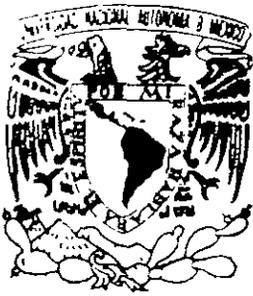


2ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

ANALISIS TEORICO Y METODOLOGIA
PARA EL DISEÑO Y ESPECIFICACION
DE ELIMINADORES DE NIEBLA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A
GABRIEL MARTINEZ DAVILA



MEXICO, D. F.



7/10/99

1999

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

COLEGIO PROFESIONALES
FAC. DE QUIMICA



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

JURADO ASIGNADO:

Presidente	Prof. Antonio Valiente Barderas.
Vocal	Prof. Jesús Torres Merino.
Secretario	Francisco Antonio Díaz García.
1er. Suplente.	Yolanda Lozada Gómez.
2do. Suplente	Manuel Vázquez Islas.

Sitio donde se desarrollo el tema:

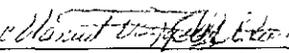
Laboratorio de Ingeniería Química
Facultad de Química
Circuito interior S / N.
Ciudad Universitaria.

Asesor del tema:



Dr. Jesús Torres Merino

Supervisor Técnico:



Ing. Manuel Vázquez Islas

Sustentante:



Gabriel Martínez Dávila

EL HALCON DORADO.



DEDICATORIA:

AL DIOS VIVO, AL DIOS DE MIS PADRES, AL GRAN DIOS DE TODOS LOS EJERCITOS, PORQUE NUNCA HE VISTO FLAQUEAR SU BRAZO PODEROSO, MUCHO MENOS CUANDO MÁS LO HE NECESITADO.

Sea tuya la gloria gran señor, pero danos la victoria.

A NANCY por el amor y lealtad que me ha profesado a cada momento en los últimos tres años de mi vida

A MIS HIJOS, a mis pequeños que algún día llegarán. Mis "pedacitos del cielo" me esforzaré por ser un verdadero Halcón Dorado, un hombre congruente con mis ideas y principios. Los amo aunque aún no estén conmigo. Mis pequeños "Polluelos", GRACIAS POR ESPERAR.

¡QUEDE ASÍ ESCRITO! ¡QUE ASÍ SEA!

PERO ANTE TODO QUE SE HAGA LA

VOLUNTAD DE MI DIOS

(EL HALCON DORADO)

AGRADECIMIENTOS.

A Dios, por iluminarme en la realización de este trabajo.

Mi más profundo y sincero agradecimiento a mi familia

A mis papás:

Por su apoyo incondicional, por su silencioso ejemplo y su fortaleza mostrada en los momentos más difíciles, desde mi niñez hasta ahora.

A mis hermanas:

Tere, por tu enseñanza dura y crítica que tanto han colaborado para moldear mi ser en estos últimos años de mi vida

Martha, por tu apoyo y comprensión a mi forma de ser y de sentir.

A mi sobrino OMAR.

Por tu sonrisa, tu alegría y tus abrazos que me han hecho feliz en momentos difíciles, Ah .. también por tu cuaderno de “moto” que ha sido importante para la realización de este trabajo

A MI ABUELITA.

Por tu encumbrable ejemplo, gracias

A todos mis tíos y primos

A todos aquellos que algún día pusieron un “granito de arena” para que lograra Yo, este compromiso con mi historia, desde que me desprendí del seno de mi madre hasta este momento. Y muy especialmente a mis tíos CATA Y PANCHIS...GRACIAS A TODOS.

**A mi amada Universidad y
Facultad de Química que me dio la
oportunidad de estudiar en sus
aulas**

**Al Doctor Jesús Torres Merino, por
su apreciable apoyo y dirección en la
realización de esta Tesis.**

**A mi compañera y amiga Ma. Salud.
Por su grata compañía y su apoyo
en la realización de mi tesis.**

**A la empresa A.C.S por
proporcionarnos el programa de
calculo Xpertsys^R con el cual se
pudo hacer una contrastación
con nuestros resultados**

GRAFICAS TABLAS Y FIGURAS.

GRAFICAS.

- 1 Eficiencia de impacto en cilindros (Ec. De Ranz – Wong)
- 2 Solución numérica de la eficiencia de impacto teórica en cilindros
- 3 Eficiencia de un colector de 0.1524 mm de diámetro
- 4 Eficiencia de un colector de 0.2794 mm de diámetro
- 5 Eficiencia total de un eliminador para una eficiencia de colector de 0.5
- 6 Eficiencia total de un eliminador para una eficiencia de colector de 0.95
- 7 Gráfica del $\ln(Cd)$ Vs $\ln(Re)$
- 8 Gráfica de la función de mojado
- 9 Gráfica comparativa $\Delta P = f(V_g)$ para la malla tipo 4BA
- 10 Gráfica comparativa $\Delta P = f(V_g)$ para la malla tipo 4CA
- 11 Caída de presión, Función objetivo a minimizar
- 12 Gráfica comparativa, sistema aire – agua 1
- 13 Gráfica comparativa, sistema aire – agua 2
- 14 Gráfica comparativa, sistema Butano - Isooctano
- 15 Gráfica comparativa, sistema 1
- 16 Gráfica comparativa, sistema 2
- 17 Gráfica comparativa, sistema 3
- 18 Caída de presión en función de la densidad.
- 19 Caída de presión en función de la viscosidad

TABLAS.

- I Tamaño de partículas líquidas y su fuente de generación
- II Datos de la solución numérica de la eficiencia de impacto teórica en cilindros
- III Eficiencia de impacto de colector para un diámetro de 0.1524 mm
- IV Eficiencia de impacto de colector para un diámetro de 0.2794 mm

- V Eficiencia total de un eliminador a una eficiencia de colector de 0.5
- VI Eficiencia total de un eliminador a una eficiencia de colector de 0.95
- VII Datos del coeficiente de arrastre en función del número de Reynolds
- VIII Comparación de la caída de presión en un eliminador tipo 4BA
- IX Comparación de la caída de presión en un eliminador tipo 4CA
- X Resumen de ecuaciones para el diseño de un eliminador de niebla
- XI Tabla comparativa, sistema aire – agua 1
- XII Tabla comparativa, sistema aire – agua 2
- XIII. Tabla comparativa, sistema Butano - Isooctano
- XIV Tabla comparativa, sistema 1
- XV Tabla comparativa, sistema 2
- XVI Tabla comparativa, sistema 3
- XVII. Tabla de $\Delta P = f(\text{Densidad del líquido})$
- XVIII Tabla de $\Delta P = f(\text{Viscosidad del líquido})$
- XIX. Tabla de resultados de diseño

FIGURAS

- 1 Principio de funcionamiento de un eliminador de niebla
- 2 Flujo alrededor de un cilindro sumergido
- 3 Mecanismo de impacto inercial
- 4 Mecanismo de intercepción directa
- 5 Mecanismo de difusión
- 6 Análisis matemático de la trayectoria de una partícula
- 7 Definición de la eficiencia de impacto
- 8 Análisis diferencial en una capa de malla de un eliminador
- 9 Determinación del área de impacto de un cilindro colector
- 10 Análisis de fuerzas en una gota suspendida de un cilindro colector
- 11 Análisis de fuerzas para la caída de presión en seco
- 12 Fuerza de arrastre en un cilindro colector
- 13 Diagrama de flujo del simulador

NOMECLATURA

a	Area específica	$m^2 \cdot m^{-3}$
C_D	Coefficiente de arrastre	[adimensional]
D_c	Diámetro de colector	m
D_p	Diámetro de partícula	μm
	Fuerza eléctrica	N
g_c	Constante gravitacional	$m \cdot s^{-2}$
h	Espesor del eliminador	m
K_{sb}	Constante de Sounders - Brown	$m \cdot s^{-1}$
L	Carga de líquido en la corriente	$Kg \cdot hr^{-1} \cdot m^{-2}$
m	Masa de las partículas	kg
n	Concentración de partículas en la malla	m^{-3}
n_0	Concentración de partículas antes de la malla	m^{-3}
N_{ii}	Número de separación por impacto inercial	[adimensional]
N_{sd}	Número de separación por difusión	[adimensional]
N_{sr}	Número de separación por difusión	[adimensional]
ΔP	Caída de presión en el eliminador de niebla	$kg \cdot m^{-2}$
\bar{u}	Velocidad de la partícula cerca del colector	$m \cdot s^{-1}$
\bar{v}_g	Velocidad del gas cerca del colector	$m \cdot s^{-1}$
V_c	Velocidad crítica de reencausamiento	$m \cdot s^{-1}$
V_g	Velocidad de la corriente gaseosa	$m \cdot s^{-1}$
ϵ_0	Porosidad en seco	$m^3 \cdot m^{-3}$
ρ	Densidad de gas	$kg \cdot m^{-3}$
ρ	Densidad del líquido	$kg \cdot m^{-3}$
ρ^*	Densidad del agua a 20 °C	$kg \cdot m^{-3}$
μ	Viscosidad del gas	$kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$
μ	Viscosidad del líquido	cp
h_s	Función de mojado en la malla	$m^3 \cdot m^{-3}$
σ	Tensión superficial del agua (20°C)	dinas $\cdot cm^{-2}$
σ	Tensión superficial del líquido	dinas $\cdot cm^{-2}$
η_t	Eficiencia de impacto del colector	[adimensional]
η	Eficiencia total del eliminador de niebla	[adimensional]
Ψ	Parámetro de impacto (Ranz-Wong)	[adimensional]

CONTENIDO

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTOS	II
LISTA DE GRAFICAS	IV
LISTA DE TABLAS	IV
LISTA DE FIGURAS	V
NOMECLATURA	VI
CONTENIDO	VII

INTRODUCCIÓN	1
---------------------	----------

CAPITULO 1

ANÁLISIS TEÓRICO	5
1 1 Análisis de mecanismos de captura de gotas	6
1 1.1 Mecanismo de impacto inercial	7
1 1.2 Mecanismo de intercepción directa.	8
1 1.3 Mecanismo de difusión	9
1 2 Selección del mecanismo de separación	10
1.3 Análisis teórico del mecanismo de impacto inercial	11
1 3.1 Obtención del modelo matemático	13
1 3.2 Modelo matemático de la eficiencia de impacto	14
1.3.3 Eficiencia de impacto teórica en cilindros	16
1.3 4 Eficiencia de colector (Ec. Ranz – Wong)	17
1 4 Análisis de la eficiencia total del eliminador	19
1 4 1 Determinación del área de impacto	20
1 5 Velocidad crítica de reencausamiento	25
1.6 Análisis de la caída de presión en el equipo	28
1.6 2 Correlación del coeficiente de arrastre	32
1.6.3 Caída de presión en mojado	34
1 6.4 Comparación de la caída de presión en el eliminador	38
1.7 Resumen de ecuaciones para el diseño de un eliminador de niebla	40

CAPITULO 2

DISEÑO Y PROGRAMACIÓN DEL SIMULADOR	41
2.1 Desarrollo del simulador	42
2.1.1 Especificación de la malla	43
2.1.2 Desempeño del simulador	46

CAPITULO 3

SIMULACIÓN ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES	49
3 1 Simulación	50
3 1.1 Procedimiento de cálculo de un eliminador de niebla	51
3 1.2 Procedimiento de cálculo para el diseño de una nueva malla	56
3 1.3 Resultados de especificación de mallas	61
3 1.4 resultados de diseño	68
3.1.5 Comparación de resultados	69
3.2 Análisis de resultados	71
3.3 Conclusiones	74
3.4 Perspectivas	74

BIBLIOGRAFIA	76
--------------	----

APENDICES	77
-----------	----

A 1 Desarrollo matemático de la ecuación de Ranz-Wong	78
A 2 Parámetros de fuerza intermolecular y constantes críticas	82
A 3 Correlaciones para la obtención de propiedades físicas y de transporte	83
A 4 Hoja de datos técnicos típica de un eliminador de niebla	86
A 5 Código de programación del simulador	87

INTRODUCCIÓN

ELIMINADORES DE NIEBLA

INTRODUCCIÓN

En variados procesos de la industria química donde están en contacto íntimo gases y líquidos se presenta el fenómeno de formación de nieblas, debido al encausamiento de gotas de líquido en la corriente gaseosa. En muchas ocasiones esta niebla resulta ser perjudicial para el proceso corriente abajo, provocando ineficiencias o daños serios en equipo de rotación o compresión, o simplemente ésta puede causar un daño al ambiente.

Las partículas líquidas pueden ser clasificadas de acuerdo con su tamaño y fuente de origen. Aquellas apenas si suficientemente pequeñas, como para ser arrastradas por una corriente de vapor o gaseosa se le conoce como *niebla*, gotas que tienen un diámetro mayor a 10 micras y menor a 500 micras se les conoce como "spray", mientras otras mucho más pequeñas que una micra son generalmente conocidas como humos o aerosoles. El tamaño de las partículas varía extensamente dependiendo del mecanismo que las genera, (tabla I) y en muchas instancias el espectro completo de tamaños se puede presentar simultáneamente

Tabla I

Diámetro de partícula (micras)	Fuente de generación (Proceso Industrial)
0.1 a 1	Reacciones químicas
3 a 500	Superficies de condensación
5 a 800	Superficies de evaporación.
5 a 800	Columnas empacadas y torres
50 a 1000	Sistemas de aspersión

Muchas de estas partículas, como ya se ha mencionado anteriormente pueden ocasionar daños corriente abajo, de ahí la necesidad de eliminar o separar esta niebla de la corriente gaseosa donde forme parte. Actualmente existen equipos de separación diseñados especialmente para separar gotas de líquidos junto con partículas de sólido de una corriente gaseosa, dichos

equipos son conocidos como: ciclones, separadores electrostáticos, separadores de impacto, sedimentadores etc..., los cuales dependiendo de las condiciones de la corriente gaseosa que se trate, son seleccionados para tal o cual separación. Por ejemplo: un separador electrostático no sería recomendable para separar partículas de una corriente que contenga un gas inflamable.

En este trabajo se estudian los separadores de impacto, específicamente los que se fabrican con hilos de alambre.

En la práctica estos separadores de alambre, en general se han venido diseñando de manera semiempírica, de acuerdo a la experiencia de cada uno de los fabricantes. Sin embargo al menos en la literatura abierta, no se encuentra un algoritmo que permita diseñar o en su defecto optimizar de manera eficiente y rápida este tipo de eliminadores de niebla.

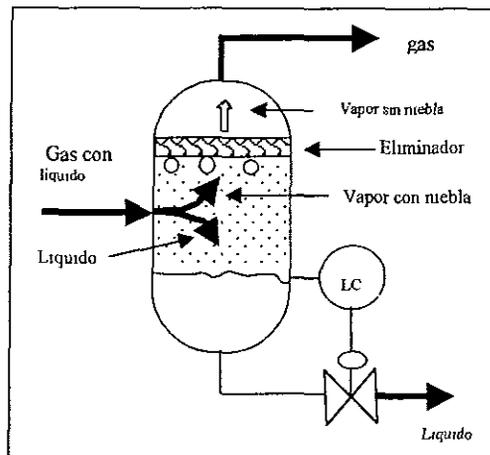


Fig. 1 Principio de funcionamiento de un eliminador de niebla

Los eliminadores de niebla se utilizan principalmente en domos de las torres de destilación, en tanques de destilación súbita, en tanques acoplados a sistemas de desfogue, en evaporadores, en separadores aceite - gas, etc. Su funcionamiento puede ser entendido de la

siguiente manera. Cuando un gas se genera o pasa a través de un líquido (Fig. 1), el gas que burbujea en la superficie arrastra finas gotas de líquido. Cuando el gas pasa por el eliminador de niebla las gotas chocan contra su superficie, donde son retenidas hasta que coalescen en gotas de dimensiones suficientemente grandes, como para vencer su tensión superficial y regresar al seno del líquido. De esta forma el gas que abandona el eliminador se encuentra casi libre de partículas líquidas.

En el siguiente capítulo se analizan conceptos teóricos y se desarrolla un modelo matemático con la finalidad de obtener un algoritmo que permita generar un programa de computadora que diseñe, simule y optimice este tipo de eliminadores de partículas.

CAPITULO 1

ANÁLISIS TEÓRICO

1.1 ANÁLISIS DE MECANISMOS DE CAPTURA DE GOTAS.

En una forma sencilla un separador de partículas es un objeto que se encuentra colocado de una manera perpendicular a una corriente gaseosa que transporta en su seno partículas o gotas, las cuales serán objeto de captura

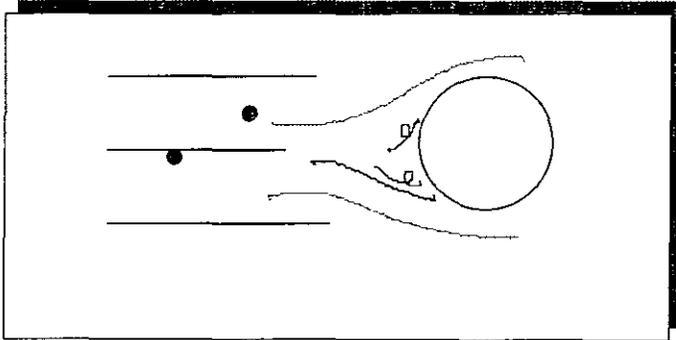


Fig. 2. Flujo alrededor de un cilindro sumergido en una corriente gaseosa

Cuando la corriente se acerca al objeto colector las líneas de flujo se desvían alrededor del objeto (blanco). Ignorando los remolinos que pudieran llegar a formarse en las proximidades y alrededor del objeto, podemos suponer que entre mayor sea la velocidad de la corriente gaseosa, más cerca del objeto se desviarán las líneas de flujo.

Una partícula que viaje en el seno de la corriente gaseosa puede ser capturada por cualquiera o por una combinación de los siguientes tres mecanismos: **Impacto Inercial**, **Intercepción directa** y **difusión** (Fig. 2).

La importancia relativa de cada uno de estos tres mecanismos para una aplicación dada puede ser determinada por la comparación de un parámetro adimensional [1], conocido como número de separación (N_s), o también llamado parámetro de impacto (K ó ψ) [2,3]

1.1.1 Mecanismo De Impacto Inercial

Debido a su masa ciertas partículas en una corriente gaseosa tienen suficiente momentum para salir de las líneas de flujo del gas y continuar su movimiento en línea recta hasta impactarse en el objeto colector (blanco) Fig. 3

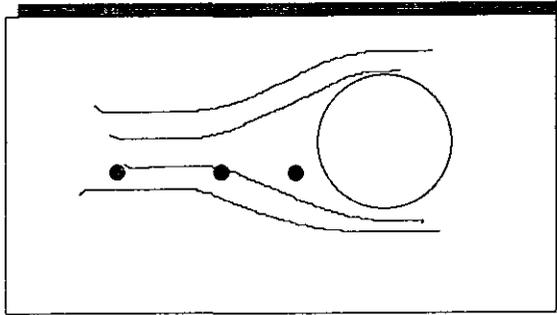


Fig. 3 Mecanismo de impacto inercial

El número de separación para éste mecanismo se expresa como sigue:

$$N_{Si} = \frac{C_M \rho_l D_p^2 V_g}{18 \mu D_c} \quad (1.1.1 a)$$

Donde ρ_l y D_p , son la densidad y el diámetro de la partícula líquida, respectivamente y V_g y μ son la velocidad y viscosidad del gas, D_c , es el diámetro del objeto colector.

El valor de C_M es conocido como factor de corrección de Stokes – Cunningham [1] y toma el valor de 1 para partículas con tamaño mayor a $15 \mu\text{m}$.

El número adimensional de éste mecanismo puede ser interpretado como una relación entre la fuerza inercial que posee la partícula que la hace viajar en línea recta y la fuerza viscosa de la corriente gaseosa que trata de llevarse consigo a la partícula

1.1.2 Mecanismo De Intercepción Directa

También existen partículas en la corriente gaseosa que tienen diámetros de menor tamaño que los tratados anteriormente. Estas no tienen suficiente cantidad de movimiento para escapar de las líneas de flujo del gas, por lo que son arrastradas alrededor del objeto colector por la misma corriente gaseosa. Sin embargo si una línea de flujo, la cual lleva consigo a la partícula en cuestión, pasa lo suficientemente cerca para que la distancia entre su centro y el objeto colector sea menos de la mitad del diámetro de la partícula, entonces la partícula podrá tocar al objeto colector y ser así capturada por el mismo (Fig. 4)

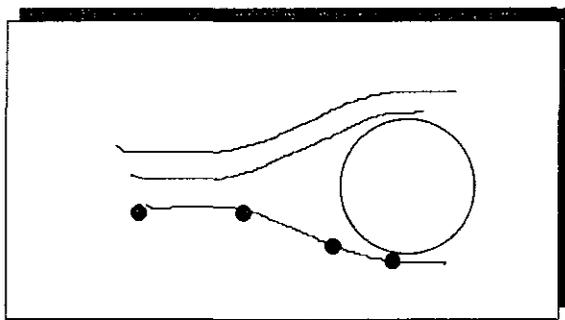


Fig. 4 Mecanismo de intercepción directa

El número de separación para éste mecanismo es el siguiente:

$$N_{sd} = \frac{D_p}{D_c} \quad (1.1.2 a)$$

Este número expresa una relación de diámetros de la partícula y del objeto colector. El valor de éste número adimensional nos indica que tan factible resulta que se presente éste mecanismo, es decir que entre mayor sea su valor mayor es la importancia del mecanismo.

1.1.3 Mecanismo De Difusión

Finalmente para partículas aún más pequeñas usualmente con diámetros menores a $1\mu\text{m}$ se presenta un fenómeno que involucra movimiento "browniano" totalmente aleatorio provocado por colisiones con las moléculas del gas que acarrea a la partícula

Este movimiento aleatorio puede causar que pequeñas partículas choquen contra el objeto colector y sean capturadas aunque la velocidad del gas sea sumamente baja o en su defecto, el gas no fluye.

