

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

PROCESAMIENTO CONTINUO DE PRODUCTOS
COSMETICOS EMULSIFICABLES

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER
EL TITULO DE:
INGENIERO QUIMICO
PRESENTA
GUILLERMO F. RODRIGUEZ REVILLA

MEXICO, D. F.

1977



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AS. Tesis 1977
LIBRO _____ 347
FECHA _____
PROC. _____ 8



JURADOS

PRESIDENTE: I.Q. JUAN BOSCO BOUE PEÑA

VOCAL: I.Q. VLADIMIR ESTIVIL RIERA

SECRETARIO: ALBERTO SOLANO SALAZAR

PRIMER SUPLENTE: JOSE ANTONIO ORTIZ RAMIREZ

SEGUNDO SUPLENTE: RAMON ARNAUD HUERTA

Sitio donde se desarrollo el tema: Avon Cosmetics S. A. de C. V.

Nombre del sustentante: Guillermo Felipe Rodríguez Revilla

Nombre del asesor: Juan Bosco Boue Peña

INDICE

INTRODUCCION	PAG. 1
GENERALIDADES	PAG. 3
IMPORTANCIA EN LA INDUSTRIA DE LOS COSMETICOS	PAG. 9
MECANISMOS BASICOS DE LA TRANSF. DE CALOR	PAG. 13
ANTECEDENTES	PAG. 20
SIMBOLOGIA	PAG. 22
BASES DEL DISEÑO DEL APARATO	PAG. 24
RESULTADOS	PAG. 39
CONCLUSIONES	PAG. 47
APENDICE I	PAG. 49
BIBLIOGRAFIA	PAG. 50

INTRODUCCION

Durante la década pasada Avon Cosmetics ha experimentado en México un crecimiento sin precedentes en el campo de los cosméticos. Los factores que influenciaron este éxito, se han originado de todas las facetas de la organización de Avon. Desde el punto de vista de la capacidad de producción, ha sido únicamente a través del desarrollo y adaptación de muchos conceptos únicos que la capacidad disponible de productos terminados se ha logrado mantener al ritmo con una demanda siempre creciente.

El sistema de producción continua, introducido en la escena de producción hace ya varios años, fue quizá el factor individual más significativo en apoyar la capacidad de producción de esta compañía. Un análisis más profundo del proceso continuo revela que él, por sí mismo, es una combinación de técnicas y equipos no probados hasta ahora en el campo de manufactura de cosméticos. Es vital, para el desarrollo y operación exitosa del sistema continuo, el cambiador de calor de pared barrida. Esta unidad tiene, como función primaria, el continuo enfriamiento del producto para llevarlo de su temperatura de emulsificación a una temperatura adecuada para el llenado o almacenamiento.

Originalmente introducido al campo de procesamiento como parte integral del sistema continuo, las capacidades del cambiador han sido utilizadas desde entonces en conjunción con varias piezas de equipo "batch" standard.

Las aplicaciones del equipo, de hecho, se han expandido hasta el punto donde tiene que ver directamente en el procesamiento de más del 50% de las cremas y lociones producidas por esta compañía.

Considerando sus tan amplias aplicaciones, en conjunto con el hecho de que es parte integral de los sistemas ahora en desarrollo, no hay duda de que el cambiador se ha establecido firmemente como una pieza standard del equipo de procesamiento.

A través de su relativamente breve historia con esta compañía, el cambiador ha tenido un muy alto grado de éxito en sus varias aplicaciones.

Quizá es una consecuencia directa de su éxito rápido y amplio, el hecho de que se conoce muy poco acerca de los parámetros de trabajo del aparato y su influencia en la calidad del producto.

En este punto, haciendo énfasis en la exactitud del escalamiento, combinado con las muchas y variadas categorías de las formulaciones en desarrollo, se está volviendo muy necesario que el efecto de los varios parámetros operacionales sea conocido y entendido, y que se pueda generar una predicción del funcionamiento exacta.

Es en razón de lo anterior que se está desarrollando el presente trabajo, buscando que el equipo adquirido, tanto en esta subsidiaria como en todas las demás que Avon tiene esparcidas por el mundo, cumpla con las funciones que de él se espera y coopere, efectivamente, en incrementar la disponibilidad de grandes procesados, en óptimas condiciones de calidad.

GENERALIDADES

Una investigación del esfuerzo requerido para colocar virtualmente cualquier producto en un anaquel de farmacia o supermercado de hoy, revelaría que este esfuerzo reúne una casi innumerable combinación de pasos: primero, crear materias primas y después transformarlas en productos atractivamente empacados. No hay duda que el comprador individual promedio se asombraría si fuera puesto frente a frente con el grupo de personas involucradas en la fabricación de un tubo de crema de afeitar o una botella de loción para las manos.

La transformación de materias primas en productos terminados contiene muchas operaciones vitales, llevadas a cabo por mucha gente, ocupando lugar especial entre ella el diseñador de equipo de proceso o Ingeniero de Proceso.

Hay dos problemas mayores que deben ser resueltos antes de que la producción del producto pueda iniciarse. Primero, es el desarrollo del producto y segundo es el desarrollo de un proceso eficiente para producir el producto.

En la siguiente discusión, se hablará del segundo de estos problemas, o sea el desarrollo de un proceso y equipo en el cual se lleva a cabo dicha producción.

Más específicamente, se hablará de un aparato continuo de transferencia de calor que tiene muchas aplicaciones y que puede servir, simultáneamente, como emulsificador, homogenizador o texturizador y mezclador.

Generalizando, se puede considerar la línea moderna de producción como una combinación de operaciones unitarias y procesos unitarios.

Desde el punto de vista de un ingeniero de equipo, los procesos u operaciones unitarias son pasos que son comunes para la mayoría de las industrias, incluyendo aquellas encargadas de producir comida, productos químicos y cosméticos.

Por ejemplo, la margarina, la loción crema para las manos y los pulimentos fáciles de aplicar para automóviles y pisos, tienen como característica común que todos son emulsiones.

Los ingredientes, desde luego, difieren dependiendo del producto pero, fundamentalmente, los pasos para transformar los ingredientes en el producto final son casi los mismos y todos son funciones de temperatura, tiempo y trabajo.

Para el ingeniero de equipo y proceso estas funciones significan transferencia de calor, velocidad de transferencia de calor y trabajo físico, antes, después o durante la formación o terminado del producto.

Para el procesador puede parecer que no es necesario un equipo de calidad ni un ingeniero de proceso con experiencia para la fabricación de cosméticos específicos, comida o productos químicos. La realidad es que el ingeniero de proceso debería ser un experto en la operación unitaria o en las operaciones que el procesador requiere, si este está para desarrollar un proceso efectivo.

Desde este punto, esta discusión tratará con un mecanismo de transferencia de calor altamente eficiente que se emplea en muchos tipos de procesos, donde su uso ha convertido a las operaciones "batch" o por lotes en operaciones continuas, eficientes, exactas y fácilmente controlables.

En tal aparato de transferencia de calor, el material fluido o suspensión de sólidos en líquido es bombeado por un lado del aparato, rápida y uniformemente calentado, enfriado o ambos, y descargado a la salida a la temperatura deseada y con las propiedades físicas determinadas tales como consistencia, homogeneidad o grado de emulsificación.

Estas transformaciones son efectuadas con controles muy rigurosos de las condiciones de proceso, tales como tiempo, temperatura y trabajo.

Mientras que la transferencia de calor y el mezclado son dos de las operaciones

unitarias más antiguas conocidas para procesar, su existencia y métodos específicos para su uso se consideran garantizados. Hay pocas operaciones de cualquier tipo en las cuales, en un punto u otro, no debe ser transferida energía calorífica hacia dentro o fuera de una cantidad voluminosa de materiales para producir el efecto o producto deseados.

Es por ello que lo siguiente tratará, no tanto de la necesidad de la transferencia de calor, sino de las posibilidades de utilizarla más económica y eficientemente.

Esto se hará primero describiendo el aparato y después explicando cómo y por qué trabaja, para después clarificar cómo se controla la relación tiempo-temperatura \dagger trabajo mecánico.

Descripción del Equipo

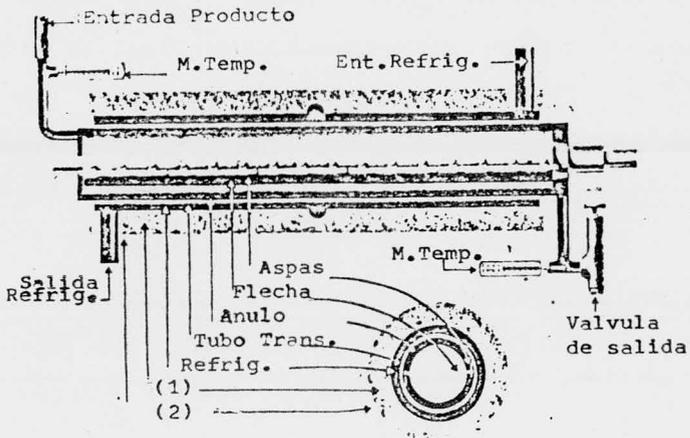
La figura 1 muestra un corte transversal del aparato de transferencia de calor de "superficie raspada" que consiste en una carcaza aislada rodeando un tubo de transferencia. Los extremos de este tubo están cerrados con cabezas que contienen soportes para una flecha montada concéntricamente en el tubo. Esta flecha "variable", que rota y lleva consigo las aspas de raspado, es el principal aditamento para:

1. Efectuar una rápida transferencia de calor.
2. Prevenir sobrecalentamiento o enfriamiento localizado.
3. Proveer la agitación o trabajo necesario para emulsificar, homogeneizar, plastificar o hacer una fina dispersión de los ingredientes alimentados a la unidad.

El diámetro de la flecha es normalmente $3/4$ partes del diámetro interno del tubo y proveer así un espacio anular relativamente pequeño para que pase el producto. De cualquier forma, si se requiere más o menos tiempo de proceso, este anillo puede ser aumentado o disminuído, aumentando o disminuyendo el diámetro de la

flecha. Las cabezas que contienen los soportes en los cuales gira la flecha, están provistas con una entrada o salida del producto. En el caso que se requiera inyección múltiple de ingredientes, la cabeza de entrada está equipada con el número apropiado de boquillas. El arreglo descrito es un ensamble completo del cilindro. Uno o mas de estos ensambles se manejan directamente o montados en un gabinete que lleva el motor eléctrico y el arrancador de la flecha.

La velocidad rotacional de la flecha en el tubo se arregla con la elección apropiada de poleas o engranes entre la flecha y el motor eléctrico.



