
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE CHIHUAHUA

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



ESPESAMIENTO DE LOS LODOS DE UN SEDIMENTADOR
PRIMARIO POR MEDIO DE HIDROCICLONES EN UNA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES DOMESTICAS

Por

HILDA PATRICIA MEDINA CABALLERO

Como Requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRIA EN CIENCIAS con Especialidad en
Ingeniería Ambiental

Febrero, 1997.

C M4 TFM
:1 TFM
1 1540

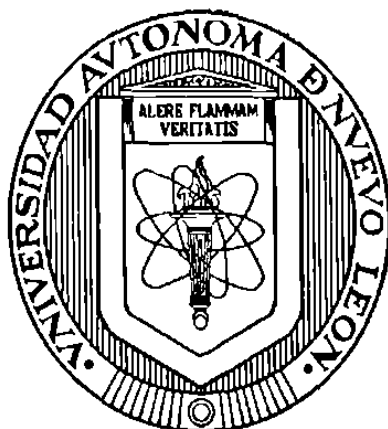
ESPESAMIENTO DE LOS SEDIMENTOS DE UN SADOOR
PRIMARIO POR MEDIO DE HIDROCLONES EN UNA
PLANTTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES DOMESTICAS



1080071209

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE CHIHUAHUA

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



**ESPESAMIENTO DE LOS LODOS DE UN SEDIMENTADOR
PRIMARIO POR MEDIO DE HIDROCICLONES EN UNA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES DOMESTICAS**

P o r

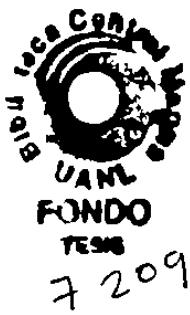
HILDA PATRICIA MEDINA CABALLERO

Como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRIA EN CIENCIAS con Especialidad en
Ingeniería Ambiental

1
8

Febrero, 1997

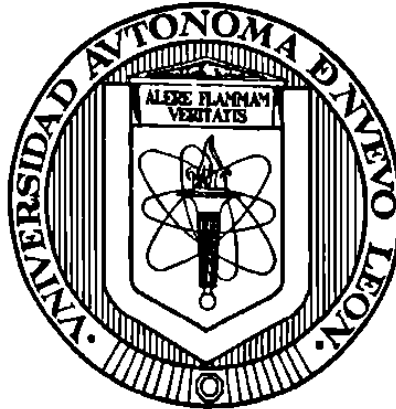
FM
T21540
M4



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



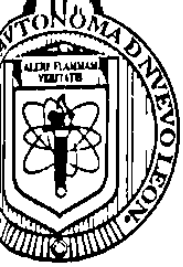
**ESPESAMIENTO DE LOS LODOS DE UN SEDIMENTADOR
PRIMARIO POR MEDIO DE HIDROCICLONES EN UNA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES DOMÉSTICAS**

Por

HILDA PATRICIA MEDINA CABALLERO

**Como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRÍA EN CIENCIAS con Especialidad en
Ingeniería Ambiental**

Febrero, 1997



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

**ESPESAMIENTO DE LOS LODOS DE UN SEDIMENTADOR PRIMARIO POR
MEDIO DE HIDROCICLONES EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS**

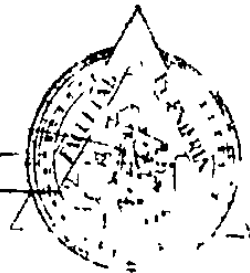
Presenta : IBC) Hilda Patricia Medina Caballero

Aprobación de la Tesis:

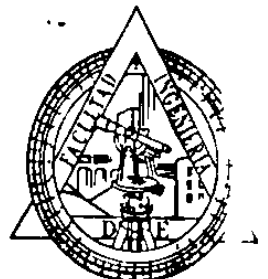
Asesor interno
Ing. Omar Huerta Granados

Asesor externo
Dr. Enrique Ortega Rivas
Universidad Autónoma de Chihuahua

Secretario de Posgrado
Ing. Oscar Manuel Robles S.



SECRETARIA DE ESTUDIOS
DE POSTGRADO





UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
 DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
COMPROBANTE DE CORRECCION.

Tesista: Ing. Hilda Patricia Medina Caballero

Tema de la tesis: Espeamiento de los lodos de un sedimentador primario por medio de hidrociclones, en una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas.