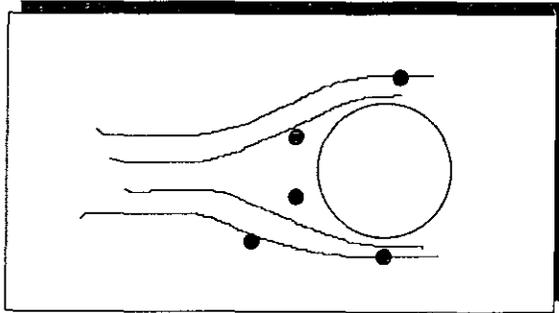


Fig. 5 Mecanismo de difusión

El número de separación para este mecanismo es el siguiente:

$$N_{sb} = \frac{\Phi}{V_g D_c} \quad (1.1.3a)$$

Este número expresa una relación entre la difusividad, Φ , de las partículas en el gas acarreador y la velocidad del gas, V_g , alrededor del diámetro objeto colector, D_c .

1.2 SELECCIÓN DEL MECANISMO DE SEPARACIÓN

El proceso de separación de partículas involucra distintos y variados fenómenos físicos que influyen de manera más o menos importante en los mecanismos de captura de líquidos antes descritos. Estos fenómenos aunados a las condiciones de operación permiten determinar el tipo de separador que es más adecuado.

Algunos factores importantes que se deben de tomar en cuenta para el diseño de un separador de partículas son los siguientes:

- ◆ El tamaño de partícula a eliminar de la corriente gaseosa.
- ◆ La caída de presión que el proceso puede tolerar así como la caída de presión que el equipo requiere para poder remover las partículas.
- ◆ La carga de líquido que pudiera contener la corriente gaseosa
- ◆ La susceptibilidad que el equipo pueda tener a daños por el impacto de partículas sólidas, si es que la corriente pudiera contenerlas.
- ◆ La carga máxima de líquidos que el eliminador pudiera tolerar
- ◆ La disponibilidad de los materiales de construcción, etc.

Estos factores deben ser tomados en cuenta fundamentalmente para el diseño de eliminadores de niebla, independientemente del tipo de eliminador que se quiera utilizar o diseñar.

En este trabajo, por las características del mismo, se pone especial atención a los eliminadores de niebla construidos con alambre tejido en forma de malla. Para éste tipo de eliminadores, el mecanismo de captura de líquidos que más importancia tiene es el de impacto inercial, por la naturaleza de las corrientes donde se utilizan usualmente.

Por lo anterior el mecanismo que se tomará más ampliamente en cuenta en el presente trabajo, será el mecanismo de captura de líquidos de impacto inercial

1.3 ANÁLISIS TEÓRICO DEL MECANISMO DE IMPACTO INERCIAL

El mecanismo de impacto inercial consiste, como ya se ha explicado anteriormente, en aprovechar la fuerza inercial que posee una partícula con cierto momentum, para favorecer que la partícula líquido choque contra la superficie del un obstáculo y se separe de la corriente de gas

Consideremos un fluido en movimiento en dirección x - *positiva* moviéndose alrededor de un cilindro colector puesto en la corriente. Consideremos también una partícula que es llevada por la corriente la cual no necesariamente tiene un movimiento idéntico al de la corriente, debido a que está sujeta a varias fuerzas que tienden a impactarla en la superficie del colector. La figura siguiente es una representación gráfica de la situación.

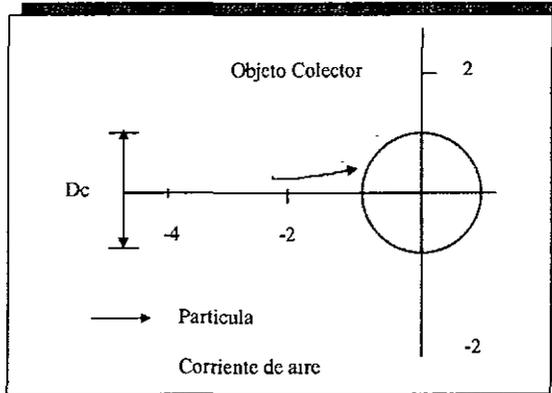


Fig. 6 Representación gráfica para el análisis matemático de la trayectoria de una partícula que se impacta contra un cilindro

El fenómeno anterior puede ser descrito por medio de la siguiente ecuación de movimiento.

$$\frac{d(m\vec{u})}{dt} = -\frac{(\vec{u} - \vec{v})}{Z} + m\vec{g}_1 + \vec{F}_e \quad (1.3a)$$

El primer término después del signo igual representa la resistencia que el fluido opone al movimiento relativo de la partícula a través del fluido, el segundo representa la fuerza de gravedad y el tercero la fuerza eléctrica que pudiera afectar a la partícula. Si la partícula es muy pequeña las fuerzas viscosas predominan y por tanto se pueden despreciar las fuerza eléctrica y de gravedad. La movilidad, Z , es una función del diámetro de la partícula y de las propiedades físicas del aire.

$$Z = \frac{C}{3\pi\mu D_p} \quad (1.3b)$$

Donde C es un factor de corrección empírico para partículas cuyos diámetros son de un orden de magnitud tan pequeños como la trayectoria libre media de las moléculas de la corriente gaseosa.

Cualquier partícula en la corriente al principio, tendrá una velocidad igual a la de la corriente es decir $\bar{u} = \bar{v}$, sin embargo al acercarse la corriente al objeto colector \bar{v} cambiará y la partícula seguirá la trayectoria descrita por la ecuación de movimiento (1.3a)

Que la partícula alcance la superficie del colector depende de su tamaño de las condiciones de flujo y de la forma y tamaño del colector.

La eficiencia de impacto, η , se define teóricamente como el cociente entre el área transversal de la corriente, A_2 , de aerosol de la cual partículas de tamaño dado son eliminadas debido a que sus trayectorias se dirigen hacia la superficie del colector, y el área total, A_1 , proyectada por el objeto colector. En la figura 6 se ilustra una idea más clara del concepto de eficiencia de impacto

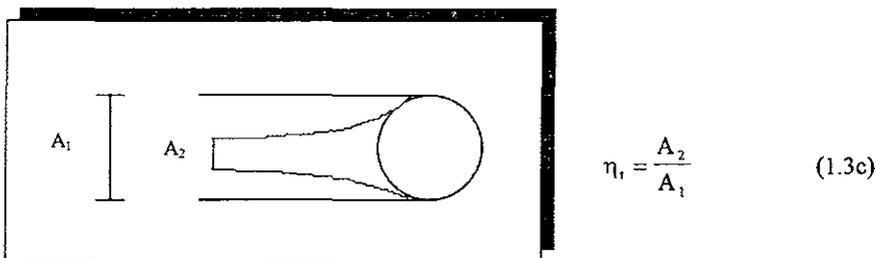


Fig. 7 Definición de eficiencia de impacto

1.3.1 Obtención Del Modelo Matemático

Consideraciones y simplificaciones generales:

Para poder obtener información cuantitativa de manera analítica es necesario realizar simplificaciones, que permitan resolver la ecuación del movimiento.

Ranz y Wong [1] obtienen la una solución para la eficiencia de un modelo de colector cilíndrico (ver apéndice). Simplifican la ecuación (1.3a) despreciando la fuerza de gravedad, las fuerzas eléctricas que pudieran intervenir en el fenómeno y suponiendo que la velocidad del gas v está dada por la posición x de la partícula analizada, resultando así una ecuación diferencial ordinaria de 2^{do} orden, la cual puede resolverse analíticamente. También realizan un manejo algebraico de la ecuación con el fin de llegar una expresión adimensional que es función de un tiempo adimensional \tilde{t} y del número de separación o parámetro de impacto Ψ .

<i>Ecuaciones, condiciones a la frontera y aproximaciones de campo de flujo</i>		
Ecuación de movimiento	$2\Psi \frac{d^2\tilde{x}}{d\tilde{t}^2} + \frac{d\tilde{x}}{d\tilde{t}} - \tilde{v}_x$	$2\Psi \frac{d^2\tilde{y}}{d\tilde{t}^2} + \frac{d\tilde{y}}{d\tilde{t}} - \tilde{v}_y$
Aproximaciones de Campo de flujo	$\tilde{v}_x = -\tilde{x}$ en $-1 < \tilde{x} < 0$	$\tilde{v}_y = \tilde{y}$ en $-1 < \tilde{y} < 1$
Condiciones de frontera	$\tilde{x} = 1 \quad \tilde{u}_x = 1$ Cuando $\tilde{t} = 0$	$-1 < \tilde{y} = \tilde{y}_0 < 1 \quad \tilde{u}_y = 0$ Cuando $\tilde{t} = 0$

1.3.2 Modelo Matemático De La Eficiencia De Impacto

Solución de la ecuación de movimiento:

A continuación se presenta la solución analítica de la ecuación 1.3a

$$\eta_1 = \left[\frac{S_2 - S_1}{S_2 \exp(S_1 \tilde{t}) - S_1 \exp(S_2 \tilde{t})} \right]^2$$

donde:

$$S_{1,2} = -\frac{1}{4\Psi} \pm \sqrt{\left(\frac{1}{4\Psi}\right)^2 + \frac{1}{2\Psi}}$$

$$\tilde{t} = \frac{1}{q} \tan^{-1} \left[\frac{4q\Psi}{4\Psi - 1} \right]$$

$$q = \sqrt{\frac{1}{2\Psi} - \left(\frac{1}{4\Psi}\right)^2}$$

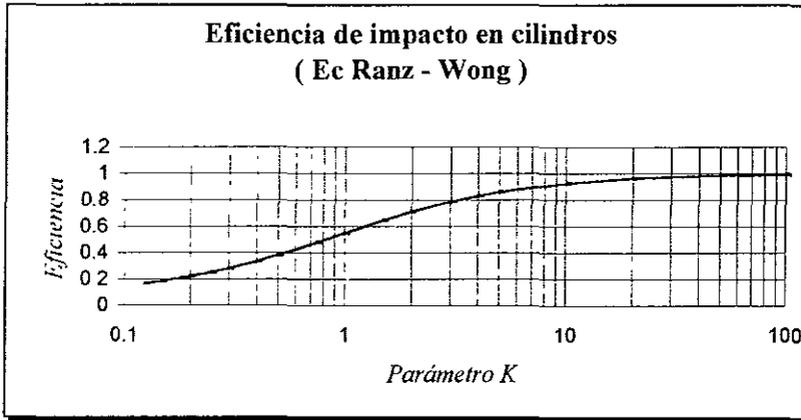
$$\Psi = \frac{K\rho_p V_o D_p^2}{18\mu D_c}$$

Mínimo valor de Ψ : $\Psi = \frac{1}{8}$

Valor de Ψ para impacto total: $\Psi = \infty$

El valor mínimo de Ψ es un límite donde por debajo de él, las condiciones del sistema teóricamente, no permitirán que la partícula se impacte.

La función solución de la eficiencia de impacto (η_i) se muestra a continuación en la gráfica 1



Gráfica 1. Gráfica de la solución analítica de la ecuación para obtener la eficiencia de impacto en cilindros.

La ventaja que ofrece el hecho de que la eficiencia de impacto esté en función del parámetro, Ψ , es que su cambio de valor como variable independiente involucra la variación de distintas propiedades del sistema y no de sólo una propiedad.

Como se podrá ver en las siguientes figuras la solución analítica obtenida por Ranz y Wong es semejante a las soluciones numéricas obtenidas por otros investigadores [8,9,10], lo que permite inferir que las suposiciones hechas para la obtención de la solución analítica, son aceptables.

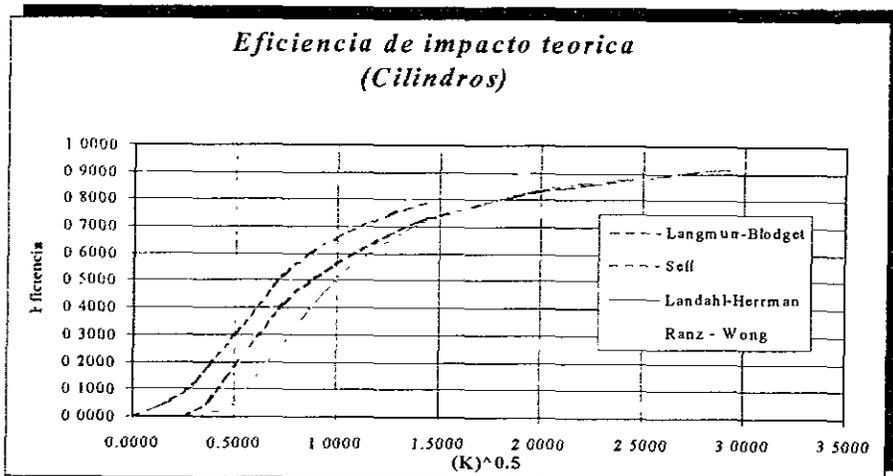
Así mismo, mas adelante, se detalla de manera más explícita en las gráficas el comportamiento del colector en función del diámetro de partícula, D_p , para varias velocidades de la corriente gaseosa.

1.3.3 Eficiencia De Impacto Teórica En Cilindros

En la tabla II se presenta una comparación entre la solución analítica de Ranz-Wong y los valores de la solución numérica obtenida por diferentes investigadores

Tabla. II

EFICIENCIA DE IMPACTO TEÓRICA EN CILINDROS				
K	Langmiur [9]	Sell [10]	Landahl [8]	Ranz Wong
0 0000		0 0000		
0 1250		0 0330		
0 2500	0.0000	0.0833		
0 3160	0 0208	0.1250	0.0000	
0 3750	0.0542	0.1830	0.0125	0.0060
0 5000	0.1830	0.3000	0.0500	0.1700
0 7500	0.4160	0.5208	0.2792	0 4800
1 0000	0.5580	0.6541	0.5080	0 6660
1 2500	0.6660	0.7417	0.6458	0 7741
1.4400	0.7310	0.7900	0.7240	0 8260
1 5000	0.7417		0 7375	0 8390
1.7500	0 7917		0 7917	0 8800
2 0000	0 8330		0 8375	0 9080
2 2500	0 8583		0 8666	0.9270
2 5000	0.8833		0.8833	0.9410
2 7500	0 9083		0 9083	0.9510
3 0000	0.9208		0.9208	0.9590



Gráfica 2. Solución numérica de la eficiencia de impacto teórica en cilindros [2]

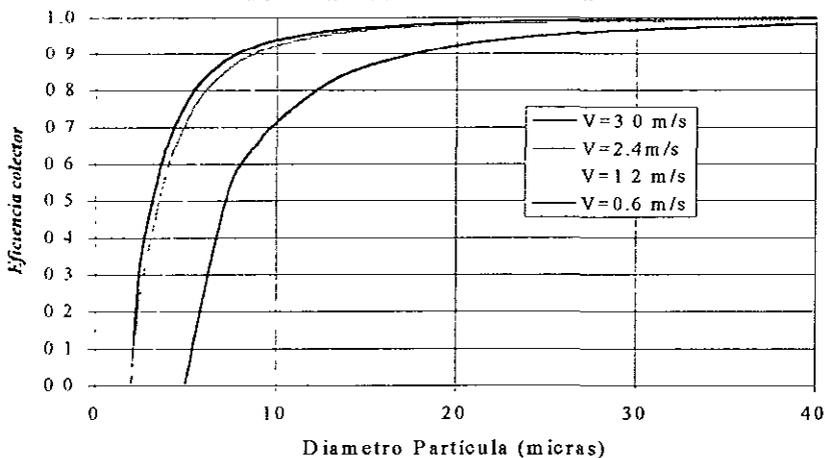
1.3.4 Eficiencia de colector (Ec. Ranz-Wong)

Eficiencia del colector para un diámetro de cilindro de 0.006 in. $D_c = 1.524 \cdot 10^{-4}$ m

TABLA. III

Dp	V=3.0m/s	V=2.4m/s	V=1.2m/s	V=0.6m/s
micras	η	η	η	η
2	0.008	0.017		
2.5	0.3264	0.2395	0.0061	
3	0.4653	0.3812	0.0081	
4	0.6548	0.5871	0.3356	
5	0.7657	0.7144	0.5033	0.0070
6	0.8328	0.7940	0.6238	0.2394
7.5	0.8911	0.8648	0.7425	0.5443
9	0.9240	0.9052	0.8153	0.6584
10	0.9384	0.9231	0.8487	0.7144
12.5	0.9606	0.9507	0.9018	0.8090
15	0.9726	0.9659	0.9316	0.8648
20	0.9848	0.9809	0.9610	0.9231
25	0.9903	0.9879	0.9755	0.9507
30	0.9933	0.9916	0.9831	0.9659
40	0.9963	0.9953	0.9905	0.9809
50	0.9976	0.9970	0.9940	0.9879

Eficiencia de impacto en función del Diámetro de Partícula



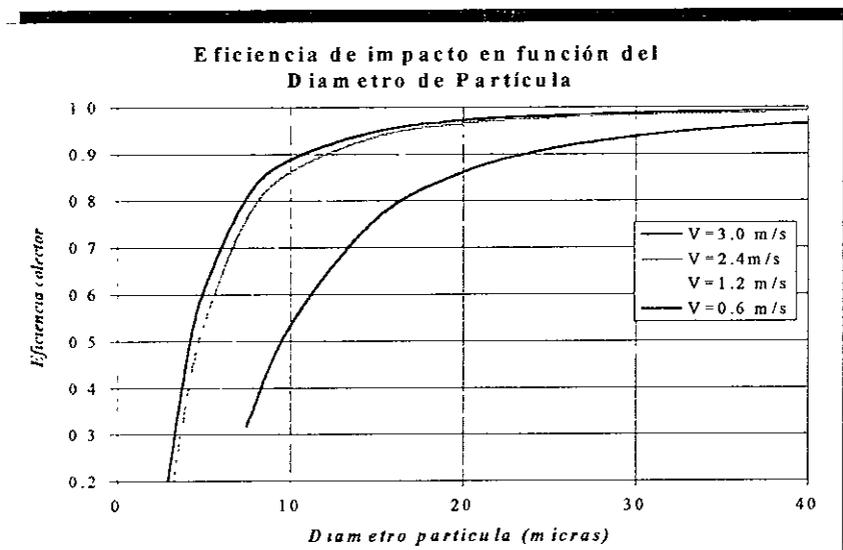
Gráfica 3. Eficiencia de impacto de un colector de 0.1524 mm de diámetro

Eficiencia de colector (Ec. Ranz-Wong)

Eficiencia del colector para un diámetro de cilindro de 0.011 in. $D_c = 2.794 \cdot 10^{-4}$ m

TABLA. IV

Dp	V=3.0m/s	V=2.4m/s	V=1.2m/s	V=0.6m/s
micras	η	η	η	η
2.5	0.078	0.0065		
4	0.4539	0.3694		
5	0.6071	0.5338	0.2732	
7.5	0.8057	0.7617	0.5734	0.3192
10	0.8878	0.8608	0.7353	0.5338
15	0.9478	0.9373	0.8757	0.7617
20	0.9719	0.9648	0.9294	0.8608
25	0.9821	0.9776	0.9549	0.9099
30	0.9876	0.9845	0.9687	0.9373
35	0.9909	0.9886	0.9771	0.9539
40	0.9931	0.9913	0.9825	0.9648
45	0.9945	0.9932	0.9862	0.9722
50	0.9955	0.9945	0.9889	0.9775



Gráfica 4. Eficiencia de impacto de un colector de 0.2794 mm de diámetro

1.4 ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA TOTAL DEL ELIMINADOR.

Para obtener una ecuación que describa la eficiencia total del eliminador de niebla procedemos a realizar un análisis diferencial dentro de una sección dada del eliminador como se muestra en la figura 7.

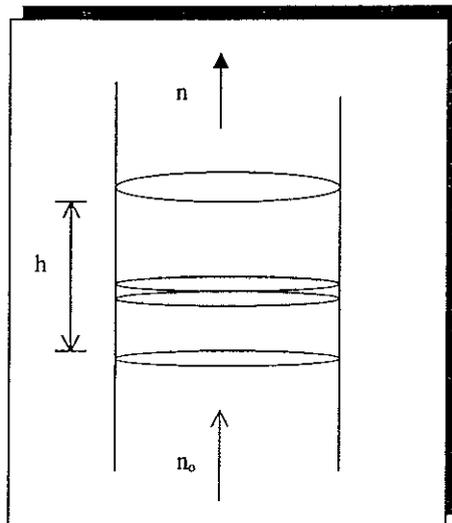


Fig. 8 Análisis diferencial en una capa de malla en un eliminador de niebla

Para el análisis consideraremos válidas las siguientes hipótesis

- 1) Que la almohadilla de alambre está construida formando capas.
- 2) Que el flujo es totalmente perpendicular a la almohadilla de alambre.
- 3) Que la concentración de partículas es homogénea en cada entrecapa

De acuerdo con estas hipótesis antes de la almohadilla, la corriente gaseosa tiene una carga de líquido n_0 y en cada entrecapa la concentración de líquido (partículas / unidad de volumen), va disminuyendo debido a que este se va reteniendo en cada capa.

Si consideramos una capa diferencial de espesor dz , entonces la variación de la concentración, n , del líquido será proporcional a la misma concentración, n en cada entrecapa y al área de impacto de la capa. Lo anterior puede ser expresado como sigue:

$$\frac{dn}{dz} \propto (\text{Área de impacto})(\text{Concentración de partículas}) \quad (1.4a)$$

Introduciendo la siguiente expresión $\frac{2}{3}\eta_i$ como constante de proporcionalidad que es eficiencia de impacto del colector en la capa, multiplicado por un factor que corrige el hecho de que, no todo el alambre que compone a la capa se encuentra ubicado de manera perpendicular al flujo de gas, por lo que la eficiencia del colector se ve disminuida. Este factor de $2/3$ ha sido recomendado por Carpenter y Othmer

$$\frac{dn}{dz} = -\frac{2}{3}\eta_i (\text{Área de impacto/Volumen})(\text{Concentración de partículas}) \quad (1.4b)$$

1.4.1 Determinación del área de impacto:

Como ya se ha tratado anteriormente en el análisis teórico del mecanismo de impacto inercial y por las consideraciones antes mencionadas, la partícula viaja de manera perpendicular al objeto colector, por lo que el área de impacto se considera como la proyección perpendicular sobre un plano (ver Fig. 8) del mismo objeto colector.