(1) Aislamiento
(2) Carcaza de metal Figura 1

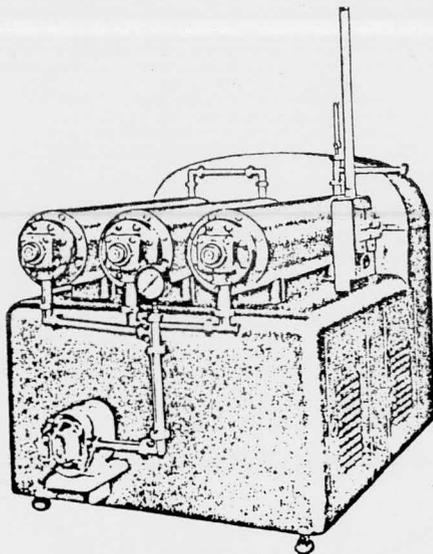


Figura 2

En el caso donde las R.P.M. de la flecha se necesitan variar, a modo de dar mas potencia y mezclado para un producto y menos para otro, se provee un control variable. Los ingredientes son alimentados de las tinajas de preparación a una bomba seleccionada adecuadamente que, en forma continua, mueve el material para ser procesado, de la entrada, a través del espacio anular, hacia la salida. El medio de transferencia, en la cantidad requerida, entra y deja la carcasa a través de las entradas. El espacio anular, está diseñado para dejar pasar el medio a través de ella en forma variable, pero en suficiente cantidad, y a una velocidad máxima para crear turbulencia y una mínima caída de presión.

El medio de transferencia puede ser agua, amoníaco, freón, dowtherm o salmuera. El tubo de transferencia separa el producto y el medio, y puede ser construido de acero al carbón, níquel, acero inoxidable, acero al carbón cromado o níquel cromado.

La elección de materiales de construcción y el diseño de las aspas, está definido por las propiedades físicas del producto. La velocidad rotacional de la flecha, que usualmente está fabricada en acero inoxidable, es determinada por las características del flujo de material que está siendo procesado y el efecto deseado en el producto.

El tamaño de las unidades está basado en el diámetro interno del tubo de transferencia de calor. Las unidades utilizadas en la industria del cosmético son de 4 ó 6" de diámetro y 48" de longitud. Los cilindros de 4 y 6" contienen, aproximadamente, 4 y 6 pies² de área efectiva respectivamente. Unidades hasta 24" de diámetro y 120" de largo, son utilizadas para grandes velocidades de producción. La figura 2 muestra una unidad típica.

IMPORTANCIA EN LA INDUSTRIA DE LOS COSMETICOS

En este punto, el fabricante de cosméticos se preguntaría " Por qué debo estar interesado en un aparato de este tipo? " La respuesta viene de la naturaleza de los procesos utilizados en la fabricación de cosméticos: **dígase emulsificación, cristalización, texturización y gelación para obtener una fluidez uniforme y controlada, consistencia y distribución uniforme de color y perfume.** Estas sólo algunas de las innumerables operaciones que deben ser llevadas a cabo antes de que los ingredientes salgan como crema de afeitar, shampoo, cremas, lociones, desodorantes, cremas depiladoras, pastas de dientes, etc.

El control del calentamiento o enfriamiento en tales operaciones es esencial, debido al marcado efecto que tiene esto en la calidad del producto final. Por ejemplo, en la emulsificación, cristalización, gelación y texturización, es un caso raro cuando su procesamiento exitoso no es función de la relación tiempo-temperatura-trabajo mecánico. Una variación de cualquiera de estas tres variables, usualmente causa una diferencia medible en el producto final. Por ejemplo, en cualquier condición de tiempo y temperatura, la variación del trabajo mecánico durante el calentamiento o enfriamiento, puede resultar en un material fluido cuando se requiere una pasta o viceversa. En el caso de la formación de una emulsión, si la formulación, el grado de trabajo mecánico y el tiempo de residencia en el proceso se mantienen constantes, pero el gradiente de temperaturas varía, puede ser creado un producto que fluctúe entre un fluido delgado y una pasta sólida. Esto es particularmente cierto cuando una fórmula contiene aceites o ceras que son normalmente sólidos a temperatura ambiente.

En las mismas condiciones tomadas, variando una, en el caso de otro tipo de producto, se puede formar una emulsión de aceite en agua, cuando lo contrario es requerido o puede causarse que la emulsión no sea estable en almacenamiento.

Como una ilustración específica, la figura # 3 muestra el efecto de mantener constantemente todas las condiciones de proceso excepto la temperatura. Cuando se realizó esto, la loción crema para las manos ya era un éxito en el mercado. Los objetivos del trabajo experimental era producirla mas económicamente, con un control mas exacto de la viscosidad del producto y prevenir un cambio de viscosidad en el almacenaje. Estas curvas muestran que mientras se aumentaba la temperatura, la viscosidad del producto aumentaba hasta un pico y después disminuía. En envejecimiento, la viscosidad aumentó, pero el cambio no es visible o sensible físicamente. Este estudio mas adelante mostró que si el proceso era llevado a cabo donde se lograba el pico de la viscosidad, bajo las condiciones de temperatura, el tiempo durante el aumento de temperatura y trabajo mecánico, el producto permanecía estable como una emulsión de agua-aceite, que era lo que se deseaba. Por otro lado, con un aumento de trabajo mecánico, la viscosidad de la loción crema disminuía marcadamente. Si se agregaba trabajo al producto mientras se calentaba, las fases de la emulsión se invertían completamente. Además, una vez que se lograba la emulsión y consistencia apropiadas en el paso de calentamiento, la velocidad del enfriamiento y la cantidad de trabajo se encontró que tenían efectos inversos. Mucho trabajo y enfriamiento, resultaba en un producto aguado. Trabajo insuficiente resultaba en una viscosidad excesivamente alta y el producto podría cambiar a un estado fluído si se agitaba la botella.

La figura #4, muestra el diagrama de flujo del proceso para la emulsión de la loción para las manos.

La presentación más interesante no es el hecho que, con un corto trabajo en una planta piloto, las condiciones de operación y de equipo fueran establecidas, sino que con una fórmula y cambios relativamente pequeños en la relación tiempo-temperatura-trabajo mecánico, se obtuvieron facilmente emulsiones de muchas características.

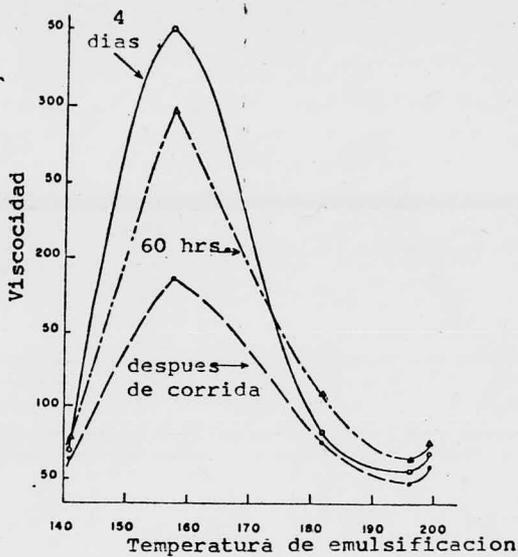
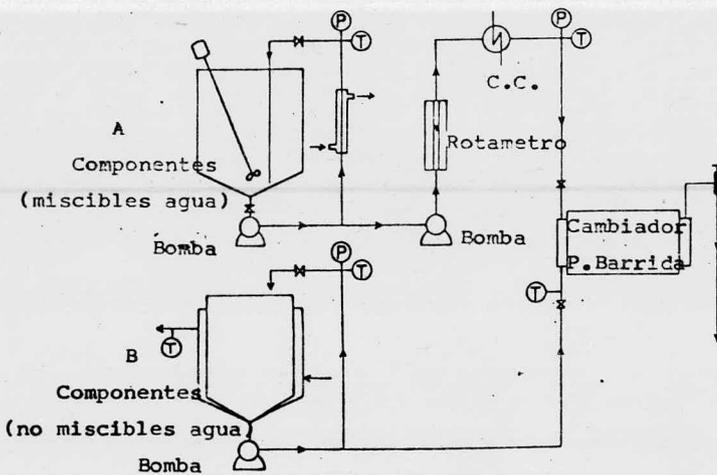


Figura 3



Proceso continuo tipico para Emulsión de
Lojón Crema para Manos

Figura 4

Esto es significativo, ya que la facilidad de control de calidad del producto y la versatilidad del equipo no se obtuvieron en un trabajo paralelo realizado en un equipo intermitente y mezclado secuencialmente. En otras palabras, el proceso se convierte en continuo, fácilmente controlable y repetitivo, en lugar de un arte. El tiempo no permite un trabajo similar para desarrollar sistemas continuos para procesar crema de afeitar, pasta de dientes, emulsiones farmacéuticas, desodorantes en crema, shampoo en pasta, etc.

De cualquier forma, en todo trabajo, la operación continua y controles exactos de temperatura son predominantes.

Una función que es común para tener una buena transferencia de calor, emulsión, cristalización, dispersión, es la agitación. La eficiencia de la velocidad de calentamiento o enfriamiento es acelerada por la agitación. Por otro lado, la emulsión por agitación, sin un buen control de la energía calorífica agregada o desarrollada, puede que no resulte ser tan estable como se requiere, particularmente si la formación de grumos o la solidificación de las partículas de los ingredientes tiene lugar como ocurre frecuentemente.

Por lo dicho anteriormente, la cristalización no uniforme o la no texturización ocurriría si la agitación no guardara relación con la transferencia de calor o viceversa.

La aplicación o eliminación de calor eficiente de un producto, el control de la energía en forma de trabajo y la reducción de procesos a una operación uniforme, controlable y repetitiva son consideraciones imperativas en una economía de competencia.

Ya sea que se empleen pailas con agitación, superficies con raspado, procesos intermitentes o continuos, los mecanismos fundamentales de la transferencia de calor son los mismos y deben de ser comprendidos, si el producto desarrollado a

una pequeña escala de laboratorio va a ser duplicado económicamente a escala industrial, o una línea ya existente va a ser cambiada, para producir el mismo resultado, pero a un costo menor por artículo. Lo siguiente es un breve repaso de los mecanismos básicos de la transferencia de calor. (Ver APENDICE I)

MECANISMOS BASICOS DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR

La transferencia de calor es llevada a cabo mas eficientemente presentando una pequeña cantidad de producto, con un lecho de poco espesor, en un área relativamente grande, agitándolo vigorosamente y, simultáneamente, removiendo la película de producto cercana a esta área.

No obstante que todos los factores mencionados son importantes, el último factor, la remoción de película, es uno de los mas importantes para una buena transferencia de calor. Esto es una situación donde pequeñas modificaciones hacen una gran diferencia.

Todos los materiales, metales, líquidos, mezclas, tienen diferentes habilidades y variantes para transferir, tomar o ceder calor. Esto se conoce como conductividad térmica. Por ejemplo, a 212° F, el cobre conduce el calor 7 veces mas rápido que el acero inoxidable y 6 veces mejor que el níquel. El agua es mas facil de calentar o enfriar que una crema de afeitar o una crema facial. También está establecido que, cuando se fuerza la convección, por medio de la agitación, el calentar o enfriar algo se acelera considerablemente, mientras que al mismo tiempo se minimiza el congelamiento o combustión localizada.

