de la transmisión de calor es, -- desde el medio calefactor hasta el interior del sólido pasando primero por la superficie. La transmisión de calor puede ser por uno o la combinación de mas de los siguientes mecanismos; conducción, convección y radiación.

La transferencia de masa, sigue el camino contrario a la transferencia de calor, ya que primero sale del interior del sólido al calentarse, llegando a la superficie y después se evapora, arrastrándose con el medio calefactor.

En la determinación del tiempo de secado, es necesario cuantificar desde luego, la transferencia de calor o la transferencia de masa, así como los efectos que estas producen en variables tales como temperatura, humedad y tamaño de partícula, principalmente.

Marshall y Hougen estudiaron experimentalmente el secado de un sólido, y observaron las variaciones producidas en la temperatura y humedad del material, durante todo el proceso. Estos investigadores observaron que el proceso de secado se puede dividir en tres etapas y son:

- a) Periodo de calentamiento
- b) Periodo de velocidad constante
- c) Periodo de velocidad decreciente

Periodo de calentamiento.

En éste periodo el cambio o efecto que se produce en la temperatura y en la humedad del sólido es como se indica a continuación.

Cuando se inicia el calentamiento, la temperatura del sólido aumenta poco a poco hasta el punto en que comienza a evaporarse la humedad, durante este tiempo la humedad permanece practicamente con valor constante y su tiempo de duración es muy corto, comparandolo con el tiempo total del proceso.

Periodo de velocidad constante.

En el periodo de evaporación de velocidad constante, la evaporación del líquido que moja el sólido se mantiene constante durante el proceso junto con la temperatura del mismo. Esta etapa llega a su fin, cuando el sólido llega a su contenido crítico de humedad.

Periodo de velocidad decrecientes.

Cuando se desea que el sólido se continúe más tiempo secando para obtener una humedad residual menor a la humedad crítica, entonces el secado estará en su etapa de velocidad decreciente. Este periodo se caracteriza por que la velocidad de evaporación y la temperatura de secado varían constantemente durante el proceso.

El tiempo de secado es la suma de los tres tiempos de las etapas mencionadas. La figura N°-I muestra los periodos del proceso de secado en una gráfica de velocidad de evaporación contra tiempo.

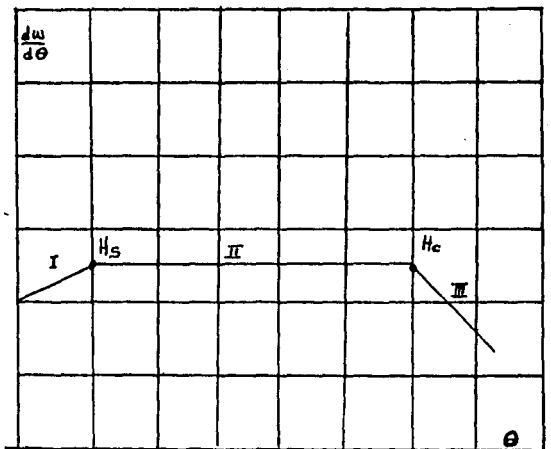


Figura N-I. Etapas del proceso de secado

En la figura N-I, se muestran datos para la sílica gel, en donde la humedad crítica es 5 % - en peso de agua por peso de sólido, y la humedad de saturación es del 40 %.

Los periodos de secado mas importantes son: el de velocidad constante y el de velocidad decreciente, por lo que a continuación se explican.

Periodo de velocidad constante.

Un sólido húmedo retiene su humedad en dos formas que son: Una como líquido retenido en el interior del sólido y otra como líquido mojando la superficie externa de éste.

En éste periodo la velocidad de evaporación depende de la rapidez con que se difunde el vapor a través de la película de aire, las propiedades del sólido no afectan el proceso.

En esta etapa, la temperatura de la superficie del sólido permanece constante y su valor depende del mecanismo de transferencia que impera. Cuando impera el mecanismo por convección, la temperatura del sólido toma el valor de la de bulbo húmedo. Cuando la conducción es la que impera, entonces la temperatura del sólido toma el valor de la de ebullición del líquido. En la práctica la temperatura que toma el sólido está comprendida entre la de bulbo húmedo y la del medio calefactor,

En el secado de un sólido, se establece un equilibrio entre la transmisión de calor y la velocidad con que se evapora la humedad.

El equilibrio anterior se puede indicar como un balance de materia y calor, obteniendo la velocidad de secado en función de estos mecanismos.

$$\text{Velocidad de secado} = \frac{H_t M AT}{\lambda} = K_t A AP \dots (I)$$

Para cuantificar la velocidad de secado $dw/d\theta$ se pueden usar los datos de las variables de transferencia de calor o los de las variables de transferencia de masa, prefiriendo usarse los datos de la transmisión de calor, debido a que son mas seguros en el cálculo del proceso de secado.

Para poder medir exactamente el proceso de secado es muy importante calcular los coeficientes de transferencia de calor lo mas exacto posible, por este motivo se debe de tener en cuenta cual es el mecanismo de transmisión de calor que rije. A continuación se indican algunas ecuaciones para el cálculo de los coeficientes de transferencia de calor, según el mecanismo que impere.

Cuando la convección es el mecanismo que rije tenemos dos casos: a) cuando el flujo del medio calefactor es paralelo a la superficie del sólido, b) Cuando el flujo del medio calefactor es perpendicular a la superficie del sólido, ver ecuaciones 2 y 3

$$H_c = 0.176 G^{0.8} \dots \dots \dots (2)$$

$$H_o = G \cdot 37 \dots\dots\dots (3)$$

Cuando los mecanismos que imperan son la convección y la conducción simultaneamente.

$$H_t = H_c \left(1 + \frac{A_u}{\frac{1}{h} + \frac{L}{K}} \right) \dots\dots (4)$$

Cuando se presentan en forma simultanea los tres mecanismos de transmisión de calor; convección conducción y radiación.

$$H_t = (H_c - H_r) + \left(\frac{A_u}{\frac{1}{h} + \frac{L}{K} \left(\frac{H_c + H_r}{K} \right)} \right) \dots (5)$$

$$H_r = 4.92 E_s \left(\frac{T_s/100}{T_a - T_s} \right)^4 \dots\dots (6)$$

El cálculo de la temperatura real del sólido se puede hacer por medio de siguiente ecuación.

$$(H_s - H_a) = \frac{H_t \cdot C_s (T_a - T_s)}{H_C} \dots\dots\dots (7)$$

El cálculo de la velocidad de evaporación se hace por medio de la ecuación numero uno. Los datos necesarios son; el coeficiente de transmisión de calor, el area de transferencia, la diferencia de temperaturas entre el sólido y el medio calefactor y por último el calor latente del líquido presente como humedad.

Periodo de velocidad decreciente.

Este periodo se presenta cuando el contenido de humedad del sólido que se seca llega a su valor crítico y está dividido en dos etapas; la etapa de secado superficial y la etapa de recirculación interna del líquido.

En la primer etapa el area mojada no es constante y disminuye rapidamente. En la segunda etapa el líquido se mueve hacia el exterior através de conductos capilares del mismo material.

Van Arsdel, estableció una ecuación que permite determinar la velocidad de secado para el periodo de velocidad decreciente.

$$\frac{dw}{d\theta} = \frac{IV D (H - H_e)}{4 L^2} \dots\dots\dots (8)$$

Tiempo que dura el proceso de secado.

El tiempo de secado es aquél en el cual el material que se seca, alcanza el contenido crítico de humedad o en algunos casos la humedad residual. El tiempo total del proceso de secado, se puede estimar con la ecuación numero (9).

$$\theta_t = \frac{L (H_{cr} - H_e)}{H_t (T_a - T_b)} \left(\frac{H_o - H_{cr}}{H_{cr} - H_e} + \ln \frac{H_{cr} - H_e}{H_t - H_e} \right) \dots\dots\dots (9)$$

Dimensiones del equipo de secado.

En el estudio del secado de materiales es muy importante conocer las características, es decir las dimensiones de los equipos de proceso. Generalmente estos equipos llamados secadores son recipientes cerrados y las dimensiones que nos interesan son siempre dos, la altura del recipiente y el diámetro del mismo. Para determinar la altura del recipiente se utiliza el concepto de altura de transferencia y el de unidad de transferencia, los que se pueden estimar por medio de las ecuaciones que se indican a continuación.

$$N = \frac{(T_a - T_{a0})}{(AT)_{ml}} \dots\dots\dots (I0)$$

$$Z = \frac{G C_p}{\mu} \dots\dots\dots (II)$$

$$D = \left(\frac{4 V}{\pi L} \right)^{0.5} \dots\dots\dots (I2)$$

Otros conceptos importantes que se necesitan conocer son, la cantidad del medio calefactor y las cantidades de transferencia de masa y calor que se manejan.

Proceso de secado de sustancias gaseosas.

El proceso de secado de gases, es muy diferente al que se efectúa al secar un sólido, y esto se debe a que las propiedades de un gas son totalmente diferentes a las de un sólido. En la práctica se conocen cuatro procesos para secar gases y se indican en seguida.

Absorción

Adsorción

Compresión

Enfriamiento

Secado de gases por enfriamiento.

Este proceso consiste en hacer que un gas húmedo se enfríe, dando como resultado que dicho gas se sature y cuando la temperatura del gas frío es menor que la de rocío, entonces se produce el fenómeno de condensación, separandose de esta manera el gas del líquido. En la práctica la separación se efectúa por medio de equipos mecánicos tales como trampas de humedad y/o válvulas neumáticas de purga.

En la práctica se ha observado que estos procesos de secado requieren de una gran cantidad de refrigerante, sobre todo cuando se necesita una gran pureza en el gas, motivo por el cual resulta antieconómico.

Secado de gases por compresión.

La compresión como técnica para secar gases es buena hasta cierto punto, ya que solo funciona satisfactoriamente cuando el secado no es muy riguroso. La base de este proceso esta en que al comprimir el gas, la humedad existente se concentra, lo cual hace que el gas se sature y si se continua la compresión, entonces el exceso de humedad condensara y se eliminara en igual forma que para el proceso de enfriamiento. La relación existente entre la presión y la humedad se muestra a continuación.

$$H_{sa} = \frac{P_s (M_v)}{P_s (M_g)} \dots\dots\dots (13)$$

Las principales restricciones de este proceso son: 1) costos demasiado altos, 2) No se alcanzan purzas altas.

Secado de gases por absorción.

Este proceso se basa en la reacción entre la humedad y un compuesto químico, llamado desecante que puede ser sólido o líquido.

Como ejemplos de desecantes sólidos tenemos al sulfato de calcio anhidrido o al cloruro de --

calcio. Entre los desecantes líquidos tenemos al ácido sulfurico concentrado y al cloruro de litio, que son sustancias que tienen gran avidez por el agua. Debido a las características de cada de cada desecante así como a la facilidad de manejo se ha encontrado que los desecantes líquidos presentan más ventajas que los desecantes sólidos y por tal motivo en la industria se prefiere manejar desecantes líquidos, dejando el uso de desecantes sólidos solo en laboratorios o en pequeña escala. A continuación se numeran algunas de las características de los desecantes líquidos.