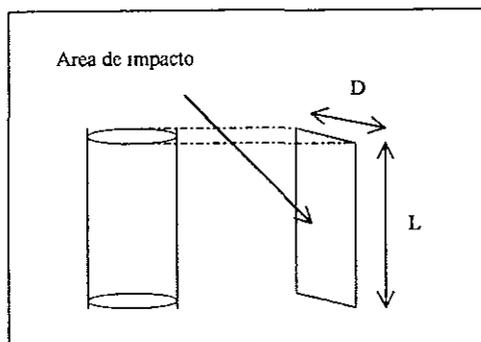


Fig. 9 Área de impacto de un cilindro colector

Por lo tanto tenemos que el área de impacto esta dada por:

$$\text{Area de impacto} = D \cdot l$$

Ahora, sabiendo que el área superficial de un cilindro esta dada por, A_s , y el *área superficial específica*, a , se define como el área superficial total de la almohadilla en un volumen dado de la misma almohadilla es decir,

$$a = \frac{A_s}{V_T} = \frac{\Pi \cdot D \cdot l}{V_T} \quad (1.4c)$$

donde

A_s Área superficial total del alambre

D Diámetro del objeto colector

L Longitud del objeto colector

V_t : Volumen total de la almohadilla

Π Número pi = 3.1415.....

De la figura 8 y la ecuación (1.4c) se obtiene el área de impacto por unidad de volumen expresada como sigue.

$$\text{Area de impacto/ volumen} = \frac{D \cdot l}{V_t} = \frac{a}{\Pi} \quad (1.4d)$$

Sustituyendo el área de impacto/ volumen, $\frac{a}{\Pi}$ y la concentración de gotas (n) en la ecuación

(1.4b), obtenemos

$$\frac{dn}{dz} = \eta_t \frac{2a}{3\Pi} n \quad (1.4e)$$

Separando variables y resolviendo la ecuación diferencial con las siguientes condiciones límite.

$$z = 0 \quad n = n_0 \quad \text{y en} \quad z = h \quad n = n$$

$$\int_{n_0}^n \frac{dn}{n} = -\frac{2\eta_t a}{3\Pi} \int_0^h dz \quad (1.4f)$$

La integración nos da como resultado la siguiente ecuación que predice que fracción de la concentración inicial de partículas penetrará un espesor h , de la almohadilla.

$$\frac{n}{n_0} = \exp\left[-\frac{2\eta_t ah}{3\Pi}\right] \quad (1.4g)$$

Finalmente la eficiencia de retención de la almohadilla está dada por la siguiente ecuación

$$\eta = 1 - \exp\left[-\frac{2\eta_t ah}{3\Pi}\right] \quad (1.4h)$$

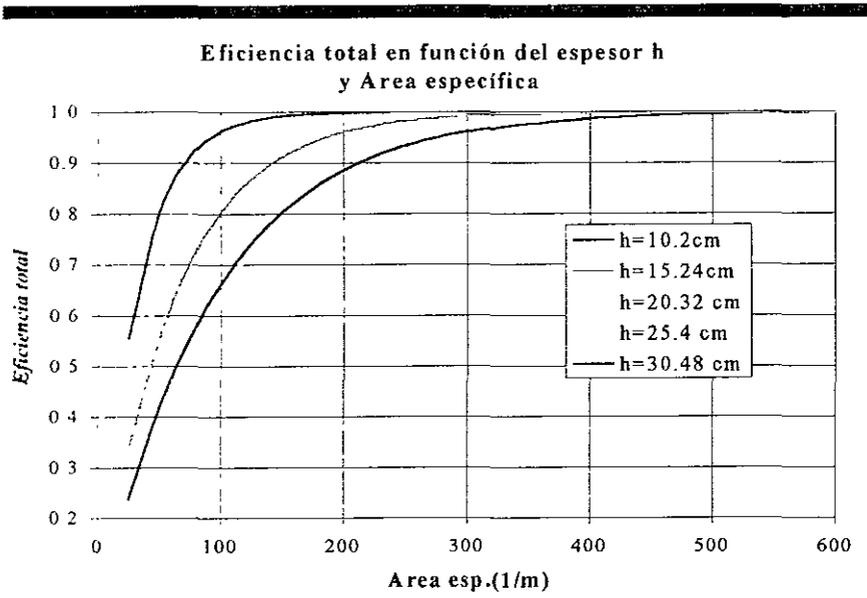
En las figuras siguientes podemos observar la variación de la eficiencia total del eliminador en función del área específica (a) de la almohadilla, a varios espesores (h), para una eficiencia de impacto de colector, η_t , de 0.5 y 0.95 obtenida en este trabajo por utilizando la ecuación de Ranz- Wong

Eficiencia total de un eliminador de niebla

Eficiencia total para un valor extremo de eficiencia de colector de 0.5

TABLA. V

Eficiencia total de un eliminador de niebla					
$\eta = 0.85$	$H=0.102m$	$H=0.1524m$	$H=0.2032m$	$H=0.2504m$	$H=0.3048m$
a	η	η	η	η	η
25	0.2371	0.3325	0.4167	0.4902	0.5545
50	0.4179	0.5545	0.6597	0.7401	0.8015
75	0.5559	0.7026	0.8015	0.8675	0.9116
100	0.6612	0.8015	0.8842	0.9325	0.9606
125	0.7415	0.8675	0.9325	0.9656	0.9824
150	0.8028	0.9116	0.9606	0.9824	0.9922
175	0.8495	0.9410	0.9770	0.9911	0.9965
200	0.8852	0.9606	0.9866	0.9954	0.9984
225	0.9124	0.9737	0.9922	0.9977	0.9993
250	0.9332	0.9824	0.9954	0.9988	0.9997
300	0.9611	0.9922	0.9984	0.9997	0.9999
400	0.9868	0.9984	0.9998	1.0000	1.0000
500	0.9955	0.9997	1.0000	1.0000	1.0000
600	0.9985	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000
650	0.9991	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000



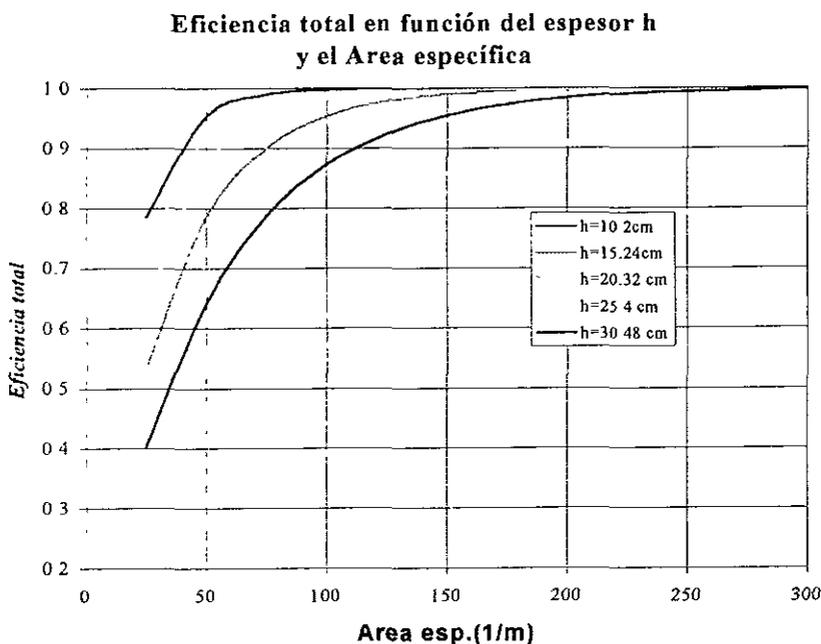
Gráfica 5. Eficiencia total de un eliminador para una eficiencia de colector de 0.5

Eficiencia total de un eliminador de niebla

Eficiencia total para un valor extremo de eficiencia de colector de 0.95

TABLA. VI

Eficiencia total de un eliminador de niebla					
$\eta = 0.85$	H=0.102m	H=0.1524m	H=0.2032m	H=0.2504m	H=0.3048m
a	η	η	η	η	η
25	0.4019	0.5361	0.6409	0.7220	0.7848
50	0.6423	0.7848	0.8710	0.9227	0.9537
75	0.7861	0.9002	0.9537	0.9785	0.9900
100	0.8721	0.9537	0.9834	0.9940	0.9979
125	0.9235	0.9785	0.9940	0.9983	0.9995
150	0.9542	0.9900	0.9979	0.9995	0.9999
175	0.9726	0.9954	0.9992	0.9999	1.0000
200	0.9836	0.9979	0.9997	1.0000	1.0000
225	0.9902	0.9990	0.9999	1.0000	1.0000
250	0.9941	0.9995	1.0000	1.0000	1.0000
300	0.9979	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000



Gráfica 6. Eficiencia total de un eliminador para una eficiencia de colector de 0.95

1.5 VELOCIDAD CRÍTICA DE REENCAUSAMIENTO

Análisis:

Sea un objeto colector cilíndrico (alambre) que se encuentra colocado de manera perpendicular a un flujo gaseoso, el cual acarrea en su interior partículas de líquido, dichas partículas chocan contra el objeto y por el fenómeno de coalescencia forman una gota colgante del objeto colector. Cuando la gota tenga un peso mayor a la fuerza con que se adhiere al alambre, en ese momento la partícula está sujeta a las siguientes fuerzas, F_f (Fuerza de flotación), F_k (Fuerza debida al comportamiento cinético del gas) y F_g (Fuerza de gravedad). Las anteriores fuerzas se expresan como sigue

$$F_k = \frac{\pi D^2 \rho_g V_c^2 f}{8} \dots \dots \dots (1.5a)$$

$$F_g = m \cdot g_c \dots \dots \dots (1.5b)$$

$$F_f = \frac{\pi D^3 \rho_l g_c}{6} \dots \dots \dots (1.5c)$$

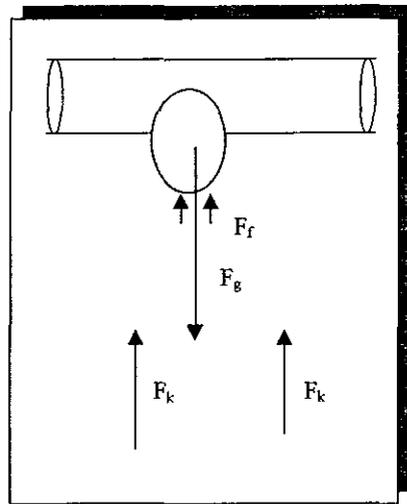


Fig 10. Fuerzas que actúan en una gota suspendida en un cilindro colector

Un análisis de las fuerzas que actúan sobre la gota nos conduce a la siguiente expresión

$$F_T = F_k + F_f - F_g \quad (1.5d)$$

Si F_T es negativa, la partícula caerá por que la fuerza de gravedad es mayor a la fuerza de flotación y a la fuerza cinética juntas. Si se aumenta la velocidad del gas, F_k aumentará hasta un punto en donde F_T adquiera un valor de cero. A partir de ese momento un aumento diferencial en la velocidad del flujo gaseoso provocará que la partícula sea arrastrada una vez mas por el gas; a este fenómeno se le conoce como **reencausamiento**

Por lo anterior se dice que la **velocidad crítica de reencausamiento** es aquella a la cual se da la siguiente condición

$$F_k + F_f - F_g = 0 \quad (1.5e)$$

Sustituyendo los valores de las fuerzas dadas en las ecuaciones 1.5a, b y c para un valor de velocidad crítico de reencausamiento V_c , tenemos la siguiente expresión

$$\frac{\pi D^2 \rho_g V_c^2 f}{8} + \frac{\pi D^3 \rho_l g_c}{6} - m * g_c = 0 \quad (1.5f)$$

Donde la masa de la partícula se expresa en función de la densidad y su volumen con la siguiente expresión.

$$m = \frac{\pi D^3 \rho_l}{6} \quad (1.5g)$$

Rearreglando la expresión 1.5f una vez sustituida m , y despejando la velocidad crítica de reencausamiento V_c , tenemos la siguiente expresión.

$$V_c = \sqrt{\frac{2Dg_c(\rho_l - \rho_g)}{3f}} \quad (1.5h)$$

La ecuación anterior sólo es válida para un flujo laminar donde se aplica la teoría de capa límite, para una gota considerada prácticamente esférica, f es el factor de arrastre de forma

A regímenes diferentes al laminar se puede aplicar la fórmula anterior aplicando un parámetro empírico K_{sb} que corrige a la ecuación. Este parámetro obtenido de manera experimental es conocido como **Constante de Sounders – Brown**.

Finalmente la ecuación de velocidad crítica de reencausamiento se escribe de la siguiente forma

$$V_c = K_{sb} \sqrt{\frac{\rho_l - \rho_g}{\rho_g}}$$

Donde los valores de K_{sb} para un eliminadores de niebla oscila entre 0.3 y 1.0 ft/s.[1]

1.6 ANÁLISIS DE LA CAÍDA DE PRESIÓN EN EL EQUIPO

1.6.1 Caída de presión en seco.

Coefficiente de arrastre.

El coeficiente de arrastre lo podemos entender como el cociente de la fuerza de fricción que un fluido ejerce sobre un objeto que se encuentra sumergido en el seno de la corriente del fluido, entre la energía cinética del fluido por unidad de volumen actuando sobre la superficie expuesta del objeto sumergido

Dicho coeficiente se expresa como sigue.

$$C_D = \frac{2F_D}{S\rho V_{fs}^2} \quad (161)$$

Donde

F_D Fuerza total ejercida sobre la superficie expuesta del objeto

S : Area de exposición del objeto

V_{fs} Velocidad del fluido libre

ρ Densidad del fluido

Este coeficiente de arrastre o factor de arrastre es análogo al factor de fricción correspondiente al flujo en tubos así como a la transferencia de momento en capa límite. En este caso el factor de arrastre es aplicado a un cuerpo sumergido en un flujo perpendicular al mismo cuerpo. Se tienen correlaciones para este factor de arrastre y por lo general se presentan en forma gráfica en coordenadas logarítmicas, con C_D como función del número de Reynolds, N_{Re}

En el caso de las mallas para los eliminadores de niebla, podemos suponer que el alambre con que están construidas se comporta como un cilindro sumergido cuando se encuentra en operación en la corriente. Por lo que a partir del coeficiente de arrastre se puede deducir una expresión que describe la caída de presión a través del eliminador de niebla.

Como se puede observar en la figura 10, la corriente gaseosa fluye con una fuerza que actúa perpendicularmente a la superficie transversal del tubo, a esta fuerza se le conoce como presión. Al entrar en contacto la corriente gaseosa con la malla perderá fuerza debido a la fricción con la misma malla por lo que la presión disminuirá. A este cambio en la presión se conoce como caída de presión

Realizando un balance de fuerzas en el dispositivo tomando como referencia la región (a), tenemos lo siguiente

$$F_1 + F_D = F_2 \quad (1.6.1a)$$

Despejando F_D y dividiendo la expresión entre la superficie transversal del tubo tenemos

$$\frac{F_D}{S_t} = \frac{F_2 - F_1}{S_t} = -\Delta P \quad (1.6.1b)$$

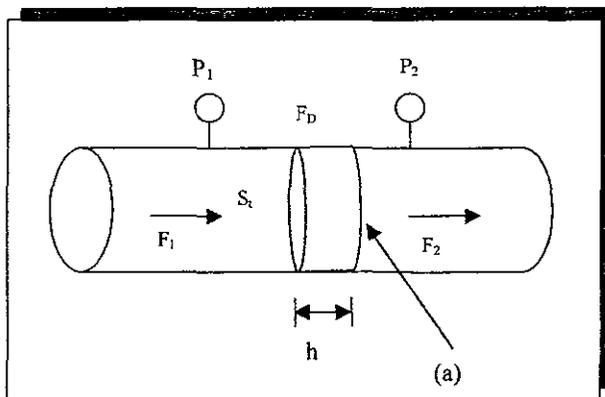


Fig. 11 Fuerzas que actúan en la caída de presión en seco

De la definición de coeficiente de arrastre (1.6.1) tenemos lo siguiente.

$$F_D = \frac{C_D S \rho V_{Fs}^2}{2} \quad (1.6.1c)$$

La superficie del cilindro que está expuesta a la fuerza del fluido se considera como la mitad de su superficie total como se muestra en la figura 11

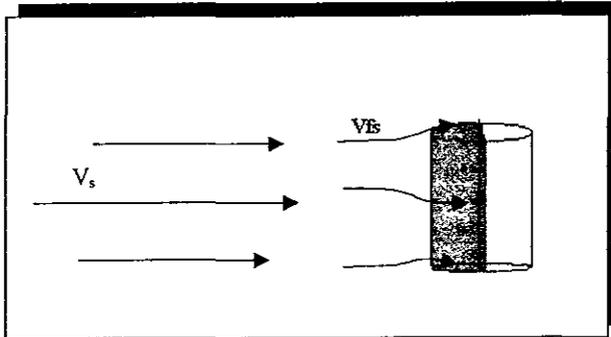


Fig. 12 Fuerza de arrastre en un cilindro colector

De la figura se tiene que :

$$S = \frac{\pi L D_1}{2} \quad (1.6.1d)$$

Así mismo de la definición de área superficial específica tenemos lo siguiente.

$$a = \frac{\text{Area cilindro}}{\text{Vol.Total}} = \frac{\pi D_1 L}{V_T} \quad (1.6.1e)$$

El volumen total del eliminador, V_T , es su área transversal multiplicada por el espesor del mismo. Es decir.

$$V_T = S_1 * h \quad (1.6.1f)$$

Sustituyendo la ecuación (1.6.1f) en la ecuación (1.6.1e) tenemos.

$$a = \frac{\pi D_1 L}{S_1 * h} \quad (1.6.1g)$$

Ahora despejando L de la ecuación (1.6.1g) y sustituyendo en la ecuación (1.6.1d) obtenemos

$$S = \frac{aS_t h}{2} \quad (1.6.1h)$$

Sustituimos (1.6.1h) en (1.6.1c) y reacomodando la ecuación resultante como lo indica la ecuación (1.6.1b)

$$\Delta P = \frac{F_D}{S_t} = -\frac{C_D ah \rho V_{fs}^2}{4} \quad (1.6.1i)$$

La ecuación obtenida anteriormente describe la caída de presión a lo largo del espesor del eliminador de niebla, sin embargo es más conveniente expresar la velocidad superficial, V_{fs} , en términos de la velocidad lineal lo largo del tubo o recipiente que contiene al eliminador. Por lo que haciendo uso de la porosidad del lecho, ϵ , podemos expresar la velocidad superficial, V_{fs} , en términos de la velocidad lineal, V_s , como sigue

$$V_{fs} = \frac{V_s}{\epsilon} \quad (1.6.1j)$$

Finalmente sustituyendo (1.6.1j) en la ecuación (1.6.1i) que describe la caída de presión tenemos

$$\Delta P = \frac{C_D ah \rho V_s^2}{4 g_c \epsilon^2} \quad (1.6.1k)$$

Donde g_c es la aceleración de la gravedad, que se utiliza con el fin de expresar la caída de presión en unidades de fuerza sobre unidad de área.

1.6.2. Correlación del coeficiente de arrastre

Como se ha visto se determinó la caída de presión en el equipo eliminador a partir de la definición del coeficiente de arrastre (C_D) y la pérdida de energía cinética de un fluido al moverse a lo largo del dispositivo.

Como ya se ha mencionado el coeficiente de arrastre es análogo al factor de fricción en tubos y puede ser expresado como una función del número de Reynolds.

$$N_{Re} = \frac{\rho V_{fs} D_c}{\mu}$$

Donde

D_c : Longitud característica del objeto sumergido en la corriente

V_{fs} : Velocidad del fluido en las proximidades del objeto

ρ : Densidad del fluido

μ : Viscosidad del fluido

La funcionalidad del C_D se ha obtenido para diversos cuerpos geométricos en forma de correlaciones [13]. Para nuestro propósito se han obtenido datos en el intervalo de valores requerido, para cilindros circulares. Dichos datos se han correlacionado para obtener una ecuación que permita relacionar analíticamente el número de Reynolds con el coeficiente de arrastre.

La ecuación obtenida es la siguiente:

$$C_D = e^{(-0.0039X^3 + 0.0789X^2 - 0.6913X + 2.4963)} \quad (1.6.2a)$$

$$x = \ln(Re)$$

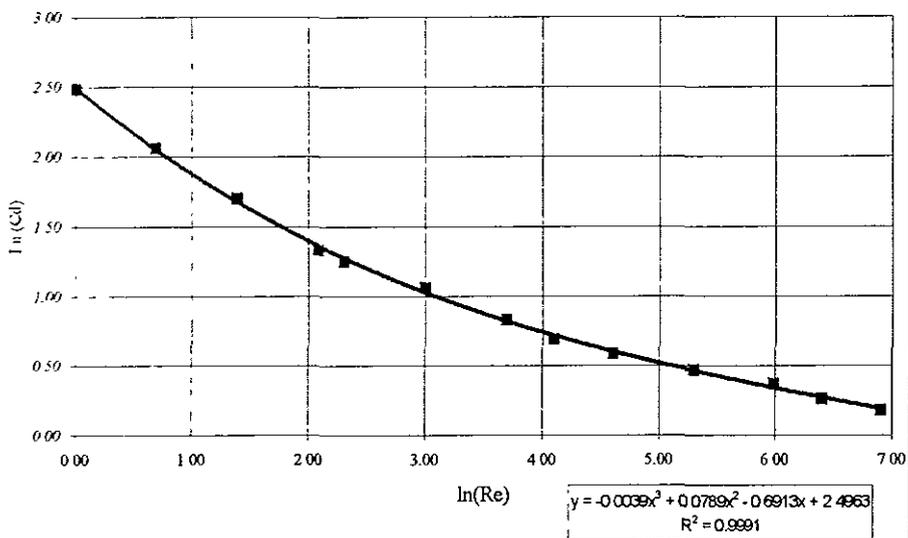
La correlación se obtiene a partir de los datos de $\ln(C_D)$ Vs. $\ln(N_{Re})$ con factor de correlación de $R=0.9991$. Como se verá en la siguiente gráfica

Datos y correlación para obtener el cd en función del número de re.