De cualquier forma, todo contribuye: el escoger un buen metal y proveer de agitación por varios sistemas, tales como bombear a alta presión para crear turbulencia, tamborear y aún presentar un lecho delgado a la superficie de transferencia, aunque no es el la solución completa.

Todos los líquidos, pero particularmente los viscosos, tales como los más comunes en la industria de los cosméticos, se adhieren o mojan la superficie de transferencia de calor. Por medio de una demostración práctica y una reducción matemática a términos específicos de calor, se establece firmemente que, inmediato a la pared de transferencia de calor, hay una película residual estática que se resiste a ser removida. Esta película extremadamente delgada pero estática, juega un papel mayor en la eficiencia e, incidentalmente, en la calidad del producto, debido a que todo el calor llegando o dejando el granel, debe de pasar o ser manejado a través de esta película, por conducción.

Aunque estas películas son extremadamente delgadas, su resistencia al flujo de calor es muy grande, debido a que su conductividad térmica o habilidad para transferir calor es muy pequeña.

Como un ejemplo a 212°F , el níquel transmite más o menos 36 BTU por hora, por pie cuadrado, por grado fahrenheit, mientras que el acero inoxidable transferirá 26. Para una película de agua, que es una de las sustancias más fáciles de calentar, este valor es únicamente 0.35 BTU por hora, etc., o aproximadamente 100 veces más bajo que el níquel.

Para artículos cosméticos, con un contenido relativamente alto de sólidos o aceites con alta viscosidad y una consistencia semifluida y pastosa, esta conductividad está por debajo de la del agua.

En una operación de enfriado, la remoción de la película tiene una importancia doble y se le debe dar una especial atención, particularmente cuando se manejan cosméticos de consistencia plástica o semifluida. Aquí, la resistencia de la película se vuelve muy aguda, debido a que la superficie de la transferencia no únicamente está mojada por el producto, sino que también está recubierta con un lecho de producto con una alta viscosidad, desde varias milésimas de pulgada a varios dieciseisavos de pulgada, aislando así la superficie de metal del fluido. En algunos casos, donde las as-

pas para remover la película han sido omitidas a propósito, o inadvertidamente, de la flecha rotativa del equipo en discusión, la capacidad de producción se reduce hasta en un 50%. Aún en una operación en ollas, el efecto de la agitación es medible.

Sumarizando lo anterior, la eficiencia del flujo de calor está relacionada a:

1. La remoción o reducción de la película de producto a la pared de transferencia de calor.
2. El grado y la naturaleza de la agitación y la turbulencia administrada durante el proceso.
3. La cantidad y calidad de la superficie metálica de intercambio de calor.
4. La conductividad térmica de todos los ingredientes involucrados, mas el resultado de las combinaciones formadas en el proceso.
5. La viscosidad y el cambio de ésta en los ingredientes durante el proceso.
6. La aplicación práctica y juiciosa del aislamiento, para eliminar o reducir grandemente pérdidas debidas a radiación.

La aplicación práctica de estos principios fundamentales ha resultado en el diseño de transferencia de calor continua y con superficie barrida y mezclado que es el aparato en discusión.

De la descripción dada del aparato, se notará que los puntos básicos de la transferencia de calor fueron hechos parte integral del aparato. El diseño es tal, que el aparato es una herramienta para realizar la operación unitaria de transferencia de calor continua, sin importar la industria. Puede servir y ser igualmente apropiado para la producción de cosméticos, margarina, malvaviscos, almidón, gelatina, comida para niños, crema de hongos, grasa lubricante o rellenos de pasteles.

La manipulación de la relación tiempo-temperatura-trabajo físico de cualquier proceso específico y la habilidad de controlar y coordinar este tipo de funciones puede hacerse posible por las siguientes características de:

1. **Temperatura:** este aparato ofrece una relación alta de superficie-volumen de material tratado.
2. **Tiempo y trabajo mecánico o agitación:** en adición a la alta relación superficie-volumen, también se dispone simultáneamente de una relación alta de agitación-volumen procesado.
3. **Agitación o trabajo mecánico:** debido a la gran variedad de productos que son o pueden ser procesados, la cantidad de trabajo mecánico necesario varía ampliamente. Para compensar o proveer esta contingencia variable, hay simples modificaciones o variaciones del equipo que pueden usarse satisfactoriamente, como son:
 - a) **R.P.M. de la flecha:** Se obtiene trabajo de mas o de menos aumentando o disminuyendo las revoluciones por minuto de la flecha.
 - b) **Diámetro de la flecha:** Un aumento de la cantidad de trabajo en el producto se obtiene facilmente reduciendo el diámetro de la flecha. Esto también aumenta el tiempo de residencia en la sección anular.
 - c) **Presión:** La turbulencia en este tipo de aparato se crea por la flecha revolvente y las aspas, en vez de forzar al producto a una alta velocidad a través de cambiadores de pequeño diámetro, eliminando así la necesidad de construir el aparato primariamente para altas presiones. De hecho, la caída de presión a través de este cambiador tiene que ser impuesta por una válvula de presión posterior, de manera de poder trabajar a la presión más adecuada para el producto. Por lo tanto, a la variación de las R P.M. de la flecha y del diámetro se agrega otro tercer factor potencial para aumentar o disminuir el trabajo mecánico sobre el producto, llámese aumento o disminución de presión sobre el producto bajo proceso y el empleo de un diseño apropiado de válvula para lograr o disminuir el efecto del trabajo mecánico.

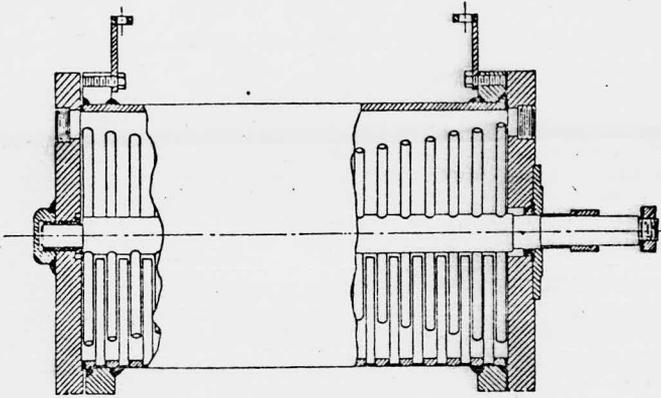
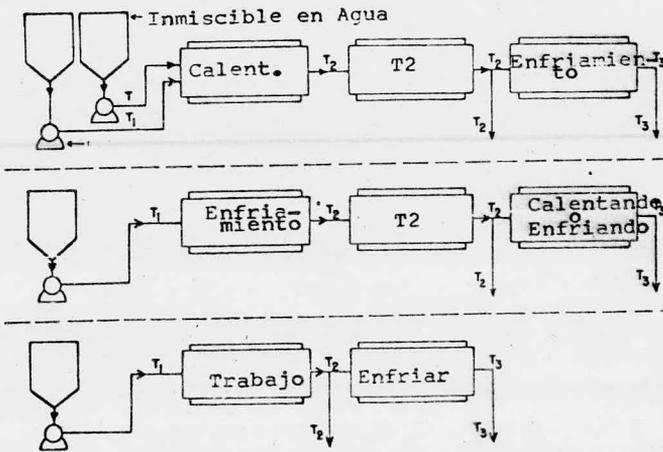


Figura 5



Procesamiento Continuo.
Basico

Figura 6

400282



61060

De cualquier forma, en el caso de que la naturaleza del producto sea tal que lo mencionado arriba no provea suficiente trabajo, o que el producto requiera más trabajo a una temperatura específica en mayor o menor tiempo, lo siguiente es una de las varias soluciones. Si el problema es uno, donde se requiere agitación por más largo tiempo a una temperatura específica, se utiliza un aparato de tipo worker-blencer, (con trabajo y agitación simultáneamente) fig. 5.

Esta unidad, con o sin chaqueta, es muy flexible con respecto al tiempo de residencia y trabajo, debido a que como el caso con el cambiador de calor básico, sus variables también son tamaño, diámetro de la facha, diseño de la misma y R.P.M.

La fig. 6 ilustra la operación básica y los posibles arreglos para establecer y controlar los factores de tiempo-temperatura-trabajo.

Los rearrreglos, en la mayoría de los casos, se llevan a cabo simplemente por cambios en las tuberías.

En suma, el propósito de esta discusión no es engrandecer un sistema, sino subrayar el concepto de operaciones unitarias económicamente continuas, donde la transferencia de calor es una de las que se trabajan diariamente y donde, sin ella, pocos procesos, si acaso, serían posibles. Por lo tanto, sólo es razonable para un productor revisar esta porción de una línea existente o en proyecto para determinar:

1. Si es una operación intermitente al convertirla en proceso continuo deja un espacio libre apreciable, reduce material viejo, trabajo, personal en entrenamiento y supervisión, facilita la carga de control de calidad y producción y hace el área más confortable.
2. Si es una operación intermitente y no existe, aparte de la convicción, alguna otra razón de que el método actual sea el único, la operación se puede convertir en continua y ser fácilmente supervisada, rápidamente aprendida, controlada instrumentalmente, volviéndose un proceso técnico de ingeniería en vez de un arte. ●

3. Si se está haciendo uso eficiente y económico del vapor producido o de la refrigeración. Por ejemplo, en la operación de calentamiento, cuánto del vapor requerido total se va en el proceso y cuánto se radia en el área.
4. Que tan fácil es mantener, día a día, hora a hora, control de las características deseadas tales como textura, color, olor, viscosidad, densidad, tamaño del cristal, estabilidad de la emulsión, etc., si los operadores se cambian.
5. Si un proceso continuo cerrado hace la operación menos difícil o menos nociva.
6. Finalmente, que tan bueno es el sistema por si mismo: sanitario, tiempo de trabajo, facilidad de limpieza y mínima pérdida del producto.

En cualquier campo de trabajo, siempre existen un sin fin de esfuerzos para obtener mejoras a la economía de producción, creando nuevos productos y procesos y haciendo productos antiguos por métodos nuevos. Los laboratorios y plantas piloto tienen un papel vital en este esfuerzo. La disponibilidad de esas plantas piloto ha ayudado a desarrollar el tipo de equipo que aquí se discute, contando con la cooperación de fabricantes para aplicarlo en ciertos procesos. La longitud de este trabajo sólo ha permitido una breve mención de todas las posibilidades y de unos cuantos procesos, ya en uso comercial. Con la continua cooperación entre fabricantes y el ingeniero de equipo, hay, sin duda, muchas mas posibilidades interesantes.

