

ÍNDICE

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1-1
1.1. ANTECEDENTES Y MOTIVACIÓN	2
1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	3
1.3. SOLUCIÓN PROPUESTA.....	4
1.4. OBJETIVOS	4
1.4.1. Objetivo General.....	4
1.4.2. Objetivos Específicos	5
1.5. ALCANCES.....	5
1.6. METODOLOGIAS Y HERRAMIENTAS UTILIZADAS	6
1.7. RESULTADOS ESPERADOS	6
1.8. ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO.....	7
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	8
2.1. CARACTERIZACIÓN Y COMPORTAMIENTO DE MICRO PARTÍCULAS.....	9
2.1.1. Determinación de la distribución del tamaño de micro partículas	9
2.2. ASPECTOS ESTADÍSTICOS	10
2.2.1. Coeficiente de correlación de Pearson.....	10
2.2.2. Prueba de hipótesis	12
2.3. ANÁLISIS CLÁSICO DE LA SEDIMENTACIÓN DE PARTÍCULAS	14
2.3.1. Sedimentación de las partículas individuales en el campo gravitatorio	14
2.3.2. Sedimentación de partículas en campo centrífugo	21
2.3.3. Influencia de la forma de la partícula en la velocidad de sedimentación	25
2.3.4. Efectos de la concentración de partículas en la sedimentación	27
2.4. ASPECTOS ÓPTICOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULAS.....	30

CAPÍTULO III: PRESENTACIÓN DE DATOS EXPERIMENTALES Y MODELACIÓN HIDRODINÁMICA..... 34

3.1. EQUIPOS UTILIZADOS PARA EL TRABAJO EXPERIMENTAL..... 35

 3.1.1 Equipo utilizado en la sedimentación sometida a un campo gravitatorio35

 3.1.2. Equipo utilizado en la sedimentación sometida a un campo centrifugo 37

3.2. CARACTERIZACIÓN DE LAS MICRO PARTÍCULAS USADAS PARA LOS MÉTODOS EXPERIMENTALES (GELTECH S 1501) 39

3.3. SUSPENSIÓN 40

3.4. MODELACIÓN DEL COMPORTAMIENTO HIDRODINÁMICO DE UNA MICRO PARTÍCULA EN UN PROCESO DE SEDIMENTACIÓN..... 40

 3.4.1. Comportamiento hidrodinámico ideal de una micro partícula en campo de aceleración gravimétrico 41

 3.4.2. Comportamiento hidrodinámico de una micro partícula en campo de aceleración centrífugo. 44

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE LOS PROCESOS DE SEDIMENTACIÓN. 47

4.1. ANÁLISIS DE LOS PROCESOS DE SEDIMENTACIÓN EN CAMPO GRAVIMÉTRICO Y CENTRÍFUGO..... 48

 4.1.1. Gráfica del comportamiento de la extinción relativa con respecto al tiempo en un campo de fuerzas gravimétrico..... 48

 4.1.2. Gráfica del comportamiento de la extinción relativa con respecto al tiempo en un campo de fuerzas centrífugo..... 49

4.2. CORRECCIÓN DE LA DISTANCIA DE SEDIMENTACIÓN EN LA CELDA GRAVIMÉTRICA 50

4.3. COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LA EXTINCIÓN CON RESPECTO AL TIEMPO EN PROCESOS DE SEDIMENTACIÓN REAL E IDEAL. 52

 4.3.1. Comparación del comportamiento de la extinción relativa respecto del tiempo bajo un proceso de sedimentación gravimétrica ideal y real. 53