Este documento certifica la corrección Final

del trabajo de tesis arriba indentificado, en los aspectos : ortográfico, metodológico y estilístico.

Recomendaciones adicionales:

Ninguna, en especial.

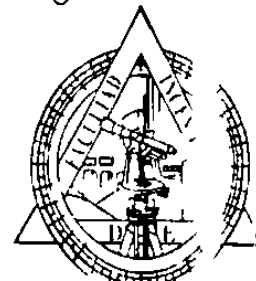
Nombre y firma de quien corrigió:

(Arq. Ramona Longoria Ramirez)
 Arq. Ramona Longoria Ramirez

El Secretario de Postgrado:

(Ing. Oscar M. Robles Sanchez)
 Ing. Oscar M. Robles Sanchez.

Ciudad Universitaria, a 20 de enero de 1997.



San Nicolás de los Garza N L a 10 de Febrero de 1997

Ing. Oscar Manuel Robles Sánchez
Secretario de Posgrado
Facultad de Ingeniería Civil
Universidad Autónoma de Nuevo León

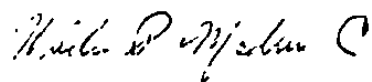
Ingeniero Robles

Por medio de la presente me permito solicitarle su autorización para iniciar los trámites correspondientes al examen de grado de mi trabajo de tesis titulado "Espesamiento de los lodos de un sedimentador primario por medio de hidrociclones en una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas", como requisito para obtener el grado de Maestro en Ciencias con especialidad en Ingeniería Ambiental

Dicho trabajo ya está terminado y cuenta con las aprobaciones del asesor interno, Ing. Omar Huerta Granados del asesor externo, Dr Enrique Ortega Rivas (Universidad Autónoma de Chihuahua), así como del Arq Ramón Longoria, cuyas autorizaciones anexo

Sin otro particular por el momento y agradeciendo su atención prestada a la presente

Atentamente



IBQ Hilda Patricia Medina Caballero



SECRETARIA DE ESTUDIOS
DE POSGRADO

Ing. Oscar Manuel Robles Sanchez
Secretario del Instituto de Ingenieria Civil
U. A. N. L.


Febrero 10 de 1997

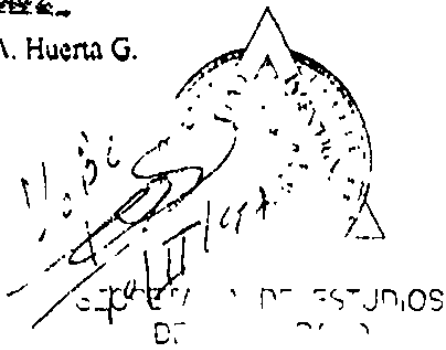
Ing. Robles:

Por medio de la presente hago de su conocimiento que la tesis realizada por el Ing Hilda Patricia Medina Caballero, titulada "Espesamiento de los lodos de un sedimentador primario por medio de hidrociclones en una planta de aguas residuales domesticas" ha sido revisada en forma total cubriendo integramente todos los puntos manifestados en el indice inicial y cuyo texto tambien ha sido revisado y editado para ser sometido para su evaluacion final.

Sin mas por el momento quedo de usted.

ATENTAMENTE


Ing Omar A. Huerta G.


INSTITUTO DE INGENIERIA CIVIL
U. A. N. L.
SECRETARÍA DE ESTUDIOS
DE



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA

Facultad de Ciencias Químicas
Apdo. 1542-G; Chihuahua, Chih.
México

Tel.: (14) 139024
Fax: (14) 144492

27 de Enero de 1997

Ing. Oscar Manuel Robles Sánchez
Secretario de Posgrado de la
Facultad de Ingeniería Civil
Universidad Autónoma de Nuevo León
Cd. Universitaria. Apdo. Postal 58-F
San Nicolás de los Garza, N.L.

Estimado Ing. Robles:

Por medio de la presente me permito comunicarle que he concluido la revisión y auscultación detallada de la tesis titulada: "Espesamiento de los Lodos de un Sedimentador Primario por Medio de Hidrociclones en una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas", presentada por la IBQ Hilda Patricia Medina Caballero. Considero que la citada tesis cumple con los requisitos de calidad necesarios para ser considerada una tesis de grado y personalmente la calificaría como un muy buen trabajo de investigación.

Sin otro particular por el momento me es grato despedirme, poniéndome a sus apreciable órdenes para cualquier aclaración.