ANTECEDENTES

Los cambiadores de pared barrida alcanzan el grado más alto de eficiencia en el calentamiento o enfriamiento continuo a través de paredes metálicas para fluidos bombeables.

Las características inherentes a este tipo de cambiadores son las siguientes:

- a) Remoción continua de la película de producto. En este tipo de cambiadores, la película de producto es removida de la superficie de transferencia de calor por aspas acopladas a una flecha airando de 125 a 1400 r.p.m.
El ensuciamiento de la superficie se evita, y la alta turbulencia causada por la flecha y las aspas rotando asegura un tratamiento uniforme, aún para sustancias muy viscosas.
- b) El tratamiento, ya sea calentamiento o enfriamiento, está bajo control preciso. La relación de producto en el cambiador es relativamente pequeña con respecto a la superficie de transferencia, (la combinación ideal para un control máximo).
- c) Los cambiadores son diseñados para un proceso o producto. Cada cambiador se diseña desde el punto de vista de ingeniería para un producto y sus características físicas en todo el ranto de calentamiento o enfriamiento, para proveer una relación óptima calentamiento/enfriamiento, temperaturas de salida calentamiento/enfriamiento y cantidad de trabajo físico durante el calentamiento/enfriamiento.

Otras ventajas específicas de los cambiadores de superficie barrida son:

- 1) Diseños únicos para tubos y las aspas, obteniendo una mas alta transferencia de calor y una mas alta velocidad de transferencia, minimizando así los requerimientos de energía.

- 2) Las eficiencias mas altas en la transferencia reducen la cantidad de superficie requerida para enfriar o calentar, lo cual permite altas capacidades en equipos relativamente pequeños.
 - 3) La turbulencia se crea por la flecha y las aspas, en vez de tener que bombear el líquido a mas alta velocidad. Esto reduce los problemas de bombeo y también los costos.
 - 4) Se emplean en la construcción materiales resistentes a la corrosión, según lo requiera cada caso.
 - 5) La cantidad de equipo necesaria se calcula específicamente y se iguala a la capacidad por hora requerida.
 - 6) El ensamble y desensamble semanal, para mantenimiento preventivo, es una cuestión fácil. Esto se debe a que únicamente se requiere remover la cabeza para desensamblar la flecha.
 - 7) Se requiere exclusivamente de un operador al empezar a trabajar y al acabar, suponiendo que el equipo tenga la instrumentación necesaria.
- Este tipo de equipo se entrega con varios arreglos ya sea unitarios o dos unidades, para todo el calentamiento o todo el enfriamiento o una mezcla de los dos. El elemento de transferencia es agua, vapor, salmueras, líquidos de alta temperatura o refrigerantes de expansión.

SIMBOLOGIA

Símbolo	Explicación	Unidades
Cp	Calor específico a presión constante	BTU/ (LB m) (° F)
De	Diámetro equivalente	Ft.
Ds	Diámetro de la flecha	Ft.
Dt	Diámetro del tubo de transferencia	Ft.
L	Longitud del tubo de transferencia	Ft.
N	Velocidad rotacional de la flecha	1/hr.
P	Fuerza requerida para hacer girar la flecha más las aspas.	$\frac{\text{Ft.} \cdot \text{LB f}}{\text{Hr.}}$
Q	Flujo de calor	BTU/Hr.
U	Coefficiente total de transferencia	BTU/Hr. Ft. ² ° F
U efectivo	Coefficiente total efectivo de transferencia.	BTU/Hr. Ft. ² ° F
V	Velocidad	Ft./Hr.
g _c	Factor de conversión de Newton 4.17×10^8	$\frac{\text{Ft.} \cdot \text{LB}_m}{\text{LB}_f \cdot \text{Hr.}^2}$
g _L	Aceleración de la gravedad	Ft./Hr. ²
h _j	Coefficiente de película del lado de la coraza	BTU/Hr.Ft. ² ° F
h _s	Coefficiente de película de la superficie barrida	BTU/Hr. FT. ² ° F
k	Conductividad térmica	BTU/Hr. Ft. ² ° F/Ft
n _B	Número de aspas que barren	Adimensional
ρ	Densidad	Lb _m / Ft. ³
μ	Viscosidad	Lb _m / Ft. Hr.

Grupos Adimensionales

Abreviación	Nombre	Fórmula
D_s/D_T	Relación de diámetros	D_s/D_T
n_B	Número de aspas	- - -
Nu	Número de Nusselt	$\frac{h_s D_T}{k}$
Po	Número de Fuerza	$\frac{P_{gc}}{D_T^5 N^3 \rho}$
Pr	Número de Prandtl	$\frac{C_p \mu}{k}$
Re	Número de Reynolds Lineal	$\frac{D_e V \rho}{\mu}$
Re	Número de Reynolds Rotacional	$\frac{D_T^2 N \rho}{\mu}$
	Grupo Rotacional	$\frac{D_T N}{V}$

BASES DEL DISEÑO DEL APARATO

Discusión: La función básica de este tipo de aparato, o de cualquier otro cambiador de calor es, exactamente como su nombre lo indica, la transferencia de calor de un medio a otro. Para las aplicaciones de Avon, el aparato se utiliza exclusivamente para enfriar un producto de su temperatura de emulsificación hasta alguna temperatura mas baja adecuada para ser llenado o almacenado. Como una consecuencia directa del diseño característico del cambiador de pared barrida, hay una capacidad para un alto nivel de energía a la salida en el producto procesado en forma de mezclado. Esta salida de energía tiene muchas implicaciones con respecto a los productos terminados, y términos tales como "trabajo en frío" y "trabajo en caliente", se convierten en importantes en la obtención de las características deseadas en el producto final. Esto lleva a decir que este aparato es mas que un meramente cambiador de calorías, de hecho, un tipo de reactor en el cual sus parámetros de operación, tales como velocidad de la flecha, contra presión, coeficiente de transferencia de calor, pueden, y de hecho tienen, una influencia definitiva en la calidad del producto terminado.

Lo importante de esto, es que como se menciona antes, a pesar de la influencia del aparato en el producto terminado, se entiende o conoce muy poco de los efectos de los parámetros variables de operación en la calidad del producto. En este punto, aún el criterio elemental para cambiadores de calor, el coeficiente total de transferencia sólo puede ser aproximado.

De este punto en adelante, la discusión será limitada a la determinación de las características de transferencia de calor del aparato.

Sabiendo que los principios básicos de transferencia de calor son bien conocidos y pueden ser encontrados en cualquier libro escrito sobre la materia, hay un punto de particular importancia en la discusión de cambiadores de pared barrida: los

coeficientes de película. En el proceso de transferir calor por medio de la conducción a través de una barrera de cualquier tipo, se sabe bien el hecho de que todos los materiales inmediatamente adyacentes a la barrera mojarán esta con una película estática. Estas películas tienen una importancia muy grande, ya que todo el calor llegando o dejando el material tratado deberá de pasarla, lo cual dificulta el cálculo de la eficiencia del cambiador.

A pesar de que estas películas son, o pueden ser obtenidas muy delgadas, su resistencia al flujo de calor es muy grande.

Existen varias técnicas comunes para contrarrestar este efecto de las películas, todas enfocadas a reducir el espesor hasta un mínimo absoluto.

La reducción se lleva a cabo usualmente manteniendo un nivel alto de turbulencia en ambos lados de la barrera de transferencia.

Esta turbulencia se alcanza por medio de la construcción de una alta velocidad y/o la construcción del cambiador manteniendo un camino intrincado para los fluidos.

Examinando la fig. 7 ella revela que, en el lado del refrigerante, en un cambiador de pared barrida, la remoción de la película se lleva a cabo por la combinación de altas velocidades del flujo y el camino en forma de hélice.

Este camino, en forma de hélice, sirve para dos propósitos: inducir la turbulencia y asegurar un flujo a contracorriente, previniendo un corto circuito de refrigerante, de la entrada directamente a la salida.

En el lado del producto, la remoción de la película se lleva a cabo por medio del sistema de raspado de las aspas en la flecha. Además de la eliminación de la película, estas aspas inducen un alto grado de agitación al material procesado, presentando de esta forma material fresco a la pared de transferencia.

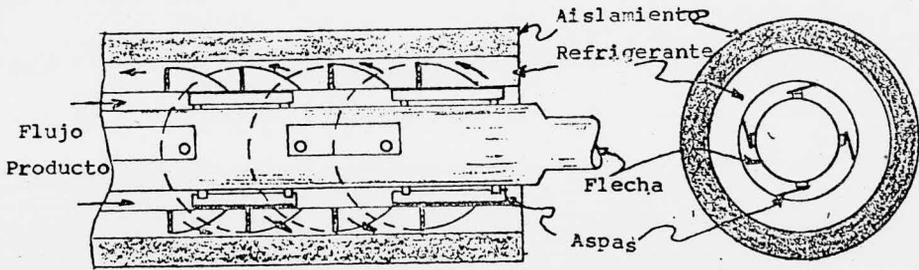


Figura 7

La figura 8, ilustra gráficamente la distribución de temperaturas a lo largo de un cambiador-convencional y un cambiador ideal de pared barrida.

Deberá notarse que el efecto de la suciedad en la construcción en el lado de la refrigeración no se ha tomado en cuenta. Esto añadiría otras resistencias en serie y deberá tomarse en cuenta. Para efectos de este estudio será despreciado, ya que sus efectos pueden ser minimizados usando un refrigerante limpio y un programa de mantenimiento.

Así, se puede ver que la ventaja primaria del cambiador de pared barrida está en la eliminación, o al menos la reducción, de la película de producto en el lado de éste.

Considerando la viscosidad y características de temperatura de los materiales cosméticos que se tratan en este aparato, las ventajas de este tipo de operación se hacen obvias inmediatamente.

En las siguientes secciones de este reporte, se introducirá el concepto de los coeficientes totales de transferencia de calor, seguidos por una discusión de las resistencias térmicas mencionadas anteriormente. Se mostrará en mas detalles y se presentará también un desarrollo matemático de las relaciones aplicables.

Desarrollo y Consideraciones

La experimentación con aspas continuas, en el aparato, demostró que la eficiencia en la transferencia de calor no era función de la relación L/D , arriba de los datos con los que se comenzó el presente estudio. Un trabajo realizado en New York, con un L/D demostró que, abajo de este valor, los efectos al final tenían un papel importante cuando se reducía la intensidad de mezclado y la eficiencia del barrido.

