

# ÍNDICE

AGRADECIMIENTO	II
DEDICATORIA	III
RESUMEN	IV
ABSTRACT	V
ÍNDICE	VI

## **CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN** 1

1.1 Antecedentes y motivación.....	2
1.2 Descripción del problema.....	2
1.3 Solución propuesta.....	2
1.4 Objetivos y alcances del proyecto.....	3
1.4.1 Objetivos generales.....	3
1.4.2 Objetivos específicos.....	3
1.4.3 Alcances.....	3
1.5 Metodología y herramienta utilizada.....	3
1.6 Resultado obtenidos.....	4
1.7 Organización del documento.....	4

## **CAPÍTULO II: ASPECTOS TEÓRICOS** 5

2.1 Estado del arte en medición de tamaño de partículas.....	6
2.1.1 Métodos de determinación de tamaños de partículas.....	6
2.1.2 Principios de los métodos ópticos.....	7
2.1.2.1 Ley de Lambert-Beer.....	8
2.1.3 Fundamento del proceso de sedimentación.....	11
2.1.3.1 Campo de fuerza gravitacional.....	11
2.1.3.2 Campo de fuerza centrífugo.....	13
2.2 Elementos del software Mathcad.....	16
2.2.1 Programación en Mathcad.....	18
2.2.2 Requisitos del Sistema.....	19

## **CAPÍTULO III: FORMULACIÓN DEL ALGORITMO** 20

3.1 Formulación del algoritmo.....	21
------------------------------------	----

3.1.1 Modelación de la sedimentación centrífuga.....	21
3.1.2 Integración numérica.....	25
3.1.3 Algoritmo de cálculo.....	27

## **CAPÍTULO IV: ENSAYO DEL PROGRAMA Y CONTRASTACIÓN DE RESULTADOS**

4.1 Ensayo del programa y contrastación de resultados.....	32
4.1.1 Ensayo a 750 rpm.....	32
4.1.2 Ensayo a distinta velocidad angular.....	33
4.1.3 Contrastación de resultados.....	35

<b>CONCLUSIONES</b>	38
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	39
<b>APÉNDICE</b>	40

## **ÍNDICE DE FIGURA**

Figura (2.1): Esquema de la interacción de una partícula sometida a un campo ..... de radiación electromagnética.	7
Figura (2.2): Esquema del principio de extinción de un haz de luz al atravesar..... una cubeta con partículas en suspendidas	8
Figura (2.3): Comportamiento de la extinción con respecto a la concentración.....	9
Figura (2.4): Esquema del proceso de sedimentación y de análisis óptico de partícula.....	11
Figura (2.5): Esquema de una partícula sometida a la acción de fuerzas gravitatorias.....	11
Figura (2.6): Esquema de las fuerza sobre una partícula que sedimenta mediante..... la acción de un campo centrífugo	13
Figura (2.7): Esquema del proceso de sedimentación centrífuga para partículas monomodales.....	15
Figura (2.8): Imagen correspondiente a la ventana de inicio del software Mathcad 14.....	16
Figura (2.9): Imagen de los operadores de programación de Mathcad.....	18
Figura (3.8): Diagrama de flujo del algoritmo de integración ..... de la concentración volumétrica.	28
Figura (3.9): Diagrama de flujo de la integración de la..... concentración incremental.	30
Figura (4.1): Gráfico de la distribución de tamaño de partícula de dióxido de..... silicio esférica de 1,5 $\mu\text{m}$ diámetro nominal, medidos a una velocidad de 750 rpm.	32
Figura (4.2): Grafico correspondiente a los valores de extinción para velocidades ..... angulares de 600, 750, 900, 1200 rpm.	33

Figura ( 4.3): Gráfico de la distribución incremental de tamaños de partícula ..... para velocidades de 600, 750,900 y 1200 rpm.	34
Figura (4.4): Gráfico de la distribución acumulativa de tamaños de partícula ..... para velocidades de 600, 750,900 y 1200 rpm.	34
Figura (4.5): Gráfico de la distribución incremental de tamaños de partícula ..... estándar para las funciones incremental y acumulativa medidas en microscopio electrónico Zeiss Gemini 942..	35
Figura (4.6): Gráfico de comparación de distribución de tamaño de partícula..... para las funciones incremental y acumulativa.	36