Atentamente

Dr. Enrique Ortega Rivas
Investigador Nacional Nivel I
Académico Titular "C"



SECRETARÍA DE ESTUDIOS
DE POSGRADO

Todo el desarrollo teórico y experimental de esta tesis se realizó en la Universidad Autónoma de Chihuahua, bajo la asesoría del Dr. Enrique Ortega Rivas, en la Secretaría de Investigación y Posgrado de la Facultad de Ciencias Químicas.

**Dedicado en memoria de mi
padre, Carlos Medina Zárate
y a mi madre Hilda Caballero
de Medina como ofrenda de
agradecimiento .**

AGRADECIMIENTOS

^ A mi esposo, Javier, por su amor, comprensión y apoyo incondicional

^ A mis hermanos, Jorge, Carlos y Nelly; a mi abuelita Ernestina y tías

^ A la familia Ríos Hernández, que me brindaron un segundo hogar

^ A mi asesor, Dr. Enrique Ortega Rivas, Profesor Investigador de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua, por confiar en mí para la realización del presente trabajo y por su invaluable ayuda

^ A todo el personal docente, administrativo y de servicios pertenecientes a la Secretaría de Investigación y Posgrado de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua, por brindarme todas las facilidades para la elaboración de este trabajo. Especialmente a la Dra. Guadalupe Virginia Nevárez M., M.C. Javier H. Gasson L., M.C. Ramón Olivas V., M.C. Ma. Guadalupe Gastélum F., M.C. Armando Quintero R., Dr. Víctor M. Santana R.; al personal de los Laboratorios de Investigación John Dalton y Luis Pasteur, Laboratorios de Análisis Bromatológicos y de Ingeniería Química.

^ Al Ing., Ricardo Burciaga por su ayuda durante la etapa experimental del proyecto

^ A los Ingenieros Javier González Cantú y Soledad Hurtado, de Atlatec Chihuahua, S.A de C.V., por su valiosa colaboración

^ Al Ing. Omar Huerta Granados, por sus consejos durante la revisión de este trabajo

^ A mis compañeros, Angélica, Gabriela, Ma. de los Angeles, Francisco, Mónica, Esther, Sonia, Alicia, Nerla, Elizabeth, Montserrat, Ia, Marco Antonio, Georgina, V. G. Cobian, A. S. Múzquiz, Alejandro, Pedro y Antonio Santillán.

^ A mis maestros

TABLA DE CONTENIDO

Capítulo		Página
1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Generalidades Acerca del Espesamiento de los Lodos	1
1.1.1	Clasificación de los lodos	3
1.1.2	Métodos de Espesamiento	3
1.2	Actividades Correspondientes al Presente Trabajo	5
2.	PRINCIPIOS TEÓRICOS Y DE OPERACIÓN DE LOS HIDROCICLONES	7
2.1	Aspectos Generales y Usos de los Hidrociclones	7
2.2	Principio de Operación de los Hidrociclones	10
2.3	Características de Funcionamiento	12
2.3.1	Punto de Corte	12
2.3.1.1	Análisis de las Partículas por Tamaños	13
2.3.1.1.1	Representación Gráfica de los Tamaños de las Partículas	13
2.3.1.1.2	Representación Matemática de las Distribuciones de las Partículas por Tamaños	18
2.3.1.1.3	Métodos para Medir los Tamaños de las Partículas	24
2.3.1.2	Eficiencia del Proceso de Separación	29
2.3.1.2.1	Eficiencia Total, E_T	29
2.3.1.2.2	Eficiencia Reducida Total, E'_T	31
2.3.1.2.3	Eficiencia Parcial, E_p	33
2.3.1.2.4	Nivel de Eficiencia, $G(x)$	34
2.3.1.2.5	Nivel Reducido de Eficiencia, $G'(x)$	36
2.3.1.2.6	Punto de Corte, X_{50}	39
2.3.1.2.7	Punto de Corte Reducido, X'_{50}	40
2.3.1.2.8	Límite Aproximado de la Separación, X_{98}	41
2.3.1.2.9	Índice de Exactitud de la Separación, $H_{25/75}$	41
2.3.1.3	Obtención del Punto de Corte a Partir de la Evaluación de la Curva de Eficiencia	42

