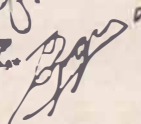


Ministerio de Educación Superior
Instituto Superior Minero Metalúrgico
Moa - Holguín
Facultad : Metalúrgia

Trabajo de Diploma

* * *

Titulo: *Valoración de la eficiencia en la absorción de NH_3 y CO_2 con anillos de cerámica.*

Autores: *Esvelín D. Oliveros Paneque. *
José Victor Rodríguez Velázquez. 

Tutor: *Ing. Juan M. Driggs Lambert. *

Curso : 93 - 94

DEDICATORIA

- A la Revolución
- A nuestros padres, quienes con sus modestos, pero valiosos esfuerzos han sido guía en la formación profesional.
- A todos, los que nos han brindado su apoyo a lo largo de la carrera.

AGRADECIMIENTO

A nuestra Revolución Socialista que ha puesto en nuestras manos la amplia posibilidad de estudiar; a todos los que han contribuido a nuestra formación como futuros profesionales en el transcurso de vida estudiantil y a aquellos que han cooperado con sus conocimientos y experiencia en la elaboración de este trabajo de Diploma; especialmente a los compañeros siguientes:

Ing. Juan Manuel Driggs Lambert, tutor del mismo y que en todo momento ha prestado su máxima colaboración.

Ing. María de los Angeles Pérez Pupo.

Ing. Raúl Guilarte Garrido.

Además, nuestro máximo agradecimiento a todos los que de una forma u otra nos han ayudado a lo largo de la carrera.

Resumen

Los empaques de madera de las torres de absorción de la planta de Recuperación de Amoníaco presentan un estado de deterioro muy grande provocando reiteradas afectaciones durante la operación de la planta, en la actualidad producto de la difícil situación económica por la que atravesamos no es posible sustituirlos con nuevos empaques de madera.

Este trabajo tiene como objetivo realizar un estudio comparativo de las eficiencias de absorción de amoníaco y CO_2 en el sistema de absorción cuando se utilizan rellenos

de madera y de anillos de cerámica.

Se determinó la eficiencia de absorción de amoníaco y CO_2 durante doce meses de operación de la planta con relleno de madera y durante la prueba con la utilización de anillos de cerámica en dos de las cuatro torres de la serie C del sistema de absorción.

Por los resultados obtenidos se demuestra que al utilizar anillos de cerámica la eficiencia de absorción de amoníaco y CO_2 son superiores a las obtenidas utilizando rellenos de madera.

INDICE

INTRODUCCION	1
CAPITULO I	
Datos generales de la fábrica y su flujo tecnológico.	
1.1 Mina	3
1.2 Planta de Preparación de Mineral	3
1.3 Planta de Hornos de Reducción	3
1.4 Planta de Lixiviación y Lavado	4
1.5 Planta de Recuperación de Amoníaco	4
1.6 Planta de Calcinación y Sinter	4
CAPITULO II	
Aspectos teóricos sobre la absorción.	
2.1 Generalidades del Proceso de Absorción	6
2.2 Equilibrio durante la absorción	7
2.3 Consideraciones sobre el diseño de Torres Empacadas..	8
CAPITULO III	
Flujo, tecnológico de la Sección de Absorción de la planta de Recuperación de Amoníaco.	
3.1 Descripción del Flujo Tecnológico	11
3.2 Mecanismo del Proceso de Absorción	13
CAPITULO IV	
Desarrollo del trabajo	
4.1 Característica de la instalación experimental	16
4.2 Valoración de la eficiencia	17
4.3 Determinación de la eficiencia de absorción	17
CAPITULO V	
Análisis de los resultados	20

5.1 Comparación de los resultados obtenidos con relleno de madera y con anillos de cerámica	20
5.2 Valoración económica de los resultados	22

INTRODUCCION

INTRODUCCION

En la Empresa "Comandante Ernesto Che Guevara" existe en la actualidad un estado de deterioro grande de los empaques de madera de las torres de absorción de la planta de Recuperación de Amoníaco afectando la eficiencia de las mismas, además de que los fragmentos de madera que se desprenden destruyen a las bombas lo cual conlleva a una disminución de la disponibilidad de los equipos por las constantes reparaciones.

Además de lo anterior, a la madera se le debe aplicar un tratamiento químico para impregnarlas de resina fenolformaldehida (laca de baquelita) o con resina epoxida en profundidad de 2 mm, productos químicos de los que no se dispone en la actualidad.

Teniendo en cuenta que actualmente la fábrica no tiene la madera con las características descritas debido a la difícil situación económica por la que atravieza nuestro país, anteriormente se realizó un trabajo sobre una variante apropiada para la sustitución de los empaques de madera por anillos de cerámica en el que se propone la utilización de anillos Raschig de 25 mm y de partición ranurados de 76 mm. En nuestro trabajo se realizaron los cálculos para anillos de cerámica de 51 mm y de partición ranurados de 76 mm empacándose dos torres de la serie C del sistema de absorción (tabla 1 y 2) de la planta de Recuperación de Amoníaco, para hacer las pruebas correspondientes con el objetivo de poder determinar la efectividad de estos.

CAPITULO I

Capítulo I: Datos generales de la fábrica y su flujo tecnológico.

El proceso amoniacal consume mucha energía eléctrica para la obtención del sinter y el óxido de níquel que es el segundo renglón exportable, sin embargo; tiene muchas ventajas en comparación con el proceso pirometalúrgico como es el consumo relativamente pequeño de reactivos. El único reactivo que se utiliza en cantidades grandes es el amoníaco, el consumo del cual es necesario sólo para compensar las pérdidas mecánicas; además del bajo costo de la inversión y la posibilidad de procesar menas que por otros métodos serían irrentables, además disminuye considerablemente la contaminación ambiental respecto a polvo y gas sulfuroso.

Otro factor ventajoso es la experiencia en la explotación de la fábrica de Nicaro y una de las deficiencias de este proceso es el bajo por ciento de la extracción, 70-75 % de Níquel y 25-30 % de cobalto.

El complejo minero-metalúrgico de la fábrica comprende las siguientes entidades:

- 1.- Mina
- 2.- Planta de Secaderos y Molinos
- 3.- Planta de Hornos de Reducción
- 4.- Planta de Lixiviación y Lavado
- 5.- Planta de Recuperación de Amoníaco
- 6.- Planta de Calcinación y Sinter
- 7.- Termoeléctrica
- 8.- Planta de Producción de Gas

9.- Laboratorio Químico

1.1 Mina

La mina está situada a 1-1,5 km de la fábrica, su función es suministrar el mineral a la fábrica, la comunicación del área de la mina hasta la fábrica se realiza por la carretera central de transportación de mineral, que garantiza el suministro del mineral de la misma hacia la sección de la planta de preparación de mineral.

1.2 Planta de Preparación de Mineral

El mineral de la Mina se transporta hacia la planta de Preparación de Mineral en los camiones volquetas que se descargan en las cribas estacionarias de recepción de la sección de trituración primaria.

El mineral pasa por la trituradora, por las zarandas, por los secaderos y la sección de molienda. El mineral seco y molido se suministra al almacén de silos, de donde se transporta en el transportador neumático hacia los hornos de reducción.

1.3 Planta de Hornos de Reducción

La reducción del mineral se realiza en hornos de soleras múltiples con gas reductor, el mineral reducido se traslada en un transportador rotatorio a los enfriadores donde se enfria, mezclándose con el licor de retorno en las canales de los tanques de contacto.

1.4 Planta Lixiviación y Lavado

La lixiviación de la pulpa de mineral reducido se realiza con el licor carbonato-amoniaco y aereación de la misma, la pulpa de mineral que sale de la tercera etapa de lixiviación se envía al sistema de lavado que se realiza a contra corriente con el licor amoniaco. El licor de la primera y segunda etapa se enfrían en un intercambiador de calor y es enviado a la canal para que se mezcle con el mineral procedente de los hornos; el licor enriquecido de Níquel y Cobalto y la pulpa procedente de la última etapa de lavado es enviada a la Planta de Recuperación de Amoníaco.

1.5 Planta de Recuperación de Amoníaco.

El licor enriquecido de Níquel y Cobalto pasa a la sección de filtración para disminuir el contenido de sólidos y es sometido al proceso de destilación para obtener la pulpa de carbonato básico de Níquel y recuperar el amoníaco y el dióxido de carbono, la cola procedente también de Lixiviación y Lavado es precalentada y luego sometida a la destilación para recuperar de igual forma el amoníaco y el dióxido de carbono. La solución que se prepara es enviada a la planta de Lixiviación y Lavado.

1.6 Planta de Calcinación y Sínter

La pulpa de carbonato básico de níquel pasa a los espesadores y posteriormente a los filtros para su secado parcial, el carbonato llega a los hornos a través de bandas transportadoras, obteniéndose el óxido de níquel que se considera un producto terminado de la fábrica, parte de éste se utiliza para la preparación del sinter, el óxido de

níquel se mezcla con el carbón antracita con el polvo de retorno y la fracción fina de retorno del sinterizado y se obtiene el sinter.