Características de desecantes líquidos.

- 1.- La presión de vapor del líquido presente como humedad debe ser menor que la del desecante.
- 2.- El desecante debe de tener un poder de secado en un amplio margen de concentración.
- 3.- El desecante debe de tener una presión de vapor baja, para evitar pérdidas por evaporación.
- 4.- El desecante no debe de formar soluciones corrosivas que ataquen los equipos.
- 5.- Que el calor producido en la absorción sea bajo
- 6.- Que el desecante sea químicamente estable.
- 7.- Que la regeneración sea fácil y económica.
- 8.- Que el desecante no sea tóxico para el personal

- 9.- Que el costo del desecante sea lo mas econó
mico posible.

En la tabla N-2., se muestran algunas de las principales características de varios desecantes líquidos.

Desecante	% humedad retenida	Temperatura de trabajo	Conc.	Costo \$/kg
Dietilen G	5-10	30-50	80	0.33
Glicerol	21-38	15-45	70-80	0.31
H ₂ SO ₄	5-20	20-40	70	.0047
H ₃ PO ₄	5-20	15-55	80-95	0.20
NaOH	10-20	30-50	Sólido	.077
Trietilen G	5-10	70-80	70-95	0.57

Tabla N-2. Características de desecantes líquidos.

En la práctica si se quiere establecer un proceso de secado por absorción, usando un desecante líquido es necesario cumplir con los puntos.

- 1.- Establecer el grado de secado que se desea lograr.

- 2.- Asegurarse que el proceso seleccionado sea el adecuado para el material a secar.
- 3.- Calcular el desecante para el trabajo requerido.
- 4.- Calcular la cantidad de calor necesaria para la regeneración, así como el enfriamiento que requiera el proceso.

De la experiencia obtenida por diferentes empresas entre las que destaca purumex (fabricante de equipos de secado), se a encontrado que el secado por absorción tiene algunos inconvenientes. En seguida se enumeran las desventajas más importantes de este proceso.

- 1.- En la práctica es muy difícil que se alcancen humedades relativas de menos del 10 %.
- 2.- En éste proceso siempre existen pequeñas perdidas por arrastre y por lo mismo el producto se contamina.
- 3.- La corrosión es un gran problema para algunas temperaturas durante la regeneración.
- 4.- En la regeneración se pierde algo de desecante por evaporación.
- 5.- La mayoría de los desecante líquidos, al someterse a repetidas regeneraciones con calor se descomponen, temiendo que reponerse.

Proceso de secado por adsorción.

El proceso por adsorción consiste en que la humedad que contiene el gas se adhiere al desecante sólido, siguiendo alguno de los mecanismos que se indican, pero también se pueden presentar los dos procesos.

- 1) Adsorción en una capa molecular sobre la superficie del desecante.
- 2) Adsorción por condensación capilar, cuando el desecante es muy poroso y tiene una elevada capilaridad.

En el secado por este método es necesario tener en cuenta los factores que favorecen los mecanismos de transferencia de masa, y así poder elegir el desecante más adecuado. A continuación se numeran las principales características de un desecante sólido.

- 1.- El desecante debe de tener una actividad elevada, para adsorber rápidamente la humedad.
- 2.- Se debe de seleccionar el desecante que tenga mayor eficiencia
- 3.- La humedad de equilibrio para el desecante debe ser alta y asegurar así su capacidad de secado.
- 4.- El desecante debe ser eficiente, en un amplio rango de temperaturas, humedades y flujos de gas.

- 5.- El calor de regeneración debe ser mucho mayor que los calores de condensación y de humedad para asegurar una alta capacidad de adsorción.
- 6.- La regeneración del desecante debe ser lo mas económica posible.
- 7.- Los desecantes sólidos no deben de cambiar de estructura, ni licuarse durante el proceso de secado.
- 8.- La resistencia al flujo de gas no debe ser alta, es decir que la caída de presión causada al pasar através del desecante no debe ser alta.
- 9.- El desecante debe de tener alta resistencia mecánica, para evitar formar polvos.
- 10.- El volumen del desecante debe ser constante a pesar de la adsorción, debe de tener una densidad a granel elevada, debe ser químicamente inerte, no corrosivo, no toxico y ser ademas económico.

Entre los desecantes sólidos mas comunes tenemos al carbón activado, la gel de sílice y la gel de aluminio. De los tres los más usados son los dos últimos, pero el carbón activado es también importante en algunos procesos. A continuación se indican algunas propiedades para estos desecantes.

Características de gel de sílice.

Este material tiene un elevado poder adsorbente, como consecuencia de su extrema capilaridad, ya que el volumen que ocupan sus poros es el 50 % del volumen específico del desecante. -- Los estudios realizados por diferentes investigadores permiten asegurar que la forma de un capilar es parecido a una espina, y el diámetro medio de los poros es 4×10^{-7} cm.

El rendimiento de la sílica gel depende de la temperatura del proceso de secado y del grado de humedad que se maneje. pueden alcanzarse grados de secado hasta de -70°C de temperatura de rocío. Las principales propiedades se indican a continuación.

- 1.- El tamaño de las partículas que se encuentran en la industria varían entre 3 y 16 mallas por pulgada.
- 2.- El calor específico para la sílica gel es $0.2 \text{ Kcal/Kg }^{\circ}\text{C}$
- 3.- La densidad a granel, varía entre 640 y 720 Kg / m^3 .
- 4.- La densidad aparente toma valores entre 0.65 y 0.78.
- 5.- La sílica gel es estable químicamente, físicamente y termicamente.
- 6.- La regeneración se efectúa entre 150 y 250°C

- 7.- El contenido residual de humedad para la sílica gel es del 5 % a 250 °C y a 350 C se eliminan totalmente.
- 8.- Para eliminar un kilogramo de agua de la gel se necesitan 1300 kcal.
- 9.- La gel de sílice conserva un buen rendimiento de adsorción, hasta un valor del 20 % de su peso.
- 10.- La caída de presión através de una capa de sílice esta dada por la ecuación empirica I4 que esta en función del flujo masico (V).

$$\frac{(AP)}{L} = i V + j V^2 \quad \dots\dots\dots (I4)$$

la i y la j son constantes que se determinan de acuerdo al tamaño de la partícula del desecante como se puede observar en la tabla N°-3.

Tamaño de tamiz	Constantes	
	$i \frac{\text{hrs}}{\text{m}^3}$	$j \frac{\text{hrs}^2}{\text{kg m}^3}$
4-8	0.0066	23.6×10^{-5}
6-16	0.0174	63.5×10^{-5}
12-28	0.0374	26.8×10^{-4}

Tabla N°-3. Constantes de la ecuación I4 para la sílica gel.

Características de la alumina activada.

Esta substancia es un adsorbente granular - formado por trihidrato de aluminio, el cual se ha hecho muy poroso, existen varios grados de ca lidad y su composición es variable de acuerdo al uso que se les de. El tamaño de la alumina activada varia desde partículas de una pulgada hasta polvo.

La alumina activada es un material químicamente inerte, además no es corrosiva, no es toxi ca, es insoluble en agua y en líquidos neutros - es muy resistente al desgaste por rozamiento y - tiene buena resistencia mecánica.

El poder de adsorción de la alumina activada es del 15 al 20 % de su propio peso. La humedad adsorbida se retiene en los poros que tiene la alumina. La regeneración de este material se efectúa a una temperatura comprendida entre 175 y 315 °C, utilizando para ello gases calientes. - Se dan algunas propiedades de los desecante sól dos mencionados para su comparación en la tabla N°-4.

Características del carbón activado.

Al igual que los desecante mencionados anteriormente, el carbón activado es un desecante sólido que se obtiene de la madera o de la celulosa y existen varios tipos de acuerdo a la aplicación a que se destinen.

El principal uso del carbón activado, es en el tratamiento de aguas ya que tiene la propiedad de adsorber los olores y sabores disueltos en ella, pero tiene otros usos como son; purificación de gases, recuperación y purificación de solventes y como agente decolorante.

El carbón activado no tiene gran avidez por el agua y por este motivo no se utiliza para secar gases húmedos con agua, pero si en caso de ser la humedad otra sustancia.

Las principales desventajas para el carbón activado son; la baja densidad que tiene este material, originando que sea arrastrado por la corriente del fluido. Otra desventaja es la dificultad para regenerarse y por último su costo que es mayor que el de otros desecantes.

Propiedad	Alumina activada	Sílica gel	Carbón Activado
Densidad Ap. kg/m^3	810	640	420
Densidad Relat. %	0.81	0.64	0.42
Porosidad media %	51	50	60
Conductividad $\text{kcal/m}^2\text{hr}^\circ\text{C}$	12.4	12.8	6.40
Calor esp. $\text{kcal/kg}^\circ\text{C}$	0.24	0.22	0.16
Temp. Reg. $^\circ\text{C}$	76-315	149-176	110-140
Poder ads. %	40	25	45
Resistencia	Concide rable	Buena	Poca
Durabilidad	Ilimitada	Grande	Buena
Costo \$	1120	760	3250

Tabla N-4. Características de desecantes sólidos.

Teoría de secado para gases.

Del estudio de los diferentes procesos de secado para tratar un gas, se observa que el que presenta ma yores ventajas es el proceso por adsorción con desecante sólido.

El estudio del secado de gases utilizando desecantes sólidos se puede realizar haciendo pasar un flujo de gas húmedo a través de una capa de material desecante como se puede apreciar en la figura N-2.

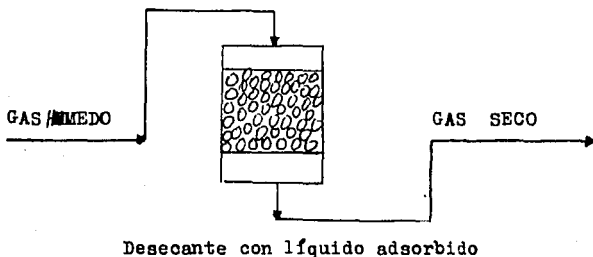


Figura N-2. Proceso de secado de gases.

El proceso de la figura N-2, consiste en hacer circular un flujo determinado de gas, el cual contiene cierta cantidad de humedad, através de una capa porosa de desecante al pasar el gas por éste. El desecante adquiere el líquido adsorbiéndose hasta el interior del desecante por capilaridad de tal modo que se moja totalmente tanto en su interior como en su superficie.

Cuando la cantidad de humedad contenida en el gas es pequeña y el tiempo de contacto entre el desecante y el gas es muy grande y si la cantidad de desecante es también muy grande, se puede esperar que toda la humedad del gas se adsorba en el desecante. En la práctica se tiene que optimizar el tiempo de secado y la cantidad de desecante usado, para las condiciones de secado deseadas.

La magnitud del secado generalmente nunca es del 100 % ya que de lo que se trata es de que la humedad residual no cause problemas en la operación de la planta, por tal motivo con solo disminuir la humedad a un valor en el que la corrosión (en este caso) no sea muy importante.