TABLA VII

Re	Cd	ln(Re)	ln(Cd)	Re	Cd	ln(Re)	ln(Cd)
1	12	0.00000	2.48491	40	2.3	3.68888	0.83291
2	7.9	0.69315	2.06686	60	2	4.09434	0.69315
4	5.5	1.38629	1.70475	100	1.8	4.60517	0.58779
8	3.8	2.07944	1.33500	200	1.6	5.29832	0.47000
10	3.5	2.30259	1.25276	400	1.5	5.99146	0.37156
20	2.9	2.99573	1.06471	600	1.3	6.39693	0.26236
				1000	1.2	6.90776	0.18232

ln(Cd) en función del ln(Re)



Gráfica 7. Correlación del coeficiente de arrastre (Cd) en función del número el Reynolds (Re)

1.6.3 Caída de presión en mojado.

El problema de caída de presión en el eliminador de niebla, cuando se encuentra mojado debido a las condiciones de operación, puede ser abordado como si éste fuera una torre empacada. Como ya se ha tratado la caída de presión en el eliminador cuando éste se encuentra seco se puede predecir con la siguiente expresión

$$\Delta P = \frac{C_D a h \rho V_s^2}{4 g_c \varepsilon^2} \quad (1.6.1k)$$

Analizando la ecuación anterior podemos concluir que la variable que afecta sensiblemente la caída de presión en condiciones de operación con gas húmedo es la porosidad, la cual disminuye si el dispositivo se encuentra mojado. Como es lógico suponer, entre mayor cantidad de líquido se encuentre en la malla del eliminador menor será la porosidad y por tanto existirá una mayor caída de presión

Líquido Colgante.

El término líquido colgante, h_r , refiere a las gotas de líquido que se alojan y escurren por los intersticios del empaque mientras existen condiciones de operación. El líquido colgante se compone de dos términos, el líquido colgante en condiciones estáticas, h_s , y el líquido colgante en condiciones dinámicas de operación, h_o .

El líquido colgante en condiciones estáticas es aquel que está inmóvil en el empaque o que escurre muy lentamente de manera aleatoria sin formar cauces a través del empaque. El líquido colgante en condiciones dinámicas aparece cuando la carga de líquido es lo suficientemente alta como para formar cauces definidos.

Este líquido colgante, como es lógico afecta la porosidad y por tanto en condiciones de operación la porosidad real se expresada como.

$$\varepsilon = \varepsilon_0 - h_T \quad (1.6.3a)$$

Donde ε_0 es la porosidad del empaque cuando se encuentra seco.

Leva M. [6] obtuvo una correlación para calcular el líquido colgante h_s en torres empacadas, tomando como referencia el agua a 20 °C y es válida para cualquier otro líquido a diferente temperatura tomando en cuenta su densidad, su tensión superficial y su viscosidad. Esta correlación se expresa como sigue

$$h_s = K \left(\frac{L}{D_c} \right)^{0.6} \left(\frac{\rho^*}{\rho_l} \right)^{0.78} \left(\frac{\sigma^*}{\sigma_l} \right)^{0.45} \left(\frac{\mu_l}{K_2} \right)^{0.1} \quad (1.6.3b)$$

Donde

D_c : Diámetro característico del empaque

L : Carga de líquido

ρ^* : Densidad del agua a 20°C

ρ : Densidad del líquido de interés

σ^* : Tensión superficial del agua a 20°C

σ : Tensión superficial del líquido de interés

μ_l : Viscosidad del líquido

K y K_2 tienen un valor que depende del sistema de unidades que se esté usando con el fin de mantener la ecuación adimensional. Los valores se muestran en la tabla siguiente

Constantes	Sist. Ingles	Sist. Internacional	Constante	μ	μ
L	(lb/*hr*ft^2)	(kg/hr*m^2)		(kg/h*m)	cp
K	0.0004	1.71E-05	K2	3.6	1

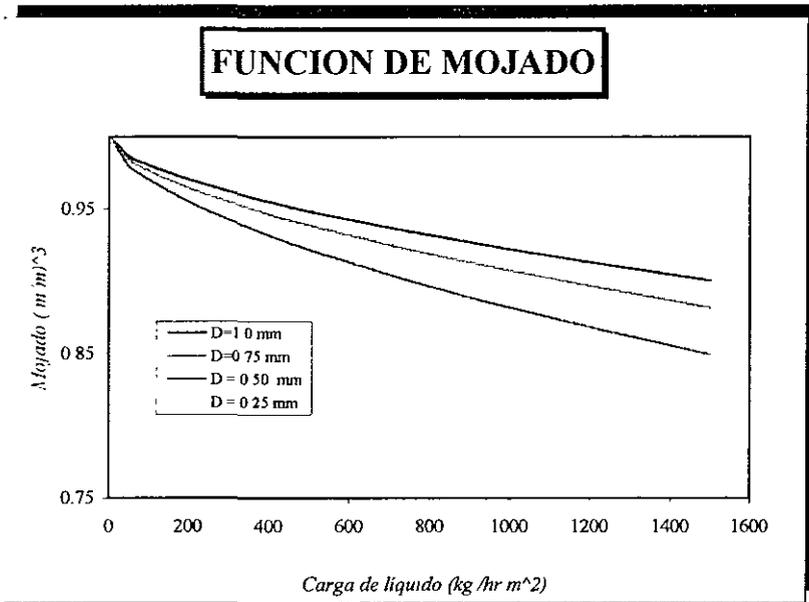
El líquido colgante en operación no lo tomaremos en cuenta, ya que la cantidad de líquido es pequeña y podemos considerar que la contribución de h_0 es despreciable, es decir, el líquido escurre de una manera “tan lenta “ que podría ser tratado como un líquido estático

Por lo tanto tenemos que la porosidad en mojado (ϵ) es.

$$\epsilon = \epsilon_0 - h_s$$

Donde h_s puede entenderse como $h_s = \frac{\text{Volúmen de líquido}}{\text{Volúmen de empaque}}$ o fracción de líquido en el empaque

El comportamiento de la porosidad en función de la carga de líquidos lo podemos ver en la siguiente gráfica 8



Gráfica 8. Volumen de mojado en función de la carga del líquido

Es importante señalar que la ecuación de “Leva” es una correlación para torres empacadas, y que en este trabajo esta ecuación ha sido propuesta, con cierta reserva ya que **para una mayor exactitud es preciso recurrir a la experimentación.**

En las siguientes gráficas se presenta una comparación entre los resultados obtenidos por las ecuaciones desarrolladas y los datos proporcionados por la industria fabricante de eliminadores de niebla A.C.S. Se muestra en forma de gráfica logarítmica la caída de presión (ΔP) en función de la Velocidad de la corriente gaseosa V_g .

Los datos para construir dichas fueron calculados por medio del simulador desarrollado en este trabajo, siguiendo el procedimiento de cálculo descrito en la página 51.

Finalmente se presenta una tabla con un resumen de las ecuaciones analizadas desarrolladas y estudiadas, las cuales son las más importantes en el desarrollo del programa de simulación y diseño de eliminadores de niebla.

1.6.4 Comparación de la caída de presión en el eliminador

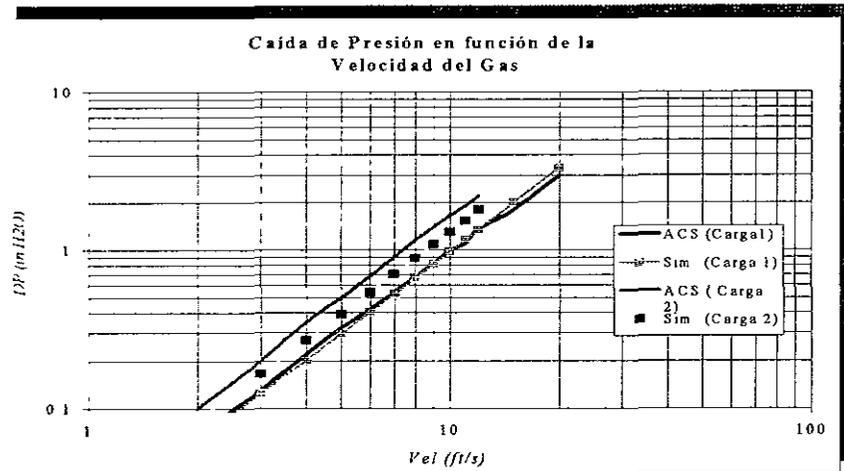
TABLA VIII

Estilo	Diámetro	Superficie E.	Porosidad	Espesor	Carga 1	Carga 2
	Dc (m)	a (m ² /m ³)	ε	h (m)	L (kg/hr*m ²)	L (kg/hr*m ²)
4BA	2.79E-04	377.3	0.976	0.102	24.44	977

Propiedades físicas

Densidad aire (kg/m³) 1.2055
 Densidad agua(kg/m³) 987
 Viscosidad agua (kg/m*hr) 3.6

Vel. ft/s	Carga 1		Carga 2	
	ACS	Sim.	ACS	Sim.
	Delta P in H2O	Delta P in H2O	Delta P in H2O	Delta P in H2O
2	0.07	0.0639	0.1	0.08513
3	0.13	0.12443	0.2	0.1657
4	0.22	0.20148	0.35	0.2684
5	0.32	0.29423	0.5	0.3919
6	0.42	0.4021	0.68	0.5356
7	0.54	0.5247	0.9	0.6989
8	0.67	0.6616	1.15	0.8812
9	0.825	0.8125	1.4	1.0822
10	0.989	0.9772	1.65	1.3017
11	1.1	1.1555	1.9	1.5392
12	1.35	1.3472	2.2	1.7945
15	1.8	2.0001		
20	3	3.34		

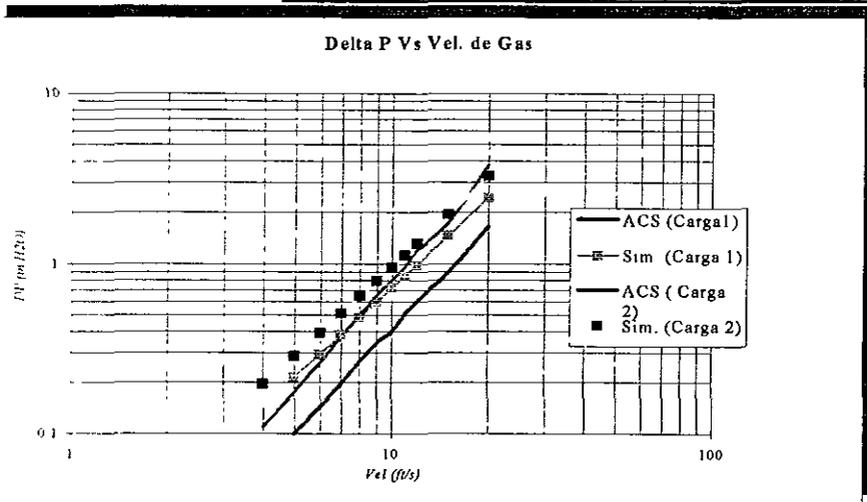


Gráfica 9. Gráfica de la caída de presión en un eliminador de niebla en función de la velocidad del gas y la carga de líquidos. Comparación con resultados obtenidos con ecuaciones desarrolladas en el capítulo 1 contra datos proporcionados por A.C.S Industries

Comparación de la caída de presión en el eliminador

TABLA IX.

Estilo	Diámetro	Superficie E.	Porosidad	Espesor	Carga 1	Carga 2
	Dc (m)	a (m ² /m ³)	ε	h (m)	L (kg/hr*m ²)	L (kg/hr*m ²)
4CA	2.79E-04	278.87	0.982	0.102	24.44	977
Propiedades físicas	Densidad aire (kg/m ³) 1.2055 Densidad agua(kg/m ³) 987 Viscosidad agua (kg/m*hr) 3.6	Vel.	Carga 1		Carga 2	
		ft/s	ACS	Sim	ACS	Sim.
			Delta P in H2O	Delta P in H2O	Delta P in H2O	Delta P in H2O
		2				
		3				
		4			0.11	0.1955
		5	0.1	0.2147	0.175	0.2855
		6	0.145	0.2935	0.26	0.3902
		7	0.195	0.383	0.37	0.5092
		8	0.265	0.483	0.5	0.64201
9	0.34	0.5931	0.65	0.7885		
10	0.4	0.7133	0.8	0.9485		
11	0.5	0.8434	0.95	1.1214		
12	0.6	0.9834	1.2	1.3074		
15	0.89	1.4607	1.75	1.9419		
20	1.65	2.44	3.8	3.2467		



Gráfica 10. Gráfica de la caída de presión en un eliminador de niebla en función de la velocidad del gas y la carga de líquidos. Comparación con resultados obtenidos con ecuaciones desarrolladas en el capítulo 1 contra datos proporcionados por A.C.S. Industries

1.7 Resumen de ecuaciones para el diseño de un eliminador de niebla.

TABLA X

EFICIENCIA DE IMPACTO MODELO (Ec Ranz -Wong)	Mínimo valor de ψ (I_n)	Valor de ψ para $\eta_i=1$
$\eta_i = \left[\frac{S_2 - S_1}{S_2 \exp(S_1 \tilde{t}) - S_1 \exp(S_2 \tilde{t})} \right]^2$ $S_{1,2} = -\frac{1}{4\Psi} \pm \sqrt{\left(\frac{1}{4\Psi}\right)^2 + \frac{1}{2\Psi}}$ $\tilde{t} = \frac{1}{q} \tan^{-1} \left[\frac{4q\Psi}{4\Psi - 1} \right]$ $q = \sqrt{\frac{1}{2\Psi} - \left(\frac{1}{4\Psi}\right)^2}$ $\Psi = \frac{K \rho_p V_g D_p^2}{18 \mu D_c} = N_n$	1/8	α

CONCEPTO	ECUACIONES	NOMBRE.
VELOCIDAD CRITICA DE REENCAUSAMIENTO	$V_c = K_{sb} \sqrt{\frac{\rho_l - \rho_g}{\rho_g}}$	Velocidad crítica
CAÍDA DE PRESION.	$\Delta P = \frac{C_D a h \rho V_g^2}{4 g_c \varepsilon^2}$	Caída de presión
	$\varepsilon = \varepsilon_0 - h_s$	Porosidad Total
	$h_s = K \left(\frac{L}{D_c}\right)^{0.6} \left(\frac{\rho_s}{\rho_l}\right)^{0.78} \left(\frac{\sigma_s}{\sigma_l}\right)^{0.45} \left(\frac{\mu_l}{K_2}\right)^{0.1}$	Función de mojado
	$C_D = e^{(-0.0039 X^3 + 0.0789 X^2 - 0.6913 X + 2.4963)}$	Coefficiente de arrastre
	$X = \ln(\text{Re})$ $\text{Re} = \frac{\rho V_g D_c}{\mu}$	Número de Reynolds
EFICIENCIA TOTAL DEL ELIMINADOR	$\eta = 1 - \exp\left[-\frac{2\eta_t a h}{3\Pi}\right]$	Eficiencia total del eliminador

CAPITULO 2

DISEÑO

Y

PROGRAMACIÓN DEL SIMULADOR

2.1 DESARROLLO DEL SIMULADOR.

En el capítulo anterior se analizaron los conceptos y se desarrollaron las ecuaciones necesarias para realizar el diseño y especificación de un eliminador de niebla. Dichos conceptos son:

- 1) Eficiencia de impacto del alambre colector,
- 2) Eficiencia total del eliminador.
- 3) Velocidad crítica de reencausamiento
- 4) Caída de presión en el eliminador.

El siguiente paso es, aplicar las ecuaciones debidamente, para lo cual se hará manejo matemático que nos lleve a expresiones útiles para el desarrollo de un simulador que nos permita diseñar rápida y eficientemente un eliminador de niebla.

Estas cuatro variables son las más importantes para el diseño y dimensionamiento de un eliminador de niebla construido con mallas de alambre.

El simulador está compuesto de dos partes; una de especificación y otra de diseño, y en las dos se utilizan las mismas ecuaciones, (Capítulo 1). En la especificación se supone que se tienen mallas ya fabricadas con ciertas características, por lo que el simulador dimensionará el eliminador con la malla que cumpla con la eficiencia y caída de presión deseada. Si no cumple ninguna malla con las restricciones dadas, entonces el simulador pasará a la parte de diseño donde se obtendrán las características de la malla que cumpla con las restricciones impuestas.

2.1.1 Especificación de la malla.

En la especificación del eliminador de niebla, las restricciones naturales son: la caída de presión máxima permitida (ΔP) en el proceso o en el equipo y la eficiencia mínima total del eliminador, (η) requerida, estos dos parámetros son los que el usuario del simulador puede fijar para iniciar el cálculo con que se obtendrá el tipo de malla y su espesor, que cumpla con las restricciones impuestas.

Así que a partir de la ecuación de la eficiencia total del eliminador, ecuación (1.4h)

$$\eta = 1 - \exp\left(-\frac{2\eta_t ah}{3\pi}\right)$$

Se despeja el espesor (h) para obtener la siguiente expresión.

$$h = -\frac{3\pi}{2a\eta_t} \ln(1-\eta) \quad (2.1.1a)$$

Obtenido el espesor se calcula finalmente la caída de presión (ΔP)

$$\Delta P = \frac{C_D ah \rho_g V_g^2}{4 g_c \epsilon^2} \quad (2.1.1b)$$

El área específica (a), la porosidad en seco (ϵ_0), el diámetro del alambre colector (D_c), son parámetros que se conocen debido a que se supone existe ya construida la malla colectora, por lo que solo es cuestión de encontrar aquella que se adecue a las necesidades establecidas

2.1.2 Diseño de malla

En la sección de diseño el objetivo principal es obtener una caída de presión mínima ó en su defecto, que cumpla con la restricción de (ΔP) fijada, en función del diámetro del alambre colector, razón por la cual es necesario formular una función objetivo, teniendo como

restricción el espesor h de la malla. Así que sustituyendo la ecuación de h , (2.1.1a) en la expresión (2.1.1b) con el fin de eliminar el área específica, a , que es una variable desconocida tenemos la siguiente ecuación.

$$\Delta P = -\frac{3\pi C_{D\rho_g} V_g^2}{8g_c \eta_t \varepsilon^2} \ln(1-\eta) \quad (2.1.2a)$$

donde

$$\varepsilon = \varepsilon_0 - h_s \quad \text{y } h_s \text{ es la función de mojado.}$$

La porosidad es una variable desconocida debido a que precisamente la porosidad en seco, ε_0 , se tiene que determinar

Si tomamos un volumen unitario entonces la porosidad en seco, ε_0 , se puede entender como el volumen total, V_T , menos el volumen ocupado por el alambre, V_s , de esta manera si $V_T = 1$ entonces

$$\varepsilon_0 = 1 - V_s \quad (2.1.2b)$$

$$\text{siendo} \quad V_s = \frac{\pi D_c^2}{4} * L \quad (2.1.2c)$$

donde

L es la longitud total del alambre.

Luego entonces si el área específica es

$$a = \frac{A_T}{V_T} = \frac{\pi D_c}{1} * L \quad (2.1.2d)$$

y despejando, a , de la ecuación de la eficiencia total (1.4h), tenemos que:

$$a = -\frac{3\pi}{2h\eta_t} \ln(1-\eta) \quad (2.1.2e)$$

combinando las ecuaciones (2.1.2d) y (2.1.2e) tenemos que la longitud del alambre es

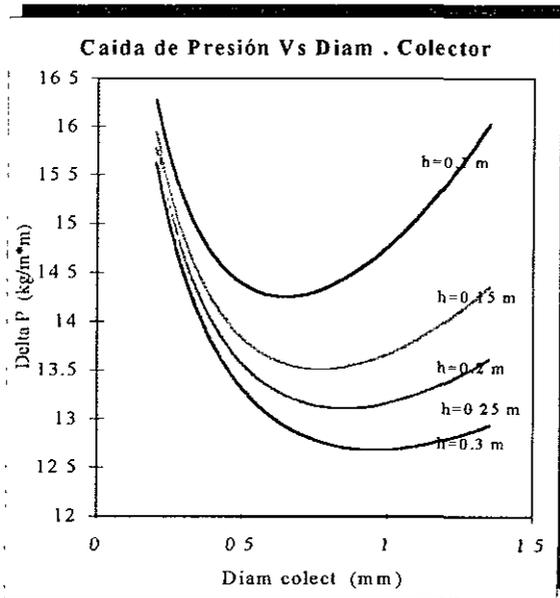
$$L = -\frac{3}{2D_c h \eta_t} \ln(1-\eta) \quad (2.1.2f)$$

que sustituyendo en la ecuación (2.1.2c) y esta a su vez en la (2.1.2b) tenemos finalmente

$$\varepsilon_0 = 1 + \frac{\pi D_c}{8\eta_t h} * \ln(1 - \eta) \quad (2.1.2g)$$

Las ecuaciones anteriores permiten diseñar la malla es su totalidad, una vez que se consigue la caída de presión requerida o mínima por medio de la función objetivo (2.1.2a).

La gráfica 11 muestra la función objetivo a minimizar para distintos espesores del eliminador.



Gráfica 11. Función objetivo a minimizar en la fase de diseño

El método de búsqueda del mínimo es de forma directa. Para esto se establecen límites entre los cuales es evaluada la función objetivo en pequeños incrementos de D_c , es decir

$$\Delta P = \Delta P(D_c + \Delta D_c)$$

2.1.2 Desempeño del simulador

El simulador ha sido desarrollado en el lenguaje de programación “Visual Basic”, este lenguaje fue seleccionado para la programación del simulador debido a su sencillez y gran flexibilidad para el diseño de una presentación de pantalla adecuada para el usuario del simulador.