CAPITULO II

Capítulo II: Aspectos Teóricos sobre la Absorción.

2.1. Generalidades del Proceso de Absorción.

La absorción es una operación mediante la cual se absorben los gases o vapores de sus mezclas por absorbedores líquidos (absorbentes). Es una operación de difusión ya que está basado en el contacto entre fases inmiscibles, con redistribución de los componentes siguiendo la tendencia hacia un equilibrio.

En esta industria la operación de absorción se emplea para extraer componentes valiosos a partir de mezclas gaseosas.

La absorción de las moléculas de gas por la fase líquida o sea la transferencia de masa ocurre en la superficie divisoria de las fases, el gas se difunde en la superficie húmeda de la empaquetadura.

La difusión molecular trata lo relativo de una sustancia en virtud de su energía térmica. En el caso de la teoría cinética simplificada, se considera que una molécula se mueve en línea recta a una velocidad uniforme hasta que choque contra otra molécula debido a lo cual su velocidad cambia en dirección y magnitud. La difusión molecular conduce a una concentración completamente uniforme de las sustancias a través de una solución que pudo no haber sido uniforme anteriormente.

Si la solución es totalmente uniforme en la concentración de sus componentes no se lleva a cabo ninguna alteración, en caso contrario la solución se dirige espontáneamente por difusión al estado uniforme, moviéndose las sustancias desde el lugar de mayor concentración al de menor concentración,

por lo que el régimen al cual se mueve el soluto en cualquier punto y dirección deberá depender del gradiente de concentración en este punto y dirección.

2.2 Equilibrio durante la absorción.

El contenido de gas en la solución dependerá de las propiedades del gas y del líquido, de la presión, la temperatura y del contenido de la fase gaseosa (presión parcial del gas solvente en la mezcla gaseosa).

Una solución de un gas en un líquido ejerce, a una temperatura y concentración definida, una presión parcial del gas disuelto, también determinado.

La solubilidad de un gas varía con la presión total, si ésta es grande. Este efecto es pequeño a presiones menores de 5 atmósferas.

Una cantidad dada de un líquido disolverá cualquier cantidad de cualquier gas, si es muy soluble o ligeramente soluble, de acuerdo con la presión parcial del gas disuelto en la fase en contacto con el líquido.

Cuando una fase gaseosa y otra líquida están en equilibrio, la presión parcial del soluto en la fase gaseosa es igual a la presión parcial del soluto procedente de la fase líquida, a condición de que la fase gaseosa obedezca a la ley de los gases ideales.

Cuando en equilibrio con el líquido se encuentra una mezcla de gases, la ley de Henry se puede emplear para cada uno de los componentes de la mezcla por separado.

La ley de Henry es aplicable para soluciones de gases,

cuyas temperaturas críticas son más elevadas que las temperaturas de la solución y será justa solamente para soluciones ideales. Por esta razón, la ley con la exactitud suficiente es aplicable solo para soluciones reales muy diluidas que por sus propiedades se aproximan a las ideales, es decir, se observa bajo concentraciones pequeñas del gas disuelto cuando su solubilidad es pequeña. Para los gases con elevada solubilidad, cuando es grande su concentración en la solución, la solubilidad es menor de la que se espera conforme a la ley de Henry.

2.3 Consideraciones sobre el Diseño de torres Empacadas.

Están formadas por una columna cilíndrica, o torre, provista de una entrada para la distribución del gas en la parte inferior; una entrada y sistema de distribución del líquido en la parte superior; la salida para el gas por la parte superior y por la parte inferior para el líquido, y en su interior un lecho de partículas sólidas que rellenan la columna. El líquido que entra en la columna, y que puede ser disolvente puro o una solución diluida del soluto en el disolvente, se reparte uniformemente sobre el relleno mediante el distribuidor y en la operación ideal, moja uniformemente la superficie del relleno. El gas que contiene el soluto, o gas rico, entra por debajo del relleno y asciende a través de los intersticios del relleno circulando en contracorriente con el líquido. El relleno proporciona una superficie de contacto entre las fases. El soluto contenido en el gas rico es absorbido por el líquido fresco que entra en la torre, y sale agotado por la parte superior.

El líquido se enriquece de soluto a medida que desciende por la torre y sale por la parte inferior formando una solución concentrada.

El contacto entre el líquido y el gas es una de las exigencias más difícil de cumplir especialmente en torres grandes.

En el caso ideal, el líquido, una vez que se ha distribuido en la parte superior del relleno, desciende en forma de delgadas películas sobre la superficie del relleno.

En la práctica, sin embargo, las películas tienden a hacerse más gruesas en una zona y más delgadas en otra, de forma que el líquido tiende a reunirse formando pequeños arroyuelos que circulan a través de trayectorias localizadas en el lecho.

Para velocidades del líquido, una gran parte de la superficie del relleno puede estar seca o, mejor, recubierta de una película estancada de líquido. Este efecto se conoce con el nombre de canalización que es la causa de mal funcionamiento de las grandes torres de relleno.

La canalización es muy grande en las torres cuyo relleno está colocado ordenadamente, es menor en rellenos formados por sólidos triturados colocados al azar, y menor todavía en rellenos de forma regular, tales como anillos, distribuidos al azar.

Para disminuir el efecto de la canalización en las torres grandes, suelen incorporarse redistribuidores de líquido entre cada 4 o 5 m de la sección del relleno.

Para bajas velocidades de líquido, independientemente de la distribución del mismo, una gran parte de la superficie del relleno no está mojada por la corriente de líquido. A medida que aumenta la velocidad del líquido, aumenta la fracción mojada de la superficie del relleno, hasta que para una velocidad crítica, del líquido, que es generalmente elevada, toda la superficie del relleno está mojada y es efectiva. Para velocidades de líquido superiores a la crítica la influencia de la canalización carece de importancia.

CAPITULO III

Capítulo III: Flujo tecnológico de la Sección de Absorción de la planta de Recuperación de Amoníaco.

3.1 Descripción del Flujo Tecnológico.

La mezcla de condesado y gases producto de la destilación de licor y cola pasan a través de las torres del sistema de absorción donde se recupera la mayor parte de amoníaco y dióxido de carbono contenidos en ellos, además se le añade la solución compensadora y el dióxido de carbono necesario para reponer las pérdidas sufridas en el proceso de obtención de níquel. En este sistema se prepara la solución de amoníaco y dióxido de carbono denominado licor fresco, que es enviado a la planta de Lixiviación y Lavado.

La operación realizada en cada torre es un proceso a contracorriente en el cual los gases entran por el extremo inferior y el licor o el agua según la torre de que se trate, es alimentado a través de un sistema de duchas (sprays) por la parte superior.

Los gases que llegan producto de la destilación del licor y la cola se introducen en la torre condensadora-absorbedora por el extremo inferior de la misma, para efectuar la absorción de estos gases se utiliza el licor de recirculación y el licor débil. Por el fondo de la torre se obtiene el licor fuerte el cual es enviado al sistema de enfriamiento. Los gases que no son absorbidos salen por el tope y junto a los gases de la termoeléctrica y la PSA, se introducen en la parte inferior de la torre absorbedora de CO₂ y por la parte superior se le introduce el licor de recirculación, como medio absorbedor.

Los gases no absorbidos en esta torre pasan a la depuradora de NH_3 y luego a la final utilizando en ambos casos como medio absorbedor el agua.

Los efluentes de la torre absorbidora de CO_2 , depuradora de NH_3 y final pasan al tanque colector de donde se bombea hasta la torre condensadora-absorbidora como licor débil. En este tanque se añade la solución compensadora para restablecer las pérdidas de amoníaco en el circuito de Lixiviación-Lavado y Recuperación de NH_3 .

El licor que sale de la torre absorbidora-condensadora es bombeado hasta el sistema de enfriamiento, donde se recircula a esta torre y a la torre absorbidora de CO_2 , la otra parte del licor es almacenado y bombeado a la Planta de Lixiviación y Lavado.

Los parámetros que se controlan son:

Temperatura del licor de recirculación	35 °C
--	-------

Torre condensadora - absorbidora

.efluente de NH_3	140 g/l
----------------------------	---------

.efluente de CO_2	70 g/l
----------------------------	--------

.vacío.	51 - 127 mm de H_2O
---------	-------------------------------------

Torre absorbidora de CO_2

.efluente de NH_3	137 g/l
----------------------------	---------

.efluente de CO_2	85 g/l
----------------------------	--------

. % de CO_2 en los gases.	12 %
------------------------------------	------

. oxígeno.	5 %
------------	-----

Torre depuradora de NH_3

. efluente de NH_3	50 g/l
-----------------------------	--------

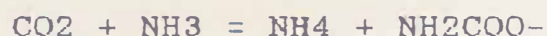
Torre final

. efluente de NH ₃	20 g/l
. amoníaco en los gases de salida.	0.25 g/l
. consumo de solución compensadora en el proceso	25 t/d
. NH ₃ en la solución compensadora.	250 g/l

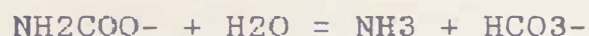
3.2. Mecanismo del Proceso de Absorción.