Desde luego el gas que sale del proceso tiene siempre un contenido residual de humedad y su valor depende de la cantidad de desecante usado, de las propiedades del desecante y del tiempo que dure el proceso.

Hougen y Marshall en sus estudios sobre el -- proceso de secado en gases, encontraron una ecuación para estimar la cantidad de humedad residual en un gas después de que pasa por una capa de material desecante. para el proceso isotermico la ecuación es:

$$\frac{H_g}{H_{g0}} = 1 - e^{-b\theta} \int_0^{ax} e^{-z} I_0(2\sqrt{bz'z}) dz \quad \dots (15)$$

Cuando la capa del desecante se ha saturado - la ecuación (15) se transforma en:

$$\frac{w}{w_0} = e^{-ax} \int_0^{b\theta} e^{-s} I_0(2\sqrt{axs}) ds \quad \dots (16)$$

Con las ecuaciones (15) y (16) se pueden determinar las humedades del desecante a cualquier tiempo y la humedad residual del gas, después de que pasa por el desecante. En la práctica estas ecuaciones se pueden resolver en forma gráfica y se utilizan para cualquiera de los desecantes mencionados, ver gráficas de las figuras N^o 3 y N^o 4., en el apéndice se indica la nomenclatura.

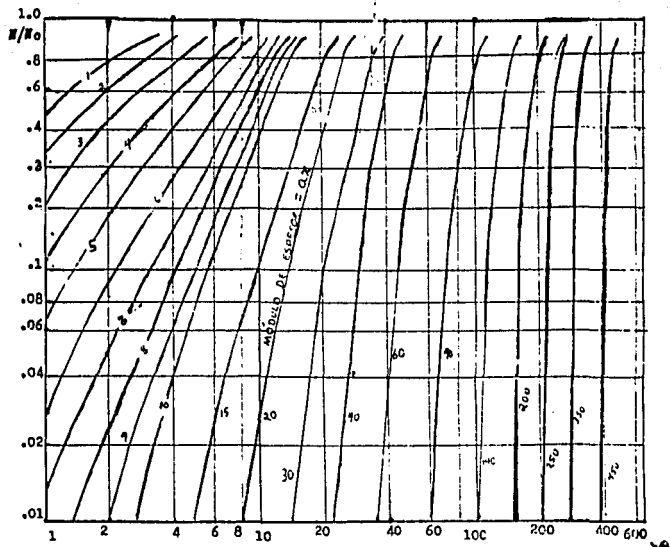


FIGURA N.º 3 FRACCIÓN DE HUMEDAD RESIDUAL EN EL GAS $\frac{H}{H_0}$ VS b_0 MÓDULO DE TIEMPO.

$\frac{H}{H_0}$ = FRACCIÓN DE HUMEDAD RESIDUAL.

b_0 = MÓDULO DE TIEMPO.

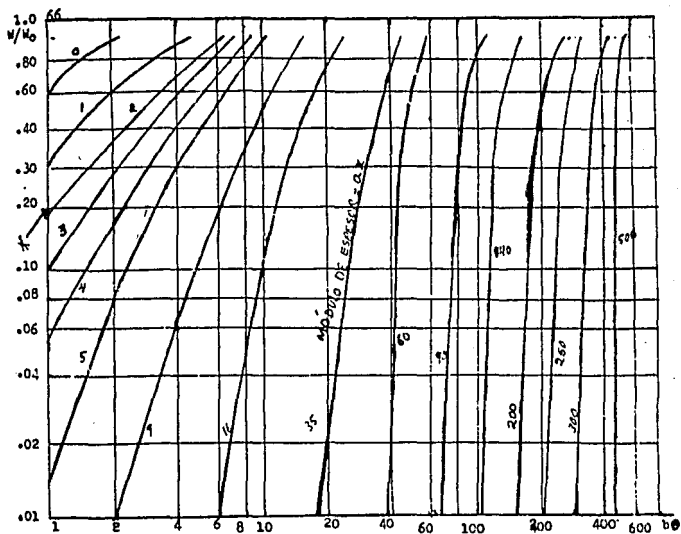


FIGURA N° - 4. FRACCIÓN DE HUMEDAD DE SATURACIÓN DEL DESECANTE
VS MÓDULO DE TIEMPO.

w/w_0 - FRACCIÓN DE HUMEDAD DE SATURACIÓN DEL DESECANTE

b_0 - MÓDULO DE TIEMPO.

La forma de utilizar las gráficas para poder calcular la altura del desecante, requiere del conocimiento de las constantes involucradas y que dependen del desecante utilizado. La estimación de las constantes se puede hacer por medio de las ecuaciones que se muestran a continuación para cualquier desecante. Para la nomenclatura ver el a pendice.

$$a = \frac{I}{Hd} \dots\dots\dots (17)$$

$$b = \frac{G C}{S Hd} \dots\dots\dots (18)$$

$$c = I.122 Ps \dots\dots\dots (19)$$

$$Hd = \frac{0.55}{Av} \left(\frac{Dp G}{Mg} \right)^{.5I} \left(\frac{Mg}{g Dr} \right) \dots\dots (20)$$

El cálculo de las dimensiones del recipiente en donde se depositará el desecante, se puede realizar usando las ecuaciones anteriores, con resultados bastante aceptables. A continuación se muestra la secuencia que hay que seguir para el cálculo de dichas dimensiones.

Secuencia para estimar las dimensiones del secador

- I.- En primer lugar se debe de fijar un tiempo de secado, de acuerdo con las características del proceso seleccionado.
- 2.- Se calculará la altura de la unidad de transferencia, de acuerdo con las propiedades del desecante y las del gas.
- 3.- Por medio de la ecuación (17) se calcula la constante "a".
- 4.- Utilizando la ecuación (19) se determina "c".
- 5.- Por medio de la ecuación (18) se calcula "b".
- 6.- Se determina el módulo de tiempo.
- 7.- Del balance de materia, se determina la masa del desecante.
- 8.- Se encuentra la fracción de humedad de saturación para el desecante seleccionado.
- 9.- Con los valores de módulo de tiempo y de fracción de humedad de saturación, se encuentra el valor de el módulo de espesor, por medio de la figura N-4.
- 10.- Se determina el espesor de la capa de desecante.
- 11.- Conociendo las cantidades de gas que se desea secar y de desecante, así como el espesor de éste, se puede estimar el diametro del secador

Descripción del proceso de secado.

Como el objetivo de este proceso es secar una corriente gaseosa de 1200 toneladas al día de anhídrido carbónico con unas ciertas características, y con la finalidad de disminuir el problema de corrosión que produce la presencia de humedad en el CO_2 del proceso, en los diferentes equipos. En este capítulo se establecerá el proceso de secado que nos permita hacer el trabajo en forma óptima.

Del estudio de los diferentes procesos de secado, realizado en el capítulo anterior, se observa que, de acuerdo con las características y dimensiones de nuestro proceso, se pueden seleccionar solamente dos procesos de secado.

- 1.- Absorción con desecante líquido
- 2.- Adsorción con desecante sólido

La selección de cualquiera de estos procesos depende del grado de dificultad, del costo y del método de operación para cada caso. En el secado de un gas los principales problemas que se pueden presentar son fundamentalmente cuatro.

- a) Dificultad para regenerar el desecante
- b) Degradación del desecante
- c) Arrastre del desecante
- d) Presencia de fugas por corrosión

Si analizamos estos cuatro problemas para los desecantes sólidos y líquidos, tendremos la pauta para seleccionar el más adecuado para el proceso.

a) Al observar las características de cada desecante, se nota que los desecantes líquidos son -- sustancias que se degradan ya que reaccionan químicamente con los materiales de los recipientes que -- los contiene. Los desecantes sólidos son inertes y tienen gran resistencia mecánica.

b) El arrastre del desecante se presenta cuando un gas se hace pasar por una capa de cualquier -- desecante sólido, sin importar cual sea el desecante. El arrastre de un desecante sólido se puede evitar por medio de un filtro adecuado que no cause alteración al proceso principal. En el caso de un -- desecante líquido si existen problemas ya que son -- sustancias químicas muy corrosivas.

c) Debido a lo corrosivo de los desecantes líquidos y a la presencia del fenómeno de arrastre, -- el uso de estos desecantes generalmente da lugar a

La aparición de fugas en los equipos de proceso, lo cual puede ser de peligro para los trabajadores. Los desecantes sólidos debido a que son inertes, no dan lugar a ninguna forma de corrosión para se pueden presentar obstrucciones en purgas o válvulas pequeñas que existan en el proceso, con el polvo del desecante formado.

d) El proceso de regeneración de cualquier desecante se hace como ya se menciona, por tratamiento térmico, evaporando el líquido retenido en el desecante. El vapor formado al evaporarse la humedad, puede ocasionar el arrastre del desecante líquido, pero esto no sucede si tenemos un desecante sólido. Otro punto importante es que la regeneración de un desecante sólido se puede efectuar en el mismo recipiente donde se efectúa el proceso, en cambio para regenerar un desecante líquido es necesario realizar la operación fuera del equipo de secado, lo cual da mayor dificultad al operador por manejar sustancias corrosivas.

De acuerdo con lo señalado en los puntos anteriores, el proceso de secado más conveniente es el de adsorción con desecante sólido.

De los desecantes sólidos, se debe seleccionar el que presente mejores ventajas, comparando las diferentes propiedades físicas y químicas de la sílica gel, las de la alumina activada y las -

las de el carbón activado(ver tabla N-4), podemos decir que el desecante sólido que mejor se adapta a nuestro proceso es la sílica gel.

Para establecer el proceso que nos permita - secar 1200 toneladas de CO_2 en forma continua, de bemos de tener en cuenta todas las operaciones -- que hay que realizar durante el proceso de secado y durante la regeneracion.

En la figura N-5. se indican en forma esquematica las condiciones de operación de la secadora de CO_2 .

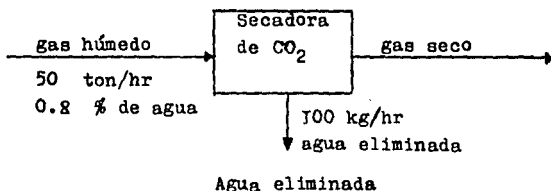


Figura N-5. Secadora de anhídrido carbónico

Las condiciones de entrada y salida para el gas que se indica en la figura son las siguientes

Condiciones de gas húmedo.

Flujo	1200	ton/día
Presión	28	atas
Temperatura	40	°C
Pureza	98	%
Inertes	1.2	%
Agua	0.8	%

Condiciones del gas seco.

Flujo	1200	ton/día
Presión	28	atas
Temperatura	40	C
Pureza	98.7	%
Inertes	1.2	%
Agua	4	ppm

Determinación del equipo de proceso

Para poder realizar el secado del CO_2 , es necesario que el gas se pase através de una capa de sílica gel depositada sobre una placa de acero inoxidable en forma de malla, colocada en el fondo de un recipiente sugeto a presión.

El recipiente debe de estar diseñado de tal manera que el desecante permanezca en reposo, por lo que debe de contarse con accesorios que permitan su operación adecuada.