La simulación da inicio con el requerimiento de los datos de la compañía a quién una posible empresa fabricante de eliminadores de niebla podría diseñarle algún equipo, después de estos requisitos se introducen las variables y restricciones que definen al sistema o proceso en el que se instalará el equipo eliminador de niebla. Dichas variables son: Temperatura y presión del sistema; densidad y viscosidad del gas y del líquido; así como la tensión superficial y tamaño de partícula del líquido. Siendo las restricciones la caída de presión y la eficiencia total del eliminador.

Los cálculos se inician con la obtención de la velocidad crítica de reencausamiento (ecuación 1.5h), para así compararla con la velocidad real del gas de proceso, calculada a partir del flujo volumétrico y el diámetro del eliminador. Si la velocidad real es mayor que la velocidad crítica entonces se calcula un diámetro de eliminador que permita que la velocidad real no sea mayor que la crítica, (ver diagrama de flujo Fig. 13).

El siguiente paso es el de calcular la eficiencia teórica de impacto del colector (ecuación de Ranz-Wong) a partir de las variables que definen al sistema y la información de las mallas existentes contenida en la base de datos. Posteriormente se calcula el espesor de las mallas que compondrán al eliminador así como la caída de presión que provocará dicho eliminador en la corriente de proceso.

En la pantalla de resultados se presentan únicamente las características de las mallas que cumplan con la restricción de caída impuesta, por lo que el ingeniero usuario del simulador podrá elegir de acuerdo a su experiencia y conveniencia la malla con la que se construirá el eliminador de niebla. En el caso de que ninguna de las mallas registradas en la base de datos cumplan con las restricciones impuestas, el simulador cuenta, como ya se ha tratado

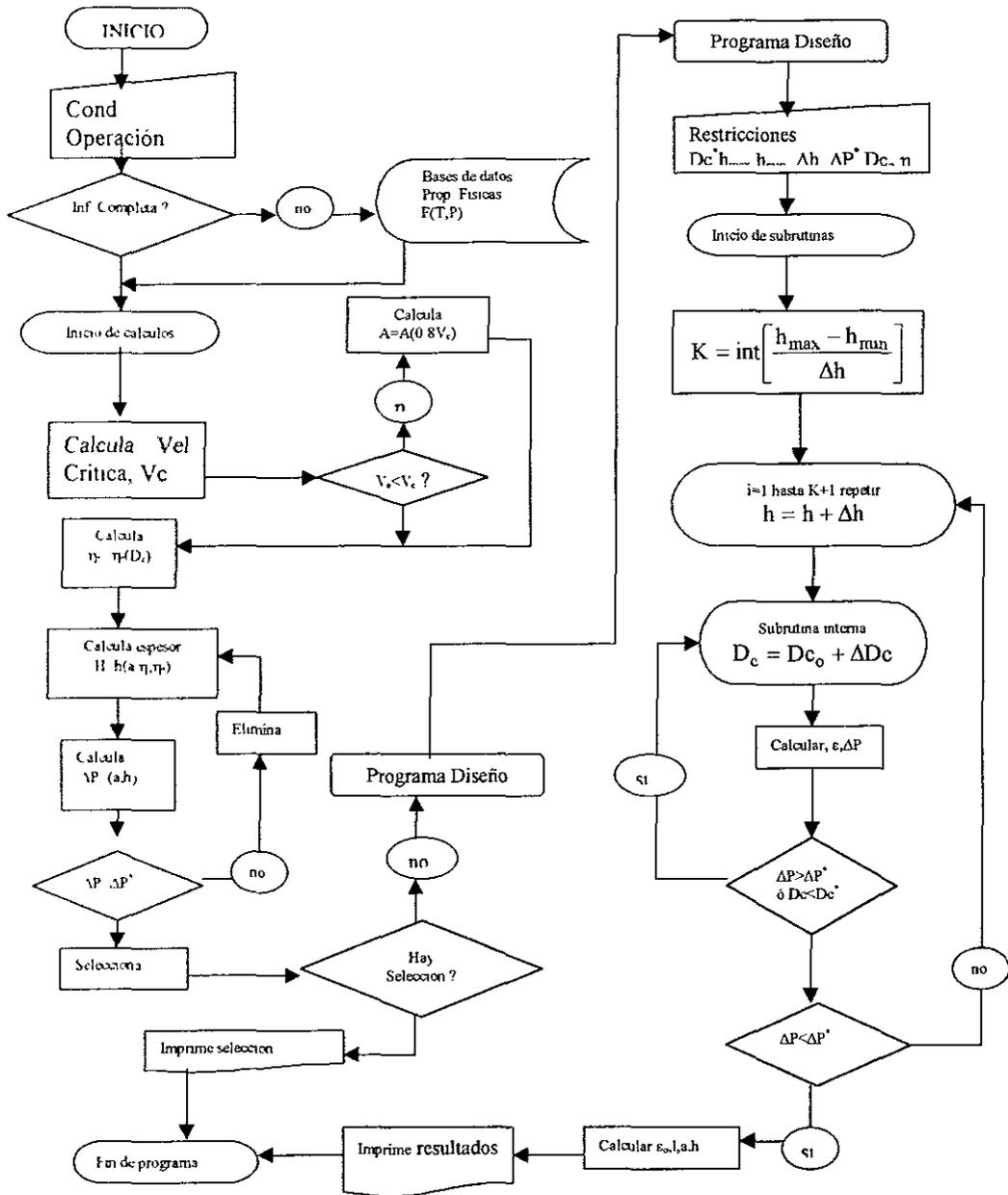
anteriormente, con una opción de diseño en donde agregando algunos parámetros más como son el diámetro de colector mínimo y máximo disponible así como el tamaño de incremento del diámetro del colector y el espesor deseado, para después, con el simple hecho de pulsar la opción de cálculo del menú de diseño obtener las características para la construcción de una nueva malla, que si cumpla con las restricciones impuestas.

El simulador tiene como ventaja en su presentación, el hecho de que el usuario puede tener a la vista en una sola ventana, las condiciones de operación y los resultados, además de que, mientras se está simulando un sistema en especial el usuario puede cambiar directamente en la opción de "variables" del menú "definición del sistema", el valor de alguna variable o restricción, sin tener que reinicializar la simulación introduciendo todas las características del sistema cada vez que se quiera observar la respuesta de un eliminador en su comportamiento debido al cambio de alguna variable.

Como una característica importante adicional el simulador cuenta con correlaciones y datos que permiten calcular propiedades del gas o del líquido que componen al sistema, como lo son: densidad, viscosidad y tensión superficial.

Es importante hacer hincapié en el hecho de que, para realizar una buena simulación es mejor contar con datos experimentales de las propiedades anteriormente citadas, que hacer uso de las correlaciones.

Fig. 13 Diagrama de flujo del simulador:



CAPITULO 3

SIMULACION

ANALISIS DE RESULTADOS

Y

CONCLUSIONES

3.1 SIMULACIÓN.

Problema.

Se tiene el siguiente sistema, Butano – isoctano, y se desea limpiar la corriente de butano de partículas líquidas de Isoctano que se encuentran en su seno, después de haber sido sometida la corriente a una separación súbita en un tanque “flash”. Las características se encuentran especificadas en la Hoja de datos técnicos (Ver apéndice A-4)

Especificar el tipo de malla adecuado para la fabricación del eliminador de niebla que será instalado en el tanque, o en su defecto diseñar una nueva malla si las existentes no cumplen con las condiciones deseadas.

Este podría ser un problema típico a resolver por una empresa que construye eliminadores de niebla. El usuario del simulador será el que proporcione las características de la malla con la que se fabricará el eliminador de niebla

Por consiguiente, para probar la validez de las ecuaciones que sustentan el desempeño del simulador se plantean sistemas de los cuales se tienen las características del proceso con las propiedades termofísicas correspondientes de cada una de las especies químicas presentes. Los resultados de la simulación son comparados con los datos proporcionados al “Cliente” por la industria fabricante de Eliminadores de Niebla A.C.S Industries INC.

3.1.1 Procedimiento de calculo de un eliminador de niebla.

Cálculo numérico para el diseño de un eliminador de niebla.

Algoritmo de calculo.

1 Calcular la velocidad del gas en el recipiente que contiene al eliminador: $v = \frac{4Q}{\pi D^2}$

2. Calcular la velocidad Crítica de reencausamiento. $V_c = K_{sb} \sqrt{\frac{\rho_l - \rho_g}{\rho_g}}$

3 Calcular el parámetro de impacto Ψ : $\Psi = \frac{K \rho_p V_o D_p^2}{18 \mu D_c}$

4. Calcular la eficiencia del colector η_t :

Calcular.

$$q = \sqrt{\frac{1}{2\Psi} - \left(\frac{1}{4\Psi}\right)^2}$$

$$\tilde{t} = \frac{1}{q} \tan^{-1} \left[\frac{4q\Psi}{4\Psi - 1} \right]$$

$$S_{1,2} = -\frac{1}{4\Psi} \pm \sqrt{\left(\frac{1}{4\Psi}\right)^2 + \frac{1}{2\Psi}}$$

$$\eta_t = \left[\frac{S_2 - S_1}{S_2 \exp(S_1 \tilde{t}) - S_1 \exp(S_2 \tilde{t})} \right]^2$$

5 Calcular el espesor de malla: $h = -\frac{3\pi}{2a\eta_t} \ln(1-\eta)$

6 Calcular coeficiente de arrastre C_d : $C_D = e^{(-0.0039X^3 + 0.0789X^2 - 0.6913X + 2.4963)}$

$$X = \ln(Re) \quad Re = \frac{\rho V_{fs} D_c}{\mu}$$

7 Calcular Porosidad total

$$\varepsilon = \varepsilon_0 - 1.71E-5 * \left(\frac{L}{D_c}\right)^{0.6} \left(\frac{\rho_*}{\rho_l}\right)^{0.78} \left(\frac{\sigma_*}{\sigma_1}\right)^{0.45} \left(\frac{\mu_l}{1}\right)^{0.1}$$

8 Calcular la caída de presión en el eliminador: $\Delta P = \frac{C_D a h \rho V_s^2}{4 g_c \varepsilon^2}$

Cálculo numérico para un sistema descrito en la tabla XI para una eficiencia de 99% de partículas retenidas.

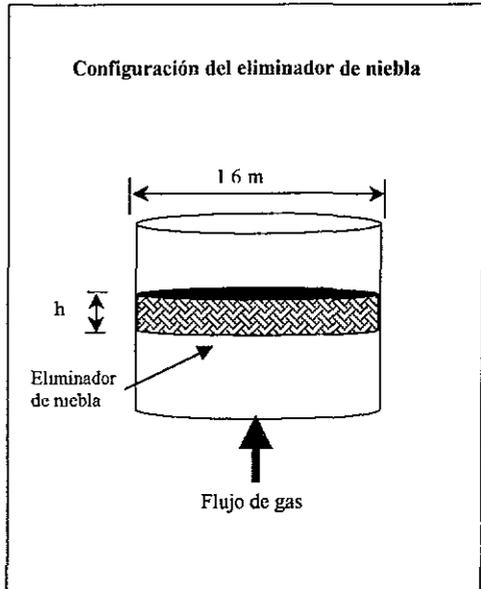
TABLA XI

PROPIEDADES DEL SISTEMA

Propiedad	Gas o vapor	Líquido
Componentes	AIRE	AGUA
Temperatura (°C)	20	20
Presión (kg cm ⁻²)	2	2
Flujo de gas (m ³ hr ⁻¹)	8600	
Flujo líquido (kg hr ⁻¹ m ⁻²)		977
Densidad (kg m ⁻³)	1.2018	987.2
Viscosidad (kg m ⁻¹ s ⁻¹), cp	1.81E-05	1
Tensión Superficial (dinas cm ⁻²)		73
Díametro de partícula (µm)		20

CARACTERIZTICAS DE LA MALLA

Densidad(kg m ⁻³)	80.092
Díametro Colector (mm)	0.2794
ε%	99.0
Área esp (m ² /m ³)	147.64
Díametro del eliminador (m)	1.6



CALCULOS:

- 1 Cálculo de la velocidad del gas en el recipiente que contiene al eliminador

$$v = \frac{4 * 8600}{\pi * 3600 * 1.6^2} = 1.19 \text{ m/s}$$

donde 3600 es el factor para cambiar de horas a segundos

2 Cálculo de la velocidad crítica de reencausamiento.

$$V_c = 0.35 * 0.3048 \sqrt{\frac{987.2 - 1.2018}{1.2018}} = 3.06 \text{ m/s}$$

Donde el factor 0.3048 permite cambiar la velocidad de pies sobre segundo a metros sobre segundo.

Del resultado anterior se observa que la velocidad del gas en el recipiente es menor que la velocidad crítica de reencausamiento por lo que para los siguientes cálculos se tomará en cuenta la velocidad del gas $V_g = 1.19 \text{ m/s}$

3 Cálculo del parámetro de impacto Ψ .

$$\Psi = \frac{987.2 * 1.19 * (20 * 10^{-6})^2}{18 * (1.81 * 10^{-5}) * (0.2794 * 10^{-3})} = 5.162$$

4 Cálculo de la eficiencia del colector η_r .

$$q = \sqrt{\frac{1}{2 * 5.162} - \left(\frac{1}{4 * 5.162}\right)^2} = 0.30743$$

$$\tilde{r} = \frac{1}{0.30743} \tan^{-1} \left[\frac{4 * 0.30743 * 5.162}{4 * 5.162 - 1} \right] = 1.01646$$

$$S_1 = -\frac{1}{4 * 5.162} + \sqrt{\left(\frac{1}{4 * 5.162}\right)^2 + \frac{1}{2 * 5.162}} = 0.26654$$

$$S_2 = -\frac{1}{4 * 5.162} - \sqrt{\left(\frac{1}{4 * 5.162}\right)^2 + \frac{1}{2 * 5.162}} = -0.3634$$

$$\eta_1 = \left[\frac{-0.3634 - 0.26654}{-0.3634 * \exp(0.26654 * 1.01646) - 0.26654 * \exp(-0.3634 * 1.01646)} \right]^2 = 0.909$$

5 Cálculo de espesor de malla

Con una eficiencia total de eliminador del 99 % $\eta = 0.99$, y del paso anterior se obtuvo que $\eta_1 = 0.909$ y de los datos de las características de la malla tenemos que el área específica de la malla es $a = 147.64 \text{ m}^2/\text{m}^3$. Con estos datos se procede a calcular el espesor de la malla

$$h = -\frac{3\pi}{2 * 147.64 * 0.909} \ln(1 - 0.99) = 0.1617 \text{ m}$$

6 Cálculo del coeficiente de arrastre.

$$Re = \frac{1.2018 * 1.19 * 0.2794 * 10^{-3}}{1.81 * 10^{-5}} = 22.07$$

$$X = \ln(22.07) = 3.094$$

$$C_D = e^{(-0.0039 * 3.094^3 + 0.0789 * 3.094^2 - 0.6913 * 3.094 + 2.4963)} = 2.71$$

7 Cálculo de la porosidad total, ϵ :

De la tabla XI tomamos el dato de la porosidad en seco y de las demás propiedades como son la carga de líquido, viscosidad, densidad y tensión superficial del líquido así como el diámetro del alambre colector D_c

$$\varepsilon = 0.99 - 1.71E-5 * \left(\frac{977}{0.2794 * 10^3} \right)^{0.6} \left(\frac{966.64}{987.2} \right)^{0.78} \left(\frac{73}{73} \right)^{0.45} \left(\frac{1}{1} \right)^{0.1} = 0.8447 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^3}$$

8 Cálculo de la caída de presión en el eliminador, ΔP :

$$\Delta P = \frac{2.71 * 147.64 * 0.1617 * 1.2018 * 1.19^2}{4 * 9.81 * 0.8447^2} = 3.92 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Resultados de especificación			
Caída de presión (kg/m ²)	3.92	Espesor del eliminador (m)	0.1617

Los resultados de espesor del eliminador y de caída de presión obtenidos en este cálculo manual, coincide con el cálculo realizado con el simulador, los cuales han sido tabulados en la tabla XII. Este resultado, en la gráfica 12, se representa como el punto de la serie (GabQuim.), que tiene como abscisa la malla número 1.

3.1.2 Procedimiento de cálculo para el diseño de una nueva malla.

Algoritmo de calculo.

- 1 Calcular la velocidad del gas en el recipiente que contiene al eliminador: $v = \frac{4Q}{\pi D^2}$
2. Calcular la velocidad Crítica de reencausamiento: $V_c = K_{sb} \sqrt{\frac{\rho_l - \rho_g}{\rho_g}}$
- 3 Comparar la velocidad del gas con la velocidad crítica de reencausamiento.

INICIO DE PROCEDIMIENTO ITERATIVO

- 4 Proponer un Diámetro de colector, D_{c0} , inicial, un delta de diámetro, ΔD_c , que será lo que aumente el diámetro en cada iteración. y un espesor de malla, h
- 5 Calcular el parámetro de impacto Ψ : $\Psi = \frac{K \rho_p V_o D_p^2}{18 \mu D_c}$
6. Calcular la eficiencia del colector η_r :

Calcular

$$q = \sqrt{\frac{1}{2\Psi} - \left(\frac{1}{4\Psi}\right)^2}$$

$$\tilde{t} = \frac{1}{q} \tan^{-1} \left[\frac{4q\Psi}{4\Psi - 1} \right]$$

$$S_{12} = -\frac{1}{4\Psi} \pm \sqrt{\left(\frac{1}{4\Psi}\right)^2 + \frac{1}{2\Psi}}$$

$$\eta_t = \left[\frac{S_2 - S_1}{S_2 \exp(S_1 \tilde{t}) - S_1 \exp(S_2 \tilde{t})} \right]^2$$

7 Calcular coeficiente de arrastre C_D

$$C_D = e^{(-0.0039X^3 + 0.0789X^2 - 0.6913X + 2.4963)}$$

$$X = \ln(Re) \quad Re = \frac{\rho V_{fs} D_c}{\mu}$$

8 Calcular la porosidad en seco ϵ_0 , con la ecuación (2.1.2g)

$$\epsilon_0 = 1 + \frac{\pi D_c}{8 \eta_t h} * \ln(1 - \eta)$$

9 Calcular la porosidad total ϵ

$$\epsilon = \epsilon_0 - 1.71E-5 * \left(\frac{L}{D_c}\right)^{0.6} \left(\frac{\rho_s}{\rho_l}\right)^{0.78} \left(\frac{\sigma_s}{\sigma_l}\right)^{0.45} \left(\frac{\mu_l}{1}\right)^{0.1}$$

10 Calcular la caída de presión, ΔP , en el eliminador

$$\Delta P = \frac{3 \pi C_D \rho_g V_g^2}{8 g_c \eta_t \epsilon^2} \ln(1 - \eta)$$

Si la caída de presión no es la deseada se prosigue a la siguiente iteración regresando al punto 4, si no se obtiene el resultado solicitado se varía el espesor de la malla, h , y se vuelve a realizar el proceso iterativo

FIN DE ITERACIÓN.

11 Calculo del la longitud del alambre y el área específica

Una vez obtenida la caída de presión deseada, con el diámetro de colector se calcula la longitud del alambre y su área con las ecuaciones (2.1.2f) y (2.1.2e).

$$L = -\frac{3}{2 D_c h \eta_t} \ln(1 - \eta) \quad a = -\frac{3 \pi}{2 h \eta_t} \ln(1 - \eta)$$

Cálculo numérico para el diseño de una nueva malla para un eliminador de niebla.

Para ejemplificar el algoritmo antes descrito se realizará una sola iteración tomando como D_{c0} , el diámetro de colector que se encuentra en la tabla XVIII que son los resultados que se obtuvieron con el simulador

1. Cálculo de la velocidad del gas en el recipiente que contiene al eliminador

$$v = \frac{4 \cdot 8600}{\pi \cdot 3600 \cdot 1.6^2} = 1.19 \text{ m/s}$$

donde 3600 es el factor para cambiar de horas a segundos

10 Cálculo de la velocidad crítica de reencausamiento

$$V_c = 0.35 \cdot 0.3048 \sqrt{\frac{9872 - 12018}{12018}} = 3.06 \text{ m/s}$$

Donde el factor 0.3048 permite cambiar la velocidad de pies sobre segundo a metros sobre segundo.

3 Comparación de la velocidad del gas con la velocidad crítica de reencausamiento.

Del resultado en el paso 2 se observa que la velocidad del gas en el recipiente es menor que la velocidad crítica de reencausamiento por lo que para los siguientes cálculos se tomará en cuenta la velocidad del gas. $V_g = 1.19 \text{ m/s}$.