Capítulo	Página
2.3.1.3.1 Método Gráfico Sugerido por Trawinsky	42
2.3.1.3.2 Método Analítico Propuesto por Svarovsky	45
2.3.1.4 Métodos Alternativos para el Cálculo del Punto de Corte	46
2.3.1.4.1 Método Rápido Desarrollado por Trawinsky	46
2.3.1.4.2 Método Alternativo Presentado por Svarovsky	50
2.3.1.4.3 Método Nuevo Desarrollado por Svarovsky que no Requiere la Medición de los Flujos	51
2.3.1.4.4 Cálculo del Punto de Corte a Través de una Relación Lineal Obtenida por Doheim y Colaboradores	53
2.3.1.4.5 Correlaciones que no Consideran la Concentración de la Alimentación para la Evaluación del Punto de Corte	54
2.3.1.4.6 Correlaciones que Toman en Cuenta la Concentración de la Alimentación para la Evaluación del Punto de Corte	56
2.3.2 Capacidad de un Hidrociclón	57
2.4 Efecto de las Variables de Operación y de Diseño en el Funcionamiento de un Hidrociclón	58
2.4.1 Variables de Operación	58
2.4.2 Variables de Diseño	60
2.5 Diseño y Selección de Hidrociclones	60
2.5.1 Escalamiento Adimensional	62
2.5.1.1 Definición de los Grupos Adimensionales Involucrados	62
2.5.1.2 Escalamiento a Concentraciones Bajas	66
2.5.1.3 Escalamiento para Concentraciones Altas	67
2.5.1.4 Consideraciones para el Comportamiento no Newtoniano	68
2.5.1.4.1 Fluidos Newtonianos y no Newtonianos	68
2.5.1.4.2 Expresión del Número de Reynolds para Fluidos no Newtonianos	72

Capítulo	Página
2.5.1.4.3 Deducción de la Expresión para el Coeficiente de Rozamiento C_D Dentro de la Región de Flujo Laminar	75
2.5.1.4.4 Deducción de la Ecuación de la Velocidad Terminal de Sedimentación	76
2.5.1.4.5 Ecuación Generalizada para el Número de Stokes	78
2.5.1.5 Modelos Empíricos	80
3. MATERIALES Y MÉTODOS	83
3.1 Caracterización Reológica de los Lodos Primarios	85
3.1.1 Medición de Viscosidad, Velocidad de Deformación y Esfuerzo Cortante	85
3.1.2 Análisis de Datos	85
3.2 Determinación de Sólidos Totales en Lodos	86
3.3 Determinación del Peso Específico de los Lodos	87
3.4 Obtención del Modelo de Escalamiento Adimensional	88
3.4.1 Análisis de Regresión Lineal Múltiple	88
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	90
4.1 Caracterización Reológica de los Lodos Primarios	90
4.1.1 Análisis de Regresión no Lineal	91
4.2 Obtención de las Correlaciones del Modelo de Escalamiento Adimensional para Hidrociclones a Partir de las Muestras de Lodos Primarios	103
4.2.1 Cálculo de los Grupos Adimensionales Involucrados	103
4.2.1.1 Número de Reynolds	103
4.2.1.2 Número de Euler	104
4.2.1.3 Número de Stokes	104
4.2.2 Elección de las Ecuaciones a Utilizar de los Modelos de Escalamiento Adimensional	104
4.2.3 Análisis de Regresión Lineal Múltiple	105
4.2.3.1 Análisis de Regresión Lineal Múltiple para la Función $Eu=f(Re^*, C_f)$	105
4.2.3.2 Análisis de Regresión Lineal Múltiple para la Función $R_f=f[(D_w/D_c), Eu]$	110
4.2.3.2.1 Segundo Análisis de Regresión Lineal Múltiple para la Función $R_f=f[(D_w/D_c), Eu]$	112

Capítulo	Página
4.2.3.2.2	116
4.2.3.2.2 Análisis de Regresión Lineal Múltiple de la Función $R_f=f[(D_w/D_c),Re^*,C_f]$	
4.2.3.2.3	117
4.2.3.2.3 Análisis de Regresión Lineal Múltiple de la función $R_f=f[(D_w/D_c),Re^*]$	
4.2.3.3	120
4.2.3.3 Correlación que Involucra el Punto de Corte	
4.2.4	126
4.2.4 Correlaciones Obtenidas	
4.3	129
4.3 Eficiencia del Proceso de Separación	
5. CONCLUSIONES	135
REFERENCIAS	139