En el sistema de absorción ocurre la disolución del gas NH₃ contenido en las mezclas gaseosas que provienen de la destilación de las colas y el licor producto, al mismo tiempo, se produce un proceso de reacción química enlazado con el CO₂, el NH₃ y el H₂O. La absorción sencilla está acompañada por un mecanismo químico entre el NH₃ y el CO₂.

La mayor parte de los investigadores juzgan que la carbonatación se realiza pasando primeramente por el carbonato de amonio según el mecanismo de reacción siguiente:



el cuál después se hidroliza por la reacción:



al mismo tiempo, de los productos de la reacción se forma el carbonato.



La velocidad de carbonatación se incrementa al aumentar el contenido de NH₃ en el licor y de CO₂ en el gas. Por eso es necesario que los licores conteniendo altas concentración de NH₃ participen en el proceso de absorción, además que los gases provenientes de Planta Eléctrica y PSA tengan un alto contenido de CO₂.

La absorción de las moléculas de gas por la fase líquida (transferencia de masa) se realiza en la superficie húmeda de la empaquetadura de la absorbidora, en la cuál se difunde el gas en el líquido.

En la superficie de contacto de la empaquetadura húmeda por donde cae el líquido, en el límite de flujos de líquidos y de la fase gaseosa se forma una capa límite, la cual forma dos capas pegadas "Películas", una de las cuales se compone de moléculas de líquido.

La composición de las películas líquidas y gaseosas directamente en el límite de ambas fases, responde a la concentración de equilibrio, o sea, que en el límite existe la fase de equilibrio.

Durante el proceso de absorción esta fase es perturbada con el ingreso de nuevas partículas y la salida de las mismas las cuales ya estuvieron en contacto, lo que ocasiona que la composición de ambas fases en todo el volumen no vayan a ser iguales. Perturbando la fase de equilibrio, ocasionando concentraciones no iguales de gas disuelto en la superficie y en el interior del líquido, se realiza la difusión de las moléculas del gas al líquido.

El gas absorbido se difunde primero en el gas inerte y luego pasa a la película de líquido donde forma una solución y después, la difusión continúa a la masa mayor de líquido. La cantidad de masa que pasa del gas a la fase líquida está dada por la velocidad de intercambio de masa (Transferencia de Masa).

Durante la absorción a contracorriente, donde el gas fluye en sentido contrario, el líquido puede perturbar el proceso de absorción con una velocidad no proporcional de gas. Esto explica que en el flujo de gas a contracorriente, el movimiento del líquido es frenado. Esta disminución de velocidad (frenado) del líquido se aumenta durante el incremento de la velocidad del flujo de gas hasta que la fuerza de fricción del gas o del líquido se equilibre a la fuerza de gravedad, este es el momento donde empieza el llamado ahogamiento o inundación del absorbedor. Esto es causado por un aumento rápido de la cantidad de agua en la empaquetadura y de la velocidad del gas, esto disminuye el diámetro efectivo.

Durante el aumento de la velocidad del flujo de gases en el cual empieza la inundación, se unen las fuerzas de fricción del gas a la fuerza de gravedad del líquido de abajo hacia arriba y ocurre la inundación del absorbedor.

La condición necesaria para alcanzar un mojado perfecto de la empaquetadura del absorbedor es hacer un duchado uniforme de las capas superiores de las mismas, esto es, densidad de duchado. Se expresa por la cantidad de duchas en m^3/m^2 del diámetro del absorbedor por una hora.



CAPITULO IV

Capítulo IV: Desarrollo del trabajo.

4.1 Características de la instalación experimental.

Estudios anteriores demuestran la factibilidad de sustituir los empaques de madera por los anillos de cerámica. Para hacer el estudio de la efectividad práctica de la sustitución, teniendo en cuenta la existencia de anillos de cerámica de 51 y 76 mm tamaño nominal después de ser usado en la planta de ácido de la Fábrica Pedro Soto Alba se decide hacer el cambio de los empaque a las dos primeras torres de la serie C del sistema de absorción según las tablas No. 1 y 2.

Tabla 1: Absorbedora-Condensadora

Tipo de	Altura	Vol. 3	Cant. (u)	Scont.
Anillo	(m)	(m ³)		(m ²)
76 mm(P.R.)	0.16	1.131	2556	126.16
51 mm (N)	4.00	28.276	154778	2226.45
Totales	4.16	29.407	157334	2352.61

Tabla 2: Absorbedora - CO₂

Tipo de	Altura	Vol. 3	Cant. (u)	Scont.
Anillo	(m)	(m ³)		(m ²)
76 mm(P.R.)	1.00	2.54	5741	283.34
51 mm (N)	3.00	7.63	41765	600.79
Totales	4.00	10.17	47506	884.13

Estas torres se empacaron con la cantidad de anillos descritos en las anteriores tablas porque es con los que se disponía en la planta, nótese que se trabajó con superficies de contacto inferiores a los de diseño 2352 m² y 884 m² contra 4543 m² y 1636 m² respectivamente lo que hace

suponer que la planta está sobre diseñada.

4.2 Valoración de la eficiencia

La eficiencia del sistema de absorción se define por la relación entre la cantidad de NH_3 y/o CO_2 que es enviado a Lixiviación en el licor fresco y la cantidad de NH_3 y/o CO_2 alimentadas. Para definir como se comporta el sistema en cuanto a este parámetro, se utilizaron los datos que aparecen en los reportes de operaciones de los meses de marzo de 1993 hasta febrero de 1994, esto significa que para realizar este estudio se trabajó con datos de 12 meses equivalentes a 365 días con tres turnos de trabajo. Con estos datos aprovechando las posibilidades que brinda el SuperCalc 4 se confeccionarán 12 tablas necesarias (tabla 1 anexo), de forma tal que a la vez que se introducen los datos se determina la eficiencia tanto de CO_2 como de NH_3 , (tabla 2 anexo) de acuerdo al balance de materiales en el sistema.

Con los datos totales de cada mes se elaboraron otras tablas, (tablas 3 y 4 anexo), donde se refleja el comportamiento de estos parámetros durante los 12 meses evaluados, con el propósito de compararlos con los resultados de las pruebas con el empleo de anillos de cerámica, (tabla 5 y 6 anexo).

4.3 Determinación de la eficiencia de absorción.

La eficiencia del proceso de absorción se determina a partir del balance de los materiales que intervienen en este (fig. 1 anexo).

Balance Total.

$$A + B + C = D + E$$

Donde:

A = Cola a destilación + Licor Producto a destilación + gases de la Termo eléctrica + gases de la PSA

$$B = \frac{H_2O}{2}$$

C = Solución Compensadora

D = Licor Fresco

E = Gases a la atmósfera

entonces:

$$Cola + LP + CTE + PSA + \frac{H_2O}{2} + SC = LF + Gases$$

Balance por componentes.

Para NH₃:

$$NH_3 \text{ Cola} + NH_3 \text{ LP} + NH_3 \text{ SC} = NH_3 \text{ LF} + NH_3 \text{ Gases}$$

Para CO₂

$$CO_2 \text{ Cola} + CO_2 \text{ LP} + CO_2 \text{ CTE} + CO_2 \text{ PSA} = CO_2 \text{ LF} + CO_2 \text{ Gases}$$

La eficiencia de la absorción está determinada por la cantidad de amoníaco y CO₂ que son absorbidos respecto a los totales que entra al sistema, o sea:

Para amoníaco.

$$E_{NH_3} = \frac{NH_3 \text{ LF}}{NH_3 \text{ Total}} * 100$$

$$E_{NH_3} = \frac{NH_3 \text{ LF}}{(NH_3 \text{ Cola} + NH_3 \text{ LP} + NH_3 \text{ SC})} * 100$$

Para CO₂

$$E_{CO_2} = \frac{\frac{CO_2}{2} LF}{\frac{CO_2}{2} Total} * 100$$

$$E_{CO_2} = \frac{\frac{CO_2}{2} LF}{\left(\frac{CO_2}{2} Cola + \frac{CO_2}{2} LP + \frac{CO_2}{2} CTE + \frac{CO_2}{2} PSA \right)} * 100$$

Como se puede conocer la cantidad de amoníaco y CO₂ que acompañan a los flujos que entran y salen al sistema; tomando como ejemplo para el cálculo el día 16 de abril de 1993, la eficiencia quedaría:

$$E_{NH_3} = \frac{238.25}{178.72 + 97.42 + 30.1} * 100 = 77.80 \%$$

$$E_{CO_2} = \frac{112.31}{76.99 + 46.21 + 13.0 + 3.14} * 100 = 80.58 \%$$

CAPITULO V

Capítulo V: Análisis de los resultados.