INICIO DEL PROCEDIMIENTO ITERATIVO

4 En este paso se debe de proponer un diámetro de colector, con el cual se iniciará la iteración en la búsqueda del diámetro de colector óptimo que permita la menor caída de presión en el eliminador. Para este cálculo ejemplo se ha tomado el diámetro de colector que se presenta en la tabla XVII

5 Cálculo del parámetro de impacto Ψ

$$\Psi = \frac{987.2 * 1.19 * (20 * 10^{-6})^2}{18 * (1.81 * 10^{-5}) * (0.7 * 10^{-3})} = 2.0604$$

6 Cálculo de la eficiencia del colector η_c

$$q = \sqrt{\frac{1}{2 * 2.0604} - \left(\frac{1}{4 * 2.0604}\right)^2} = 0.47744$$

$$\tilde{t} = \frac{1}{0.47744} \tan^{-1} \left[\frac{4 * 0.47744 * 2.0604}{4 * 2.0604 - 1} \right] = 1.04252$$

$$S_1 = -\frac{1}{4 * 2.0604} + \sqrt{\left(\frac{1}{4 * 2.0604}\right)^2 + \frac{1}{2 * 2.0604}} = 0.3860$$

$$S_2 = -\frac{1}{4 * 2.0604} - \sqrt{\left(\frac{1}{4 * 2.0604}\right)^2 + \frac{1}{2 * 2.0604}} = -0.6287$$

$$\eta_t = \left[\frac{-0.6287 - 0.3860}{-0.6287 * \exp(0.3860 * 1.04252) - 0.3860 * \exp(-0.6287 * 1.04252)} \right]^2 = 0.8011$$

7 Cálculo del coeficiente de arrastre

$$Re = \frac{1.2018 * 1.19 * 0.7 * 10^{-3}}{1.81 * 10^{-5}} = 55.29$$

$$X = \ln(55.29) = 4.01$$

$$C_D = e^{\left(-0.0039 \cdot 4.01^3 + 0.0789 \cdot 4.01^2 - 0.6913 \cdot 4.01 + 2.4963\right)} = 2.14$$

8 Cálculo de la porosidad en seco ϵ_0 ecuación (2.1.2g)

$$\epsilon_0 = 1 + \frac{\pi \cdot 0.7 \cdot 10^{-3}}{8 \cdot 0.8011 \cdot 0.1} \cdot \ln(1 - 0.99) = 0.9862 \frac{m^3}{m^3}$$

9 Cálculo de la porosidad total ϵ :

$$\epsilon = 0.9862 - 1.71E-5 \cdot \left(\frac{977}{0.7 \cdot 10^{-3}}\right)^{0.6} \left(\frac{966.64}{987.2}\right)^{0.78} \left(\frac{73}{73}\right)^{0.45} \left(\frac{1}{1}\right)^{0.1} = 0.9044 \frac{m^3}{m^3}$$

10 Cálculo de la caída de presión, ΔP :

$$\Delta P = - \frac{3\pi \cdot 2.14 \cdot 1.2018 \cdot 1.19^2}{8 \cdot 9.81 \cdot 0.8011 \cdot 0.9044^2} \ln(1 - 0.99) = 3.074 \frac{kg}{m^2}$$

FIN DE ITERACIÓN

11 Cálculo de la longitud del alambre y el área específica

$$L = - \frac{3}{2 \cdot 0.7 \cdot 10^{-3} \cdot 0.1 \cdot 0.8011} \ln(1 - 0.99) = 123183 \frac{m}{m^3}$$

$$a = - \frac{3\pi}{2 \cdot 0.1 \cdot 0.8011} \ln(1 - 0.99) = 270.89 \frac{m^2}{m^3}$$

Diametro colector (mm)	Porosidad (%)	Area específica (m ² /m ³)	Longitud de alambre (m/m ³)	Espesor (m)	Caída de presión (kg/m ²)
0.70	98.62	270.89	123183	0.1	3.074

Se puede verificar que los resultados obtenidos concuerdan con los tabulados en la tabla XVIII Cuyos valores fueron calculados con el simulador "GabQuim".

3.1.3 Resultados de especificación de mallas

SISTEMA AIRE-AGUA 1

El Simulador (GabQuim) presenta los siguientes resultados para un sistema aire-agua con las características acotadas en la tabla R1, de igual manera se presentan los datos proporcionados por el programa "mistxperTM" de A.C.S. para las mismas condiciones de proceso

TABLA XII

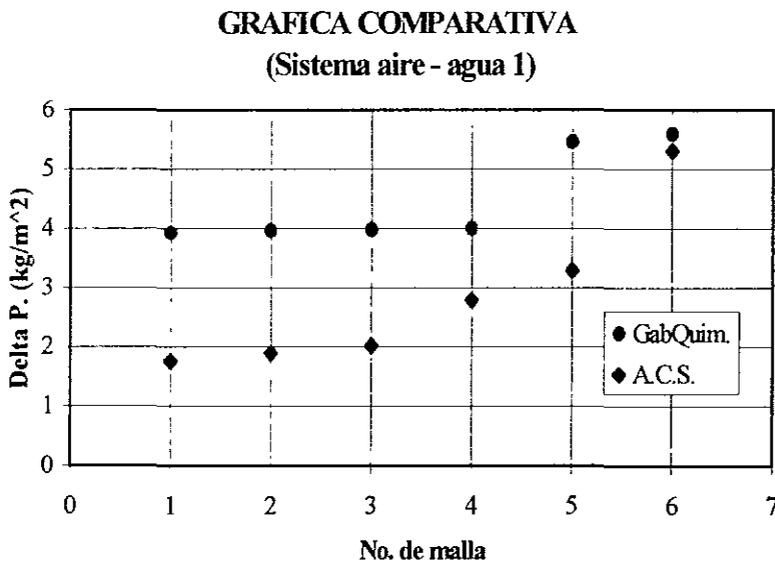
PROPIEDADES DEL SISTEMA			CARACTERIZTICAS DE LAS MALLAS				RESULTADOS DE CALCULO		
Propiedad	Gas o vapor	Líquido	Densidad (kg m ⁻³)	Diámetro Colector (mm)	ε %	Área esp. (m ² /m ³)	RESULTADOS DE ESPECIFICACIÓN		ACS Industries
Componentes	AIRE	AGUA					h(m)	ΔP(kg/m ²)	
Temperatura (°C)	20	20	80.092	0.2794	99.0	147.64	0.1617	3.92	17.509
Presión (kg cm ⁻²)	2	2	111.129	0.2794	98.6	213.255	0.1119	3.96	1.9
Flujo de gas (m ³ hr ⁻¹)	8600		144.166	0.2794	98.2	278.871	0.0857	3.99	2.03
Flujo líquido (kg hr ⁻¹ m ⁻²)		977	192.22	0.2794	97.6	377.296	0.0633	4	2.79
Densidad (kg m ⁻³)	1.2018	987.2	115.33	0.1524	98.6	393.7	0.058	5.46	3.29
Viscosidad (kg m ⁻¹ s ⁻¹), cp	1.81E-05	1	192.222	0.1524	97.6	656.168	0.040	5.6	5.32
Tension Sup. dinas cm ⁻²		73							
Diámetro de partícula μm		20							

ε . Porosidad en seco de la malla, h . Espesor del eliminador de niebla.

Tabla comparativa de resultados:

Tabla R1.

Malla	Tipo	Delta P.(Kg/m ²)		% de Desviación
		ACS	GabQuim	
1	7CA	1.77	3.92	54.85
2	5CA	1.9	3.96	52.02
3	4CA	2.03	3.99	49.12
4	4BA	2.79	4	30.25
5	3BF	3.29	5.46	39.74
6	3BA	5.32	5.6	5.00



Gráfica 12. Gráfica comparativa, sistema aire - agua 1.

SISTEMA AIRE -AGUA 2

El siguiente sistema es igual al anterior variando únicamente el flujo al doble

TABLA XIII

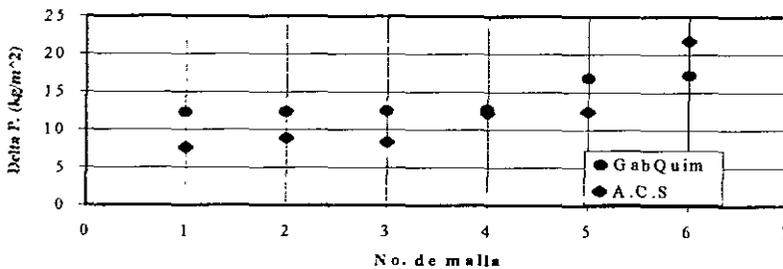
PROPIEDADES DEL SISTEMA			CARACTERIZTICAS DE LAS MALLAS				RESULTADOS DE CALCULO		
Propiedad	Gas o vapor	Líquido	Densidad (kg m ⁻³)	Diámetro Colector (mm)	ε %	Área esp. (m ² /m ³)	RESULTADOS DE ESPECIFICACIÓN		
	AIRE	AGUA					h(m)	ΔP(kg/m ²)	ACS Industr les
Componentes	AIRE	AGUA							
Temperatura (°C)	20	20	80.092	0.2794	99.0	147.64	0.1541	12.262	7.613
Presión (kg cm ⁻²)	2	2	111.129	0.2794	98.6	213.255	0.1067	12.379	8.881
Flujo de gas (m ³ hr ⁻¹)	17200		144.166	0.2794	98.2	278.871	0.0816	12.498	8.37
Flujo líquido (kg hr ⁻¹ m ⁻²)		977	192.22	0.2794	97.6	377.296	0.0603	12.679	12.18
Densidad (kg m ⁻³)	1.2018	987.2	115.33	0.1524	98.6	393.7	0.0565	16.829	12.43
Viscosidad (kg m ⁻¹ s ⁻¹), cp	1.81E-05	1	192.222	0.1524	97.6	656.168	0.0339	17.271	21.82
Tension Sup. dinas cm ⁻²		73							
Diámetro de partícula μm		20							

ε: Porosidad en seco de la malla, h: Espesor del eliminador de neblia.

Tabla R2

Malla	Tipo	Delta P. (Kg/m ²)		% de Desviación
		ACS	GabQuim	
1	7CA	7.613	12.262	37.91
2	5CA	8.881	12.379	28.26
3	4CA	8.37	12.498	33.03
4	4BA	12.18	12.679	3.94
5	3BF	12.43	16.879	26.36
6	3BA	21.82	17.271	-26.34

GRAFICA COMPARATIVA
(Sistema aire - agua 2)



Gráfica 13. Gráfica comparativa, sistema aire - agua 2

SISTEMA BUTANO - ISOCTANO

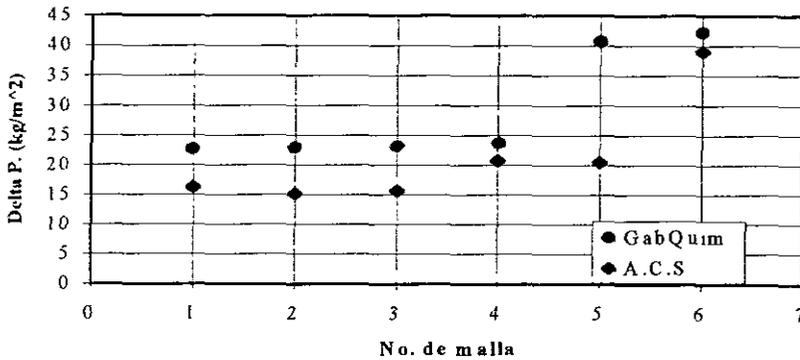
TABLA XIV

PROPIEDADES DEL SISTEMA			CARACTERIZTICAS DE LAS MALLAS				RESULTADOS DE CALCULO		
Propiedad	Gas o vapor	Líquido	Densidad (kg m ⁻³)	Diámetro Colector (mm)	ε %	Área esp. (m ² /m ³)	RESULTADOS DE ESPECIFICACIÓN		ACS Industries
		Iso Octano					h(m)	ΔP(kg/m ²)	
Componentes	Butano	Octano							
Temperatura (°C)	60	60	80 092	0.2794	99.0	147.64	0.1520	22.693	16.24
Presion (kg cm ⁻²)	3	3	111 129	0.2794	98.6	213.255	0.1053	22.967	15.225
Flujo de gas (m ³ hr ⁻¹)	10000		144 166	0.2794	98.2	278 871	0.0805	23.247	15.73
Flujo líquido (kg hr ⁻¹ m ⁻²)		1600	192 22	0.2794	97.6	377 296	0.0595	23.675	22.83
Densidad (kg m ⁻³)	6 1683	692	115 33	0.1524	98 6	393 7	0.0561	40.677	20.55
Viscosidad (kg m ⁻¹ s ⁻¹), cp	8 274E-6	0 37	192.222	0.1524	97 6	656.168	0.0337	42.278	39 077
Tensión Sup Dinam cm ⁻²		35							
Diámetro de partícula μm		25							

TABLA R2

Malla	Tipo	Delta P.(Kg/m ²)		% de
		ACS	GabQuim	Desviación
1	7CA	16.24	22.693	28.44
2	5CA	15.225	22.967	33.71
3	4CA	15.73	23.247	32.34
4	4BA	20.807	23.675	12.11
5	3BF	20.55	40.677	49.48
6	3BA	39.077	42.278	7.57

GRAFICA COMPARATIVA (sistema Butano - Isoctano)



Gráfica 14. Gráfica comparativa, sistema Butano - Isoctano

SISTEMA GAS - LIQUIDO (1)

En las siguientes corridas los valor de las variables son supuestas con el fin de investigar la tendencia de los resultados obtenidos.

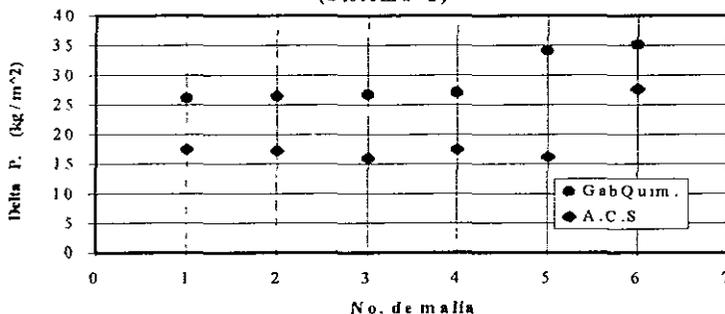
TABLA XV

PROPIEDADES DEL SISTEMA			CARACTERIZTICAS DE LAS MALLAS				RESULTADOS DE CALCULO		
Propiedad	Gas o vapor	Líquido	Densidad (kg m ⁻³)	Diámetro Colector (mm)	ε %	Área esp. (m ² /m ³)	RESULTADOS DE ESPECIFICACION		ACS Industries
Componentes							h(m)	ΔP(kg/m ²)	
Temperatura (°C)	20	20	80 092	0.2794	99.0	147 64	0 2608	26.173	17 50
Presión (kg cm ⁻²)	2	2	111 129	0.2794	98.6	213.255	0 1806	26 439	17 25
Flujo de gas (m ³ hr ⁻¹)	13260		144.166	0.2794	98.2	278 871	0.1381	26 709	16.012
Flujo liquido (kg hr ⁻¹ m ⁻²)		1250	192 22	0.2794	97.6	377 296	0.1021	27.122	17.508
Densidad (kg m ⁻³)	1.2523	820	115 33	0 1524	98 6	393.7	0.0761	34.104	16.24
Viscosidad (kg m ⁻¹ s ⁻¹), cp	8 374E-5	1 875	192.222	0 1524	97.6	656.168	0.0457	35.095	27.66
Tensión Sup Dinas cm ⁻²		82							
Diámetro de partícula μm		15							

TABLA R4

Malla	Tipo	Delta P.(Kg/m ²)		% de
		ACS	GabQuim	Desviación
1	7CA	17.5	26.173	33.14
2	5CA	17.25	26.439	34 76
3	4CA	16.012	26.709	40.05
4	4BA	17.508	27.122	35.45
5	3BF	16 24	34.104	52.38
6	3BA	27 66	35 095	21.19

GRAFICA COMPARATIVA (Sistema 1)



Gráfica 15. Gráfica comparativa, sistema (1)

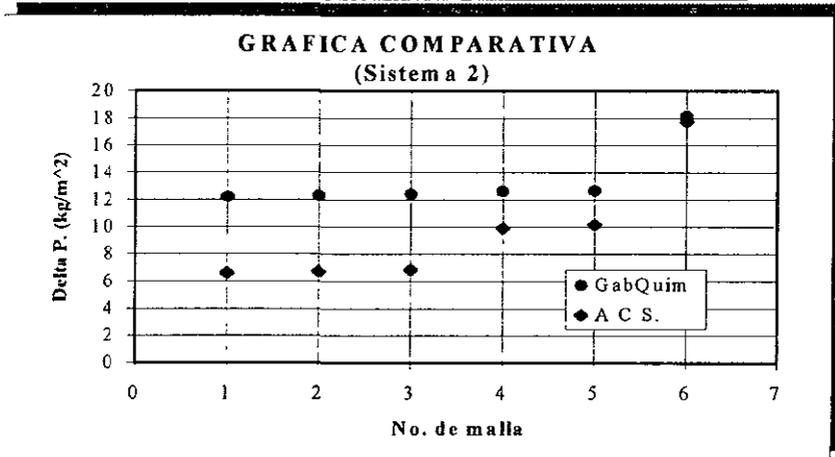
SISTEMA GAS - LIQUIDO (2)

TABLA XVI

PROPIEDADES DEL SISTEMA			CARACTERIZTICAS DE LAS MALLAS				RESULTADOS DE CALCULO		
Propiedad	Gas o vapor	Líquido	Densidad (kg m ⁻³)	Diámetro Colector (mm)	ε %	Área esp. (m ² /m ³)	RESULTADOS DE ESPECIFICACIÓN		ACS Industries
							h(m)	ΔP(kg/m ²)	
Componentes									
Temperatura (°C)	50	50	80.092	0.2794	99.0	147.64	0.1594	12.194	6.60
Presion (kg cm ⁻²)	1	1	111.129	0.2794	98.6	213.255	0.1104	12.317	6.724
Flujo de gas (m ³ hr ⁻¹)	15000		144.166	0.2794	98.2	278.871	0.0844	12.441	6.85
Flujo líquido (kg hr ⁻¹ m ⁻²)		856	192.22	0.2794	97.6	377.296	0.0624	12.631	9.896
Densidad (kg m ⁻³)	1.2956	765	115.33	0.1524	98.6	393.7	0.0576	17.678	10.15
Viscosidad (kg m ⁻¹ s ⁻¹), cp	2.1E-5	.8	192.222	0.1524	97.6	656.168	0.0345	18.182	17.763
Tensión Sup. dinas cm ⁻²		51							
Diámetro de partícula μm		20							

TABLA R5

Malla	Tipo	Delta P. (Kg/m ²)		% de Desviación
		ACS	GabQuim	
1	7CA	6.6	12.194	45.88
2	5CA	6.72	12.317	45.44
3	4CA	6.85	12.441	44.94
4	4BA	9.9	12.631	21.62
5	3BF	10.15	12.678	19.94
6	3BA	17.76	18.182	2.32



Gráfica 16. Gráfica comparativa, sistema (2)

SISTEMA GAS LIQUIDO (3)

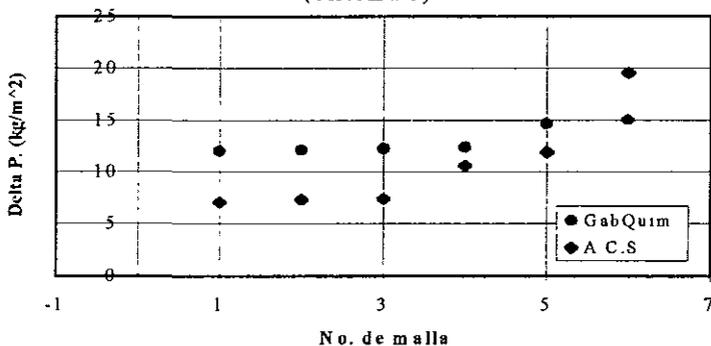
TABLA XVII

PROPIEDADES DEL SISTEMA			CARACTERIZITICAS DE LAS MALLAS				RESULTADOS DE CALCULO		
Propiedad	Gas o vapor	Liquido	Densidad (kg m ⁻³)	Diámetro Colector (mm)	ε %	Área esp. (m ² /m ³)	RESULTADOS DE ESPECIFICACIÓN		ACS Industriales
							h(m)	ΔP(kg/m ²)	
Componentes									
Temperatura (°C)	80	80	80.092	0.2794	99.0	147.64	0.1738	12.045	7.105
Presión (kg cm ⁻²)	5	5	111.129	0.2794	98.6	213.255	0.1204	12.151	7.360
Flujo de gas (m ³ hr ⁻¹)	10000		144.166	0.2794	98.2	278.871	0.0920	12.258	7.460
Flujo liquido (kg hr ⁻¹ m ⁻²)		980	192.22	0.2794	97.6	377.296	0.0680	12.422	10.657
Densidad (kg m ⁻³)	3.252	1987	115.33	0.1524	98.6	393.7	0.0604	14.688	11.92
Viscosidad (kg m ⁻¹ s ⁻¹), cp	4.25E-5	1.56	192.222	0.1524	97.6	656.168	0.0362	15.028	19.53
Tensión Sup. dinas cm ⁻²		105							
Diametro de partícula μm		15							

TABLA R6

Malla	Tipo	Delta P.(Kg/m ²)		% de Desviación
		ACS	GabQuim	
1	7CA	7.105	12.045	41.01
2	5CA	7.36	12.151	39.43
3	4CA	7.46	12.258	39.14
4	4BA	10.657	12.422	14.21
5	3BF	11.92	14.688	18.85
6	3BA	19.53	15.028	-29.96

GRAFICA COMPARATIVA (Sistema 3)



3.1.4 Resultados de diseño

La tabla XVIII muestra los resultados obtenidos por el programa en la fase de diseño, como se observa por una parte tenemos las restricciones necesarias a cumplir por la malla, y por otra sus dimensiones y características físicas. Esta parte del programa se ejecuta cuando en la fase de especificación no se cumple con las restricciones impuestas, entonces la parte de diseño procede a calcular y establecer las características de la nueva malla a fabricar

TABLA XVIII.

RESTRICCIONES DEL SISTEMA			DISEÑO DE MALLA ELIMINADORA		
Concepto	Valor	Unidades	Concepto	Valor	Unidad
Eficiencia Mínima	99	%	Caída de presión max.	5	kg m ⁻²
Caída de presión	5	kg m ⁻²	Caída de presión min.	3 2	kg m ⁻²
Diámetro de eliminador	1.6	m	Eficiencia requerida total	99 0	%
Espesor mínimo	0.1	m	Espesor	0.1	m.
			Diámetro de colector	0 7	mm.
			Porosidad	98.51	%
			Area específica	269.2	m ² m ⁻³
			Longitud del alambre	123956	m m ⁻³

3.1.5 Comparación de Resultados

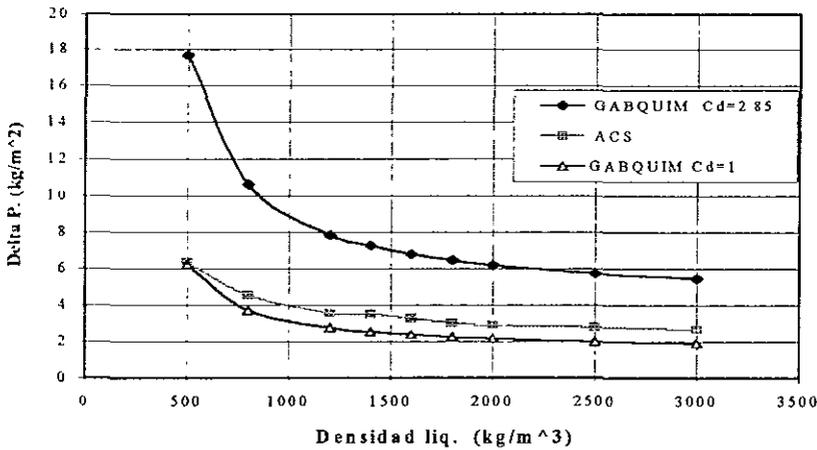
Caída de presión en función de la densidad

La siguiente gráfica es el resultado de una comparación entre el programa de diseño de A.S.S y el simulador desarrollado en este trabajo. Se compara la caída de presión en función de la densidad del líquido.