4.3.2. Comparación del comportamiento de la extinción relativa respecto del tiempo bajo un proceso de sedimentación centrífuga real e ideal.....	54
4.4. COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LA EXTINCIÓN RELATIVA RESPECTO A UN TIEMPO NORMALIZADO, EN UN PROCESO DE SEDIMENTACIÓN GRAVIMÉTRICO Y CENTRÍFUGO.....	55
4.5. DETERMINACIÓN DE LA CORRELACIÓN DE DATOS ACUMULATIVOS OBTENIDOS EN CAMPOS DE ACELERACIÓN GRAVIMÉTRICO Y CENTRÍFUGO.....	57
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN.....	61
CONCLUSIONES	65
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
ANEXOS	70
A.1. PRINCIPALES DATOS DE SEDIMENTACIÓN GRAVIMÉTRICA	71
A.2. PRINCIPALES DATOS DE SEDIMENTACIÓN CENTRÍFUGA.....	72
B.1. RESOLUCIÓN DE LA MODELACIÓN HIDRODINÁMICA IDEAL DE UNA MICRO PARTÍCULA QUE SEDIMENTA EN UN CAMPO DE FUERZAS GRAVIMÉTRICO.....	73
B.2 RESOLUCIÓN DE LA MODELACIÓN HIDRODINÁMICA IDEAL DE UNA MICRO PARTÍCULA QUE SEDIMENTA EN UN CAMPO DE FUERZAS CENTRÍFUGO.	75
C.1. DATOS DE TIEMPO Y EXTINCIÓN RELATIVA SEDIMENTACIÓN GRVIMÉTRICA IDEAL.....	77
C.2. TABLA DE COMPORTAMIENTO CONCENTRACIÓN VOLUMÉTRICA RESPECTO DEL TIEMPO Y POSICIÓN, Y DATOS DE TIEMPO Y EXTINCIÓN RELATIVA SEDIMENTACIÓN CENTRÍFUGA IDEAL.	78
D.1. DATOS DE TIEMPO Y EXTINCIÓN RELATIVA SEDIMENTACIÓN GRAVIMÉTRICA PARA UNA DISTANCIA DE 14 MM.	80

D.2. DATOS DE TIEMPO Y EXTINCIÓN RELATIVA SEDIMENTACIÓN CENTRÍFUGA PARA UNA DISTANCIA DE 19 MM.....	81
D.3 DATOS DE TIEMPO CORREGIDO Y EXTINCIÓN RELATIVA SEDIMENTACIÓN GRAVIMÉTRICA PARA UNA DISTANCIA DE 19 MM.....	82
D.4. DATOS DE TIEMPO NORMALIZADO Y EXTINCIÓN RELATIVA PARA LA COMPARACION DE LA SEDIMENTACIÓN GRAVIMÉTRICA RESPECTO DE LA SEDIMENTACIÓN CENTRÍFUGA	83
E.1. VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN DE LA MICRO PARTÍCULA RESPECTO DEL TIEMPO, BAJO UN CAMPO DE ACELERACIÓN CONSTANTE.	84
E.2. VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN DE LA MICRO PARTICULA RESPECTO DEL TIEMPO, BAJO UN CAMPO DE ACELERACIÓN VARIABLE. ..	84
F.1. DATOS DE DIAMETRO Y DISTRIBUCIÓN ACUMULATIVA OBTENIDOS EN LA CELDA DE SEDIMENTACIÓN GRAVIMÉTRICA.....	85
F.2. DATOS DE DIAMETRO Y DISTRIBUCIÓN ACUMULATIVA OBTENIDOS EN LA CELDA DE SEDIMENTACIÓN CENTRÍFUGA.....	86
F.3. TABLA T DE STUDENT	87