Una vez que el desecante se sature, será necesario que se suspenda el secado durante el tiempo que tarde en regenerarse, por lo tanto debe de contarse con el equipo que permita realizar dicha regeneración

Como las operaciones de secado y regeneración no se pueden hacer en forma simultanea y como ademas la operación debe ser continua, entonces se requieren dos torres de secado conectadas en paralelo, de esta manera mientras una esta en servicio - la otra esta en regeneración.

El medio calefactor usado más comúnmente es el mismo gas de proceso (CO_2) calentado a una -- temperatura conveniente, usando para ello vapor re calentado a 28 atms y 350°C , disponible en la misma planta.

El calentamiento del gas de regeneración se hace en un intercambiador de calor con las características adecuadas para lograr el calentamiento de seado.

La humedad que adsorbió el desecante en el -- proceso y que es arrastrada por el gas regenerante, durante la regeneración de la sílica gel se puede

separar de éste, con solo enfriarlo a la temperatura inicial de 40 °C, dando lugar a que la humedad - condense. La separación de los condensados se puede efectuar por medio de un separador de humedad o una trampa termodinámica. El CO₂ resultante del enfriamiento del gas de regeneración se puede recircular hacia la corriente principal que se va a secar, evitando de esta manera pérdidas de gas y contaminaciones del medio ambiente .

El enfriamiento del gas de regeneración se hace por medio de un cambiador de calor, el cual pondrá en contacto la corriente caliente del gas de regeneración con agua de enfriamiento, usada como refrigerante. El diagrama de flujo del proceso de secado se indica en la figura N-6.

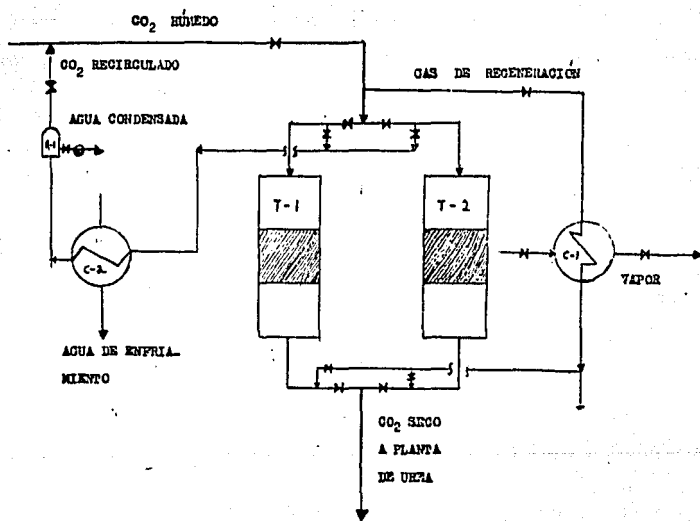


FIGURA N-6. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA SECADORA DE CO₂

Descripción del proceso de secado.

El anhídrido carbónico húmedo, proviene de petroleos mexicanos, por una tubería de 18 pulgadas de diametro de acero al carbón, y entra en la cámara de secado que este en servicio por la parte superior, -- controlándose por medio de una válvula controladora - de flujo. La selección de la cámara se puede hacer - por medio de válvulas de bloqueo.

Al pasar el gas a través del desecante, éste ad sorbe humedad y se satura poco a poco. En tanto se sa ca el gas hasta un valor en el cual la humedad residual no favorece la corrosión.

Cuando el desecante ha adsorbido toda la humedad que es capaz de admitir, se deberá de suspender lentamente hasta cortarlo, ya que de aquí en adelante el - gas que fluya no se secará.

Para efectuar el proceso de regeneración, se toma una cantidad del mismo gas de proceso, que puede - ser del 15 al 20 % de la corriente principal y se hace pasar por un cambiador de calor (C-I) en donde - se calienta a la temperatura de regeneración.

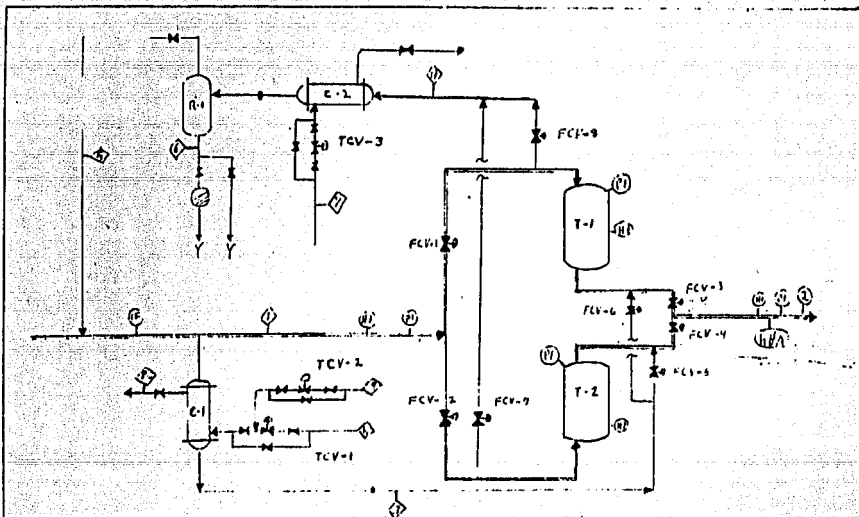
El medio de calefacción usado en el intercambiador es vapor recalentado a 350 °C y a una presión de

28 atms, sin embargo la temperatura del gas de regeneración debe de controlarse para evitar que -- por esfuerzos térmicos se deteriore el desecante. Esto quiere decir que se debe de contar con un equipo para atemperar el gas de regeneración.

El gas de regeneración caliente se hace pasar a través del desecante el tiempo que sea necesario para asegurar un buen secado. La entrada -- del gas de regeneración se efectúa por la parte inferior de la cámara de secado, utilizando para ello un sistema de válvulas de bloqueo.

El gas de regeneración sale por la parte superior de la cámara que se regenera, arrastrando la humedad en forma de vapor y por medio de válvulas se dirige a otro intercambiador de calor para enfriarlo y provocar que la humedad condense. el enfriador se identifica como C-2, el medio refrigerante usado en el enfriador es agua de enfriamiento de la que se dispone en la planta.

El gas de regeneración al salir del enfriador con una temperatura de 40 °C arrastra la humedad, - en forma de condensados que necesitan ser eliminados. Los condensados se pueden eliminar con un sistema de purga adecuado, en el cual se efectúa la separación de la humedad, tirándola al drenaje y - el gas de regeneración se recircula a la llegada - de la corriente principal.



COND. VFF	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SUBSTRATE	CO ₂ HUMID	250 SREC	250 PIG	250 120	250 120	250 120	250 120	250 120	250 120	250 120
FLU. CO	74	50	40	16	16	16	0.1	4.5-4	9.06	8.4
TEMP.	40	40	200	200	40	40	30	30	30	100
PRESSURE	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25

El proceso completo para secar el anhídrido carbónico que se utilizará en la obtención de la urea, se puede representar en una mejor forma, por medio del diagrama de tubería e instrumentos, el cual se puede observar en la figura N°-7.

El gas de regeneración se calienta por medio del intercambiador de calor C-1, regulando su admisión por medio de la válvula "J". El gas caliente se dirige a la torre de secado, entrando por la parte inferior y saliendo por la parte superior. - El gas regenerante al atravesar la capa de desecante, remueve la humedad que previamente el desecante habia adsorbido. El gas regenerante que sale de la torre se envia al intercambiador de calor C-2 - para enfriarlo a una temperatura de 40 °C, originando que la humedad condense.

El gas y la humedad provenientes del enfriador se dirigen al separador de humedad R-1 que se encarga de separar los condensados del gas y de eliminarlos por medio de una válvula de purga. El gas separado de la humedad se recircula a la corriente principal de entrada.

Al efectuar la regeneración del desecante por medio del gas de regeneración, es necesario tener cuidado de calentar poco a poco el desecante, de la misma manera cuando se va a iniciar la operación de una cámara es necesario enfriar poco a poco el desecante, la finalidad de estos cuidados es la de evitar someter a cambios bruscos de temperatura al desecante, que lo dañarían seriamente.

La operación de la secadora puede ser manual o automática según sea elegido. La operación se indica a continuación.

Operación de la secadora.

En realidad la operación de la secadora, es un proceso muy sencillo y consiste en primer lugar en meter en servicio una de las torres de sacado, por ejemplo la torre # 1 durante el tiempo que sea necesario para que se sature el desecante. En segundo lugar y al mismo tiempo que la torre # 1 opera, se procede a regenerar la torre # 2.

Tanto en los procesos de secado como de regeneración es necesario controlar continuamente los flujos de vapor y de agua de enfriamiento, gas de regeneración, flujo principal y el flujo de eliminación de condensados.

La alimentación del gas de proceso se hace a la secadora con la válvula controladora de flujo (#1, #2, #3, #4,). Mientras que el proceso de regeneración se efectúa alimentando el medio calefactor con las válvulas controladoras de flujo, #5, #6, #7 y #8.

Los servicios generales como son el agua de enfriamiento y el vapor se suministran a través de las válvulas controladoras de temperatura, #1, #2, #3.

El programa de operación, independientemente de que sea manual o automático, es el mismo y se puede dividir en un proceso de ocho pasos.

- 1.- Secado en cámara T-1 y muestreo de humedad en la misma, tiempo de duración de 2-4 minutos.
- 2.- Secado en cámara T-1 y preparación de cambio de cámara, tiempo de duración de 6 minutos.
- 3.- Secado en cámara T-2 y regeneración de cámara T-1, tiempo de duración 200 minutos.
- 4.- Secado en cámara T-2 y ~~enfriamiento~~ enfriamiento en cámara T-1, tiempo de duración 30 minutos.
- 5.- Secado en cámara T-2 y muestreo de la misma cámara, tiempo de duración de 2-4 minutos.
- 6.- Secado en cámara T-2 y preparación para cambio de cámara, tiempo de duración de 6 minutos.
- 7.- Secado en cámara T-1 y regeneración en cámara T-2, tiempo de duración 200 minutos.
- 8.- Secado en cámara T-1 y enfriamiento en cámara T-2, tiempo de duración 30 minutos.

En este programa se tienen 4 horas de servicio y 4 horas de regeneración, lo cual esta de acuerdo con la jornada diaria de trabajo.

CAPITULO CUARTO

DIMENSIONAMIENTO DE LOS

EQUIPOS DE PROCESO

Dimensionamiento de los equipos de proceso

Este capítulo se enfocara, al cálculo de los equipos de proceso y sus dimensiones, los equipos mencionados se muestran en el diagrama de tubería e instrumentos, de la secadora de CO_2 .

A continuación se da una lista de los principales equipos de proceso involucrados.

- 1.- Torre de secado
- 2.- Calentador de gas
- 3.- Enfriador de gas
- 4.- Separador de humedad
- 5.- Accesorios
- 6.- Instrumentos

La estimación de los equipos mencionados anteriormente, se efectúa en el orden mostrado.

I.- Torre de secado.