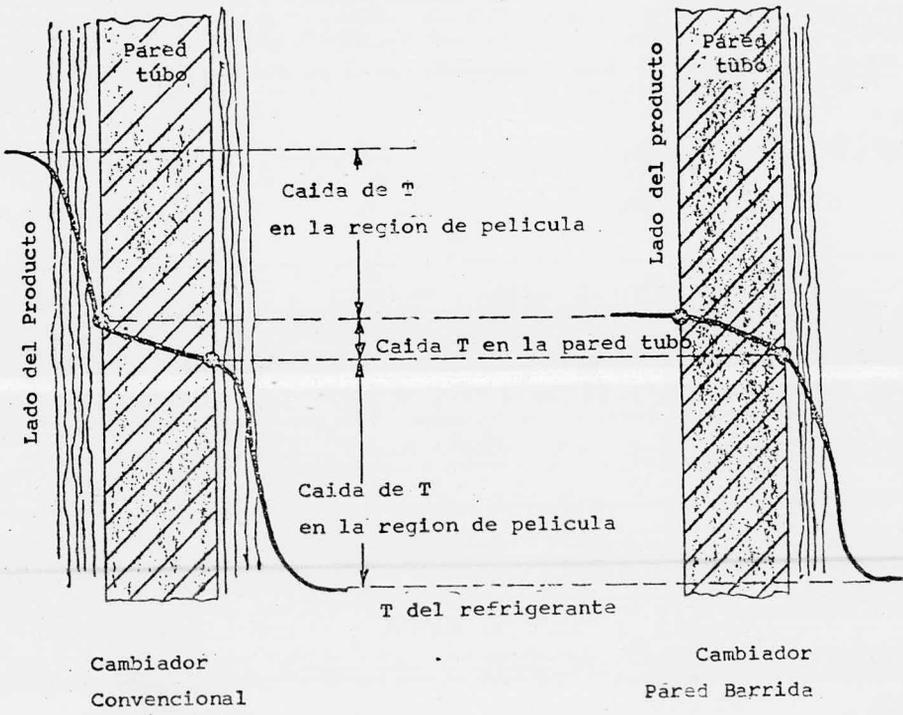


Figura 8

El arreglo discontinuo de aspas cortas fue probado también en el mencionado trabajo. Estas aspas, diseñadas tanto para mezclar como para barrer, mostraron un funcionamiento mejor que las continuas. El modelo matemático desarrollado para este tipo de aspas, discontinuas), mostró que la transferencia de calor de la superficie barrida era menos dependiente de la velocidad de la flecha.

Enfoque y Limitaciones

El uso estricto de las ecuaciones desarrolladas para predecir los coeficientes de transferencia de calor y/o el consumo de energía, es válido para los regímenes de flujo para los cuales los coeficientes de los grupos reelevantes fueron calculados, y están sujetos a las mismas limitaciones de exactitud que fueron aplicadas a las correlaciones originales. Todos los resultados obtenidos en este estudio fueron basados trabajando con flujos Newtonianos.

La aplicación estricta no es necesaria siempre y las ecuaciones contenidas proveen guías para evaluación y escalación de los varios diseños y parámetros de operación. Este estudio provee herramientas que no estaban disponibles anteriormente.

Discusión

A. La documentación encontrada ha demostrado que el uso de la ecuación de Dittus Boelter para la predicción de los coeficientes de película del lado de la chaqueta, da resultados congruentes. Esto fue estudiado por la Cía. Votator, principal fabricante de este tipo de aparatos.

La reducción de datos, hecha en una unidad de prueba, resultó en las siguientes relaciones empíricas:

(1) Modelo de transferencia de calor:

$$\frac{hs \, Dt}{k} = 0.0116 \left(\frac{Dt \, N}{V} \right)^{0.065} \left(\frac{De \, V \, \rho}{\mu} \right)^{0.098} \left(\frac{Cp \, \mu}{k} \right)^{1.0} \left(\frac{Ds}{Dt} \right)^{0.052} nB^{0.24} \quad (1)$$

(2) Correlación de consumo de energía:

$$\frac{P \cdot g_c}{Dt^5 \, N^3} = 138,000 \left(\frac{Dt^2 \, N \, \rho}{\mu} \right)^{-1.13} \quad (2)$$

B. Transferencia de Calor

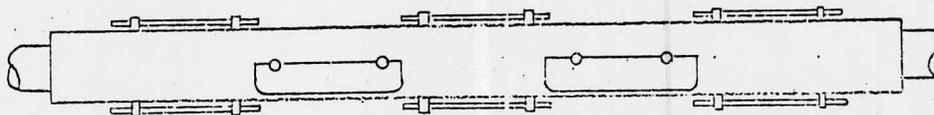
Diseño de las Aspas Barredoras:

Durante el curso de este estudio, se consideraron básicamente 2 diseños: Estos se demuestran en la figura 9. El modelo de transferencia de calor, ec. (1), fue desarrollado para aspas continuas por Votator.

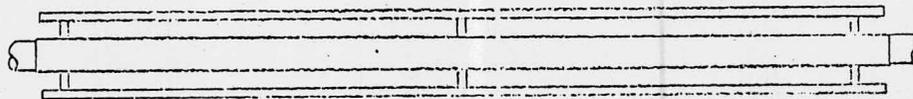
Los números de Nusselt observados fueron comparados con los números de Nusselt calculados de la ecuación (1) para una serie de corridas experimentales. Estas corridas fueron hechas con el arreglo de aspas discontinuas. Los valores observados fueron mas altos en cada caso. El arreglo fue como lo muestra la figura 9B. Esto ocasionó la necesidad de un modelo distinto que se basara en la ecuación principal. No se hicieron cambios en el diámetro de la flecha ni en el número de aspas, ya que era impráctico, por lo tanto reduciendo la relación general, a :

$$\frac{hs \, Dt}{k} = 0.0116 \left(\frac{Dt \, N}{V} \right)^a \left(\frac{De \, V \, \rho}{\mu} \right)^b \left(\frac{Cp \, \mu}{k} \right)^c \quad (3)$$

Figura 9



A) Arreglo Discontinuo



B) Arreglo Continuo

ero de Rotación - Exponente "a" :

series de experimentos separados fueron utilizados en esta fase del estudio.

El número de Reynolds lineal se mantuvo constante para cada serie, así como el número de Prandtl. Los datos experimentales a continuación:

Datos Constantes	Corrida 1	Corrida 2
De = 0.183	U = 108.6	U = 173.77
Cp = 0.758	V = 65.88	V = 127
f = 63.05	N1 = 3689	N1 = 2100
k = 0.3293	N2 = 5402	N2 = 4826
dt = 0.5	N3 = 6588	N3 = 7620
	hs1 = 474	hs1 = 408.33
	hs2 = 487.36	hs2 = 513.7
	hs3 = 526.8	hs3 = 592.7

La gráfica I muestra la aplicación de estos resultados graficando:

$$\frac{hsDt}{k} \text{ contra } \frac{Dt N}{V}$$

Con la ayuda de la computadora IBM 1800, se hizo la regresión matemática de las dos gráficas, dando los siguientes resultados:

Corrida	Número de Reynolds	Pendiente
1	7	0.3157
2	8.5	0.3240

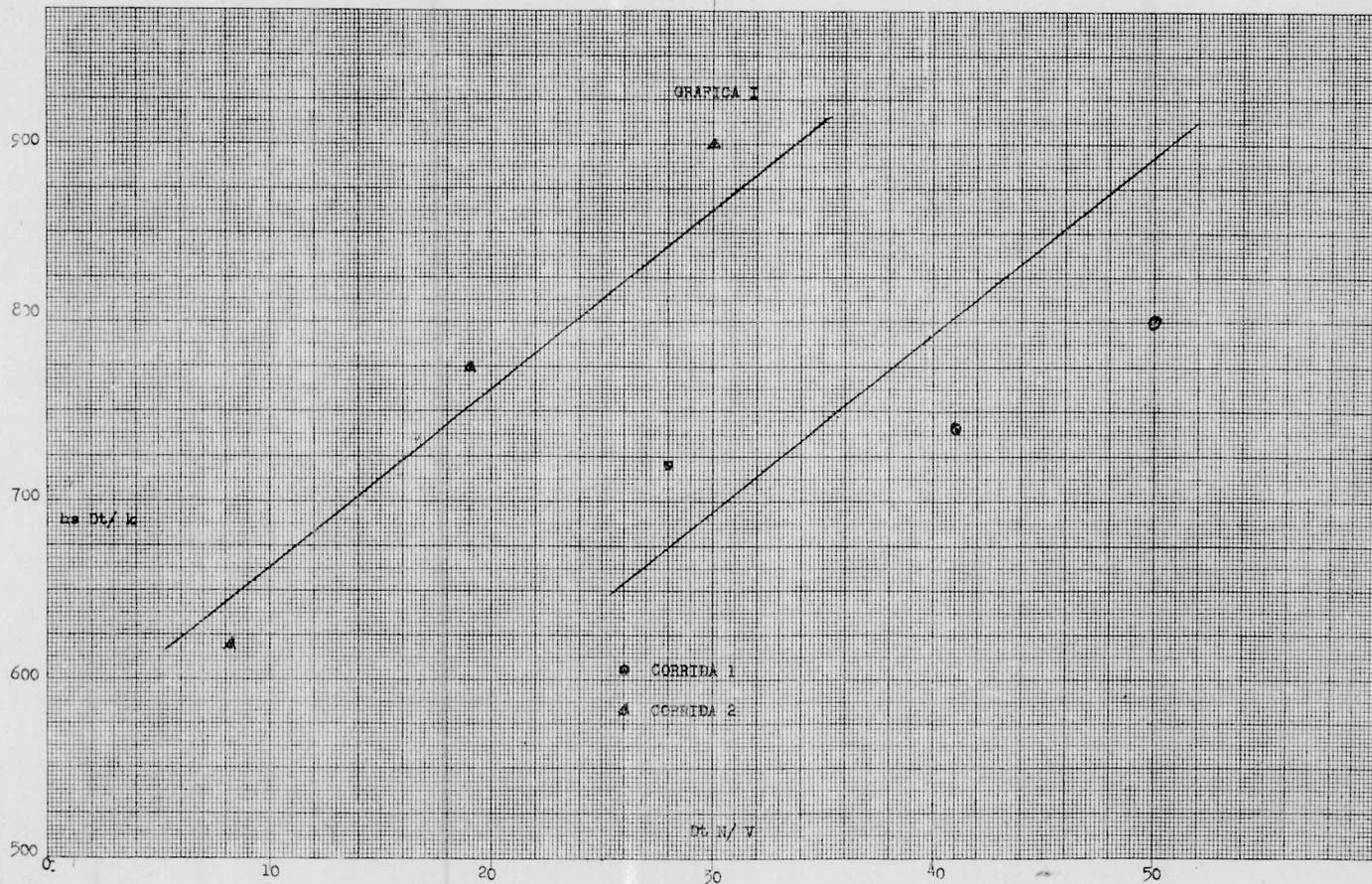
Las dos pendientes individuales fueron promediadas, dando un valor de 0.32 para el exponente "a".