TABLA XIX

Densidad de Líquido (kg/m ³)	CAÍDA DE PRESION		
	GABQUIM Cd=Cd(Re)=2.85	ACS	GABQUIM Cd=1
500	17.674	6.34	6.2
800	10.58	4.56	3.71
1200	7.848	3.55	2.771
1400	7.25	3.51	2.543
1600	6.792	3.29	2.382
1800	6.452	3.04	2.263
2000	6.189	2.9	2.171
2500	5.737	2.79	2.012
3000	5.448	2.66	1.911

**GRAFICA COMPARATIVA
ACS Vs GABQUIM**



Gráfica 18. Caída de presión en función de la densidad del líquido

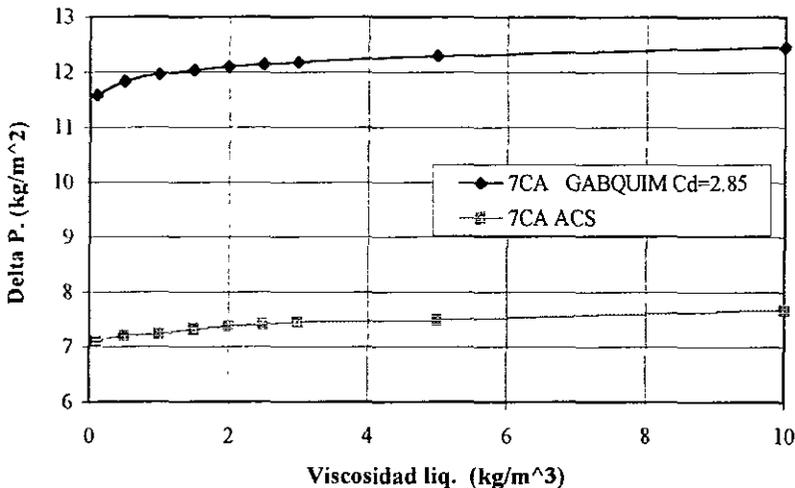
Caida de presión en función de la Viscosidad del líquido

La siguiente gráfica es el resultado de una comparación entre el programa de diseño de A.C.S y el simulador desarrollado en este trabajo. Se compara la caída de presión en función de la viscosidad del líquido.

TABLA XX

Viscosidad de liquido (CP)	CAÍDA DE PRESION	
	GABQUIM	ACS
	(kg/m ²)	(kg/m ²)
0.1	11.58	7.105
0.5	11.835	7.207
1	11.959	7.25
1.5	12.037	7.32
2	12.095	7.385
2.5	12.141	7.415
3	12.18	7.455
5	12.293	7.5
10	12.459	7.68

**GRAFICA COMPARATIVA
ACS Vs GABQUIM**



Gráfica 19. Caída de presión en función de la Viscosidad del líquido

3.2 ANALISIS DE RESULTADOS

De la observación y análisis de las gráficas obtenidas podemos aseverar los siguientes puntos importantes

1. La caída de presión obtenida por medio de las ecuaciones (1.6.1k Caída de presión en seco, 1.6.2a, factor de arrastre Cd, 1.6.3b función de mojado de Leva) desarrolladas y analizadas en el presente trabajo, en la totalidad de los casos analizados es mayor a la proporcionada por el programa de cálculo de A.C.S. Industries
2. La tendencia de desviación entre los resultados obtenidos por el simulador aquí diseñado y los proporcionados por el programa de diseño de A.C.S. es muy parecida entre los casos analizados
3. Si bien es cierto, el porcentaje de desviación en cada caso es muy alto, (más del 10 %), también es correcto que la desviación entre nuestros resultados y los de A.C.S. está relacionada aproximadamente por una constante. Es decir que la tendencia obtenida por el simulador multiplicada por algún número puede ajustarse a los resultados de A.C.S.

Lo dicho en el punto 3 puede constatarse por la tendencia que se tiene en las gráficas de caída de presión contra densidad y viscosidad. (Gráficas 18 y 19 respectivamente). En estas gráficas se observa claramente que la tendencia entre la curva obtenida con el simulador y la obtenida con el programa de A.C.S. es la misma

Esto da la pauta para pensar que la diferencia entre los resultados estriba en una variable diferente a la porosidad, en la que no se involucran la propiedades físicas del líquido.

Ahora bien, la ecuación de la caída de presión (1.6.1k) desarrollada aquí es la siguiente

$$\Delta P = \frac{C_D a h \rho V_s^2}{4 g_c \varepsilon^2}$$

donde

$$\varepsilon = \varepsilon_0 - h_s \quad h_s = K \left(\frac{L}{D_c} \right)^{0.6} \left(\frac{\rho^*}{\rho l} \right)^{0.78} \left(\frac{\sigma^*}{\sigma l} \right)^{0.45} \left(\frac{\mu l}{K_2} \right)^{0.1}$$

Como ya se ha dicho antes la desviación es lineal, por lo que la diferencia entre los resultados no puede estribar en la porosidad, ya que esta se encuentra en el denominador de la ecuación y además elevada al cuadrado. Por otro lado, la densidad y la velocidad del gas así como el área superficial (a) y el espesor (h) de la malla son los mismos datos introducidos a ambos programas, por lo que la única variable que puede ser causante de la desviación es el coeficiente de arrastre, C_d de ahí que se realizó una corrida tomando un valor constante de C_d igual a uno cuyos resultados se pueden visualizar en la gráfica 18 (Densidad Vs ΔP).

Por otro lado, análisis de la gráfica del coeficiente de arrastre (gráfica 6) nos muestra que conforme aumenta el número de Reynolds (Re), es decir que al aproximarse el sistema a un régimen turbulento, el coeficiente de arrastre disminuye y por consiguiente se ve disminuida la caída de presión, por lo tanto los datos obtenidos con el simulador tenderán a parecerse más a los de A.C.S.

En la referencia [1] se puede consultar una gráfica en donde el coeficiente de arrastre para un cilindro a régimen turbulento tiende a 1, motivo por el cual se realizó la corrida en el simulador tomando el valor del coeficiente de arrastre igual a uno.

El resultado obtenido nos lleva a pensar que, la empresa fabricante de eliminadores de niebla A.C.S utilizó en su programa de cálculo un factor de fricción o coeficiente de arrastre, constante o en su defecto diferente al que utilizamos en este trabajo

3.3 CONCLUSIONES

- El análisis teórico exhaustivo ha permitido la creación de un simulador por medio del cual se han obtenido resultados congruentes en el diseño y especificación de los eliminadores de niebla, al comparar los resultados obtenidos en este trabajo y los obtenidos por el programa de diseño de una importante firma fabricante de eliminadores de niebla.
- El simulador es un programa flexible que permite un diseño rápido y eficiente de las mallas para la fabricación de eliminadores de niebla. La presentación de la pantalla es accesible en cuanto a que se tienen en una sola ventana todas las variables y restricciones para el diseño o especificación de una malla.
- La realización de este trabajo de tesis ha permitido ahondar en la sistematización del diseño o especificación de los eliminadores de niebla, equipos de relevante importancia en la industria química.

3.4 PERSPECTIVAS

- Las ecuaciones aquí desarrolladas podrán permitir que en trabajos experimentales posteriores se obtengan datos que permitan dar una mayor exactitud a las correlaciones empleadas en este trabajo
- Dicho lo anterior podemos decir que es necesaria la validación experimental de la ecuación de mojado propuesta por Leva, así como el coeficiente de arrastre C_d
- Un trabajo experimental posterior midiendo la eficiencia de impacto podría validar la consideración de que el mecanismo de impacto inercial es el más importante en el fenómeno de captura de partículas líquidas

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Paul Fabian, Cusack, Hennessy and Newman, Demystifying, Chem Eng, November 1993, pp 148 -156
- [2] W E. Ranz and J. B. Wong, Impaction of dust and smoke particles , Ind, Eng , Pp 1371 - 1381 June 1952.
- [3] M N Golovin and Putman, Inertial impaction on single elements , Ind and Eng. Chem. Fundamentals, Pp 264 - 272. Vol. 1 No 4 November 1962.
- [4] Ronald W. Capps, Properly specify wire - mesh mist eliminators, Chem. Eng. Progress, Pp 49, December 1994
- [5] P G Talavera, Selecting gas / liquid separators, Hydrocarbon Processing, June 1990 Pp 81- 84.
- [6] Leva M. Tower Packings and packed tower desing, V.S. Stoneware Co. Akron Ohio.
- [7] Sounders, M and, Brown,G.G. Ind Eng. Chem ., Vol 26, No. 1 , 1934, pp 98.
- [8] Landahl H.D, and Herrman, R G., J Colloid Sci, 4, (103), 1949.
- [9] Langmuir, I. and Blodgett K.B. General Electric Research Laboratory, N.Y. Rep RI-225 1944-1945.
- [10] Sell, W *Forsch Gebinete Ingenieurw*, 2, *Forschungsheft* 347 August 1931.
- [11] Carpenter and Othmer *Am. Inst. Chem Eng J.* Vol 1 pag 549 (1955).
- [12] Ernest E Ludwig. *Applied process desing for chemical and petrochemical plants*, Vol 2 Chapter 9 , *Packed towers*, Gulf publishing Company 1977
- [13] Rouse H, and J W Howe, *Basic Mechanics of fluids*, John Wiley & sons New York (1953).
- [14] R B Bird,W.E Stewart, E.N.Lighfoot, *Fenómenos de Transporte. De. Reverté* 1993.
- [15] David Azbel, *Two – phase flows in chemical engineering* Cambridge University Press. 1981
- [16] Perry's Chemical Engineer's Handbook J H. Perry editor, 6th de. Mc Graw Hill Book Co

A P E N D I C E S

- 1) DESARROLLO MATEMÁTICO DE LA ECUACIÓN DE RANZ – WONG
- 2) BANCO DE DATOS DE LAS PROPIEDADES TERMODINÁMICAS Y DE TRANSPORTE.
- 3) CORRELACIONES PARA EL CALCULO DE PROPIEDADES TERMODINÁMICAS Y DE TRANSPORTE.
- 4) HOJA DE DATOS TÉCNICOS DE UN ELIMINADOR DE NIEBLA.
- 5) PROGRAMA IMPRESO.

A.1 DESARROLLO MATEMÁTICO DE LA ECUACION DE RANZ – WONG.

Para obtener información cualitativa acerca del impacto por inercia sobre un obstáculo (cilindro) en una corriente de aerosol, se tiene el siguiente modelo de flujo simplificado donde la fuerza de gravedad y la atracción electrostática pueden ser despreciables y donde las condiciones de flujo y de frontera son aproximadas, con simplificaciones y aproximaciones suficientes se puede obtener una solución analítica para la ecuación del modelo de impacto por inercia

La ecuación general del modelo es la siguiente.

$$\frac{d(m\bar{u})}{dt} = -\frac{\bar{u} - \bar{v}}{Z} + \bar{F}_e + m\bar{g} \dots \dots \dots 1$$

Despreciando las fuerzas eléctricas y de gravedad y suponiendo m=cte tenemos lo siguiente reacomodando la ecuación 1

$$Zm \frac{d\bar{u}}{dt} + \bar{u} + \bar{v} = 0 \dots \dots \dots 2$$

Es deseable que la ecuación 2 sea adimensional con el fin de facilitar su manejo por lo que se definen las siguientes variables

$$\tilde{u} = \frac{\bar{u}}{\bar{v}_0} \quad \tilde{v} = \frac{\bar{v}}{\bar{v}_0} \quad \tilde{t} = \frac{2\bar{v}_0 t}{D_c}$$

Derivando las ecuaciones adimensionales y sustituyendo en la ecuación 2

$$Zm \frac{v_0}{D_c} \frac{d\tilde{u}}{dt} + v_0 \tilde{u} - v_0 \tilde{v} = 0 \dots \dots \dots 3$$

Dividiendo la ecuación 3 entre v₀

$$\frac{2Zmv_0}{D_c} \frac{d\tilde{u}}{dt} + \tilde{u} - \tilde{v} = 0 \dots \dots \dots 4$$

Donde la primera expresión del lado izquierdo se puede expresar como sigue.

$$\frac{Zmv_0}{D_c} = \frac{Cmv_0}{3\pi\mu D_p D_c} \quad \text{si tenemos que} \quad m = \frac{\rho_p \pi D_p^3}{6} \quad \text{entonces tenemos que:}$$

$$\frac{Zmv_0}{D_c} = \frac{C\rho_p \pi D_p^3 v_0}{18\pi\mu D_p D_c} = \frac{C\rho_p D_p^2 v_0}{18\mu D_c} = \Psi$$

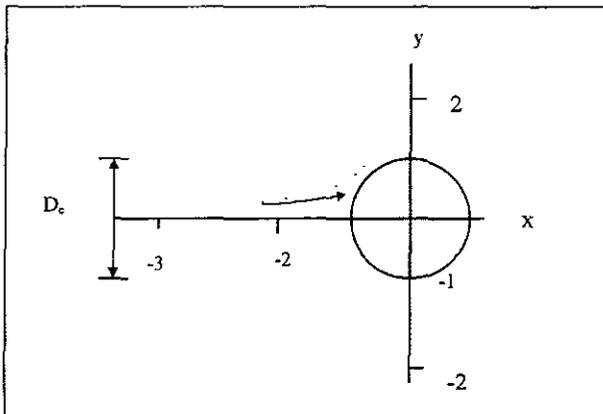
Que es la definición del parámetro de impacto, por lo que sustituyendo en la ecuación 4 tenemos la siguiente expresión:

$$2\Psi \frac{d\tilde{u}}{dt} + \tilde{u} - \tilde{v} = 0 \quad \dots\dots 5$$

donde haciendo $\tilde{u} = \frac{d\tilde{y}}{dt}$ y sustituyendo en 5 finalmente la ecuación queda como:

$$2\Psi \frac{d^2\tilde{y}}{dt^2} + \frac{d\tilde{y}}{dt} - \tilde{v}_y = 0 \quad \dots\dots 6$$

Para una solución analítica de la ecuación anterior requiere de las consideraciones y condiciones que a continuación se citan cuya determinación proviene de la siguiente figura.



ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

Ecuación	Aproximación del campo de flujo	Condiciones a la frontera
$2\Psi \frac{d^2\tilde{y}}{d\tilde{t}^2} + \frac{d\tilde{y}}{d\tilde{t}} - \tilde{y} = 0$	$\tilde{v}_x \approx -\tilde{x}$ en $-1 < \tilde{x} < 0$ $\tilde{v}_y \approx -\tilde{y}$ en $-1 < \tilde{y} < 1$	$\tilde{t} = 0 \quad \tilde{v}_x = -1 \quad \tilde{v}_y = 0$ $\tilde{y} = [-1, 1]$

Con las condiciones anteriores se obtiene una ecuación diferencial homogénea de 2^{do} orden que se resuelve obteniendo las raíces de su ecuación característica las cuales son las siguientes:

$$S_{1,2} = -\frac{1}{4\Psi} \pm \sqrt{\left(\frac{1}{4\Psi}\right)^2 - \frac{1}{2\Psi}}$$

Siendo por tanto la solución de la ecuación general la siguiente expresión.

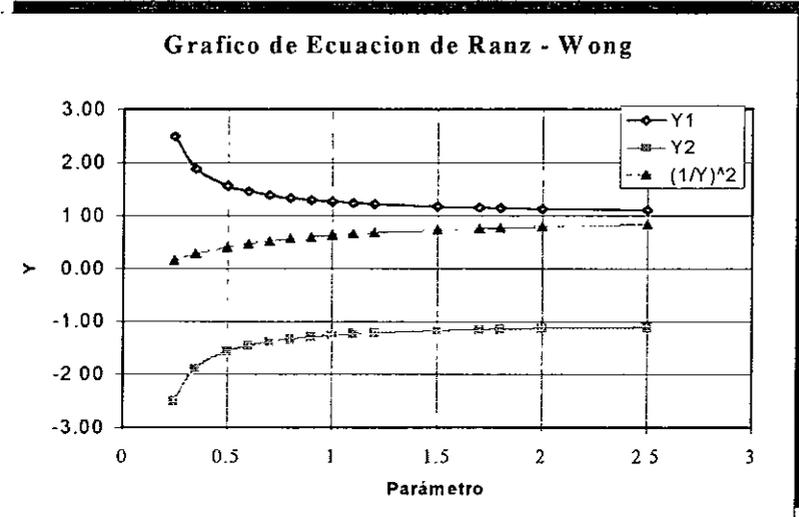
$$\tilde{y} = C_1 * \exp(S_1 \tilde{t}) + C_2 * \exp(S_2 \tilde{t})$$

Aplicando las condiciones de frontera para la solución general y su derivada, tenemos pues el siguiente sistema de ecuaciones algebraicas, cuya solución nos llevará a conocer el valor de las constantes.

Condiciones	Ecuaciones	Solución
$\tilde{t} = 0 \quad \tilde{v}_y = 0 \quad \tilde{y} = 1$	$C_1 + C_2 = 1$ $C_1 S_1 + C_2 S_2 = 0$	$C_1 = \frac{S_2}{S_2 - S_1} \quad C_2 = \frac{-S_1}{S_2 - S_1}$
$\tilde{t} = 0 \quad \tilde{v}_y = 0 \quad \tilde{y} = -1$	$C_1 + C_2 = -1$ $C_1 S_1 + C_2 S_2 = 0$	$C_1 = \frac{-S_2}{S_2 - S_1} \quad C_2 = \frac{S_1}{S_2 - S_1}$

Se obtienen 2 valores para cada una de las constantes con el fin de considerar el cuadrante positivo y negativo del la figura considerada. La solución particular de la ecuación diferencial es

$$\tilde{y} = \pm \frac{S_2 * \exp(S_1 \tilde{t}) - S_1 * \exp(S_2 \tilde{t})}{S_2 - S_1}$$



Analizando la gráfica de la ecuación, los valores obtenidos en la evaluación de la misma y la definición teórica de la eficiencia de impacto, podemos entonces expresar matemáticamente a la eficiencia de impacto como en la siguiente expresión:

$$\eta_t = \left(\frac{1}{\tilde{y}} \right)^2$$

por lo tanto sustituyendo en la ecuación anterior, la expresión de para \tilde{y} se obtiene finalmente la ecuación de Ranz - Wong

$$\eta_t = \left[\frac{S_2 - S_1}{S_2 \exp(S_1 \tilde{t}) - S_1 \exp(S_2 \tilde{t})} \right]^2$$

A.2 PARAMETROS DE FUERZA INTERMOLECULAR Y CONSTANTES CRÍTICAS

SUSTANCIA	Peso	Parametros de		CONSTANTES CRITICAS			
	Molecular	Lennard - Jones		Tc	Pc	Vc	Zc
	g/g-mol	s	e/k	°K	(atm)	(cm ³ /g-mol)	
		(Å)	°K				
H ₂	2.016	2.915	38.00	33.30	12.80	65.00	0.304
He ₂	4.003	2.576	10.20	5.26	2.26	57.80	0.303
Ne	20.183	2.789	35.70	44.50	26.90	41.70	0.307
Ar	39.944	3.418	124.00	151.00	48.00	75.20	0.291
Kr	83.8	3.498	225.00	209.40	54.30	92.20	0.291
Xe	131.3	4.055	229.00	289.80	58.00	118.80	0.290
Aire	28.97	3.617	97.00	132.00	36.40	86.60	0.291
N ₂	28.02	3.681	91.50	126.20	33.50	90.10	0.291
O ₂	32	3.433	113.00	154.40	49.70	74.40	0.292
O ₃	48	—	—	268.00	67.00	89.40	0.272
CO	28.01	3.59	110.00	133.00	34.50	93.10	0.294
CO ₂	44.01	3.996	190.00	304.20	72.90 ₂	94.00	0.275
NO	30.01	3.47	119.00	180.00	64.0	57.00	0.247
N ₂ O	44.02	3.879	220.00	309.70	71.70	96.30	0.272
SO ₂	64.07	4.29	252.00	430.70	77.80	122.00	0.269
F ₂	38	3.653	112.00	—	—	—	—
Cl ₂	70.91	4.115	357.00	417.00	76.10	124.00	0.276
Br ₂	159.83	4.268	520.00	584.00	102.00	144.00	0.306
I ₂	253.82	4.982	550.00	800.00	—	—	—
CH ₄	16.04	3.822	137.00	190.70	45.80	99.30	0.291
C ₂ H ₂	26.04	4.221	185.00	309.50	61.60	113.00	0.274
C ₂ H ₄	28.05	4.232	205.00	282.40	50.00	124.00	0.268
C ₂ H ₆	30.07	4.418	230.00	305.40	48.20	148.00	0.285
C ₃ H ₈	42.08	—	—	365.00	45.50	181.00	0.275
C ₃ H ₂₈	44.09	5.061	254.00	3370.00	42.00	200.00	0.030
n- C ₄ H ₁₀	58.12	—	—	425.20	37.50	255.00	0.274
i- C ₄ H ₁₀	58.12	5.341	313.00	408.10	36.00	263.00	0.283
n- C ₄ H ₁₂	72.15	5.769	345.00	469.80	33.30	311.00	0.269
n- C ₆ H ₁₄	86.17	5.909	413.00	507.90	29.90	368.00	0.264
n- C ₈ H ₁₆	100.2	—	—	540.20	27.00	426.00	0.259
n- C ₈ H ₁₈	114.22	7.451	320.00	569.40	24.60	485.00	0.255
n- C ₈ H ₂₀	128.25	—	—	595.00	22.50	543.00	0.250
Ciclohexano	84.16	6.093	324.00	553.00	40.00	308.00	0.271
C ₆ H ₆	78.11	5.27	440.00	562.60	48.60	260.00	0.274
CH ₃ Cl	50.49	3.375	855.00	416.30	65.90	143.00	0.276
CH ₂ Cl ₂	84.94	4.759	406.00	510.00	60.00	—	—
CHCl ₃	119.39	5.43	327.00	536.60	54.00	240.00	0.294
CCl ₄	153.84	5.881	327.00	556.40	45.00	276.00	0.272
C ₂ N ₂	52.04	4.38	339.00	400.00	59.00	—	—
COS	60.08	4.13	335.00	378.00	67.00	—	—
CS ₂	76.14	4.438	488.00	552.00	78.00	170.00	0.293

A.3 CORRELACIONES PARA LA OBTENSIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y DE TRANSPORTE

Densidad de gas.