Como se observa en el diagrama de flujo, para que el proceso sea continuo, se requieren dos torres de las mismas características, conectadas en paralelo.

El cálculo de una torre de secado, involucra - cálculos como los de: Altura del desecante, altura de la torre, diámetro de la torre y el espesor de la torre.

El método de cálculo que se utilizará en este capítulo, se eligió por ser el más práctico además de dar resultados satisfactorios. El método -- es propuesto por Hougen y Marshall.

Secuencia de cálculo para la torre de secado.

- 1.- Estimación del tiempo de operación.
- 2.- Determinación de la cantidad de desecante.
- 3.- Cálculo de la altura de la torre.
- 4.- Cálculo del diámetro de la torre.
- 5.- Determinación del espesor de la torre
- 6.- Determinación de la caída de presión en la torre de secado.

I.- Tiempo de operación.

La estimación del tiempo de secado, es un factor primordial para diseñar la torre de secado, ya que dependiendo del tiempo de operación y de la cantidad de humedad que traiga el gas, así será la cantidad de desecante que se utilice. Por otro lado sabemos que en un proceso de secado, la humedad es un valor conocido y solo podemos variar el tiempo de secado para determinar de esta manera la cantidad -

de desecante que pueda hacer el trabajo en forma -
optima.

Un desecante, debido a su estructura química, tiene una determinada capacidad de adsorción por lo cual, al conocer el tiempo de operación, se puede calcular la cantidad de desecante requerido. -- Por otra parte, se sabe que la operación continua de una planta, exige que el día se divida en jornadas de 8 horas, y debido a que el ciclo de operación de una secadora esta compuesto de dos pasos - (operación y regeneración) es necesario que esta secuencia se realice en el mismo turno y considerando que el tiempo de las dos etapas del ciclo de secado es el mismo, por tal motivo el tiempo de todo el proceso es de 8 horas.

2.- Determinación de la cantidad de desecante.

Cálculo de agua adsorbida en 4 horas.

$$\begin{aligned}
 \text{Masa de agua} &= \text{Masa de gas } (H_o - H_f) \\
 &= 50000 (0.002 - 0.00001) \\
 &= 100 \text{ Kg/hr } (4 \text{ hr }) \\
 &= 400 \text{ kg.}
 \end{aligned}$$

$$\text{Masa de agua} = 400 \text{ kg.}$$

Cálculo de desecante por torre.

Masa de agua adsorbida = Ma

Masa de sílica = Ms

Capacidad de adsorción = Ca

Balance de agua.

$$M_{\text{agua}} = Ca \cdot Ms$$

$$Ma = H_s - H_r (Ms)$$

$$Ma = (25 - 5) \% (Ms)$$

$$Ma = 20 \% Ms$$

$$Ms = \frac{Ma}{20 \%}$$

$$Ms = 5 (400) \text{ kg}$$

$$\underline{Ms = 2000 \text{ kgs}}$$

$$Ms_{\text{real}} = 1.2 \text{ Ms}_{\text{teórica}}$$

$$= 1.2 (2000)$$

$$\underline{Ms_{\text{real}} = 2400 \text{ kgs}}$$

Conociendo la masa y la densidad de la sílica gel, se puede calcular el volumen que ocupa en la torre de secado.

$$\text{Volumen} = \frac{\text{masa}}{\text{DENSIDAD}} = \frac{2400 \text{ kg}}{640 \text{ kg/m}^3}$$

$$\underline{\text{Volumen} = 3.75 \text{ m}^3}$$

Cálculo de la altura de la torre.

Para calcular la altura de la torre, se utiliza el concepto de altura de unidad de transferencia, así como los conceptos de módulo de tiempo y de módulo de espesor. Por medio de la gráfica N-4. se pueden estimar dichos conceptos. La secuencia de cálculo se indica en seguida.

Determinación de la fracción de humedad de saturación.

$$w/w_o = \text{Fracción de humedad de saturación}$$

$$w/w_o = \frac{\text{Humedad final del desecante}}{\text{Humedad inicial del desecante}}$$

$$w/w_o = \frac{5\%}{25\%} = 0.2$$

$$\underline{w/w_o = 0.2}$$

Determinación de la altura de transferencia.

$$hd = \frac{0.55}{Av} \left(\frac{Dp G}{MG} \right)^{.5T} \left(\frac{MG}{g Dv} \right) \dots (2T)$$

$$hd = \frac{0.55}{3.17 \times 10^6} \left(\frac{3.1 \times 10^{-3} \times 294118}{56.4 \times 10^{-3}} \right)^{0.5} \left(\frac{56.4 \times 10^{-3}}{1.86 \times 4.9 \times 10^{-6}} \right)$$

$$hd = 1.73 \times 10^{-7} (16166)^{0.5} (6.2 \times 10^3)$$

$$hd = 1.5 \times 10^{-2}$$

Cálculo de los módulos de tiempo y de espesor.

$$a = \frac{I}{hd} = \frac{I}{1.5 \times 10^{-2}} = \underline{66.6}$$

$$c = 1.122 P_s = 1.122 (7.13) = \underline{8.0}$$

$$b = \frac{G G}{Av hd} = \frac{294118 (8.0)}{3.17 \times 10^6 (1.5 \times 10^{-2})} = 50$$

$$\underline{b = 50}$$

Conociendo la constante "b" y el tiempo de o peración, se determina el módulo de tiempo. El mo dulo de espesor se calcula gráficamente por medio de la figura N°-4., utilizando los datos de frac- ción de humedad de saturación y de módulo de --- tiempo.

$$\begin{aligned} \text{Modulo de tiempo} &= b \text{ (tiempo de op.)} \\ &= 50 \text{ (4)} \end{aligned}$$

$$\text{Modulo de tiempo} = 200$$

Con los datos de la fraccion de humeda y módulo de tiempo obtenidos, tenemos que el módulo de espesor es.

$$\text{Modulo de espesor} = 220 \text{ aproximadamente}$$

$$\text{Modulo de espesor} = a \quad Z = 220$$

$$Z = \frac{220}{a} = \frac{220}{66.6} = 3.3 \text{ mts.}$$

$$\underline{Z = 3.3 \text{ mts.}}$$

El valor obtenido anteriormente es la altura del desecante y logicamente la altura de la torre es mayor. Se recomienda la siguiente ecuación para el cálculo de la altura de la torre.

$$Zt = Z (1.3)$$

$$Zt = 1.3 (3.3)$$

$$\underline{Zt = 4.29 \text{ mts.}}$$

La torre de secado es un recipiente cilíndrico con tapas toriesféricas, sometido a presión, -- por lo que los cálculos, del diametro, el espesor y la caída de presión de la torre son como sigue:

$$D = \left(\frac{4 V}{Z} \right)^{0.5} = \left(\frac{4 \times 3.75}{3.14 \times 4.29} \right)^{0.5}$$

$$D = 1.05 \text{ mts.}$$

$$e = \frac{0.885 P D}{SE - 0.1 P} = \frac{0.885 \times 34 \times 1.05}{0.85 \times 4932 - 0.1 \times 34}$$

$$e = 8.0 \text{ mm.}$$

La caída de presión causada por el desecante (sílica gel) se determina por medio de la ecuación N-22. , en la que las constantes son determinadas experimentalmente.

$$\Delta P = rV + k V^2 = 1.45 \times 10^{-5} V + 1.1 \times 10^{-10} V^2$$

$$\Delta P = 1.0 \text{ kg/ cm}^2$$

Cálculo de cambiadores de calor.

Los equipos utilizados para calentar y enfriar el gas son intercambiadores de calor de tubos y carcaza y las ecuaciones que rigen el intercambio de calor en ellos son.

$$Q = U A Y (\Delta T)_{ml} \dots\dots\dots (23)$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{D_1}{D_2} \frac{1}{h_2} + \frac{D_1}{D_m} \frac{1}{K}} \dots\dots\dots (24)$$

$$(\Delta T)_{ml} = \frac{(\Delta T)_2 - (\Delta T)_1}{\ln \frac{(\Delta T)_2}{(\Delta T)_1}} \dots\dots\dots (25)$$

Para utilizar las ecuaciones se necesita conocer los coeficientes individuales de transferencia de calor, calculándose independientemente para cada sustancia. Para el CO_2 circulando por el interior de un tubo con flujo turbulento, se recomienda la ecuación de Dittus Boelter. Para el agua circulando por el exterior de los tubos se utiliza la ecuación de Mc. Adams. Para el vapor circulando por el exterior de la tubería se utiliza la ecuación de Ulsesmer.

$$h_{CO_2} = \frac{0.023 K (D V P)^{.8}}{D M} \left(\frac{C_p M}{K} \right)^{.4} \dots\dots (26)$$

$$h_{H_2O} = \frac{K}{D} \left(\frac{C_p M}{K} \right)^{.33} f (re) \dots\dots\dots (27)$$

$$h_{vapor} = \frac{0.6K}{D} (Re)^{.5} \left(\frac{D M}{K} \right)^{.33} \dots\dots\dots(28)$$

Con las ecuaciones anteriores se procede a calcular las dimensiones de los intercambiadores de calor utilizados en el proceso.

2.- Cálculo del calentador de gas.

La función de este intercambiador, es la de calentar 10000 Kg/hr de CO_2 , utilizando vapor recalentado de 28 atm y $350^\circ C$, atemperándolo posteriormente a $230^\circ C$. El CO_2 caliente se usa como gas de regeneración. La secuencia de cálculo del área de transferencia se indica a continuación.

Calor transferido en el calentador.

Calor ganado por el CO_2 = Calor perdido por el vapor

$$Q_{CO_2} = Q_{vapor}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{tCO_2} &= Q_{CO_2} + Q_{\text{agua}} \\
 &= (M C_p \Delta T)_{CO_2} + (M C_p \Delta T)_{H_2O} \\
 &= 10000 \times 24(200 - 40) + 20 \times 1 \times 160 \\
 &= 384000 + 3200 \\
 Q_t CO_2 &= 387,200 \text{ kcal/hr}
 \end{aligned}$$

Cálculo del calor de regeneración.

