tamente en las interfases sólido-líquido- vapor formadas.

en la superficie metálica, el agua de la caldera, y las burbujas formándose en la superficie.

El crecimiento de la incrustación después de la depositación inicial de núcleos de cristales puede efectuarse en dos formas.

Los cristales existentes pueden desarrollar se por contacto con la película líquida sobresaturada, — efectuándose una difusión de materia del soluto soluble — hacia el soluto insoluble de la incrustación.

Si éstos cristales son removidos del contacto con la solución, con el uso de una película de sustancia coloidal presente en el agua de la caldera, una posterior depositación de nuevos cristales, sobre el depósito anterior toma lugar como resultado de la evolución de burbujas. En el primer caso, la incrustación resultante consiste principalmente de cristales relativamente grandes corientados más o menos perpendicularmente sobre la superficie de calentamiento, en la segunda etapa, la incrustación consistirá de cristales relativamente pequeños con orienta ción al azar.

El crecimiento de éstas incrustaciones es ace lerado por el efecto de la fricción superficial en la pared interna de los tubos, puesto que las velocidades a lo largo de la pared del tubo son más pequeñas que en el centro del tubo.

Puesto que la formación de incrustaciones es ocasionada por la depositación de minerales a temperaturas y presiones elevadas, es un fenómeno análogo a la formación geológica, lo cual se confirma mediante la identificación — petrográfica.

ESTUDIO ANALITICO TEORICO DE LA FORMACION DE SUCIEDAD E INCRUSTACION EN SUPERFICIES TERMICAS.-

El objetivo de éste análisis es el de estable cer relaciones físicas y matemáticas entre una caída de presión aprovechable y la acumulación de suciedad e incrusta—ción con el tiempo.

En la literatura, el único postulado matemático incluyendo incrustación superficial fúé presentado por -

McCabe & Robinson. Ellos encontraron una ecuación que den tra la variación del coeficiente fílmico total de la incr tación en transferencia térmica con el tiempo, el cual va inversamente con la raíz cuadrada del tiempo.

Este estudio está relacionado con la forma más simple de la depositación la cual ocurre dentro de un bo de diámetro uniforme.

La disminución de la velocidad de depositado con el incremento de las velocidades lineales del flúído, giere la influencia del esfuerzo al corte, como agente par remover la suciedad e incrustación en la interfase fluído crustación. Cambiadores de calor incrustados pueden ser le piados a menudo, por incremento temporal de la velocidad de fluído circulante.

Considerando la acumulación como el resulta

del proceso simultáneo y continuo de la depositación de in

crustación en ángulo recto al flujo y la remoción de la in

crustación por el corte del fluído en dirección del flujo (

te 7 en la pared

fluído, por lo tanto deben existir un potencial para la acu

lación y otra para la remoción o arrastre.

La acumulación neta puede ser expresada como un cociente entre un término de depositación en el numerador y un término de remoción en el denominador.

También puede ser expresado usando la depo sitación como una serie de términos y la remoción en igual forma, así que la acumulación neta es obtenida por resta.

El uso de términos de diferencia es más ventajoso puesto que las variables no pierden su identidad como entidades de dinámica de fluído.

Katz, Knudsen, Baelkjian y Grover determinaron la variación de la resistencia de la incrustación — con el tiempo, llegando al siguiente tipo de ecuación:

$$\mathbf{R}_{\Theta} = \mathbf{R}^{*} (1 - \mathbf{e}^{-B\Theta}) \tag{1}$$

R es el valor de R en la asíntota.

Un fluído fluyendo ejerce un esfuerzo al corte 7 en la pared, el cual puede ser relacionado con el -factor de fricción.

Será considerado que el factor de fricció Donde c y B son constantes. La resistencia de la incrustaconstante e independiente de la cantidad presente de inc ción es: tación.

El esfuerzo al corte en la pared, sucia o pia es fácilmente calculado mediante la ecuación.

$$\tau = \frac{2fv^3}{4g} \rho \tag{2}$$

Si la película de incrustación es delgada y 7 permanecen inalterados durante el período en el cual Velocidad de depositación = K1 c' W de de la naturaleza de la fuerza directriz.

De la anterior ecuación Katz logró determi de suciedad y de incrustación. el término de depositación el cual imparte una inflección

Esto sugiere una ecuación para la fuerza d rectriz de la siguiente forma:

Fuerza Directriz

$$R = \frac{4cg (1 - e^{B\Theta})}{2fV^2 \rho B}$$
 (4)

Será considerado que la velocidad de transporte de fluído y de depositación de incrustación son constantes con el tiempo. La velocidad de depositacón constante puede ser expresada cuantitativamente en forma sencilla:

incrustación se acumula. El potencial de depositación de Donde K₁ es una constante de proporcionalidad, y W es el gas

to en masa constante de flujo de flujdo y cº es su contenido

Para permitir una expresión para la velocidad asintótica al crecimiento de la película de incrustación.

de remoción y arrastre será considerado que:

- La remoción de incrustación es debido a la acción de corte de flujo en la superficie de incrustación.
- 2) En lugar de ser arrastrada la incrustación partícula por partícula como lo es en la depositación, la incrustación es

cortada en montones o trozos.