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1. Esquema de las Partes de un Hidrociclón	11
2. Patrón de Flujo en un Hidrociclón	12
3. Escala de Probabilidad	15
4. Esquema que Muestra la Relación entre las Distribuciones de Frecuencias no Acumuladas y las Acumuladas	16
5. Histograma y Gráficas Acumuladas	17
6. Ejemplos de Medianas del Tamaño de Partícula Expresadas en Número y en Masa	19
7. Función de Error	21
8. Esquema de un Separador	30
9. Curva de Nivel de Eficiencia, donde $G(x)$ es la Función que Representa el Nivel de Eficiencia	35
10. Curva de Eficiencia y Curva Reducida de Eficiencia para un Hidrociclón	37
11. Curva de Nivel de Eficiencia para el Caso de una Separación Ideal	40
12. Distribuciones por Tamaños de las Tres Corrientes, Mostrándose Varios Diámetros de Referencia	43
13. Ejemplo que Muestra la Forma de Trazar la Curva de Nivel de Eficiencia	44
14. Curva de Eficiencia Reducida y Punto de Corte Reducido	45
15. Diagrama que Muestra la Función ϕ y la Forma de Determinar el Punto de Corte	47
16. Gráfica de la Función ϕ en la cual se Observa un Máximo en $X=10$ micrones	49
17. Definición de Viscosidad	69
18. Gráfica de Esfuerzo Cortante Frente al Gradiente de Velocidad para Fluidos Newtonianos y no Newtonianos	70
19. Curva de Flujo General	73
20. Fuerzas que Actúan sobre una Partícula que cae a Través de un Fluido	76
21. Esquema del Equipo Experimental	84
22. Gráfica que Muestra la Tendencia de la Viscosidad en Función de la Velocidad de Corte	91
23. Diagrama de Esfuerzo Cortante vs. Velocidad de Corte para $T=22.5^{\circ}\text{C}$	92
24. Diagrama de Esfuerzo Cortante vs. Velocidad de Corte para $T=25^{\circ}\text{C}$	93

Figura	Página
25. Diagrama de Esfuerzo Cortante vs. Velocidad de Corte para $T=24.5^{\circ}\text{C}$	93
26. Diagrama de Esfuerzo Cortante vs. Velocidad de Corte para $T=25^{\circ}\text{C}$	93
27. Diagrama de Esfuerzo Cortante vs. Velocidad de Corte para $T=25^{\circ}\text{C}$	94
28. Diagrama de Esfuerzo Cortante vs. Velocidad de Corte para $T=25^{\circ}\text{C}$	94
29. Diagrama de Esfuerzo Cortante vs. Velocidad de Corte para $T=25^{\circ}\text{C}$	94
30. Diagrama de Esfuerzo Cortante vs. Velocidad de Corte para $T=19.3^{\circ}\text{C}$	95
31. Diagrama de Esfuerzo Cortante vs. Velocidad de Corte para $T=19^{\circ}\text{C}$	95
32. Diagrama de Esfuerzo Cortante vs. Velocidad de Corte para $T=19.9^{\circ}\text{C}$	95
33. Diagrama de Esfuerzo Cortante vs. Velocidad de Corte para $T=20.2^{\circ}\text{C}$	96
34. Diagrama de Esfuerzo Cortante vs. Velocidad de Corte para $T=19.6^{\circ}\text{C}$	96
35. Diagrama de Esfuerzo Cortante vs. Velocidad de Corte para $T=18.3^{\circ}\text{C}$	96
36. Diagrama de Esfuerzo Cortante vs. Velocidad de Corte para $T=18^{\circ}\text{C}$	97
37. Diagrama de Esfuerzo Cortante vs. Velocidad de Corte para $T=20.5^{\circ}\text{C}$	97
38. Diagrama de Esfuerzo Cortante vs. Velocidad de Corte para $T=18.8^{\circ}\text{C}$	97
39. Diagrama de Esfuerzo Cortante vs. Velocidad de Corte para $T=19.5^{\circ}\text{C}$	98
40. Diagrama de Esfuerzo Cortante vs. Velocidad de Corte para $T=18.4^{\circ}\text{C}$	98
41. Diagrama de Esfuerzo Cortante vs. Velocidad de Corte para $T=18.8^{\circ}\text{C}$	98
42. Diagrama de Esfuerzo Cortante vs. Velocidad de Corte para $T=20.6^{\circ}\text{C}$	99
43. Diagrama de Esfuerzo Cortante vs. Velocidad de Corte para $T=21^{\circ}\text{C}$	99
44. Diagrama de Esfuerzo Cortante vs. Velocidad de Corte para $T=19.8^{\circ}\text{C}$	99
45. Diagrama de Esfuerzo Cortante vs. Velocidad de Corte para $T=18.2^{\circ}\text{C}$	100