Para estimar la cantidad de calor intercambiada en el calentador es necesario conocer las condiciones de entrada y salida del equipo, como se muestra en la figura N-8. El cálculo del vapor se hace por medio de un balance de energía.

$$Q_{\text{vapor}} = (M C_p \Delta T)_{\text{vapor}}$$

$$M_{\text{vapor}} = \frac{Q_{\text{vapor}}}{C_p \Delta T} = \frac{387,200 \text{ kcal/hr}}{0.46 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} (90)^\circ\text{C}}$$

$$\underline{M_{\text{vapor}} = 9353 \text{ Kgs}}$$

Cálculo del coeficiente de transferencia.

$$h_{CO_2} = \frac{0.023 \times 0.02}{22 \times 10^{-3}} (Re)^{0.8} (0.24 \times 56.4 \times 10^{-3})^{0.4}$$

$$h_{CO_2} = 0.021 \times 0.68^{.4} \times (Re)^{.8}$$

$$\underline{h_{CO_2} = 1080 \text{ Kcal/hr m}^2 \text{ }^\circ\text{C}}$$

$$h_{\text{vapor}} = \frac{0.6 \times 0.57}{7.16 \times 10^{-3}} (Re)^{.5} \left(\frac{7.16 \times 10^{-3} \times 0.65}{0.57} \right)^{.31}$$

$$\begin{aligned} h_{\text{vapor}} &= 47.76 (Re)^{.5} (0.00816)^{.31} \\ &= 10.75 (5859.74)^{.5} \\ &= 10.75 \times 76.55 \end{aligned}$$

$$\underline{h_{\text{vapor}} = 822 \text{ Kcal/hr m}^2 \text{ }^\circ\text{C}}$$

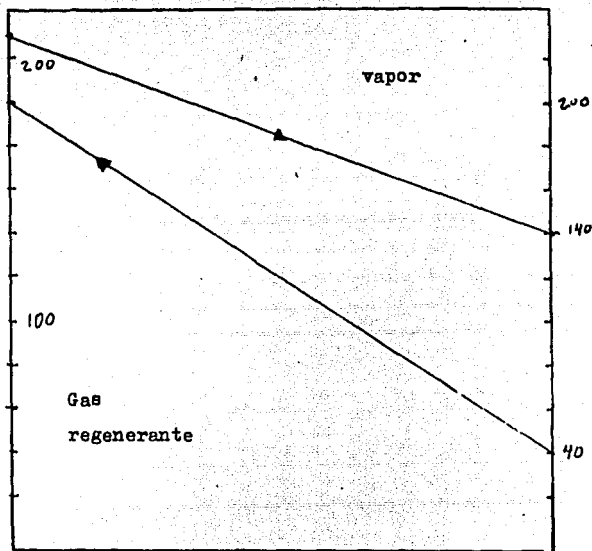
$$U = \frac{1}{\frac{1}{822} + \frac{0.72}{1080} + \frac{0.84 \times 0.00277}{14}} =$$

$$U = \frac{1}{0.001216 + 0.000667 + 0.000166}$$

$$\underline{U = 488 \text{ Kcal/hr m}^2 \text{ }^\circ\text{C}}$$

Cálculo de la $(\Delta T)_{ml}$ para el calentador.

$$(\Delta T)_{ml} = \frac{(T)_2 - (T)_1}{\ln \frac{(T)_2}{(T)_1}} = \frac{230 - 200 - 140 - 40}{\ln \frac{30}{100}}$$



$$(T)_{ml} = 58.14^{\circ}C$$

Figura N-9. Cálculo de la $(\Delta T)_{ml}$ para el calentador de CO_2 .

Cálculo del área de transferencia del calentador.

Finalmente el calentador queda estimado, al de terminar el área de transferencia como se puede observar.

$$\text{Area} = \frac{Q}{U Y (T)ml}$$

Para este caso $Y = I$

$$\text{Area} = \frac{397200 \text{ kcal/hr}}{488 \text{ kcal/hr m}^2\text{ }^\circ\text{C (58.14)}}$$

$$\underline{\text{Area} = 13.65 \text{ m}^2}$$

3.- Cálculo del enfriador de gas.

La función de este equipo es enfriar el gas resultante de la regeneración, logrando con ello que la humedad extraída de la sílice, condense eliminándose del gas. El medio refrigerante es agua de enfriamiento.

Las condiciones de operación del enfriador de gas se indican en la figura N-10. La secuencia de cálculo es similar a la usada para el calentador.

Cálculo del calor intercambiado en el enfriador.

$$Q_{H_2O \text{ Enf}} = Q_{\text{Gas Regenerante}}$$

$$Q_{\text{Gas Reg}} = Q_{CO_2} + Q_{\text{vapor}} + Q_{\text{humedad}}$$

$$= (M C_p \Delta T)_{CO_2} + (M C_p \Delta T)_{\text{vap}} + M \lambda_{H_2O} \\ + (M C_p \Delta T)_{H_2O}$$

$$= 10000 \times 0.24 (200 - 40) + (100 \times 0.46) 100$$

$$+ 100 \times 540 + 100 \times 1 \times (100 - 40)$$

$$= 2400 \times 160 + 4600 + 54000 + 6000$$

$$\underline{Q_{\text{Gas Reg}} = 448,600 \text{ Kcal/hr.}}$$

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

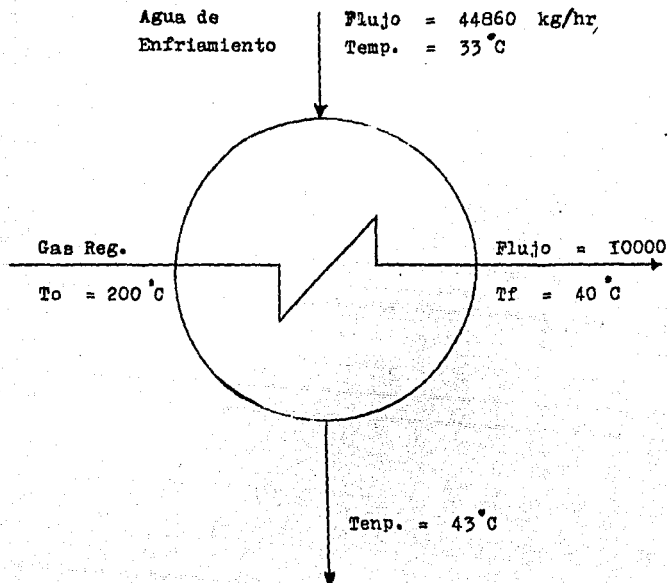


Figura N-10. Características del enfriador de CO_2

Cálculo del agua de enfriamiento.

Del balance de calor en el enfriador, se puede calcular la cantidad de agua de enfriamiento como - se observa a continuación.

$$Q \text{ H}_2\text{O Enf.} = Q \text{ Gas reg.}$$

$$Q \text{ H}_2\text{O Enf.} = M \text{ Cp } \Delta T$$

$$M \text{ H}_2\text{O Enf.} = \frac{Q \text{ H}_2\text{O Enf.}}{\text{Cp } \Delta T}$$

$$= \frac{448,600 \text{ kcal/hr}}{1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} (43-33)^\circ\text{C}}$$

$$\underline{M \text{ H}_2\text{O Enf.} = 44860 \text{ Kgs}}$$

Cálculo de los coeficientes de calor.

La secuencia de cálculo es similar que para - el calentador, es decir se calculan los coeficientes individuales primero y luego el coeficiente total - de calor.

$$h \text{ CO}_2 = 1080 \text{ Kcal/ hr m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$h_{H_2O} = K/D (Pr)^{.33} f(Re)$$

$$Re = \frac{D V \rho}{\mu} = \frac{991 \times 460 \times 0.254}{2.3} = 50720$$

$$f(Re) = 5.79$$

$$Pr = 4.36$$

$$h_{H_2O} = \frac{0.54}{0.254} (4.36)^{.33} (5.79)$$

$$\underline{h_{H_2O} = 20.0}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{1080} + \frac{0.068}{20} + 0.000166}$$

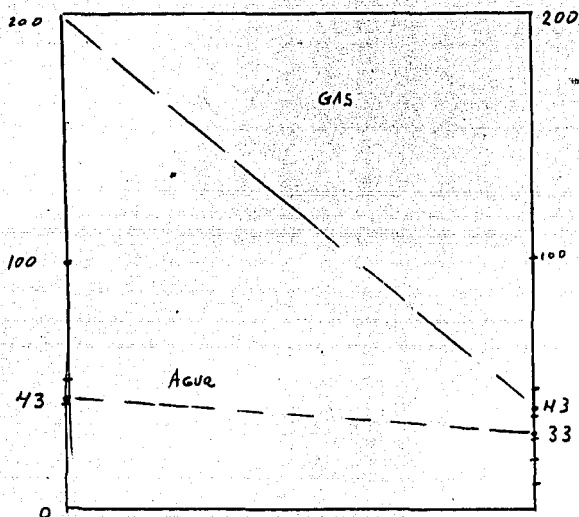
$$U = \frac{1}{0.000926 + 0.008400 + 0.000166}$$

$$U = \frac{1}{0.0045}$$

$$\underline{U = 222.0 \text{ kcal/hr m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

Cálculo del $(\Delta T)_{ml}$ para el calentador.

$$(\Delta T)_{ml} = \frac{(\Delta T)_2 - (\Delta T)_1}{\ln \frac{(\Delta T)_2}{(\Delta T)_1}} = \frac{200 - 43}{\ln \frac{200}{43}} = \frac{157}{1.02}$$



$$(\Delta T)_{ml} = \frac{157 - 10}{\ln 157/10} = \frac{147}{2.75} = 53.4$$

$$(\Delta T)_{ml} = 53.4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Figura N- II. Cálculo de la $(\Delta T)_{ml}$ para el enfriador.

Cálculo del área de transferencia del enfriador.

Para determinar el área de transferencia es necesario utilizar los datos obtenidos anteriormente, sustituyendolos en la ecuación siguiente.

$$\text{Area} = \frac{Q}{U Y (T)_{ml}}$$

$$\text{Area} = \frac{448,600 \text{ kcal/hr}}{222 \text{ kcal/hr m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} (53.4) \text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$\text{Area} = \frac{448600}{11854.8}$$

$$\underline{\text{Area} = 37.7 \text{ m}^2}$$

Cálculo del separador de humedad.

El separador de humedad es un recipiente sometido a presión, formado por un tanque cilíndrico, - una placa retenedora de humedad y un sistema de purga de condensados. Las dimensiones del separador se calcularán para que maneje 100 Kg/hr de agua.

Los separadores de humedad mas comunes operan de la forma siguiente: al inicio del proceso la humedad que condensa no se purga de inmediato, si no que primeramente se forma un nivel de condensado -- que varia en un rango establecido previamente y su control es manual o automatico, cuenta tambien con alarmas de alto y bajo nivel. Los condensados drenados, son aquellos que sobrepasan el nivel establecido de antemano.

Estimacion de las dimensiones del separador

Volumen de agua = 50 % del Volumen del recipiente

V. agua = 0.5 V

V Recipiente = 2 V = 2 (100 lts)

V Recipiente = 200 lts.

$$V \text{ recipiente} = 200 \text{ lts.}$$

$$L = 2d = 2D$$

$$V = \frac{\pi L D^2}{4}$$

$$V = \frac{\pi (2D) D^2}{4}$$

$$V = \frac{\pi D^3}{2}$$

$$D = (2V/\pi)^{.33}$$

$$D = \left(\frac{2 \times 200 \text{ lts} \times \pi \text{ m}^3}{3.1416 \times 1000 \text{ lts.}} \right)^{.33}$$

$$\underline{D = 0.5 \text{ mts}}$$

5.- Para los fines de un anteproyecto no es necesario estimar en forma exacta los accesorios e instrumentos, prefiriendo utilizar factores que se recomiendan en base a la experiencia, como un porcentaje de la inversión del equipo fijo.

CAPITULO QUINTO
ESTUDIO ECONOMICO
DEL PROYECTO

5.- Estudio económico del proyecto.