3) Hay una probabilidad que los planos débiles de la cos. $7 = \frac{2^{(3-2a)}}{T^{(2-a)}} \cdot \frac{\text{K}_f W}{g \rho} \cdot \frac{(2-a)}{(D-2x_0)^{(4-a)}}$ tra de incrustación pueden localizarse en cualquier punto del espesor de la película.

Se puede expresar la velocidad de remoción en una forma similar a la ecuación:

Velocidad de remoción =
$$K_2 \tau_{\Theta}$$
 (6)

Donde K2 es también una constante de propo cionalidad y x_{Θ} es el espesor de la costra.

El cambio en el espesor de la película con el tiempo es luego:

$$\frac{\mathrm{d}\mathbf{x}}{\mathrm{d}\boldsymbol{\theta}} = \mathbf{K}_1 \quad \mathbf{c}^* \quad \mathbf{W} \quad - \quad \mathbf{K}_2 \quad \boldsymbol{\tau} \quad \mathbf{x}_{\boldsymbol{\theta}} \tag{7}$$

Si el espesor de la película aumenta afecta apreciablemente la velocidad lineal del fluído y luego el Reescribiendo la ecuación 9 se obtiene: esfuerzo al corte; esta variación puede ser incluída, haciendo uso de la ecuación de Blasius.

El esfuerzo al corte puede ser escrito:

$$\gamma = \frac{2^{(3-2\alpha)}}{\pi^{(2-\alpha)}} \cdot \frac{\kappa_{f} W}{g \rho} \cdot \frac{M}{(D-2\kappa_{\theta})^{(4-\alpha)}}$$
(8)

Combinando las ecuaçiones 7 y 8 y rearreglando para integración:

Consideramos:
$$M = K_1 c' W$$
; $N = \frac{2^{(3-2a)}}{T^{(2-a)}} \cdot \frac{K_1 K_2}{g} \frac{M^2 W^{(2-a)}}{p}$

$$\Theta = \int_{0}^{x_{\Theta}} \frac{dx}{M - N \frac{x_{\Theta}}{(D - 2x_{\Theta})^{(4-\alpha)}}}$$

$$\tag{9}$$

El integrando converge para:

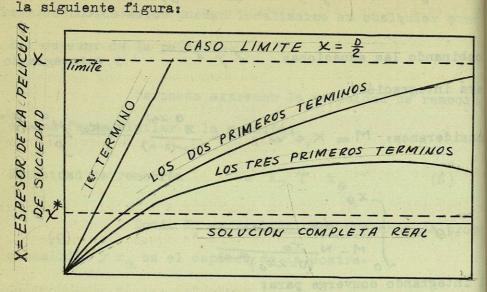
$$\left[\frac{N}{M}\frac{x_{\theta}}{(D-2x_{\theta})^{(4-\alpha)}}\right] < 1$$

O la velocidad de depositación excede la velocidad de remoción en todas las veces.

$$\theta = \frac{1}{M} \int_{0}^{x_{\theta}} \left\{ 1 + \frac{N}{M} \frac{x_{\theta}}{(D - 2x_{\theta})^{4-\alpha}} + \left[\frac{N}{M} \frac{x_{\theta}}{(D - 2x_{\theta})^{4-\alpha}} \right]^{2} + \dots \right\} dx_{\theta}$$

$$(10)$$

La solución de la integración de los dife



0 TIEMPO

tiempo, se procederá a obtener una relación entre el es ductividad térmica de la incrustación. pesor de la película y la caída de presión.

Utilizando las ecuaciones 2, 7 y 8 es demostrado que:

$$\frac{d(\Delta P)}{d\theta} = \frac{4L}{D-2x_{\theta}} \left\{ \frac{2^{(4-2a)} \cdot (4-a)}{T^{(2-a)}} \frac{k_{f}}{g\rho} \frac{\mu^{a} w^{(2-a)}}{(D-2x_{\theta})^{(5-a)}} \right\}$$

$$\left\{ k_{1}c^{i}w - \frac{2^{(3-2a)}}{T^{(2-a)}} \frac{k_{f} k_{2} \mu^{a} w^{(2-a)}}{g\rho (D-2x_{\theta})^{(4-a)}} \right\}$$
(11)

Este caso es integrable por computadoras. Sin rentes términos de la anterior ecuación son mostrados en embargo es de gran interes la solución particular relacionada al espesor de la incrustación en cualquier depositación asintotica y a la caída de presión necesaria para obtenerla. De la ecuación 11 es aparente que una asíntota diferente pueda existir para cada caída de presión aprovechable. El objetivo de éste análisis es la de determinar cuanta energía es requerida para reducir el espesor asintótico de la incrustación en un punto donde viene a hacer una resisten cia permanentemente tolerable para la trasmisión de calor.