## ÍNDICE DE FIGURA DEL APÉNDICE

Figura (A.1): Fotografía correspondiente al equipo Centrífugo Shimadzu SA-CP3.....	41
Figura (A.2): Diagrama esquemático de la centrifugadora Shimadzu SA-CP3.....	42
Figura (A.3): Representación esquemática de la cubeta de la analizadora Shimadzu SA-CP3.....	43
Figura (A.4): Fotografía micropartículas Geltech 1,5 $\mu\text{m}$ , obtenida en un microscopio..... electrónico Zeiss Gemini 942, en la universidad técnica de Desde	44
Figura (A.5): Micropartículas presentes en la suspensión de calibración correspondiente..... a Geltech 1,5 $\mu\text{m}$ , obtenida en un microscopio electrónico Zeiss Gemini 942, en la universidad técnica de Desde.	45
Figura (A.6): Gráficos representativo del análisis de linealidad para el analizador centrífugo..... Shimadzu SA-CP3.	46
Figura (A.7): Gráfico correspondiente a los datos de extinción para una velocidad..... angular de 750 rpm	47
Figura (C.1): <i>Gráficos de comparación de tres mediciones de extinción con los valores de..... extinción recalculada para una velocidad angular de 750 rpm.</i>	53
Figura (C.2): <i>Imagen de una tabla de Excel, en la cual se obtiene el error relativo que arroja ..... el algoritmo de cálculo para la primera medición de extinción realizada a una velocidad angular de 750 rpm.</i>	54
Figura (C.3): <i>Imagen de una tabla de Excel, en la cual se obtiene el error relativo que arroja ..... el algoritmo de cálculo para la segunda medición de extinción realizada a una velocidad angular de 750 rpm.</i>	55
Figura (C.4): <i>Imagen de una tabla de Excel, en la cual se obtiene el error relativo que arroja ..... el algoritmo de cálculo para la tercera medición de extinción realizada a una velocidad angular de 750 rpm.</i>	56

## ÍNDICE DE TABLA DEL APÉNDICE

Tabla (A.1): Datos correspondiente a la medición de la linealidad.....	45
Tabla (A.2): Datos correspondiente a la medición de la extinción.....	46
Tabla (C.1): <i>Valores de errores para los datos de extinción a velocidades de 600, 750, 900.....</i> <i>y 1200 rpm</i>	56
Tabla (D.1): Simbología utilizada en la elaboración del diagrama de flujo.....	57

## NOMENCLATURA

$A_p$ :	Área de la partícula	$m^2$
$C_k$ :	Concentración volumétrica para una fracción de partícula	-
$C_v$ :	Concentración volumétrica	-
$E$ :	Extinción	-
$F_a$ :	Fuerza de arrastre	N
$F_c$ :	Fuerza centrífuga	N
$F_f$ :	Fuerza de flotación	N
$F_r$ :	Fuerza de rose	N
$F_w$ :	Peso de la partícula	N
$g$ :	Aceleración de gravedad	$m/s^2$
$I$ :	Intensidad de luz	$W/m^2$
$K_{Ext}$ :	Coefficiente de extinción	-
$L$ :	Largo de la cubeta	M
$\rho_f$ :	Densidad de un fluido	$kg/m^3$
$\rho_p$ :	Densidad de la partícula	$kg/m^3$
$Q_3$ :	Función de distribución acumulativa	-
$q_3$ :	Función de distribución incremental	$1/\mu m$
$r$ :	Radio	M
$T$ :	Transmisión	-
$t$ :	Tiempo	S
$v_{st}$ :	Velocidad terminal o de Stokes	$m/s$
$x$ :	Diámetro de la partícula	M
$\mu_f$ :	Viscosidad dinámica	Pa/s
$\omega$ :	Velocidad angular	rad/s