5.1.- Antecedentes económicos.

Este capítulo tiene como finalidad realizar un estudio que nos permita determinar si el proyecto de instalar un equipo de secado en la planta de urea es rentable.

Para lograr el propósito mencionado, dividiremos el presente capítulo en varias secciones ya que la inversión depende desde luego de las dimensiones y características de los equipos de proceso

En un estudio económico es importante tomar en cuenta algunos factores, como son la devaluación y la inflación, ya que en conjunto contribuyen al costo de la inversión. Las partes que se verán en este capítulo son las siguientes.

Características y evaluación de un anteproyecto

Estimación de la utilidad esperada.

Estimación de la inversión

Estudio de rentabilidad

Curva de equilibrio

5.2.- Características y evaluación de un anteproyecto

Se entiende por anteproyecto, un programa de estudio que tiene como finalidad ver la posibilidad o conveniencia de realizar una inversión. Entendiéndose que si no se logra un beneficio fundamentalmente económico la inversión no se realizará.

En nuestro proyecto la inversión que se pretende realizar consiste en hacer una mejora a un proceso ya existente, pero buscando un aumento en la productividad del mismo.

El estudio de un anteproyecto se divide generalmente en tres etapas, las cuales nos permiten decir si es factible o no realizar la inversión.

Etapa exploratoria

Etapa preliminar

Etapa definitiva

Etapa exploratoria.

En esta etapa se tiene como objetivo, analizar - si al efectuarse la inversión, se logra una ventaja en el proceso que haga que aumente la productividad, en -

los casos afirmativos se pasa a la siguiente etapa, pero si es negativo, entonces se suspende el proyecto.

Etapa preliminar.

En este punto del proyecto se procede a realizar una estimación del monto de la inversión, utilizando datos teóricos o estadísticos. Teniendo un dato aproximado de la inversión y comparándolo con la utilidad esperada se decide si se hace o no la inversión, pasando a la etapa definitiva.

Etapa definitiva.

Es la etapa final del proyecto, por esta razón se considera que la inversión se realizará. La estimación de la inversión en esta etapa debe ser lo mas exacto posible, por lo cual es necesario utilizar datos técnicos y de ser posible recurrir a cotizaciones de proveedores para tener valores confiables y reales, además de actualizados.

Para fines de este estudio se considerará que la inversión se realizará, por tal motivo se usarán datos técnicos para dimensionar los equipos de proceso y así poder estimar el costo del proyecto para

instalar la secadora de CO_2 en la planta de urea, sin embargo debera de tenerse presente que realizar una estimación de costos es difícil en estos tiempos en que la inflación y la devaluación son exhaustivas. Para tener una estimación mas aproximada, es necesario recurrir a cada uno de los fabricantes de los equipos de proceso o a sus proveedores.

Una vez cumplidas las etapas de la evaluación del proyecto, se hace necesario revisar las técnicas de evaluación de proyectos como son:

Rendimiento sobre la inversión (ROI)

Tiempo de recuperación de la inversión (P^T)

Flujo de efectivo descontado (CF)

Cualquiera de estas técnicas, se puede aplicar para el análisis económico del proyecto. En nuestro caso se escoge la primera, ya que se desea conocer el factor de utilidad mas que el tiempo de recuperación.

5.3.- Estimación de la utilidad esperada.

Para realizar el cálculo de la utilidad que se espera alcanzar con la instalación de la secadora.- Para este estudio se comparan los análisis de la producción del año anterior y la que se espera obtener al funcionar el equipo de secado.

Como ya se mencionó, la planta de urea se diseñó para producir 1500 Ton/día de fertilizante, operando en forma continua durante 300 días al año, dejando los días restantes para su mantenimiento.

Sin embargo como consecuencia de la corrosión causada por la humedad del CO_2 , el tiempo de paro para mantenimiento no fue de 65 días, si no que se elevó a 128 días en el año anterior. Por este motivo se comprende que la producción se puede aumentar, al operar la planta por 63 días más.

Si al instalar la secadora se lograra, aumentar la producción cuando menos un 80 % de los 63 días disponibles, se lograría una buena utilidad - que haría rentable el proyecto. El estudio económico se hará en base a estos conceptos.

Días de paro causados por corrosión	=	63 días
Días adicionales de operación	=	.8 x 63
	=	50.4 días

Aumento de producción	=	1500 ton/día x 50.4 días
	=	75,600 ton.

<u>Producción adicional</u>	=	<u>75,600 ton.</u>
-----------------------------	---	--------------------

Ventas esperadas adicionales = 75600 ton x 94000
 = 7706.4 millones

Costo de producción de la urea = 34200 \$/ton

Costo total de = 34200 \$/ton X 75600 ton
 Prod. adicional
 = 2585.6 millones

Utilidad esperada = 7706.4 - 2585.6 millones
 adicional

Utilidad esperada = 4520.8 millones
 adicional

5.4.- Al realizar la estimación de la inversión total que se requiere para instalar el proyecto - del equipo de secado, se deben tomar en cuenta to das las inversiones que se realizan, pero recor-- dando que la planta ya esta en operación, razón -- por la cual existen algunos elementos de costo -- que no contribuyen al monto total de la inversión

Los elementos de costo que intervienen en el estudio económico se agrupan en: inversión fija y en capital de trabajo.

a).- Inversión fija.

Equipo basico

Instrumentos

Accesorios

Ingenieria

Construcción

Imprevistos

b).- Costos de producción.

Materia prima

Vapor

Agua de enfriamiento

Electricidad

Supervisión

Mano de obra

Mantenimiento

Depreciación

Se considera que los costos por supervisión y mano de obra no contribuyen al aumento de la inversión, ya que no se aumentará el personal del departamento, siendo los mismos que ya están. El monto de la inversión se estimará, determinando los demás elementos como un porcentaje del equipo básico, una vez que se conozca su costo.

a).- Estimación de la inversión fija.

El equipo básico está formado por: dos torres de secado, un calentador de gas, un enfriador de gas, un separador de humedad y el material desecante utilizado.

La estimación del equipo básico se hace de acuerdo con el método recomendado por la Chemical - Engineering cost estimation. Este método consiste en leer el costo de cada equipo de acuerdo a su capacidad, en una gráfica de costo de equipo contra capacidad de los mismos.

A continuación se indican los costos de cada uno de los equipos básicos, obtenidos de las figuras a y b.

Torre de secado:

Tanque cilíndrico
Tapas toriesféricas
Acero inoxidable 316
Volumen = 5600 lts.
Altura = 4.3 mts
Diámetro = 1.11 mts
Espesor = 8.0 mm
Presión = 28 atm
Costo = 25.2 millones M.N. (Gráf., a)

Separador de humedad:

Tanque cilíndrico
Tapas toriesféricas
Acero inoxidable 316
Volumen = 200 lts
Altura = 1.0 mts
Diámetro = 0.5 mts
Espesor = 8.0 mm
Presión = 28 atm
Costo = 5.32 millones M. N. (Gráf., a)

Intercambiador de calor (Calentador)

Tipo de cambiador	2-I
Tubos de acero inoxidable	316
Cabezal de acero inoxidable	316
Cuerpo de acero al carbón	
Area de transferencia	= 13.65 m ²
Presión de operación	= 28 atm
Costo	= 3.64 millones M.N.

Intercambiador de calor (Enfriador)

Tipo de cambiador	2-I
Tubos de acero inoxidable	316
Cabezal de acero inoxidable	316
Cuerpo de acero al carbón	
Area de transferencia	= 38.29 m ²
Presión de operación	= 28 atm
Costo	= 6.12 millones M.N.

Desecante sílica gel.

Costo unitario	=	760	\$/kg
Masa de sílica	=	4800	kg
Costo	=	3.64	mliones M.N.

Costo, del equipo básico (EB).

$$EB = 2 \times 25.2 + 5.32 + 3.64 + 6.12 + 3.64$$

$$EB = 69.12 \text{ millones M.N.}$$

Estimación de la inversión fija.

Tomando como base el costo del equipo básico y utilizando los porcentajes recomendados en la chemical Engineering cost estimation, tenemos que la inversión fija es:

Costo del equipo básico	=	69.12 X 10 ⁶ \$
Instrumentos = 0.1 EB	=	6.912 X "
Accesorios = 0.15 EB	=	10.368 "
Construcción = 0.15 EB	=	10.368 "
Ingeniería = 0.15 EB	=	10.368 "
Instalación = 0.1 EB	=	6.912 "
Imprevistos = 0.1 EB	=	6.912 "
Depreciación = 0.1 EB	=	6.912 "

120,966 X 10⁶

Costo de la inversión fija (IF).

$$IF = 120,966 \text{ millones M.N.}$$

Estimación de los costos de operación.

Para estimar estos costos se debe de tener en cuenta que la planta solo aumentara su operación en 63 días más, por lo que el análisis se hará primero en base a una tonelada de urea y luego se calculará para el incremento de producción logrado con la instalación de la secado. los factores que intervienen en la estimación son:

Costo CO ₂	= 0.73 ton (8500 \$/ton)	= 6205 \$
Costo NH ₃	= 0.67 ton (16620 \$/ton)	= 11135 \$
Costo Elect.	= 380 kw-hr(36.5 \$/kw-hr)	= 13870 \$
Costo Vapor	= 0.42ton (3380 \$/ton)	= 1420 \$
Costo H ₂ O E.	= 0.25 ton (1000 \$/ton)	= 250 \$
Mantenimiento	= 2.0 % EB/producción	= 120 \$
Depreciación	= 20 % EB/producción	= 1200 \$
		<hr/>
		= 34200 \$

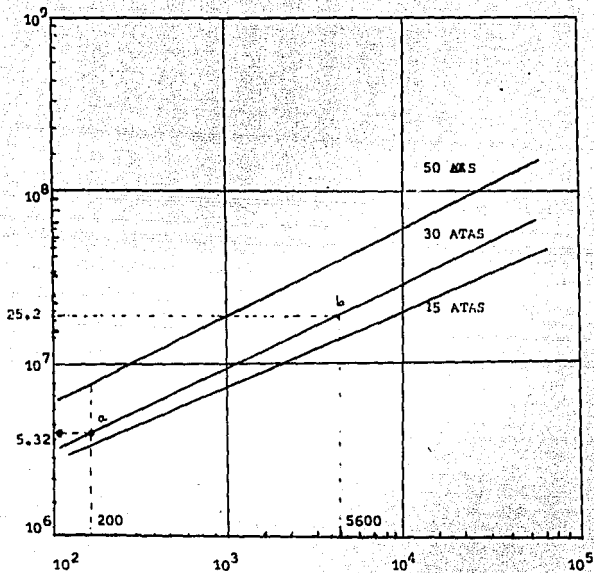
Costo unitario de producción = 34200 \$/ton

Costo de operación adicional = 75600 ton (34200 \$/t)

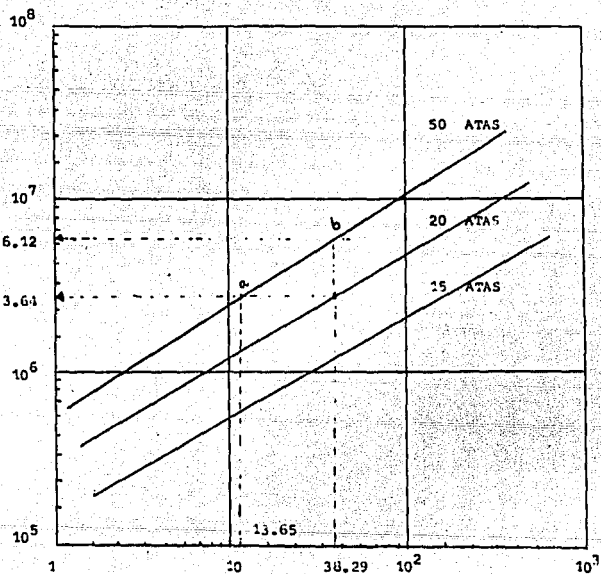
Costo de operación adicional = 2585.52 millones

Estimación de la inversión total.