5.1 Comparación de los resultados obtenidos con relleno de madera y con anillos de cerámica.

Por los resultados obtenidos se puede observar que la eficiencia de absorción tanto para NH_3 como para CO_2 no tiene un comportamiento estable con respecto a los datos tomados, esto nos indica que las diferencias notables que existen tanto entre turnos, días de trabajo y meses no podemos atribuirlos a las variaciones en los flujos o concentraciones, que son los datos tomados para hacer los balances materiales y si a problemas operacionales y deficiencias en las mediciones por mala calidad de los instrumentos y medios de medición empleados, además no se controlan parámetros tan importante como presión, temperatura, flujo y concentración de los gases de entrada y salida de cada torre.

Para determinar si al utilizar anillos de cerámica se logran mejores resultados de absorción, se realizó un análisis de varianza donde se determinó que existen diferencias significativas en las eficiencias de absorción de amoníaco y CO_2 entre el relleno de madera y el de anillos de cerámica,

esto se demuestra porque para una probabilidad de 95 % F crítica tabulada es de $F_c = 4.30$ y la F calculada por el análisis de varianza es para el amoníaco $F_{\text{calculada}} = 36.48$ y para CO_2 $F_{\text{calculada}} = 13.05$; es decir, F calculada es

mayor que la F crítica, (tablas 3 y 4), por lo tanto, el relleno de anillos de cerámica en las torres del sistema de absorción de la planta de Recuperación de Amoníaco de la

Fábrica Comandante Ernesto Che Guevara es más eficiente que cuando se utiliza relleno de madera, porque tiene menor varianza.

Tabla 3: Análisis de varianza para Amoníaco

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F
entre métodos (columnas)	1065.467	1	1065.467	36.048
dentro del método (error experimental)	650.258	22	29.557	
Total	1715.725	23		

Tabla 4: Análisis de varianza para CO₂

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F
entre métodos (columnas)	792.121	1	792.121	13.015
dentro del método (error experimental)	1338.956	22	60.862	
Total	2131.076	23		

Podemos confirmar esto porque para amoníaco y CO₂ empleando anillos de cerámica las eficiencias media de absorción son mayores, las desviaciones media y estandar son menores, existen menores dispersiones en los resultados (fig. 2,3,4 y 5) al ser menor el rango de variación de estos y se alcanzaron los mayores porciento de eficiencia tanto para amoníaco como para CO₂ 93.79 y 97.45 respectivamente(tab.5)

Resultado del análisis estadístico

Tabla 5: Indicadores estadísticos fundamentales.

Indic.	NH 3		CO 2	
	Madera	Cerámica	Madera	Cerámica
Media x	71.004	84.33	76.46	87.94
Desviación Media	4.24	3.83	6.72	6.4
Desviación Estandar	5.55	4.90	8.36	6.53
Varianza	30.80	24.00	69.94	42.59
Rango de variación	21.07	19.39	28.39	20.57
Valor máximo	79.27	93.79	92.51	97.45

5.2 Valoración económica de los resultados

De acuerdo a los resultados promedios obtenidos se puede asegurar que por concepto de eficiencia se recupera el 13.13 % de las pérdidas de amoníaco utilizando anillos de cerámica, si tenemos en cuenta que el pasado año la planta tuvo alrededor de 2570.68 t de amoníaco como pérdida, de ello alrededor del 30 % está localizado en el sistema de absorción y el precio del amoníaco oscila alrededor de \$ 236/t, esto representa que se puede recuperar por este concepto aproximadamente \$ 23897.14/año. Para empacar las torres se emplearon anillos de cerámica desechados por la planta de ácido de la Pedro Soto Alba; en el costo de sustitución de los empaques solo intervienen los gastos incurridos en la construcción de los soportes \$ 62.61 y en el montaje de los anillos se gastó aproximadamente en total \$ 1061.95 (incluidos salarios, materiales y otros gastos.

Considerando el ahorro que se logra por recuperación de amoníaco \$ 1991.43/mes) significa que los gastos incurridos en el montaje se recuperarían en 0.53 meses.

Producto del mal estado de los empaques, actualmente es necesario realizar alrededor de 5 mantenimientos mensuales a bombas y al sistema sprays, esto hace que por concepto de pago por salarios se produzcan gastos de alrededor de \$ 95.0 mensuales, o sea \$ 1 140/año, con el empleo de anillos de cerámica se prevé que estos mantenimientos no planificados se eliminen.

CONCLUSIONES

Conclusiones

Aunque los anillos de cerámica son costosos, pero en la actualidad no se cuenta con las parillas necesaria, ni la madera para construirla. Teniendo en cuenta que los anillos de cerámica se producen en Las Tunas, la durabilidad de estos y que es posible además lograr superficies de contacto y resistencias hidráulicas deseadas con relativa facilidad, consideramos que la utilización de rellenos de cerámica en las torres de absorción de la planta de Recuperación de Amoníaco resulta una variante interesante y posible de emplear.

Por los resultados obtenidos durante la realización de este trabajo llegamos a las siguientes conclusiones.

1. La eficiencia en la absorción tanto de amoníaco como de CO₂ es mayor al utilizar anillos de cerámica.
2. Que en el sistema de control de las operaciones de la planta existen deficiencias.
3. Que al utilizar los anillos de cerámica existentes se producirían ahorros importantes.
4. Al operar las torres con anillos de cerámica mejora la estabilidad del sistema.

RECOMENDACIONES

Recomendaciones

Teniendo en cuenta la necesidad que tiene la Fábrica Ernesto Che Guevara de cambiar los empaques de madera de las torres de absorción de la planta de Recuperación de Amoníaco y de acuerdo a los resultados obtenidos recomendamos lo siguiente:

1. Empacar todas las torres de la serie C, mejorando la instrumentación para el control de la operación y la medición de los parámetros (incluir la presión, temperatura, flujo y concentración de gases) y hacer corridas que permitan definir el comportamiento de los anillos de cerámica a esta escala.
2. Hacer un estudio estadístico que permita analizar las variaciones de los parámetros que influyen en las operaciones para poder definir con certeza las causas de la inestabilidad en la eficiencia de absorción.

BIBLIOGRAFIA

- Chemical Engineering Hand Book. Perrys. Tercera Edición. 1965.
- Problemas y ejemplos para el curso de Operaciones Básicas y aparatos en Tecnología Química. Pavlov K. F. 1991.
- Operaciones Básicas y Aparatos en Tecnología Química. Tomo II Kasatkin A. G. 1971.
- Design and Economics for Chemical Engineers. Peters M. S., Timmerhaus K. D. 1975.
- Ingeniería de las Reacciones Química. Levenspiel O. 1976
- Introducción a la Ingeniería Química. Badger W., Bancho J. T. Ediciones del Castillo Madrid España, 1955
- Operaciones Básicas de la Ingeniería Química. Brown.G.G Edición Revolucionaria, 1965.
- La Torre Empacada Pinco Ingenieria S.A. de Cv, México, 1993
- Manual de Operaciones de la Planta de Recuperación de NH_3 . Fábrica Comandante Ernesto Che Guevara.
- Tarea Técnica y de proyección de la Planta de Punta Gorda.
- Propuesta tecnológica para la sustitución de la empaquetadura de las torres de absorción de la planta de Recuperación de Amoníaco. Trabajo de Diploma. Fátima Cristina Nápoles Roche.
- Sustitución de los empaque de madera de las torres de absorción. Evento internacional de la mujer innovadora. María de los Angeles Pérez Pupo.