Reynolds Lineal Exponente "b"

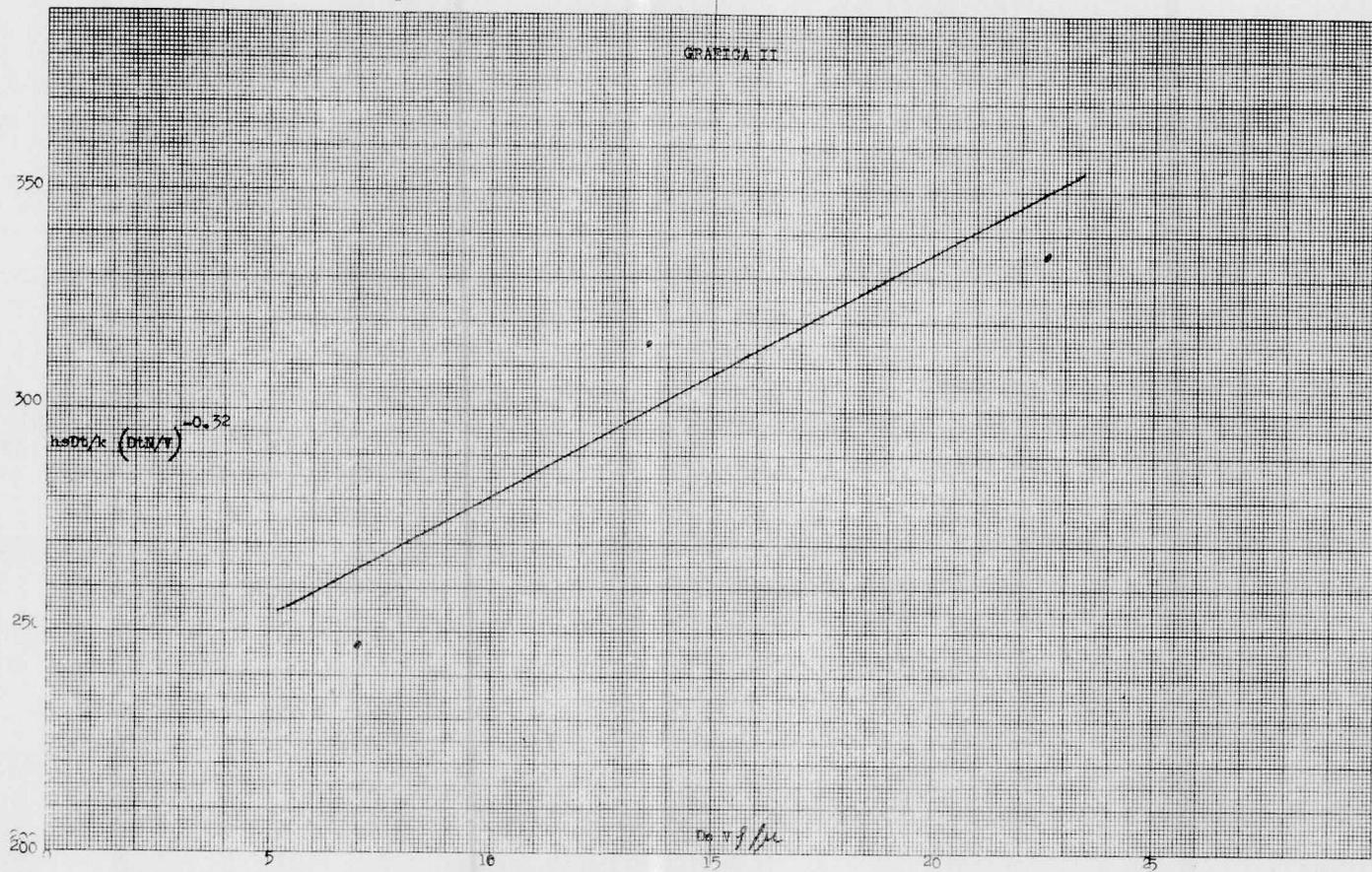
Para este exponente, solamente el número de Prandtl tuvo que ser mantenido constante.

La gráfica II muestra :

$$\left(\frac{hs Dt}{k} \right) \left(\frac{Dt N}{V} \right)^{-0.32} \text{ contra } \left(\frac{De V f}{\mu} \right)$$



GRAFICA II



Datos Experimentales:

U = 108.6	N1 = 3689	hsl = 474	V1 = 65.88
	N2 = 2100	hs2 = 408.33	V2 = 127
	N3 = 1478	hs3 = 329.3	V3 = 211.77

Se hizo la regresión matemática, dando una pendiente de 0.7349.

Número de Prandtl exponente "c":

En esta parte del análisis no hubo restricciones. El exponente para el Prandtl fue terminado por la pendiente de la gráfica III, que es:

$$\left(\frac{hsDt}{k}\right) \left(\frac{DtN}{V}\right)^{-0.32} \left(\frac{De V \ell}{\mu}\right)^{-0.73} \text{ contra } \left(\frac{Cp \mu}{k}\right)$$

Datos Experimentales:

μ_1 - 108.6	V1 - 65.88	N1 - 3689	hsl - 474
μ_2 - 173.77	V2 - 127	N2 - 2100	hs2 - 408.33
μ_3 - 499.5	V3 - 211.77	N3 - 1478	hs3 - 329.3

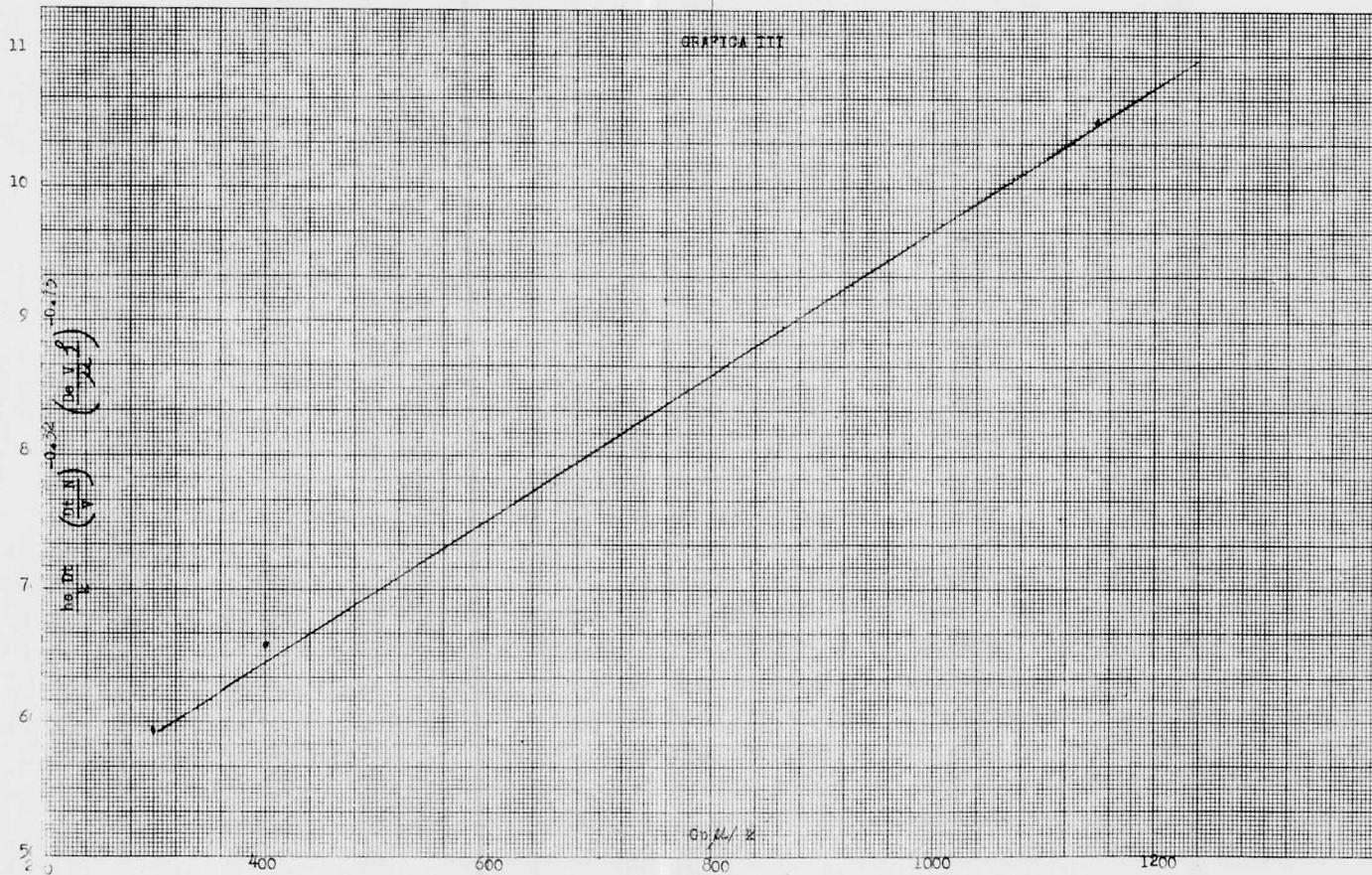
La pendiente de la gráfica se obtuvo por medio de una regresión: 0.7296.