Inv. total	= Inv. fija + Costo de operación
	= 120966 + 2585.52
<u>Inv. total</u>	= 2706.486 millones



GRÁFICA A.- TOMADA DE CHEMICAL E, C; EST. EN LA GRAP. ESTÁN
 LOS COSTOS DE TANQUES SOMETIDOS A PRESIÓN, GRAFICANDO VO-
 LUMEN EN LITROS CONTRA COSTO EN PESOS. DE ACERO INOXIDABLE



GRÁFICA B.- ESTIMACIÓN DE COSTO DE ACUERDO AL AREA DE TRANSFERENCIA PARA CAMBIADORES DE CALOR QUE TENGAN TUBOS DE ACERO INOXIDABLE Y CABELAL DE INOXIDABLE.

5.5.- Estudio de rentabilidad.

Para hacer este estudio, es necesario comparar la inversión total con respecto a la utilidad que se lograría si se efectúa el proyecto. la técnica que se a seleccionado es la del rendimiento de la inversión (ROI).

Inv. total = 2706.486 millones

Venta total = 7106.400 "

Utilida esp. = 4520.800 "

$$\text{ROI} = \frac{\text{Utilidad}}{\text{Ventas}} \times \frac{\text{Ventas}}{\text{Inv. total}}$$

$$\text{ROI} = \frac{4520.8 \times 7106.4}{7106.4 \times 2706.486} = 1.67$$

$$\underline{\text{ROI} = 1.67}$$

5.6.- Gráfica del punto de equilibrio.

La utilidad o ingresos, el costo de la inversión fija y el costo total de producción se pueden calcular por medio de las ecuaciones siguientes.

Ingreso = Volumen Producido (costo unitario)

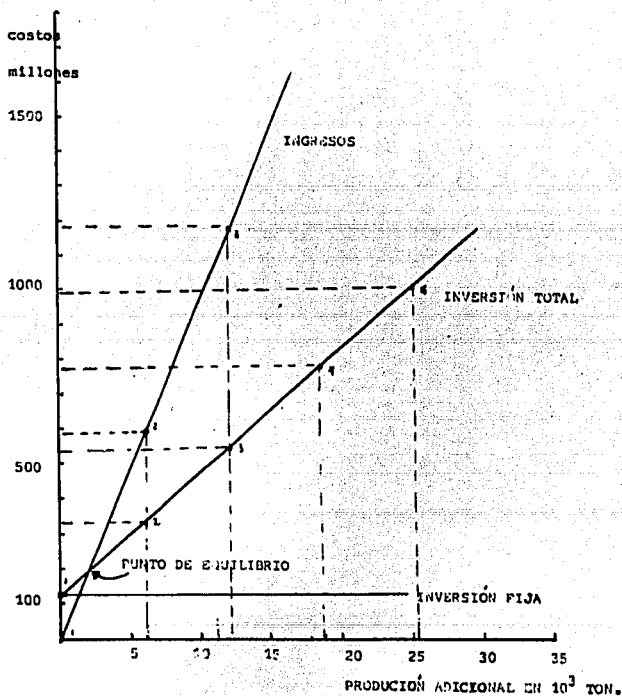
$$C_1 = 94000 V_p \dots\dots\dots (29)$$

Inv. total = Inv. fija + V_p (Costo de prod.)

$$C_2 = 121 \times 10^6 + 34200 V_p \dots (30)$$

En una gráfica de costos contra producción adicional mensual lograda con el proceso, las ecuaciones anteriores nos representan dos líneas rectas, que se intersectan en un punto conocido como punto de equilibrio.

La importancia de este punto, radica en que en él, el ingreso es igual al costo total, por lo que en este momento no hay utilidad, pero en puntos superiores ya existe un alto rendimiento económico



GRÁFICA.- C. PUNTO DE EQUILIBRIO PARA EL PROCESO DE SECADO DE CO_2 EN LA PLANTA DE UREA.

CAPITULO SEXTO**CONCLUSIONES**

Conclusiones:

Como ya se mencionó, el objetivo fundamental - del presente trabajo es el de buscar el mejoramiento del proceso de elaboración de la urea, en lo que se refiere a los siguientes puntos en orden de importancia.

- 1.- Aumento de la productividad
- 2.- Disminución de gastos de mantenimiento
- 3.- Mayor protección a equipos de proceso
- 4.- Mayor protección al personal de operación
- 5.- Disminución de la contaminación ambiental
- 6.- Recuperación de la inversión a corto plazo

I.- Aumento de la productividad.

Del estudio efectuado, se observa que al instalar la secadora se logra aumentar la producción, disminuyendo los paros por fugas causadas por corrosión como también se logra bajar los gastos de mantenimiento y por consecuencia se bajan los costos de producción. Como la productividad se define como la relación entre la utilidad y el costo de producción, - se comprende que el resultado obtenido es positivo - para la productividad.

2.- Disminución de los gastos de mantenimiento.

La instalación de la secadora tiene como finalidad disminuir la corrosión, logrando con esto que el equipo se proteja con lo cual se logra que; los costos de mantenimiento se reduzcan ya que primeramente se deja de utilizar material y equipo destinado a -- mantenimiento y en segundo lugar se disminuye el uso de mano de obra de mantenimiento, lo cual representa un ahorro en la economía de la planta.

3.- Mayor protección a equipos de proceso.

Las fugas de productos corrosivos dañan seriamente los equipos que los contienen así como a otros cercanos. Por tal motivo al disminuir las fugas de CO_2 se logra proteger los equipos de proceso, logrando un ahorro económico con esto.

4.- Mayor protección al personal de operación.

El anhídrido carbónico es un gas corrosivo y agotante para el hombre, por esta razón las fugas de este producto son muy peligrosas, por eso al disminuirse al máximo, se protege la salud de los trabajadores.

5.- Disminución de la contaminación ambiental.

La contaminación ambiental, en el presente es un factor que contribuye al deterioro del medio ambiente, por tal motivo es importante evitar la contaminación, lo que se logra en nuestro caso disminuyendo las fugas de CO_2 , asegurando con esto la conservación del sistema ecológico de la región.

6.- Recuperación de la inversión a corto plazo.

El valor que se obtuvo del (ROI) nos indica que en un año el proyecto nos hizo recuperar el -- 167 % de la inversión, es decir que el tiempo en que se recupera la inversión es de 180 días operando normalmente.

Del análisis de los puntos anteriores concluimos que el estudio para instalar un equipo de secado para el CO_2 en la planta de urea es rentable, por lo que no solo se recomienda si no que además se hace indispensable llevar a la práctica el proyecto.

Anexo I.- Simbología utilizada.

dw	=	Variación de humedad (kg de agua/ kg de gas)
$d\theta$	=	Variación del tiempo, en horas.
h_t	=	Coefficiente de transferencia de calor
A	=	Area de transferencia de calor
ΔT	=	Variación de temperatura en °C
λ	=	Calor latente de evaporación
K_t	=	Coefficiente de transferencia de masa
ΔP	=	Variación de presión en atm.
H_c	=	Coefficiente de transferencia de calor conveccion
H_r	=	Coefficiente de transferencia de calor radiación
A_u	=	Area de transferencia de un solido
G	=	Flujo masico de gas
L	=	Longitud de secador
K	=	conductividad termica
E_s	=	Emisividad
T_a	=	Temperatura del medio secante
T_s	=	Temperatura del sólido
H_a	=	Humedad del medio calefactor
H_s	=	Humedad del sólido
C_s	=	Calor húmedo
D	=	Diámetro del secador
H_e	=	Humedad de equilibrio
θ	=	Tiempo de secado
H_{cr}	=	Humedad critica
H_o	=	Humedad inicial
H_f	=	Humedad final

\ln	=	Logaritmo natural
N	=	Número de unidades de transferencia
Z	=	Altura de la unidad de transferencia
H_{sa}	=	Humedad de saturación
P_s	=	Presión Parcial
M_g	=	Masa de gas
M_v	=	Masa de vapor
V	=	Flujo de gas
i	=	Coefficiente de resistencia (Ec. 14)
j	=	Coefficiente de resistencia (Ec. 14)
H_g	=	Humedad del gas a cualquier tiempo
H_{g0}	=	Humedad inicial del gas
b	=	Constante del módulo de tiempo
a	=	Constante del módulo de espesor
e	=	Base de los los logaritmos naturales
x	=	Espesor del desecante
Z	=	Altura del secador
dZ	=	Variación de la altura del secador
I_0	=	Simbolo de la función Bessel modificada, 1er clase, orden cero.
S	=	Superficie de contacto entre el desecante y el medio regenerante.
c	=	Coefficiente de la ecuación 19.
h_d	=	Altura de la unidad de transferencia
A_v	=	Area de transferencia del desecante sólido
D_p	=	Diámetro de partícula de desecante
D_r	=	Difusividad del gas
μ_g	=	Viscosidad del gas
ρ_g	=	Densidad del gas
ρ_d	=	Densidad del desecante

Bibliografía.

- 1.- W.H. Mc. Adams, transmisión de calor, tercer edición, Mc. Graw Hill.
- 2.- Chemical Engineering cost Estimation
- 3.- Robert Perry, Manual de ingenieros químicos quinta edición, Mc. Graw Hill.
- 4.- Robert Perry , Manual de ingenieros químicos tercera edición, Mc. Graw, Hill.
- 5.- A.S. Foust, Principios de operaciones unitarias, sexta edición, editorial CECSA.
- 6.- Applied Heat Transmission, Mc. Graw, Hill.
- 7.- Binkley E.R., Heat Transfer, American Society of mechanical Engineering.
- 8.- Ocon tojo, Ingeniería química, transmisión de calor, editorial CECSA.
- 9.- Sherwood T. K., Applied Mathematics on chemical Engineering Mc. Graw, Hill.
- 10.- Ulsammer J. Forsch, Gebiete, Ingenieurw
- 11.- Colburn A. P. Purdue univ., Eng. Bull, 26 - junio 1946.
- 12.- Manual de propiedades físicas y químicas de - fertilizantes mexicanos.
- 13.-