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1: Diagramas representativos de las técnicas para la distribución del tamaño de micro partículas (acumulativa, izquierda e incremental, derecha).	10
FIGURA 2.2: Representación gráfica de los modelos estadísticos.	13
FIGURA 2.3: Principales fuerzas que actúan sobre la partícula al sumergirla en un fluido viscoso.	15
FIGURA 2.4: Comportamiento del coeficiente de arrastre respecto del número de Reynolds.	19
FIGURA 2.5: Efecto de movimiento partículas aceleradas, las trayectorias radiales y fuerza de Coriolis en la sedimentación de las micro partículas en el campo centrífugo.	22
FIGURA 2.6: Perfil de concentración y el curso temporal de la sedimentación de un sistema de micro partículas monomodal bajo un proceso de sedimentación centrífuga.	23
FIGURA 2.7: Efectos de la trayectoria de las partículas radiales en un segmento circular (izquierda) y una cubeta paralela.	25
FIGURA 2.8: Principio de reducción de la intensidad luminosa al atravesar una suspensión.	31
FIGURA 2.9: Haz de luz que traspasa una cubeta con una concentración de partículas y otra sin partículas en su concentración.	32
FIGURA 3.1: Celda de sedimentación gravimétrica.	36
FIGURA 3.2: Principales componentes de la centrifugadora Shimadzu SA-CP3 y su estructura.	37
FIGURA 3.3: Centrifuga analítica Shimadzu SA-CP3.	38
FIGURA 3.4: Fotografía micro partículas Geltech 1,5 μm , obtenida en un microscopio electrónico Zeiss Gemini 942.	40
FIGURA 3.5: Gráfico del comportamiento ideal de la extinción relativa con respecto al tiempo en un proceso de sedimentación gravimétrico.	44
FIGURA 3.6: Gráfico del comportamiento ideal de la extinción relativa con respecto al tiempo en un proceso de sedimentación centrífugo.	46
FIGURA 4.1: Gráfico del comportamiento de la extinción relativa con respecto al tiempo, en un proceso de sedimentación gravimétrica.	49

FIGURA 4.2: Gráfico del comportamiento de la extinción relativa con respecto al tiempo, en un proceso de sedimentación centrífuga.....	50
FIGURA 4.3: Distancias de sedimentación gravimétrica corregida (izquierda), y distancia de sedimentación centrífuga (derecha).	¡Error! Marcador no definido.
FIGURA 4.4: Gráfico del comportamiento de la extinción relativa con respecto a un tiempo corregido para una distancia de sedimentación de 19 mm.	52
FIGURA 4.5: Gráfico de comparación del comportamiento de la extinción relativa con respecto al tiempo en un proceso de sedimentación gravimétrica real e ideal.	53
FIGURA 4.6: Gráfico de comparación del comportamiento de la extinción relativa con respecto al tiempo en un proceso de sedimentación centrífuga real e ideal.	54
FIGURA 4.7: Gráfico de comparación del comportamiento de la extinción relativa con respecto al tiempo para un proceso de sedimentación gravimétrica bajo un tiempo normalizado y un proceso de sedimentación centrífuga.....	56
FIGURA 4.8: Distribución acumulativa para todas las mediciones realizadas en la centrifuga analítica a 600 rpm y en la celda de sedimentación gravimétrica.	58
FIGURA 4.9: Gráfico de dispersión $Q_3(\%)$ Shimadzu- $Q_3 (\%)$ celda de sedimentación gravimétrica.	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Tabla para la obtención de los coeficientes para la aproximación del coeficiente de arrastre del flujo que rodea una esfera.	21
Tabla 2.2: Formulación empírica del factor de forma respecto del régimen de escurrimiento.	27
Tabla 2.3: valores de esfericidad y factor de forma	27
Tabla 2.4: Factor de corrección para suspensiones monomodales con número de Reynolds $\leq 0,2$ en una cámara de proceso cerrado.	29
Tabla 2.5: Exponentes de la función del factor de corrección de Richardson y Zaki	30
Tabla 3.1: Características técnicas de la celda de sedimentación gravimétrica	36
Tabla 3.2: Datos técnicos de la centrífuga Shimadzu SA-CP3	38
Tabla 4.1: Medidas utilizadas para la comparación de datos acumulativos.....	59
Tabla 4.2: Tabla con valores del estudio comparativo de datos acumulativos obtenidos de la centrífuga analítica Shimadzu y la celda de sedimentación gravimétrica.	60