ANEXOS

Tabla 1: Reporte de operaciones del mes de abril de 1993

Dia	Licor Prod. Destil.			Cola Destilada			Licor Fresco			Sol. Compen sadora t(NH3)	Gas CTE (t) CO2	Gas PSA (t) CO2
	Flujo m3	c(NH3) g/l	c(CO2) g/l	Flujo m3	c(NH3) g/l	c(CO2) g/l	Flujo m3	c(NH3) g/l	c(CO2) g/l			
1	3181	51.52	24.43	2062	29.6	9.96	1385	145.5	68.73	27.26	3.04	7.16
2	3281	42.02	14.02	1886	34.66	15.4	1038	145.6	79.14	15.07	5.32	15.97
3	3232	51.76	27.82	2040	32.33	15.8	1504	140.3	68.6	30.96		18.1
4	3090	53.57	25.63	1356	29.46	16.8	1325	151	71.41	27.27	4.44	15.72
5	2926	52.52	25.3	1866	33.4	9.79	1540	144.5	76.01	33.8	5.19	15.64
6	819	30.56	29.82	3196	40.4	11.74	788	133.9	64.31	30.63	3.43	7.57
7	1270	48.23	10.16	1581	36	16.9	1052	143.4	62.1	30.14	2.79	10.66
8	3166	61.16	28.67	2921	32.13	12.65	1659	137.4	70.2	23.82	2.58	12.8
9	3183	50.32	27.78	2146	18.29	7.18	1851	142.9	71.46	28.4	7.52	11.44
10	3146	53.27	24.36	2927	16.58	5.68	1767	137.3	68.08	24.27	25.1	7.45
11	3259	50.7	15.4	1746	32	16.2	1564	141	63.44	27.5	11.9	
12	3102	55.65	27.85	1714	27.86	12.22	2316	136.5	67.3	23.04	16.4	
13	3022	49.39	21.48	2506	33.26	13.08	1552	134.6	69.42	24.41	28.6	2.25
14	2627	54.35	23.96	2295	27.23	11.63	1659	135.7	67.25	26.32	28.3	20.71
15	3257	53.43	24.62	2977	28.53	10.22	1301	139.5	71.5	25.5	27.1	
16	3679	49.57	24.62	1997	34.33	15.96	1599	149	70.24	30.1	13.0	3.14
17	3514	51.99	26.03	2687	36.66	16.43	1611	152.3	67.08	25.4	6.96	9.08
18	3401	50.5	20.4	2973	33.33	15.4	1599	148.4	68.6	33.44	21.0	12.56
19	3342	52.44	26.19	3360	33.13	13.26	1874	148.2	68.29	27.42	20.1	12.66
20	3048	55.03	24.9	2880	29.13	11.83	1886	141.7	67.08	33.9	20.4	7.78
21	3174	53.32	22.93	3497	25.56	13.69	1922	138.1	68.42	30.38	29.3	6.09
22	2375	51.23	25.34	3659	39.2	13.78	1313	142.3	67.86	21.9	27.0	9.63
23	2742	51.74	20.67	3124	41.2	18.7	1540	148.3	66.99	33.37	24.7	5.86
24	3109	53.06	25.75	2666	34.33	16.3	1575	157.1	71.07	37.33	27.0	
25	2280	52.81	23.5	1663	37	16.93	1266	147.5	71.11	9	23.8	
26	2042	52.39	24.42	3502	35.66	17.03	1075	140	74.45		27.7	
27	2183	54.13	21.77	3042	31	15.36	1647	143.0	77.91		15.0	7.57
28	2550	51.82	22.62	3746	30.01	14.13	1922	151.0	72.43	33.15	.401	
29	3214	49.23	21.21	3489	34.4	17.03	1719	161.2	79.92	27.01	8.32	4.1
30	3923	54.6	24.91	1622	32.53	16.3	1122	163.8	79.4	19.34	25.9	

Tabla 2: Comportamiento de la eficiencia durante el mes de abril de 1993

Dia	LPD		CD		LFB		NH3 total sist. (t)	Efic. Absorc NH3 (%)	CO2 total sist. (t)	Efic. Absorc CO2 (%)
	NH3 (t)	CO2 (t)	NH3 (t)	CO2 (t)	NH3 (t)	CO2 (t)				
1	160.61	66.0551	86.7310	29.7794	201.559	95.1911	274.60	73.40	106.	89.77
2	135.11	39.0997	92.8890	42.1144	151.133	82.1473	243.07	62.18	103.	80.14
3	163.94	76.4271	93.7195	46.7364	210.966	103.174	288.62	73.09	157.	65.63
4	162.22	67.3172	56.7658	33.0322	200.075	94.6183	246.26	81.25	121.	78.52
5	150.60	62.9236	88.5630	26.4888	222.576	117.055	272.96	81.54	110.	106.2
6	24.528	20.7592	183.477	54.4055	105.513	50.6763	238.64	44.22	86.2	58.81
7	60.027	10.9677	80.8776	38.7424	150.897	65.3292	171.04	88.20	63.2	103.4
8	189.76	77.1538	133.363	53.5784	227.947	116.462	346.94	65.70	146.	79.71
9	155.97	75.1802	55.7747	22.3420	264.452	132.275	241.14	109.7	116.	113.6
10	154.24	65.1411	68.9606	24.1068	242.662	120.297	257.47	94.25	122.	98.80
11	161.93	42.6603	79.3941	41.0135	220.524	99.2202	268.82	82.03	103.	96.29
12	169.17	73.4321	67.8556	30.3704	316.065	155.867	260.07	121.5	128.	122.1
13	146.27	55.1757	118.440	47.5288	208.899	107.740	289.12	72.25	134.	80.67
14	139.92	53.5015	88.8023	38.7017	225.176	111.568	255.04	88.29	141.	79.01
15	170.54	68.1592	120.691	44.1162	181.529	93.0215	316.73	57.31	147.	63.34
16	178.72	76.9904	97.4195	46.2146	238.251	112.314	306.24	77.80	139.	80.58
17	179.04	77.7490	139.976	64.0137	245.404	108.066	344.42	71.25	158.	68.48
18	168.32	58.9733	140.807	66.3871	237.292	109.691	342.56	69.27	159.	69.01
19	171.75	74.3979	158.181	64.6027	277.727	127.975	357.35	77.72	172.	74.51
20	164.38	64.5109	119.214	49.4021	267.190	126.513	317.49	84.16	142.	89.03
21	165.85	61.8628	127.014	69.4172	265.486	131.503	323.25	82.13	167.	78.90
22	119.24	51.1551	203.818	73.1105	186.879	89.1002	344.96	54.17	161.	55.38
23	139.03	48.1756	182.895	84.7073	228.428	103.165	355.30	64.29	163.	63.12
24	161.66	68.0482	130.055	63.0109	247.370	111.935	329.05	75.18	165.	67.64
25	118.00	45.543	87.4356	40.8242	186.773	90.0253	214.43	87.10	118.	76.51
26	104.84	42.3858	177.456	86.4766	150.5	80.0338	282.30	53.31	164.	48.80
27	115.80	40.3953	134.003	67.7514	235.554	128.318	249.81	94.29	131.	98.17
28	129.50	49.0289	159.745	76.7499	290.241	139.210	322.39	90.03	149.	93.32
29	155.06	57.9436	170.551	86.1556	277.103	137.382	352.62	78.58	157.	87.77
30	209.91	83.0636	74.9772	38.3360	183.784	89.0868	304.23	60.41	155.	57.58

Tabla 3: Comportamiento de la eficiencia de absorción NH3 desde marzo '93 a febrero '94

Mes	SC		LPD		CD		LFB		NH3 Total Sistema (t)	Efic. Absorc. NH3 (%)
	Flujo m3	NH3 (t)	Flujo m3	NH3 (t)	Flujo m3	NH3 (t)	Flujo m3	NH3 (t)		
1	1868.8	467.2	104527	4655.13	94335.7	3633.5	49181.2	6598.73	8755.8	75.364
2	8271	2067.75	42584.6	1751.02	45292.8	1549.26	24537.5	3180.33	5368.0	59.246
3	3685.92	921.48	58809	3075.99	90186	3290.22	41937	5734.01	7287.7	78.681
4	3040.52	760.13	87137	4436.93	771.26	3519.85	45971	6647.91	8716.9	76.265
5	3255	813.75	114734	5970.18	117090	5554.81	62575	9011.36	12339.	73.033
6	2756.56	689.14	91642.8	4752.32	126378	6130.09	52713	7168.7	11572.	61.951
7	3020.4	755.1	79632	4074.8	94210	4236.1	43341	6189.22	9066	68.268
8	3601.96	900.49	65013	3613.04	67084	2717.25	44287	6120.1	7230.8	84.640
9	2416.8	604.2	96494.9	4500.27	110699	5324.9	54568	7203.68	10429.	69.071
10	2528.12	632.03	117153.	5406.02	128314	5831.59	61860.4	8195.49	11870.	69.046
11	1829.36	457.34	67393.4	3293.79	94970	3854.93	39397	6308.64	7606.1	82.942
12	2375.68	593.92	71987	3444.45	101090	4001.33	45878	6318.99	8039.7	78.597

Tabla 4: Comportamiento de la eficiencia de absorción de CO2 desde marzo '93 a febrero '94

Mes	LPD		CD		LFB		CO2 PSA (t)	CO2 CTE (t)	CO2 Total Sistema (t)	Efic. Absorc. CO2 (%)
	Flujo m3	CO2 (t)	Flujo m3	CO2 (t)	Flujo m3	CO2 (t)				
1	104527	2030.56	94335.7	1907.73	49181.2	3448.9	54.26	332.7	4325.3	79.739
2	42584.59	726.02	45292.8	900.75	24537.5	1752.4	48.6	269	1944.4	90.127
3	58809	1170.24	90186	1323.74	41937	2627.05	179.2	166.4	2839.6	92.515
4	87137	1754.16	771.26	1550.22	45971	3228.96	283.6	462.3	4050.3	79.722
5	114734	2360.39	117090	2846.36	62575	4169.71	235.9	342.7	5785.4	72.074
6	91642.8	1896.88	126378	2998.54	52713	3285.49	54.45	174	5123.9	64.121
7	79632	1639.93	94210	2076.37	43341	2793.9	280.4	157	4153.7	67.263
8	65013	1466.42	67084	1397.15	44287	2771.28	311.5	202	3377.1	82.062
9	96494.88	1841.87	110699	2612.76	54568	3448.23	208.5	141	4804.1	71.776
10	117152.5	2229.93	128314	3098.17	61860.4	3969.58	258.8	171	5757.9	68.941
11	67393.4	1251.59	94970	2122.97	39397	2944.19	210.3	431	4015.9	73.314
12	71987	1463.21	101090	2212.45	45878	3351.64	174.53	385.02	4235.2	79.138