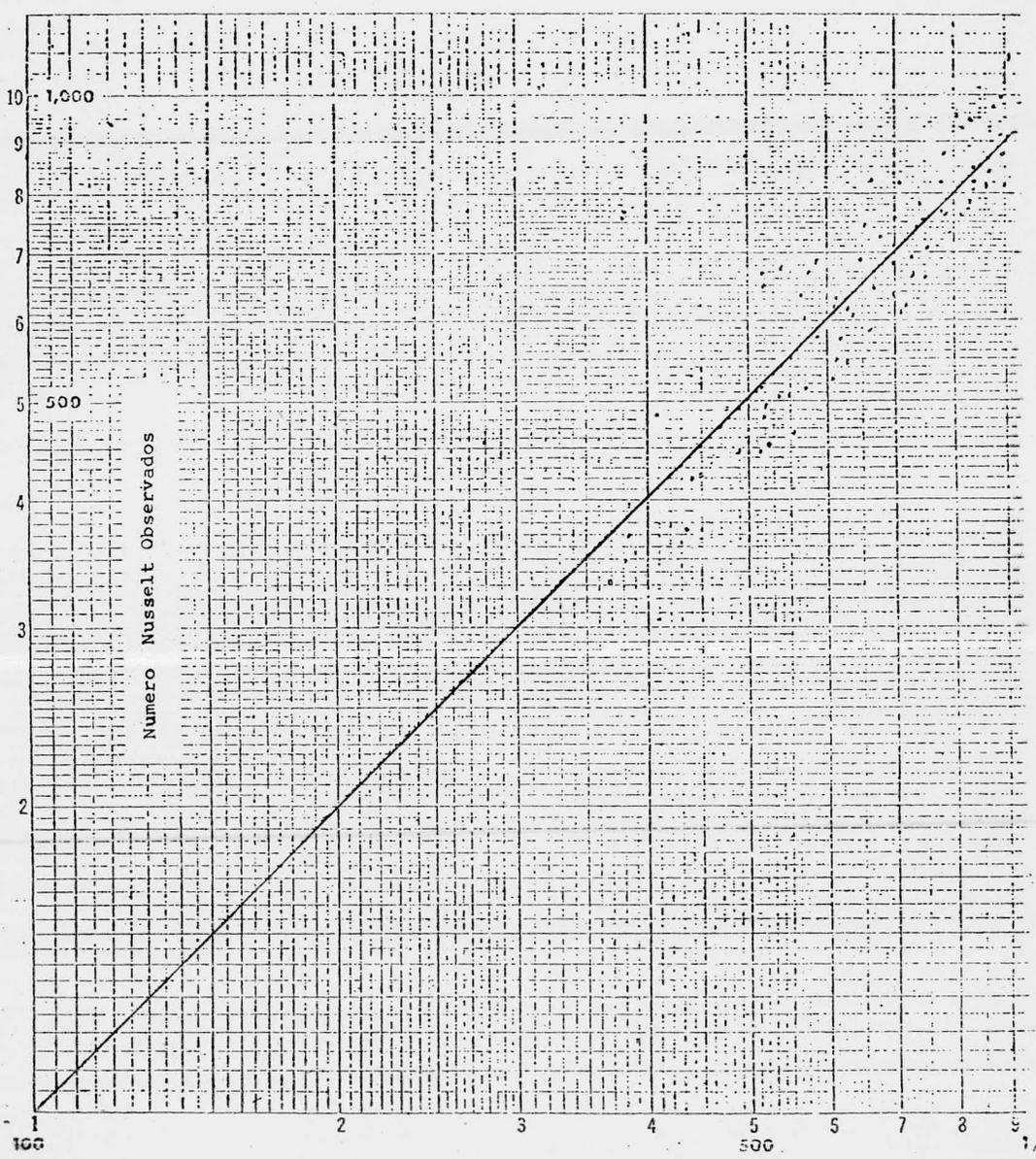
El modelo final queda de la siguiente manera:

$$\frac{hs Dt}{k} = 0.0116 \left(\frac{Dt N}{V}\right)^{0.32} \left(\frac{De V \ell}{\mu}\right)^{0.73} \left(\frac{Cp \mu}{k}\right)^{0.73} \quad (4)$$

Debe enfatizarse que cualquier efecto debido a parámetros no variados durante el curso del estudio, están incorporados en la constante de proporcionalidad. Estos pueden ser: cambio del número de aspas, cambio en la relación de diámetros, etc.

La confianza que se puede tener en esta ecuación se demuestra en la gráfica IV, que es Número de Nusselt calculados contra lo observado, en una serie de experimentos realizados posteriormente a la evaluación de los exponentes de la ecuación. Los puntos de la gráfica mostraron una distribución normal y una desviación estandar de $\pm 9.72\%$.





Numero Nusselt Calculados

Grafica IV

Material de las aspas:

Ambos modelos desarrollados para transferencia de calor Ecs. 1 y 4, fueron hechas considerando que el material de las aspas es acero inoxidable. Una serie de experimentos se han empezado a desarrollar en la Compañía Votator, con aspas de teflón rellenas de vidrio, que son las utilizadas normalmente por AVON. Estas pruebas se están llevando a cabo con un arreglo discontinuo y, por comunicación con esta compañía, mencionaron que las de acero inoxidable son 10% más eficientes. Las aspas de teflón pueden considerarse aceptables en su compartamiento y no se hará mas profundización en esta variable.

Relación Longitud/Diámetro:

El presente estudio se realizó, con una unidad ya construída, así que en este factor no se pudo hacer prácticamente ninguna variación.

La relación con la que se trabajó fue L/D 4.

Variaciones de contra Presión :

Las pruebas conducidas en Avon Nueva York, demostraron que los cambiadores de pared barrida no se ven afectados significativamente en su eficiencia para la transferencia de calor, por variaciones menores en el sistema de contra-presión.

La mayoría de las personas que han estudiado sistemas similares han despreciado esta variable, al punto de completa omisión. La literatura disponible da una referencia muy vaga a este respecto. La referencia más específica dada por Hosking (3) es, probablemente, la mejor razón, ya que justifica la falta de información, pues dice: "por razones completamente fuera de comprensión, pero empíricamente demostrables, es necesario usualmente operar el aparato bajo sistemas de contra-presión positiva entre 50-300 lb/in², para poder obtener un barrido efectivo de las aspas".

Comparación con la Literatura:

En esta sección se tratará de hacer una comparación de la ecuación original (1), para el arreglo de aspas contínuas. Únicamente se puede hacer esta comparación, ya que el arreglo de aspas discontinúas aún no ha sido probado por las compañías fabricantes de equipos similares.

Esta literatura, con la que se va a hacer la comparación, corresponde a un experimento desarrollado por Skelland (4), ingeniero de proyectos de la compañía Contherm, competidora de Votator Chemetron Corp.

Después de una serie de experimentos realizados por la citada persona, él llegó a la siguiente expresión:

$$\frac{h_s D_t}{k} = 0.014 \left(\frac{D_t N}{V} \right)^{0.62} \left(\frac{(D_t - D_s) V f}{\mu} \right)^{1.00} \left(\frac{C_p \mu}{k} \right)^{0.96} \left(\frac{D_s}{D_t} \right)^{0.55} n_B^{0.55} \quad (5)$$

La concordancia de la ecuación (1) con la (5), es notable. Por lo tanto, se puede considerar que las ecuaciones son aplicables para la obtención de los coeficientes.

La ecuación (4), que fue derivada de la (1), es también aplicable para la obtención de los coeficientes para el arreglo de aspas discontinúas.

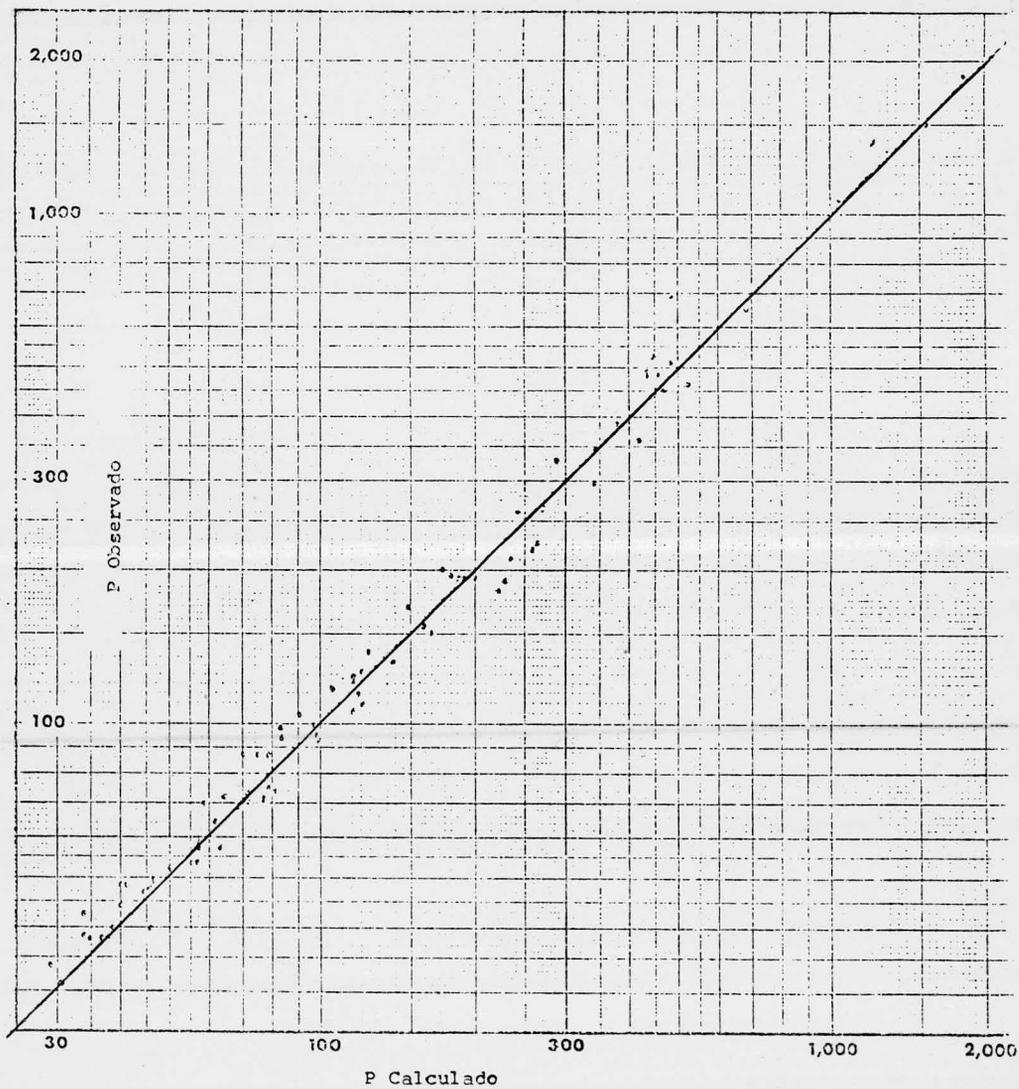
C. Correlación de Consumo de Energía:

La ecuación (2) fue desarrollada para un arreglo de aspas contínuas. Esta ecuación fue aplicada para el arreglo de aspas discontinúas y se graficó lo observado contra lo calculado. Gráfica V. La distribución fue normal y la desviación Standard fue ± 10.37 .

Con estos resultados se puede decir que la ecuación es aplicable para ambos arreglos.

RESULTADOS:

Como se dijo anteriormente, la ecuación de Dittus-Boelter puede ser aplicada para el lado de la coraza. Ahora se tienen 2 modelos para la transferencia de calor y un modelo para el consumo de energía.



Grafica V

1. Ecuación de Dittus Boelter (Coraza).

$$\frac{h_j De}{k} = 0.023 \left(\frac{De V f}{\mu} \right)^{0.8} \left(\frac{Cp \mu}{k} \right)^{0.4}$$

2. Consumo de Potencia (para ambos arreglos).

$$\frac{P_{gc}}{Dt N^3} = 138,000 \left(\frac{Dt^2 N f}{\mu} \right)^{-1.13}$$

3. Transferencia de Calor

- a) Aspas contínuas

$$\frac{hs Dt}{k} = 0.0116 \left(\frac{Dt N}{V} \right)^{0.65} \left(\frac{De V f}{\mu} \right)^{0.98} \left(\frac{Cp \mu}{k} \right)^{1.00} \left(\frac{Ds}{Dt} \right)^{0.52} \quad ns \quad 0.24$$

- b) Aspas Discontínuas

$$\frac{hs Dt}{k} = 0.0116 \left(\frac{Dt N}{V} \right)^{0.32} \left(\frac{De V f}{\mu} \right)^{0.73} \left(\frac{Cp \mu}{k} \right)^{0.73}$$

Ambos modelos de transferencia de calor reflejan la eficiencia del acero inoxidable como material de las aspas. Los resultados deberán ser multiplicados por 0.9, para aspas de teflón rellenas de vidrio.