Puesto que se considera que la incrustación no tiene efecto de empaque en el análisis, el valor de la --Habiendo obtenido la relación entre gas- resistencia transitoria Ro es directamente relacionada al to en masa, el espesor de la película de la costra y el espesor de la incrustación, por el valor constante de la con

> Un asterisco se usará para indicar las características de las variables en la asíntota.

> Considerando ahora los requerimientos de ener gía para reducir la altura de x así que el aparato pueda operar continuamente sucio. El espesor asintoticó de la pelí

cula de incrustación x en la ecuación 12:

$$\frac{x_{\theta}^{*}}{\left(D-2x_{\theta}^{*}\right)^{(4-\alpha)}} = \frac{M}{N} \tag{12}$$

El valor de la ecuación de la caída de presión en la asíntota es dado por las ecuaciónes 13 y 14

$$\Delta P_{\theta}^{*} = \frac{4LT^{*}}{(\partial - zx_{\theta}^{*})} \tag{13}$$

$$T_{\theta}^{*} = \frac{N}{K_{2}(D-2x_{\theta}^{*})^{(4-\alpha)}}$$
 (14)

Combinando las ecuaciones 12, 13, 14 y reem plazando M por sus componentes:

$$(x_{\theta}^{*}) = \frac{32 \pi^{(2-a)} L^{(4-a)} K_{1}^{(6-a)} C^{(5-a)} W^{3}}{K_{f}^{4} K_{2}^{(5-a)} (\Delta P_{\theta}^{*})^{(4-a)}}$$

$$(15)$$

Puesto que "a" es generalmente menor que 0.25, la expresión puede ser simplificada tomando un valor de "a" = 0, luego la ecuación /5 viene a ser:

$$\chi_{\theta}^{*} = \frac{2k_{,c}'}{\kappa_{z}} \left(\frac{\pi^{2}q\rho L^{4} W^{3}}{\kappa_{f}\rho (\Delta P_{\theta}^{*})^{4}} \right)^{\frac{1}{5}}$$
(16)

Luego se puede estimar la influencia de las variables, tomando la razón de lassíntota para el mismo — fluído bajo dos condiciones diferente de operación. La razón será:

$$\frac{\left(x_{\theta}^{*}\right)_{2}}{\left(x_{\theta}^{*}\right)_{1}} = \left(\frac{L_{2}}{L_{1}}\right)^{0.8} \left(\frac{\left(\Delta P_{\theta}^{*}\right)_{1}}{\left(\Delta P_{\theta}^{*}\right)_{2}}\right)^{0.8} \left(\frac{W_{2}}{W_{1}}\right)^{0.6}$$

(17)

Problema Ilustrativo .-

Los productos ligeros de una torre de destilación, en forma de vapor se condensan en un condensador de
superficie pasando de una temperatura de 130°F a 100°F, usan
do un agua de enfriamiento operando de 85° a 100°F.

Una gran parte del condensado vuelve a la columna como reflujo.

Si una temperatura baja se produce en el clima esto afectará la temperatura del agua del condensador la cual entrará a 55°F en lugar de 85°F Consideran do la misma aproximación en el condensado este pasará de 100°F a 70°F.

La demanda sobre la carga térmica de la caldera (reboiler) aumenta mientras se efectúa la separa
ción del destilado, debido a que el condensado subenfria
do nulifica el equilibrio vapor-líquido en alguno de los
platos de la columna.

Para llevar la temperatura del condensa—
dor nuevamente a 100°F, el agua es disminuída en su flujo, para suministrar un intervalo de 55°F a 100°F Previa
mente con 15°F de intervalo, el agua fluyó a una velocidad lineal de 3 piés por segundo. Con un intervalo de —
45°F en tiempo de frío la velocidad lineal se redujo a —
un pié por segundo. Después de un breve período de opera
ción bajo estas condiciones, el condensado volvió a una —

temperatura arriba de los 100°F. Un incremento gradual en el flujo del agua parece no tener una influencia en las con
diciones térmicas terminales del condensador.

Si el condensador estuviera trabajando a tres piés por segundo de velocidad de flujo del agua con su respectivo nivel asintótico de incrustación, no crearía problemas de limpieza.

¿Qué efecto cuantitativo se produjo sobre el espesor asintótico de la incrustación con la reducción del -flujo del agua?.