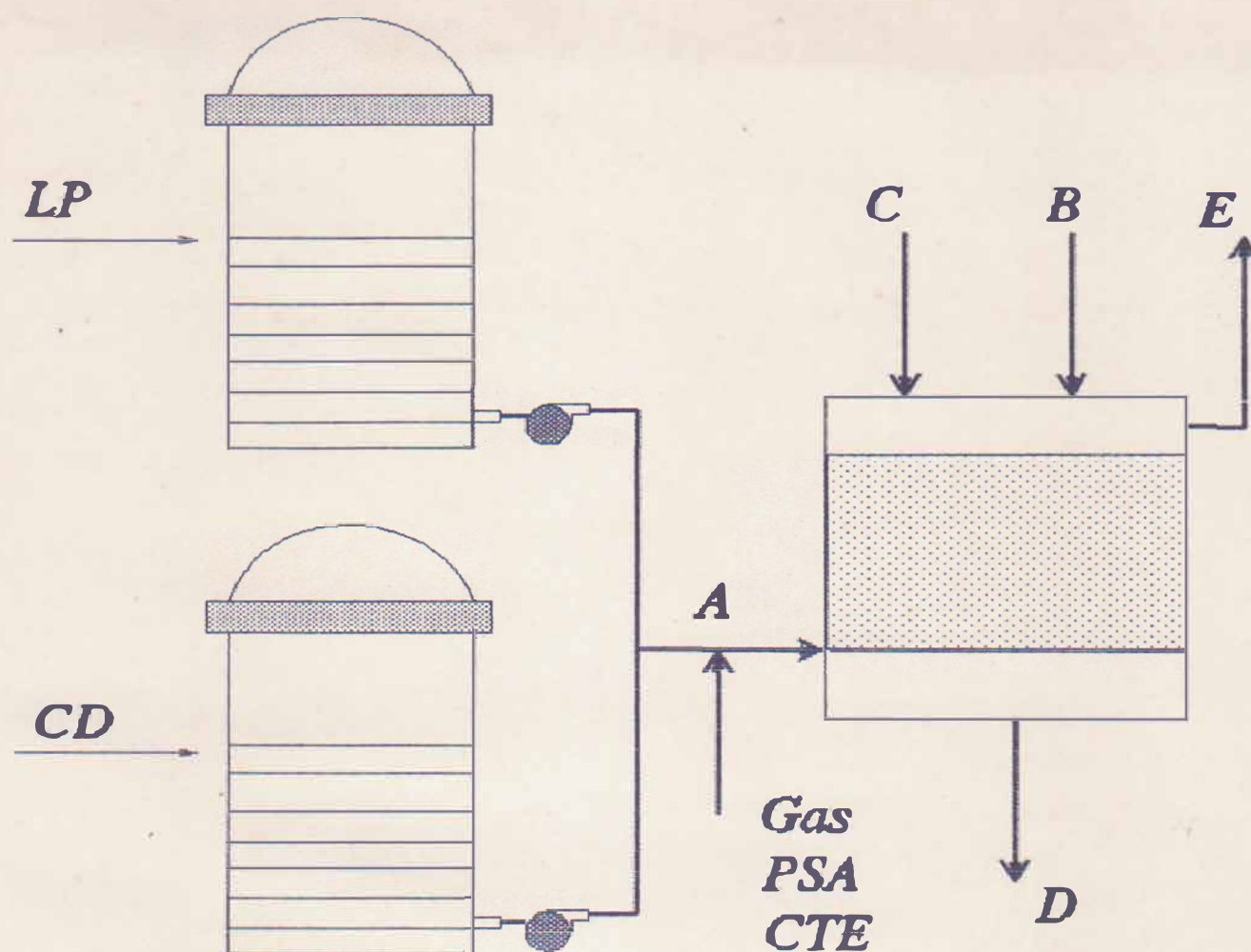
Tabla 5: Características de la operación utilizando anillos de cerámica

Dia	LPD			CD			LF			Sol. Compen sadora t(NH3)	Gas CTE ton. CO2	Gas PSA ton. CO2
	Flujo m3	c(NH3) g/l	c(CO2) g/l	Flujo m3	c(NH3) g/l	c(CO2) g/l	Flujo m3	c(NH3) g/l	c(CO2) g/l			
1	1015	53.57	21.96	2062	29.61	12.24	832	145.5	62.16	8.71	1.87	5.41
2	986	53.57	21.96	1886	34.66	15.31	915	145.6	71.46	15.07	5.32	15.97
4	1058	53.57	21.96	1746	32.04	16.29	923	148.7	71.41	27.27	4.44	15.72
5	1098	53.57	21.96	1714	27.86	10.54	912	156.8	70.25	33.8	5.19	15.64
6	1024	53.57	21.96	3196	28.95	10.21	1003	160.1	67.89	30.63	3.43	7.57
7	992	53.57	21.96	1581	31.04	13.56	954	143.4	63.44	30.14	2.79	10.66
8	1008	53.57	21.96	2921	30.19	12.65	1056	156.3	71.67	23.82	2.58	12.8
9	1002	53.57	21.96	2146	33.21	13.41	1012	148.9	71.41	28.4	7.52	11.44
11	1008	53.57	21.96	1746	29.41	10.94	1012	142.2	63.44	27.5	11.9	6.74
12	1012	53.57	21.96	1714	29.12	9.87	835	145.3	71.53	23.04	16.4	6.89
13	972	53.57	21.96	2506	29.17	12.32	1023	151.6	70.46	24.41	28.6	2.25
15	874	53.57	21.96	2977	38.03	10.22	1226	154.1	71.67	25.5	27.1	15.25

Tabla 6: Eficiencias de absorción utilizando anillos de cerámica

Dia	LPD		CD		LFB		CO2 CTE (t)	CO2 PSA (t)	NH3 total sist. (t)	Efic. Absorc NH3 (%)	CO2 total sist. (t)	Efic. Absorc CO2 (%)
	NH3 (t)	CO2 (t)	NH3 (t)	CO2 (t)	NH3 (t)	CO2 (t)						
1	53.3	18.95	86.76	36.6	121.1	51.72	1.87	5.41	148.8	81.40	62.8	82.32
2	51.8	18.40	92.89	41.9	133.2	65.39	5.32	15.97	159.7	83.41	81.6	80.17
4	55.5	19.75	79.49	41.2	137.3	65.91	4.44	15.72	162.3	84.56	81.2	81.22
5	57.6	20.50	67.86	26.2	143.0	64.07	5.19	15.64	159.3	89.76	67.5	94.89
6	53.8	19.11	131.5	47.3	160.6	68.09	3.43	7.57	215.9	74.40	77.4	87.94
7	52.1	18.52	69.73	31.1	136.8	60.52	2.79	10.66	152.0	90.03	63.1	95.99
8	52.9	18.82	125.3	53.6	165	75.68	2.58	12.8	202.0	81.66	87.8	86.23
9	52.6	18.70	101.3	41.7	150.7	72.27	7.52	11.44	182.3	82.68	79.4	91.03
11	52.9	18.82	72.97	27.7	143.9	64.20	11.9	7.46	153.4	93.79	65.9	97.45
12	53.1	18.89	70.92	24.5	121.3	59.73	16.4	7.46	147.1	82.46	67.3	88.77
13	51.0	18.14	103.9	44.8	155.1	72.08	28.6	2.25	179.3	86.48	93.8	76.88
15	45.9	16.31	160.9	44.1	189.0	87.87	27.1	7.46	232.3	81.35	95.0	92.48

FIGURA 1. BALANCE DE MATERIALES



A - Cola destilada + licor producto + gases CTE y PSA

B - Agua

C - Solución compensadora

D - Licor fresco

E - Gases a la atmósfera

COMPORTAMIENTO DE LA ABSORCION DE NH₃ CON RELLENO DE MADERA.