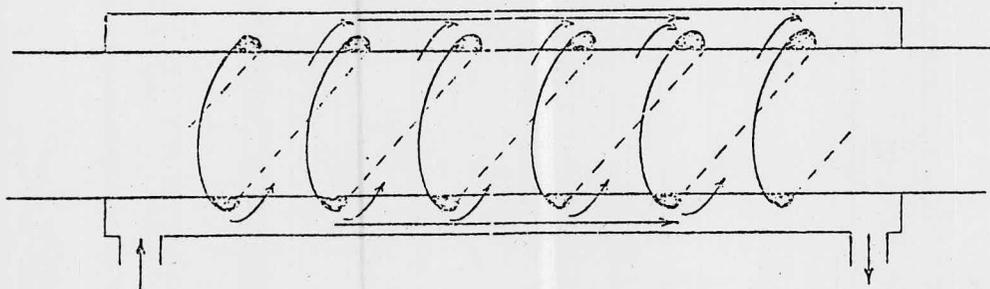
Aplicación de Resultados

1. Lado de la Coraza

El diseño de la coraza que se utilizó en todo el estudio fue el que se muestra en la fig. 10. Este diseño tiene la desventaja de que existe un claro entre la ruta helicoidal del refrigerante, que ocasiona que este haga un by-pass. Pero, con este diseño, se tiene la facilidad de que se pueda remover el tubo de transferencia para su limpieza. Existe otro diseño de coraza, en el que la ruta del refrigerante está enmarcada perfectamente, eliminando el claro entre los dos tubos. El comportamiento de este diseño está fuera del enfoque del presente estudio aunque, en los manuales de Votator, se dice que puede ser calculado con la misma ecuación Dittus Boelter.

Ruta del Refrigerante en el Cambiador

Figura 10



Aunque los efectos de ensuciamiento no fueron considerados en el presente estudio, éstos no pueden ser pasados por alto en una producción. Una limpieza rutinaria de la chaqueta, es una necesidad para cualquier sistema, pero los problemas graves se pueden eliminar con la versatilidad del equipo, de la fácil remoción del tubo de transferencia y así de la limpieza de la coraza.

2. Lado del Producto:

a) Variables de Diseño

Los cambiadores de pared barrida son diseñados para aplicaciones de un producto específico. Avon enfría una gran variedad de productos, lo cual hace necesario una unidad de aplicaciones generales. Los cambiadores utilizados normalmente por Avon son Votators. La coraza, el tubo de transferencia y la flecha son esencialmente iguales en diseño, la única variación son las velocidades de la flecha y el arreglo de las aspas.

a) Arreglo de las Aspas

Son 2 los arreglos usados fundamentalmente por Avon. Estos son los mostrados en la figura 9. El arreglo discontinuo provee un mezclado mas intenso y una eficiencia de barrido mayor que el arreglo continuo.

b) Material de las Aspas

Las aspas de acero inoxidable son, aproximadamente, 10% mas eficientes que las de teflón relleno de vidrio. De cualquier forma, los problemas potenciales de abrasión con las primeras representan una desventaja. Por lo tanto, se recomienda el uso de las segundas.

c) Filo de las Aspas

No se hizo ningún intento de probar variaciones en este parámetro. Pero debe ser mencionado que una revisión periódica de las aspas es necesaria así como un afilado, conforme lo marca el manual del fabricante.

d) Velocidades de la Flecha

A este respecto, el aparato cuenta con una variedad ajustable. Debido a la gran variedad de productos procesables en el equipo, esto es una gran ventaja, ya que se puede ajustar según los requerimientos de cada uno. Las velocidades pueden oscilar entre 0-500 RPM.

B. Variables de Proceso

Para un sistema dado, las condiciones de proceso pueden ser alteradas por variaciones en la velocidad de flujo del producto y la velocidad de la flecha. Las variaciones en las propiedades físicas estarán dictadas por la combinación de estas variables.

a) Velocidad de Flujo del Producto

Cuando todos los demás parámetros se mantienen constantes, la energía mecánica disipada (P) no es función de la velocidad del producto. Esto se puede ver en la correlación de consumo de energía mostrada. El efecto neto de esta variable puede entonces ser derivado de las ecuaciones de transferencia de calor. Combinando términos y eliminando constantes, el efecto se muestra como:

Aspas Contínuas

$$hs \propto V^{0.33}$$

Aspas Discontínuas

$$hs \propto V^{0.41}$$

b) Velocidad de la Flecha

La energía mecánica disipada, así como el coeficiente de película de superficie barrida, son funciones de la velocidad de la flecha. Cuando la energía mecánica disipada se descuenta de U efectivo, queda la siguiente expresión:

$$U \text{ efectivo} = \frac{Q \text{ total} - Q \text{ fantasma}}{\text{Area LMTD}}$$

Q fantasma - Energía mecánica disipada, debida a P.

C. Operación en Serie VS. Operación en Paralelo.

El comportamiento de la transferencia de calor ha sido predecido con éxito, usando las propiedades físicas basadas en las temperaturas de los productos. Las variaciones en el calor específico, densidad y conductividad térmica son relativamente pequeñas en comparación con los cambios de viscosidad en cualquier producto arriba de las temperaturas con las que se trabaja en los aparatos. El coeficiente de película de la superficie barrida es esencialmente independiente de la viscosidad, como es evidenciado en los modelos para ambos arreglos. Pero la energía mecánica disipada y, por lo tanto, la transferencia efectiva de calor, son función fuertemente de la viscosidad, en ambos arreglos de este estudio. Por lo tanto, la expresión de proporcionalidad queda:

$$P \propto \mu^{1.13}$$

Esta expresión es válida para ambos arreglos, ya que es derivada de la correlación de consumo de energía.

Para un tren de aparatos conectados en serie, el LMTD, el flujo de calor y el % de eficiencia ($Q \text{ total} - Q \text{ fantasma} / Q \text{ total}$), disminuyen de unidad a unidad. Mientras que este fenómeno no debería ser importante para productos de baja viscosidad, es extremadamente importante para productos de alta viscosidad.

Debido a esto, los productos de alta viscosidad deberán ser estudiados, para determinar si la operación en paralelo es más eficiente que en serie.

D. Control de la eliminación de Temperatura

Un sistema adecuado de enfriamiento debe minimizar el control necesario. Se deberán mantener en todas las ocasiones velocidades máximas de refrigerante. Las fluctuaciones de temperatura en el producto, deberán ser controladas con la velocidad de flujo de éste.

El equipo está provisto de una válvula de control para este efecto; así, cuando se cambia de carga, no es necesario reajustar el controlador.

CONCLUSIONES

Después de la serie de consideraciones que se hicieron, ahora se tiene un juego de ecuaciones que serán muy útiles para el cálculo o evaluación de los coeficientes de transferencia en este tipo de unidades. El efecto de los parámetros de operación así como la importancia que tiene la eficiencia de la transferencia de calor queda establecida. La aplicación de los modelos desarrollados, no es obviamente ilimitada; en el caso que se requieran unidades de más de 6 pies de largo, deberán hacerse modificaciones a la correlación de consumo de energía, ya que la expresión desarrollada no contiene ningún factor que incluya este parámetro.

Se recomienda que el refrigerante sea manejado a la máxima velocidad posible, sin llegar al inundamiento, que no se considere como un sistema efectivo para controlar la temperatura.

Para prevenir el ensuciamiento, y así la baja de la eficiencia de la transferencia de calor, se recomienda una limpieza rutinaria, de acuerdo con el manual del proveedor. El arreglo de aspas discontinuas, deberá ser usado siempre que sea posible, debido a que como ya se dijo provee un mejor barrido y un mejor mezclado.

La recomendación del uso de aspas de teflón a pesar de que las de acero son 10% más eficientes, se debe al problema potencial de abrasión.

La importancia de este tipo de equipo en el procesamiento normal de las emulsiones tipo loción crema para las manos, es que reduce el tiempo de operación en una forma drástica, ya que, normalmente no se pueden utilizar cambiadores convencionales, por problemas de obstrucción.

El proceso normal, consiste en un recipiente agitado, en el cual se vierten los ingredientes, se calientan y emulsifican, y tienen que ser enfriados en este mismo recipiente que normalmente es enchaquetado, para proveer el calentamiento y/o enfriamiento.

Lo que se pretendió en el presente trabajo, no fue tanto demostrar las innumerables aplicaciones del equipo, sino mas bien sugerir el tipo de plicaciones que se piensa se le puede dar, y sugerir que se hagan pruebas en los procesos posibles de ser aplicados.

Todas las pruebas que fueron realizadas, se hicieron con soluciones agua-glicerina debido a que se cuenta con excelentes datos para ellas.

Para productos mas complejos las constantes deberán ser evaluadas experimentalmente.

Las herramientas matemáticas que se obtuvieron, podrán ser aplicadas para la escalacion o calculo de nuevas unidades, pero conciderando las limitaciones a las que estan sujetas.

.....

APENDICE I

1.- Emulsiones: Definición y Clasificación: Una emulsión es un sistema en el cual la fase dispersa y el medio dispersante son normalmente líquidos.

Los dos tipos más comunes de emulsiones son aceite en agua y agua en aceite. Se le llama aceite, a cualquiera, ya sea de origen mineral u orgánico.

2.- Viscosidad: Definición: Los líquidos en general, presentan una resistencia a fluir conocida como viscosidad. En general es la propiedad que se opone al movimiento relativo de porciones adyacentes de un líquido, y puede ser considerado como fricción interna.

3.- Las Emulsiones como Fluidos: La mayoría de las emulsiones se comportan como fluidos no Newtonianos. Esto quiere decir que, el tipo de flujo que se presentara sera del tipo plástico, pseudoplástico o dilatante.

Para efectos de todas las evaluaciones en el presente trabajo, se trabajó con fluidos Newtonianos.

BIBLIOGRAFIA

1. John H. Perry, Chemical Engineers Handbook
2. Donald Q. Kern, Procesos de Transferencia de Calor
3. Hosking, A.P., Votator Heat Exchangers, The Chemical Engineer, Junio 1962
4. Skelland, A.H.P., Oliver, D.R. and Tooke, S., Heat Transfer in a Water-Cooled Scraped Surface Heat Exchanger, British Chemical Engineering, Vol. 7, No. 5, Mayo 1962.
5. Votator Scraped Surface Heat Exchangers, Votator Bulletin V300-5-170.
6. Textbook of Physical Chemistry, Glasstone