Para obtener la densidad del gas se ha utilizado la ecuación del gas ideal, en el supuesto de que el simulador se aplicará a sistemas de baja presión.

$$\rho_i = \frac{M_i P}{RT}$$

para mezclas tenemos la siguiente ecuación

$$\rho_m = \sum_{i=1}^n X_i \rho_i$$

donde

M_i [masa molecular del componente i]

R [cte del gas ideal]

P, T [presión y temperatura del sistema]

Densidad del líquido

En el calculo de la densidad de líquidos se utiliza la ecuación de Goyal [numero], esta ecuación es aplicable por debajo de 0.8 veces la temperatura reducida (T/T_c), con una desviacion promedio y máxima de ~2% y 4% respectivamente.

$$\rho_l = \frac{P_c M}{T_c} \left(\frac{0.0653}{Z_c^{0.773}} - 0.09 \frac{T}{T_c} \right)$$

donde

ρ_l [densidad de liquido, $\frac{g}{ml}$]

P_c [Presión crítica del liquido, atm]

T_c [Temperatura crítica del liquido, K]

Tensión Superficial.

Para obtener la tensión superficial del líquidos se emplea la ecuación obtenida por Bird y Brook, por el método de los estados correspondientes

$$\sigma = P_c^{2/3} T_c^{1/3} \left(1 - \frac{T}{T_c} \right)^{11/9} \left(0.1207 \left(1 - \frac{T_{br} \ln(P_c)}{1 - T_{br}} \right) - 0.281 \right)$$

Donde:

σ [tensión superficial, dinas/cm]

P_c [Presión crítica del líquido, atm]

T_c [Temperatura crítica del líquido, K]

T_{br} [Temperatura reducida de ebullición T_b/T_c]

T_b [Temperatura normal de ebullición, K]

Viscosidad del gas.

El coeficiente de viscosidad de un gas monoatómico puro de peso molecular M , a la temperatura T , esta dado en función de los parámetros σ y ϵ por la siguiente ecuación.

$$\mu = 2.6693 * 10^{-5} \frac{\sqrt{MT}}{\sigma^2 \Omega_\mu}$$

En la que

μ [Viscosidad, g cm⁻¹ seg⁻¹]

T [Temperatura absoluta, °K]

σ [Diámetro de colisión, Å]

Ω_μ es una función del parámetro adimensional, kT/ϵ cuyas ecuaciones de correlación se encuentran en la tabla siguiente [numero] Para mezclas gaseosas de varios componentes se utiliza la ecuación empírica de Wilke [Bird]

$$\mu_{mez} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i \mu_i}{\sum_{j=1}^n X_j \Phi_j} \quad \Phi = \left(\frac{1}{\sqrt{8}} \left(1 + \frac{M_i}{M_j} \right)^{-1/2} \left(1 + \left(\frac{\mu_i}{\mu_j} \right)^{1/2} \left(\frac{M_j}{M_i} \right)^{1/4} \right)^2 \right)$$

Donde i y j son las especies químicas presentes en la mezcla.

Correlaciones para constantes de Lenard - Jones Ω_μ		
Ecuación	Constantes de correlación	Intervalo de aplicación
$\Omega_\mu = A + B \ln \left(\frac{kT}{\epsilon} \right)$	A = 1 541791 B = -1 033049	$0.3 \leq \frac{kT}{\epsilon} \leq 0.8$
$\Omega_\mu = A \left(\frac{kT}{\epsilon} \right)^B$	A = 1 588627 B = -0 508478	$0.75 \leq \frac{kT}{\epsilon} \leq 1.15$
$\Omega_\mu = A \left(\frac{kT}{\epsilon} \right)^4 + B \left(\frac{kT}{\epsilon} \right)^3 + C \left(\frac{kT}{\epsilon} \right)^2 + D \left(\frac{kT}{\epsilon} \right) + E$	A = 0.029217 B = -0.301509 C = 1.210621 D = -2.366079 E = 3.008106	$1.15 \leq \frac{kT}{\epsilon} \leq 3.0$
	A = 0.001187 B = -0 022273 C = 0.164958 D = -0.607171 E = 1.0881072	$3.0 \leq \frac{kT}{\epsilon} \leq 5.0$
	A = $3.125 \cdot 10^{-5}$ B = -0.001207 C = 0.018456 D = -0.144763 E = 1 320645	$5.0 \leq \frac{kT}{\epsilon} \leq 10.0$
	A = 1 52502 B = -0.146161	$10.0 \leq \frac{kT}{\epsilon} \leq 100$

Los parámetros de fuerzas intermoleculares ϵ/k y diámetros de colisión se pueden encontrar en tabulados en la bibliografía. En el apéndice A2 se encuentran tabulados algunos valores para ciertas especies químicas.

 Lab. de Ingeniería Química	HOJA DE DATOS TECNICOS ELIMINADORES DE NIEBLA	Lab. de Ingeniería Química Facultad de Química, UNAM Circuito Interior s/n Ciudad Universitaria, México
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

INFORMACION DE LA EMPRESA:

EMPRESA	Contactador. (Nombre /título)
DOMICILIO	Teléfono ()
	Fax: ()

DESCRIPCION DEL PROCESO:

CONDICIONES DE PROCESO:

Temperatura de operación		LIQUIDO	
Presión de operación		Tipo	
GAS		Flujo	
Tipo		Densidad	
Flujo		Viscosidad	
Densidad		Tensión Sup.	
Viscosidad		Tamaño de partícula	

CARACTERIZTICAS DEL CONTENEDOR

DETALLE DEL EQUIPO

Diametro	Longitud
Nuevo. <input type="checkbox"/>	Existente <input type="checkbox"/>
Material de construcción:	

INFORMACION ADICIONAL

Separación deseada (%)	
Corrosividad	
Sólidos presentes	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
Altamente viscoso	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>

**CODIGO DE PROGRAMACION DEL SIMULADOR
ELIMINADORES DE NIEBLA
(GABQUIM.)**

AUTOR: GABRIEL MARTÍNEZ DÁVILA.

INICIO DE PROGRAMA

DEFINICIÓN DE CONSTANTES GLOBALES

Global Const pi = 3.14159265
Global Const rho = 996 64
Global Const gc = 9.81
Global Const Sho = 73

DEFINICION DE VARIABLES GLOBALES

Global Dp As Single
Global l As Single
Global visl As Single
Global rol As Single
Global sima As Single
Global rog As Single
Global visg As Single
Global T As Single
Global P As Single
Global flujog As Single
Global Dcol As Single

Global veldis As Single
 Global efm1n As Single
 Global deltap As Single
 Global deltapcont As Single
 Global H22 As Single
 Global Dcmin As Single
 Global Dc As Single
 Global Dcmax As Single
 Global deltadc As Single
 Global deltapr As Single
 Global deltadis As Single

Global compa As String
 Global direcccon As String
 Global estado As String
 Global telex As String

'DEFINICION DE ARRAYS

Global TA(1 To 10, 1 To 6) As Single
 Global tbaux(1 To 10, 1 To 10) As Single
 Global sennal(1 To 10) As Integer
 Global deltp(1 To 10) As Single
 Global stilo(1 To 10) As String
 Global DPEaux(1 To 6, 1 To 500) As Single

SUBROUTINA DE VARIABLES DEL SISTEMA.

Sub Command3D3_Click ()

'variables del sistema

T = Val(temperatura.Text)

P = Val(presion.Text)

flujog = Val(flujog.Text)

If (T = 0 Or P = 0 Or flujog = 0) Then

 MsgBox "Información incompleta", 48, "PRECAUCIÓN"

 frmsistem.Show

Else

 If (rog <> 0 And rol <> 0 And efm1n <> 0) Then frmprincipal.CALCULO.Enabled =

True

```

frmprincipal Show
frmsistem Hide
End If
End Sub

```

SUBROUTINA DE DEFINICION DE VARIABLES DEL GAS

```

Sub Command3D4_Click ()
'variables de gas
rog = Val(rogas.Text)
visg = Val(miugas.Text)
If (rog = 0 Or visg = 0) Then
    MsgBox " Información incompleta ", 48, "    PRECAUCIÓN"
    frmgas Show
Else
    frmgas Hide
    frmsistem Show
End If
End Sub

```

SUBROUTINA DE DEFINICION DE VARIABLES DEL LIQUIDO

```

Sub Command3D4_Click ()
'variables de gas
rog = Val(rogas.Text)
visg = Val(miugas.Text)
If (rog = 0 Or visg = 0) Then
    MsgBox " Información incompleta ", 48, "    PRECAUCIÓN"
    frmgas.Show
Else

    frmgas.Hide
    frmsistem Show
End If
End Sub

```

SUBROUTINA DE DEFINICIÓN DE RESTRICCIONES DE ESPECIFICACIÓN.

```

Sub Command3D1_Click ()

If (efm1n = 0 Or deltap = 0 Or Dcol = 0) Then
    MsgBox "Información incompleta", 48, "PRECAUCIÓN"
    frmparem.Show

```

```
Else
  frmparem.Hide
  If Dp <> 0 Then frmprincipal.CALCULO.Enabled = True
  frmprincipal.Show
End If
End Sub
```

SUBROUTINA DE CALCULO DE ESPECIFICACIÓN

```
Sub CALCULO_Click ()
'AQUI SE DASAARROLLA LOS CALCULOS DE ESPECIFICACIÓN
  Dim veldis1!, Cdx!, eax!
  Dim i%
  Dim u%
```

```
'Dp = 20: l = 977: visl = 1: ROL = 987.2 sima = 73: ROG = 1.2018.
'visg = .00001813: Flujoj = 8600: Dcol = .9 efm1n = .9975: deltap = 20
```

```
stilo(1) = "7CA": stilo(2) = "5CA": stilo(3) = "4CA"
stilo(4) = "4BA": stilo(5) = "3BF": stilo(6) = "3BA"
```

```
picture2.Visible = False
picture3.Visible = False
picture4.Visible = False
```

```
'calculo de la velocidad critica
  veldis = velfl(Dcol, Flujoj)
  veldis1 = .8 * velcr(ROL, ROG, 35)
  If veldis > veldis1 Then
    MsgBox "LA VELOCIDAD DEL GAS ES MAYOR A LA VELOCIDAD CRITICA",
48, " PRECAUCIÓN"
```

```
End If
```

' DEFINICIÓN DE MATRIZ DE CARACTERIZTICAS DE LAS MALLAS.

' DENSIDAD DIAM DE COLECTOR AREA ESPECIFICA POROSIDAD

```
tA(1, 1) = 80.092: tA(1, 2) = 000279: tA(1, 3) = 147.73 tA(1, 4) = .99
tA(2, 1) = 112.129 tA(2, 2) = .000279: tA(2, 3) = 213.25. tA(2, 4) = .986
tA(3, 1) = 144.166. tA(3, 2) = 000279: tA(3, 3) = 278.87: tA(3, 4) = 982
tA(4, 1) = 192.222: tA(4, 2) = .000279: tA(4, 3) = 377 29: tA(4, 4) = .976
tA(5, 1) = 115 333: tA(5, 2) = .0001524: tA(5, 3) = 393.7: tA(5, 4) = 986
tA(6, 1) = 192.222: tA(6, 2) = .0001524: tA(6, 3) = 656.168: tA(6, 4) = .976
```

'CALCULO DE EFICIENCIA DEL COLECTOR

For i = 1 To 6

 tBAUX(i, 1) = tA(i, 2)

 tBAUX(i, 2) = Nc(ROL, veldis, Dp, visg, tA(i, 2))

Next i

'CALCULO DE CAIDA DE PRESION

u = 0

For i = 1 To 6

 tBAUX(i, 3) = -3 * pi * Log(1 - efm1n) / (2 * tBAUX(i, 2) * tA(i, 3))

 Cdax = cd(tA(i, 2), ROG, visg, veldis)

 eax = tA(i, 4) - hum(1, tA(i, 2), ROL, sima, visl)

 tBAUX(i, 4) = Cdax * tA(i, 3) * tBAUX(i, 3) * ROG * veldis ^ 2 / (4 * gc * eax ^ 2)

 If tBAUX(i, 4) < deltap Then

 u = u + 1

 sennal(u) = i

 delp(u) = tBAUX(i, 4)

 End If

Next i

For i = 1 To u

 text1 = delp(i)

Next i

'IMPRESION DE RESULTADOS

picture1.Cls

picture1.Visible = True

label1.FontSize = 13.5

label1.Caption = "RESULTADOS DE ESPECIFICACION"

'salida de propiedades

Datosprop.Visible = True

lbdeng.Caption = Str(ROG)

lbdenl.Caption = Str(ROL)

lbvisg.Caption = Str(visg)

lbvisl.Caption = Str(visl)

lbvisg.Caption = Str(visg)

lbtentl.Caption = Str(sima)

lbDpl.Caption = Str(Dp)

lbcargl.Caption = Str(l)

lbflug.Caption = Str(Flujog)

```

lbtemg.Caption = Str(T)
lbteml.Caption = Str(T)
lbpreg.Caption = Str(P)
lbprel.Caption = Str(P)
lbdiamE.Caption = Str(Dcol)
lbfmin.Caption = Str(efm1n * 100)
lbdeltap.Caption = Str(deltap)
'fin de salida de propiedades

```

```

picture1.AutoRedraw = 1
picture1.ScaleMode = 4
picture1.CurrentX = 2
picture1.CurrentY = 6
picture1.Print " ESTILO DIAMETRO AREA ESP. POROSIDAD ESPESOR
DELTA P"

```

```

picture1.Print Tab(18); "(mm)"; Tab(29); "(m^2/m^3)", Tab(45); "(%)"; Tab(56),
"(cm)", Tab(65); "(kg / m ^ 2)",
For i = 1 To 6
picture1.CurrentX = 0
picture1.CurrentY = 9 + i
u = 7
picture1.Print Tab(u); stilo(i); Tab(u + 10), tA(i, 2) * 1000; Tab(u + 23); tA(i, 3),
Tab(u + 37), tA(i, 4); Tab(u + 50), Int(tBAUX(i, 3) * 10000) / 100; Tab(u + 60),
Int(tBAUX(i, 4) * 1000) / 1000;
Next i
End Sub

```

SUBROUTINA DE RESTRICCIONES DE DISEÑO

```

Sub Command3D1_Click ()

```

```

'variables del sistema
Dcmin = Val(Dcmin1) / 1000
Dcmax = Val(Dcmax1) / 1000
Deltadc = Val(Deltadc1) / 1000

```

```

H22 = Val(H2)

```

```

If (Dcmin = 0 Or Dcmax = 0 Or Deltadc = 0 Or H22 = 0) Then

```

```

MsgBox "Información incompleta", 48, "PRECAUCIÓN"

```

```
frmrestriccions.Show
Else
```

```
  If (rog <> 0 And rol <> 0 And efm1n <> 0 And flujog <> 0) Then
    frmprincipal.CALCULO.Enabled = True
    frmprincipal.CALCULAR.Enabled = True
  End If
  frmprincipal.Show
  frmrestriccions.Hide
```

```
End If
```

```
End Sub
```

SUBROUTINA DE CALCULO DE LA FASE DE DISEÑO

```
Sub CALCULAR_Click ()
```

```
' EN ESTA SECCION SE LLEVARÁ A CABO EL DISEÑO DE ELIMINADORES DE NIEBLA
```

```
Dim DCI As Integer
Dim Dcmii As Integer
Dim KK As Integer
Dim longitud As Single
Dim dELp As Single
Dim uu As Integer
Dim X1, X2, XK1, XK2, Y1, Y2, YK1, YK2 As Single
Dim VminY, VmaxY, VmaxX, VminX As Single
Dim Xpos, Ypos As Single
```

```
picture1.Visible = True
picture1.Cls
label1.Caption = "RESULTADOS DE DISEÑO"
picture2.Visible = True
picture3.Visible = True
picture4.Visible = True
```

```
'inicio de calculos
```

```
' Dcmín = .2 / 1000
' Dcmáx = 3 / 1000
'Deltadc = .05 / 1000
'H22 = .2
```

```

'Dp = 20 1 = 977: visl = 1: ROL = 985: sima = 73  ROG = 1.2018:
'visg = .00001813: Flujog = 8600. Dcol = .9  efm1n = .99  deltap = 20
'  deltapr = 20
'calculo de la velocidad crítica
  veldis = velñ(Dcol, Flujog)
  veldis1 = .8 * velcr(ROL, ROG, .35)
  If veldis > veldis1 Then
    MsgBox "LA VELOCIDAD DEL GAS ES MAYOR A LA VELOCIDAD CRITICA",
48, "  PRECAUCIÓN"

End If

DC = Dcmin
u = 0
Dcmax = Dcmax + Deltadc
While DC < Dcmax
  u = u + 1
  Cdax = cd(DC, ROG, visg, veldis)
  DPEaux(1, u) = Nc(ROL, veldis, Dp, visg, DC)
  DPEaux(2, u) = 1 + 3 * pi * DC * Log(1 - efm1n) / (8 * DPEaux(1, u) * H22) - hum(l,
DC, ROL, sima, visl)
  DPEaux(4, u) = -3 * Cdax * pi * ROG * veldis ^ 2 * Log(1 - efm1n) / (8 * gc * DPEaux(1,
u) * DPEaux(2, u) ^ 2)
  DPEaux(3, u) = DC
  DC = DC + Deltadc
Wend

' BUSQUEDA DE MINIMO
uu = u
For KK = 1 To u - 1
  If DPEaux(4, KK + 1) > DPEaux(4, KK) Then
    deltapminn = DPEaux(4, KK)
    DCmii = KK
  Exit For
Else
  Deltapmin = DPEaux(4, KK)
  DCmii = KK

End If

Next KK

```

```
DPmin Caption = Int(deltapminn * 1000) / 1000
Dcminn.Caption = Int(DPEaux(3, DCmii) * 1000000) / 1000
```

'BUSQUEDA DE CAIDA DE PRESIÓN DE DISEÑO

```
If deltapminn > deltap Then
    MsgBox "NO ES POSIBLE OBTENER LA CAIDA DE PRESIÓN DESEADA", 48
    DCI = DCmii
```

```
Else
    deltapcont = deltap
```

```
For i = 1 To u
```

```
    If DPEaux(4, i) < deltapcont Then
        Deltapdis = DPEaux(4, i)
        DCI = i
        Exit For
    Else
        Deltapdis = DPEaux(4, KK)
        DCI = KK
```

```
    End If
Next i
```

```
End If
DPdis Caption = Int(DPEaux(4, DCI) * 1000) / 1000
Dcdis Caption = Int(DPEaux(3, DCI) * 1000000) / 1000
```

'CREACION DE GRAFICA

```
picture4.Cls
X1 = 404.04:    Y1 = 262.95
X2 = 2323.232  Y2 = 2622.95
XK1 = .05:    YK1 = .1
XK2 = .05:    YK2 = .05
```

```
VminY = DPEaux(4, DCmii) - (DPEaux(4, 1) - DPEaux(4, DCmii)) * YK1
VmaxY = DPEaux(4, 1) + (DPEaux(4, 1) - DPEaux(4, DCmii)) * YK2
```

```
VmaxX = Dcmax + (Dcmax - Dcmin) * XK2
```

VminX = Dcmin - (Dcmax - Dcmin) * XK1

For i = 1 To uu

Ypos = Y2 - (DPEaux(4, i) - VminY) * (Y2 - Y1) / (VmaxY - VminY)
 Xpos = X1 + (DPEaux(3, i) - VminX) * (X2 - X1) / (VmaxX - VminX)
 picture4.PSet (Int(Xpos), Int(Ypos))
 picture4.PSet (Int(Xpos) + 1, Int(Ypos) + 1)
 Next i

'CARACTERIZTICAS DE LAS MALLAS

'Malla de diseño

EspPdis Caption = H22 * 100
 Dcpdis.Caption = Int(DPEaux(3, DCI) * 1000000) / 1000

Ncaux = Nc(ROL, veldis, Dp, visg, DPEaux(3, DCI))
 PoroPdis Caption = Int((1 + 3 * pi * DPEaux(3, DCI) * Log(1 - efm1n) / (8 * Ncaux * H22)) * 10000) / 100

longitud = -3 * Log(1 - efm1n) / (2 * DPEaux(3, DCI) * Ncaux * H22)
 ApPdis.Caption = Int(pi * DPEaux(3, DCI) * longitud * 100) / 100
 longdis Caption = Int(longitud * 100) / 100

'Malla minima

EspM.Caption = H22 * 100
 DcM Caption = Int(DPEaux(3, DCmii) * 1000000#) / 1000

Ncaux = Nc(ROL, veldis, Dp, visg, DPEaux(3, DCmii))
 PoroM Caption = Int((1 + 3 * pi * DPEaux(3, DCmii) * Log(1 - efm1n) / (8 * Ncaux * H22)) * 10000) / 100

longitud = -3 * Log(1 - efm1n) / (2 * DPEaux(3, DCmii) * Ncaux * H22)
 ApM Caption = Int(pi * DPEaux(3, DCmii) * longitud * 100) / 100
 longM Caption = Int(longitud * 100) / 100

End Sub

[FIN DE PROGRAMA]