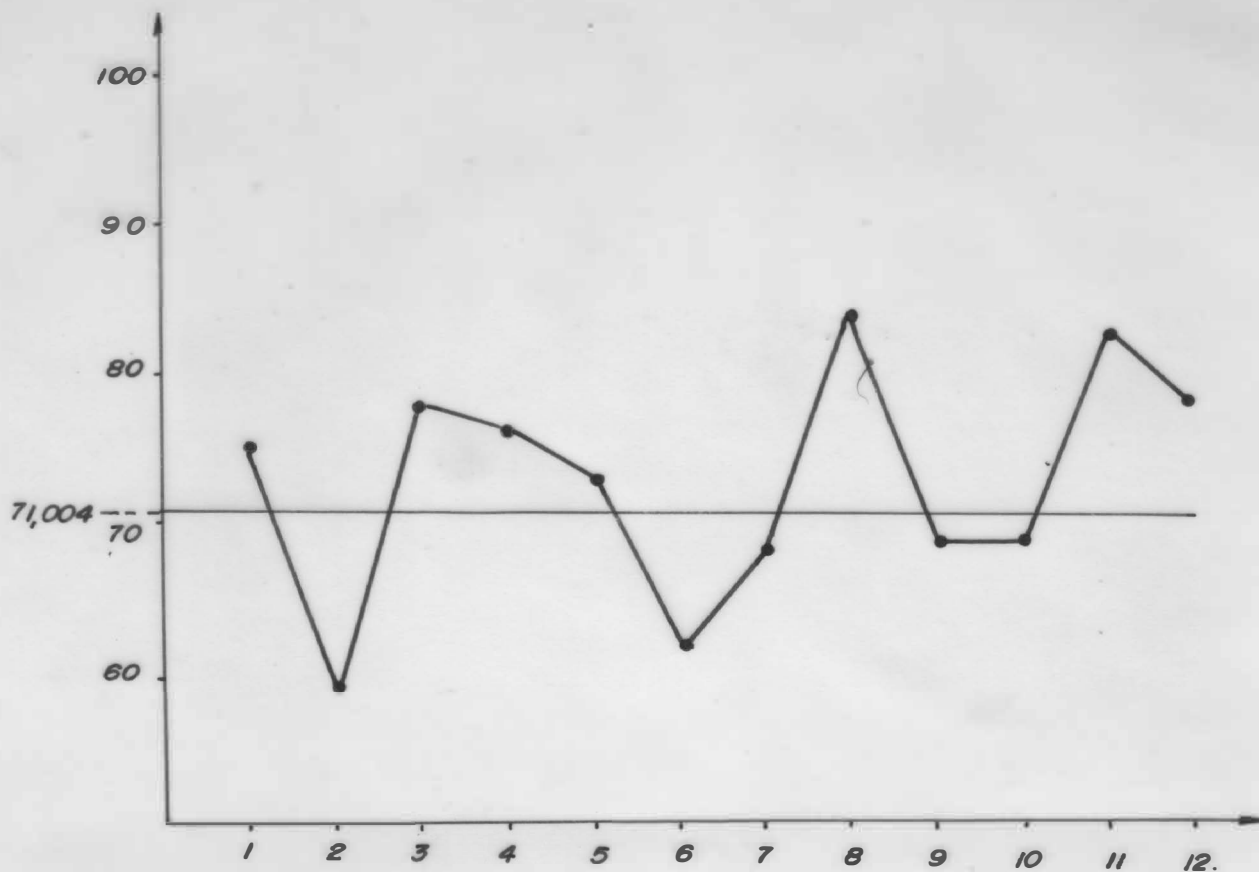


FIGURA 3.