Figura	Página
46. Gráfica de Probabilidad Normal de Residuales para la Ec.(4-4)	109
47. Gráficas de Residuales para la Ec.(4-4)	110
48. Gráfica de Residuales de Probabilidad Normal para la Ec.(4-6)	114
49. Gráficas de Residuales para la Ec.(4-6)	115
50. Gráfica de Residuales de Probabilidad Normal para la Ec.(4-9)	119
51. Gráficas de Residuales para la Ec.(4-9)	120
52. Algunas Distribuciones por Tamaños Ajustadas con la Función Log-normal	123
53. Correlación entre el producto $Stk_{50} \sqrt{Eu}$ y C_f Reportada en (Svarovsky,1992)	124
54. Gráfica que Muestra la Relación entre el Producto $Stk_{50} \sqrt{Eu}$ y la Concentración de la Alimentación C_f Obtenida Experimentalmente	125
55. Gráficas de Residuales para la Ecuación $Stk_{50} \sqrt{Eu} = -0.000054085 C_f + 0.03861791$	126
56. Comparación entre los Valores Obtenidos Experimentalmente y los Valores Predichos por el Modelo	127
57. Gráfica que Muestra la Correlación entre los Números Adimensionales Eu y Re^* dada por la Ec.(4-4) para Concentraciones entre 0.4 y 2.4% Expresadas en Volumen	128
58. Gráficas que Muestran las Correlaciones entre R_f y el Número Adimensional Re^* dada por la Ec.(4-9)	128

LISTA DE TABLAS

Tabla	Página
1. Valores de la Función $erf(z)$	22
2. Análisis por Tamaños de las Partículas Presentes en los dos Efluentes del Hidrociclón	48
3. Cálculo de la Función ϕ	49
4. Correlaciones que no Toman en Cuenta la Concentración de los Sólidos en la Alimentación para la Evaluación del Punto de Corte	55
5. Correlaciones que sí Consideran la Concentración de los Sólidos en la Alimentación para la Evaluación del Punto de Corte	56
6. Familias de Hidrociclones Geométricamente Similares	62
7. Valores para el Factor de Corrección por Temperatura F	88
8. Valores de los Parámetros Reológicos k, n Obtenidos del Análisis de Regresión no Lineal	101
9. Valores de los Coeficientes de Determinación R^2 y de Correlación R Obtenidos para cada Experimento	102
10. Análisis de Varianza para la Significación de la Regresión	107
11. ANOVA para la Significación de los Coeficientes Individuales de Regresión	107
12. Valor Extremo	108
13. ANOVA para Probar la Significación de la Regresión	111
14. ANOVA para la Significación de los Coeficientes Individuales de Regresión	111
15. ANOVA para Probar la Significación de la Regresión	113
16. ANOVA para la Significación de los Coeficientes Individuales de Regresión	113
17. ANOVA para Probar la Significación de la Regresión	116
18. ANOVA para la Significación de los Coeficientes Individuales de Regresión	117
19. ANOVA para Probar la Significación de la Regresión	119
20. ANOVA para la Significación de los Coeficientes Individuales de Regresión	119
21. Puntos de Corte Experimentales	121
22. Resumen del Análisis de Regresión no Lineal Realizado a las Distribuciones por Tamaños de las Partículas Presentes en los Lodos Alimentados al Hidrociclón	122
23. Resumen de los Valores de los Parámetros Obtenidos	127
24. Diseño Factorial Completo 2^3 con 2 Réplicas	130

Tabla	Página
25. Análisis de Varianza para el Experimento Factorial 3^2	131
26. Valores de F para Varios Niveles de Significancia α	131
27. Concentraciones Obtenidas Usando $D_u=0.5$ cm	133
28. Concentraciones Obtenidas Usando $D_u=1.0$ cm	134