COMPORTAMIENTO DE LA ABSORCION DE CO₂ CON RELLENO DE MADERA

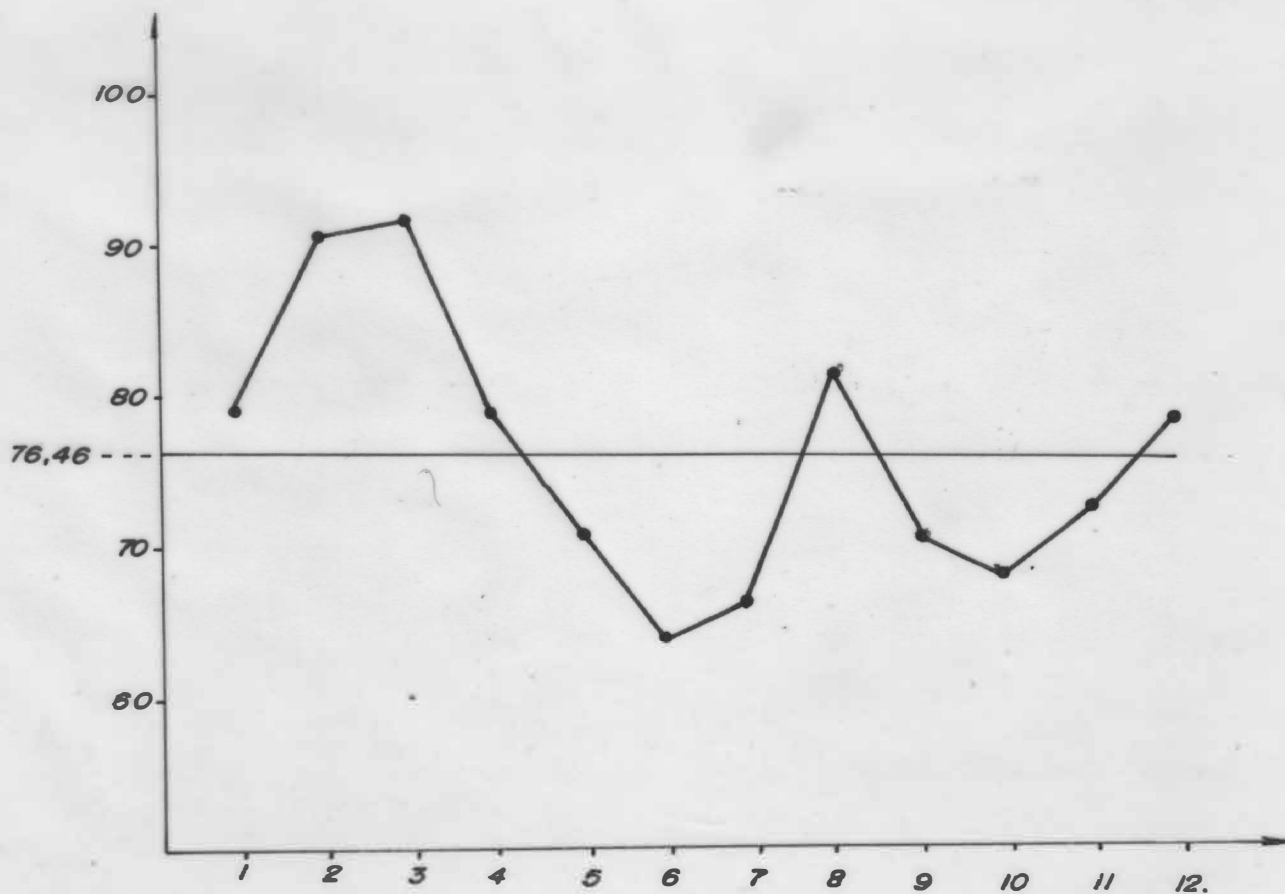


FIG. 4: COMPORTAMIENTO DE LA EFICIENCIA DE ABSORC. DE NH_3 CON ANILLOS DE CERAMICA

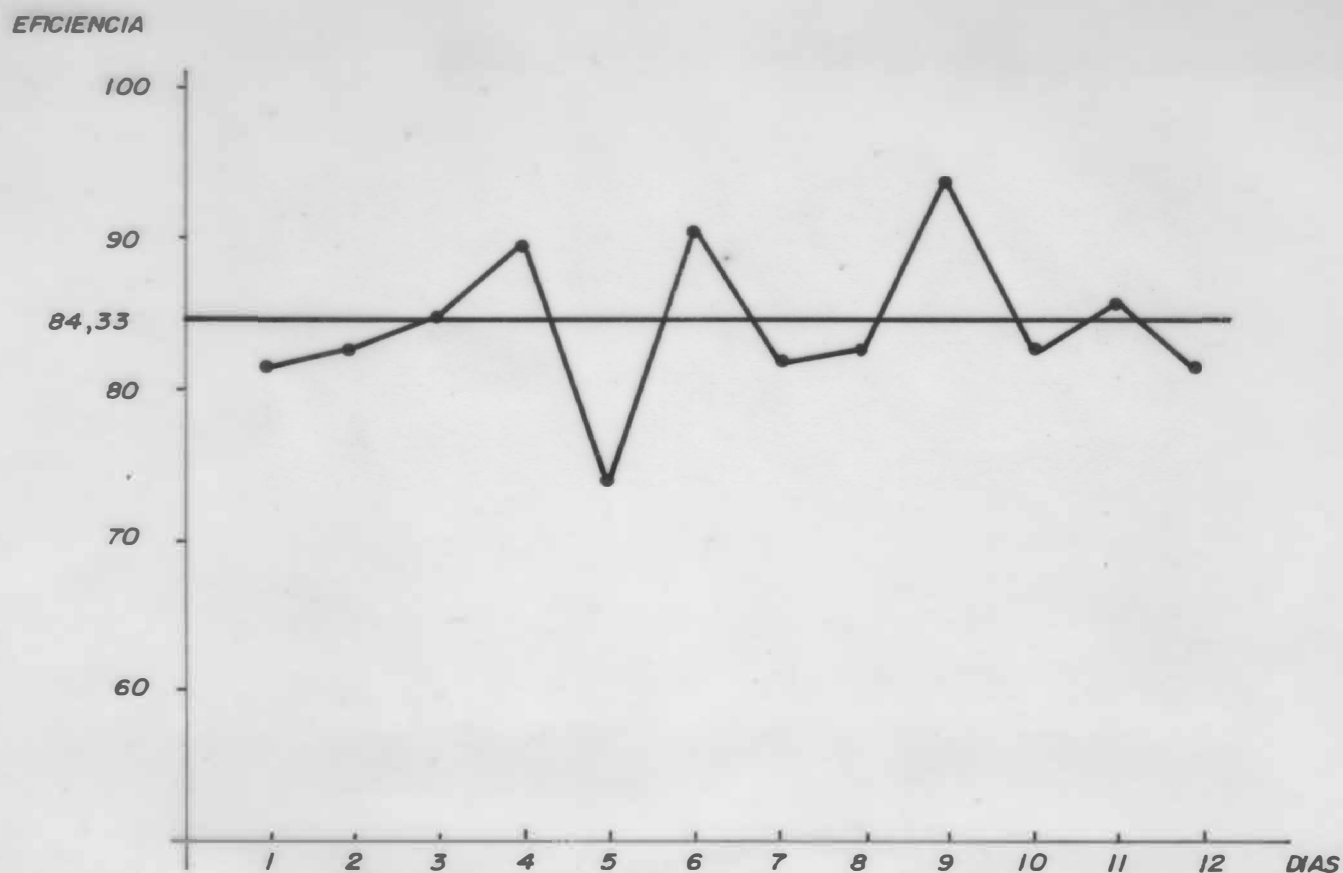
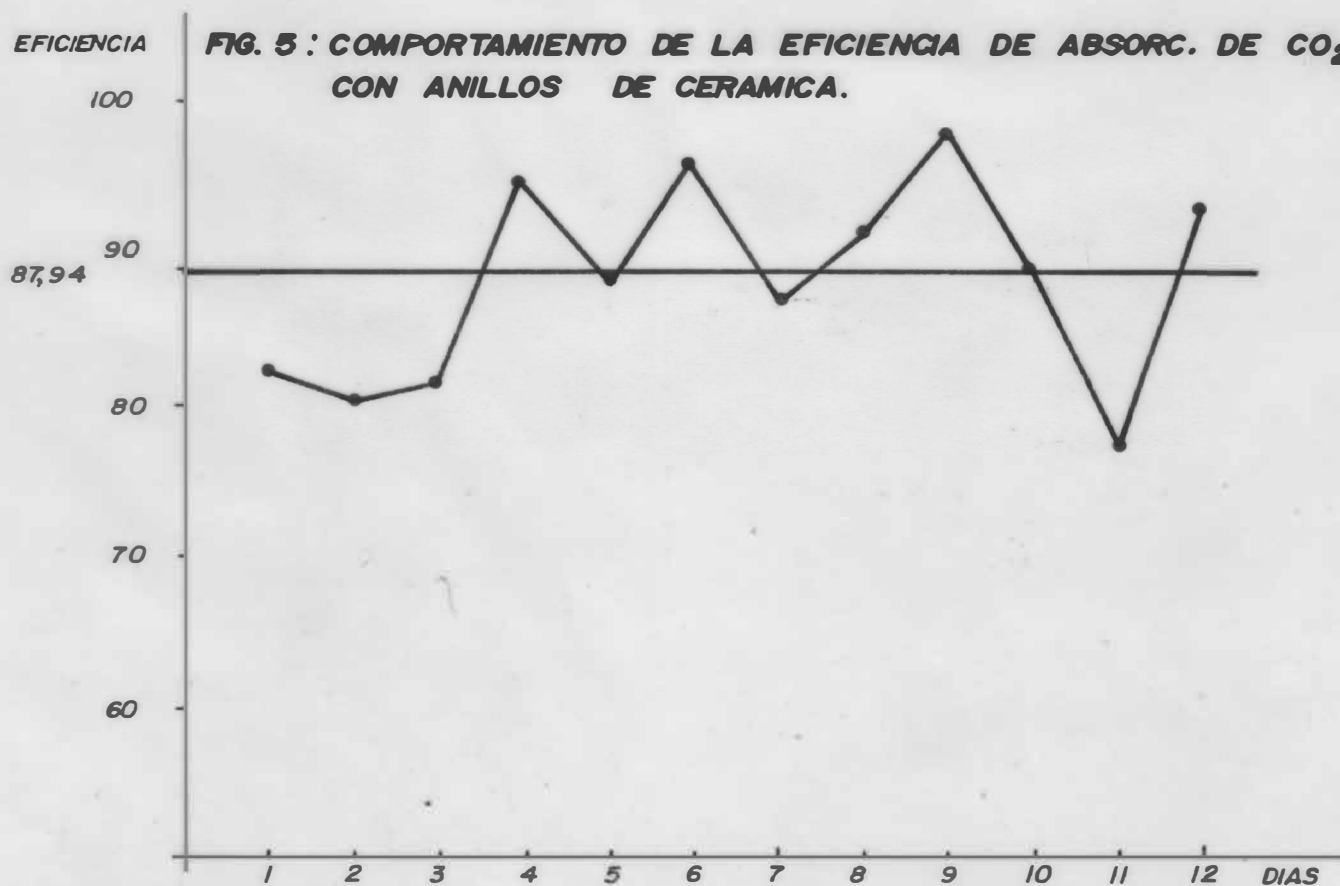
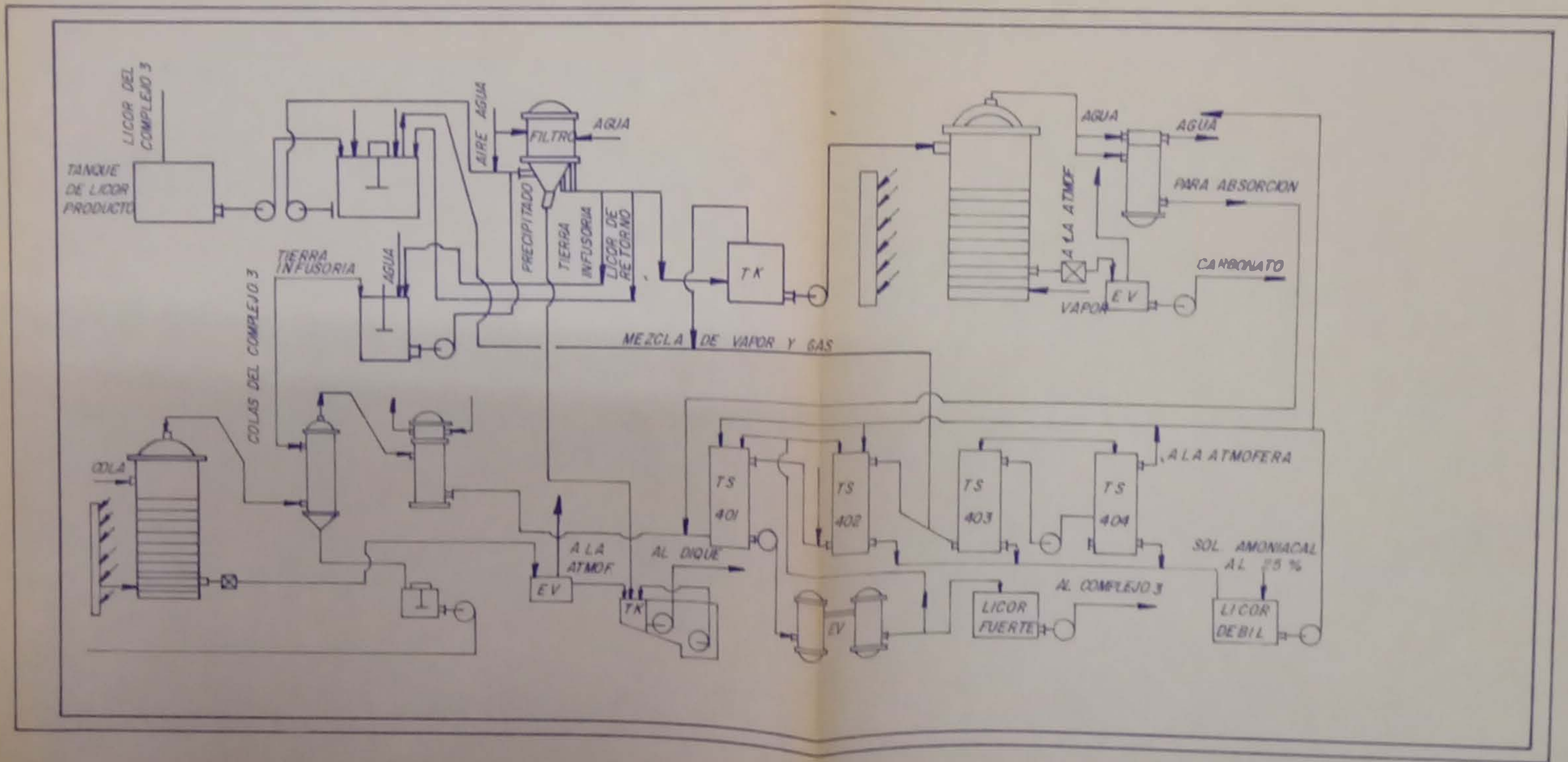


FIG. 5: COMPORTAMIENTO DE LA EFICIENCIA DE ABSORC. DE CO_2 CON ANILLOS DE CERAMICA.



PTA DE RECUPERACION DE AMONIACO DIAGRAMA DE FLUJO



PTA. RECUPERACION DE AMONIACO. SISTEMA DE ABSORCION