SÍMBOLOS

a	constante
A	área de la sección transversal del hidrociclón
b_0	constante
b_1	constante
b_2	constante
C_D	coeficiente de rozamiento
C_f	concentración de sólidos (% vol) alimentados
C_o	concentración de sólidos (% vol) en el efluente superior
C_u	concentración de sólidos (% vol) en el efluente inferior
Cw_f	concentración de sólidos (% peso) alimentados
Cw_o	concentración de sólidos (% peso) en el efluente superior
Cw_u	concentración de sólidos (% peso) en el efluente inferior
df	grados de libertad
D	diámetro de la tubería
D_c	diámetro del cuerpo del ciclón
D_i	diámetro de entrada
D_o	diámetro del conducto superior de salida
D_u	diámetro de la boquilla de salida del espesado
E_p	eficiencia parcial
E_T	eficiencia total
E'_T	eficiencia reducida total
Eu	número de Euler
f	coeficiente de fricción de Fanning
F	parámetro estadístico (prueba F)
F_D	fuerza de rozamiento
F'_G	fuerza externa
F_B	fuerza de flotación o empuje
$f(x)$	distribución de frecuencias
$F(x)$	distribución de frecuencias acumuladas
$F_c(x)$	porcentaje acumulado "menor que" de los sólidos separados
$F_f(x)$	porcentaje acumulado "menor que" de los sólidos no separados
g	aceleración de la gravedad
$G(x)$	función que representa el nivel de eficiencia
$G'(x)$	función que representa el nivel reducido de eficiencia
h	distancia entre la superficie del líquido y el extremo inferior de la pipeta
H	profundidad del tanque
$H_{25/75}$	índice de exactitud de la separación
k	constante de la ecuación de esfuerzo cortante vs. velocidad de deformación
K'	índice de consistencia de flujo
l	longitud del formador del vórtice

L	longitud del hidrociclón
L_1	longitud de la sección cilíndrica
L_t	longitud de la tubería
m	parámetro de forma
M	cantidad de sólidos en la alimentación
M_c	cantidad de sólidos en el espesado
MS	flujo másico de los sólidos alimentados
MS_c	flujo másico de los sólidos separados
MS_f	flujo másico de los sólidos no separados
n	pendiente de la ecuación linealizada para fluidos que siguen la ley de la potencia
n'	índice de comportamiento de flujo
O	flujo volumétrico de la suspensión en el efluente superior
p	probabilidad de que los coeficientes de la ecuación tengan valor de cero
Q	flujo volumétrico de la suspensión alimentada
r	coeficiente de correlación
R	coeficiente de correlación múltiple
R^2	coeficiente de determinación múltiple
R_f	fracción del flujo volumétrico alimentado que sale a través del efluente inferior
Re	número de Reynolds
Re^*	número de Reynolds para fluidos que siguen la ley de la potencia
Re_p	número de Reynolds de la partícula
RS_U	recuperación de sólidos en el efluente inferior
Stk	número de Stokes
Stk^*	número de Stokes para fluidos que siguen la ley de la potencia
$Stk^*_{50}(R)$	número de Stokes basado en el punto reducido de corte
t	tiempo
t_d	tiempo de retención
t_s	tiempo de sedimentación
T	probabilidad para cada intervalo de tamaño de partículas
u	velocidad del fluido dentro del hidrociclón
U	flujo volumétrico de la suspensión en el efluente inferior
v	velocidad lineal del fluido
v_g	velocidad de sedimentación debido a la fuerza de gravedad
v_r	velocidad relativa partícula-fluido
v_t	velocidad tangencial
V	volumen de retención
V_p	volumen de la partícula
w	velocidad angular
W	ancho del tanque
\bar{x}_a	media de la distribución normal
x	tamaño de partícula
x_g	mediana de la distribución log-normal
X_{50}	punto de corte
X'_{50}	punto de corte reducido

X_{98}	límite aproximado de la separación
$X_{m\acute{a}x}$	tamaño máximo de partícula
y	variable dependiente
\bar{y}	promedio de las variables de respuesta experimentales
\hat{y}	variables de respuesta predichas por el modelo
y_i	variables de respuesta experimentales
Δp	caída de presión
ρ	densidad específica del líquido
ρ_f	densidad de la suspensión
ρ_s	densidad específica de los sólidos
ϕ	coeficiente de viscosidad para fluidos que siguen la ley de la potencia
$\dot{\phi}$	velocidad de corte o de deformación
σ	desviación estándar de la distribución normal
σ_g	desviación estándar de la distribución log-normal
μ	viscosidad del líquido
μ_a	viscosidad absoluta
τ	esfuerzo cortante
τ_o	esfuerzo cortante inicial
τ_w	esfuerzo cortante sobre la pared de la tubería
θ	ángulo de la sección cónica del hidrociclón