

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
RESUMEN.....	iv
ÍNDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. ANTECEDENTES Y MOTIVACIÓN.....	2
1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.3. SOLUCIÓN PROPUESTA.....	4
1.4. OBJETIVOS.....	5
1.4.1. Objetivo general.....	5
1.4.2. Objetivos específicos.....	5
1.5. ALCANCES DEL PROYECTO.....	6
1.6. METODOLOGÍA Y HERRAMIENTAS UTILIZADAS.....	7
1.1.1. Primera fase.....	7
1.1.2. Segunda fase.....	8
1.1.3. Tercera fase.....	8
1.1.4. Cuarta fase.....	10
1.7. RESULTADOS ESPERADOS.....	11
1.8. ORGANIZACIÓN DE LA MEMORIA ESCRITA.....	12
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	13
2.1 SEDIMENTACIÓN.....	14

2.2	TIPOS DE SEDIMENTACIÓN.....	15
2.2.1	Sedimentación discreta.....	15
2.2.2	Sedimentación con floculación.....	15
2.2.3	Sedimentación zonal.....	15
2.3	TÉCNICAS DE SEDIMENTACIÓN	16
2.3.1	Sedimentación por gravedad	16
2.3.2	Sedimentación centrífuga	16
2.4	MÉTODOS DE ANÁLISIS DE SEDIMENTACIÓN	16
2.5	SEDIMENTACIÓN DE UNA PARTÍCULA EN UN CAMPO GRAVITACIONAL ..	18
2.5.1	Fuerza de aceleración	19
2.5.2	Fuerza de flotación o empuje.....	20
2.5.3	Fuerza de arrastre.....	21
2.5.4	Número de Reynolds	21
2.6	VELOCIDAD TERMINAL O VELOCIDAD DE STOKES.....	22
2.7	SEDIMENTACIÓN EN CAMPO CENTRIFUGO	23
2.7.1	Movimiento acelerado de partículas.....	25
2.7.2	Fuerza centrífuga	25
2.8	VELOCIDAD TERMINAL DE SEDIMENTACIÓN EN UN CAMPO CENTRIFUGO	26
2.9	EFFECTO DE LA CONCENTRACIÓN EN LA VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN.....	27
2.10	FUNCIONES DE CORRECCIÓN DE VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN.....	28
2.10.1	Función de corrección ecuación de continuidad.....	28
2.10.2	Función de corrección de Richardson & Zaki.....	29
2.11	VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN EFECTIVA	31

2.12 MÉTODOS DE MEDICIÓN DE PARTÍCULAS	31
2.12.1 Sistemas de medición ópticos.....	32
2.12.2 Centrífuga de fotosedimentación.....	34
2.13 ERRORES EXPERIMENTALES	35
2.13.1 Método de mínimos cuadrados.....	36
2.13.2 Coeficiente de correlación de Pearson.....	37
CAPÍTULO 3. DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA	39
3.1. DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE PARTÍCULAS.....	40
3.1.1 Geltech 200.....	41
3.1.2 Geltech 1000.....	42
3.1.2 Geltech 1500.....	44
3.2 DESCRIPCIÓN DE LAS SUSPENSIONES	45
3.3 EQUIPOS EMPLEADOS	46
3.3.1 Equipo de medición: Shimadzu SA-CP3.....	46
Equipos utilizados para preparación y control de suspensiones.....	48
3.3.2 Balanza de laboratorio SARTORIUS.....	48
3.3.3 Agitador magnético	48
3.3.4 Homogeneizador ULTRA TURRAX.....	48
3.3.5 Homogeneizador ultrasónico.....	49
3.3.6 Espectrómetro de difracción láser	49
3.3.7 Microscopio electrónico de barrido.....	49
3.3.8 Medidor de pH.....	49
3.4 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.....	50
3.4.1 Metodología para preparación y dispersión de suspensiones.....	50
3.4.2 Metodología para medición.....	51

3.5 VELOCIDAD EXPERIMENTAL	52
Geltech 200.....	52
Geltech 1000.....	53
Geltech 1500.....	54
3.6 CÁLCULO DE VELOCIDAD DE STOKES	54
3.7 VELOCIDAD NORMALIZADA	55
Geltech 200.....	56
Geltech 1000.....	57
Geltech 1500.....	58
3.8 CONTRASTE SISTEMAS DE PARTÍCULAS Y FUNCIÓN DE CORRECCIÓN DE RICHARDSON & ZAKI	59
3.9 AJUSTE DE CURVA Y DETERMINACIÓN DEL EXPONENTE “n”	61
3.10 CONTRASTE ENTRE LOS AJUSTES DE CURVA PARA LOS TRES DISTINTOS TAMAÑOS DE PARTÍCULAS	63
3.11 ERRORES ABSOLUTOS Y RELATIVOS DE LA VELOCIDAD EFECTIVA DE SEDIMENTACIÓN	65
CAPÍTULO 4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	69
4.1 PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS	70
4.2 ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DE PARTÍCULAS.....	71
4.3 ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO	74
4.4 VALIDEZ DEL COMPORTAMIENTO	75
4.5 ANÁLISIS DE LOS EXPONENTES OBTENIDOS A PARTIR DE LA TEORIA DE ERRORES	76
CONCLUSIONES.....	81
REFERENCIAS	84
ANEXO 1: DATOS TÉCNICOS DE LOS EQUIPOS DE LABORATORIO	88

1.1 Homogeneizador ULTRA TURRAX T50.....	88
1.2 Homogeneizador ultrasónico VCX 500	88
1.3 Balanza SARTORIUS AC 210S	89
1.4 Espectrómetro de difracción laser HELOS	89
1.5 Microscopio electrónico ZEISS GEMINI	90
ANEXO 2: DISTRIBUCIONES DE TAMAÑOS	91
2.1 Tabla de distribuciones de tamaño para Geltech 200.....	91
2.2 Tabla de distribuciones de tamaño para Geltech 1000.....	91
2.3 Tabla de distribuciones de tamaño para Geltech 1500.....	92
ANEXO 3: DEMOSTRACIONES DE CÁLCULOS	93
3.1 Cálculo de la velocidad de Stokes	93
3.2 Cálculo de velocidad normalizada.....	93
3.3 Cálculo factor de corrección.....	94
3.4 Cálculo de velocidad efectiva.....	94
3.5 Cálculo de errores absolutos y relativos.....	94
3.6 Cálculo del número de Reynolds.....	95
ANEXO 4: VALORES PARA GRÁFICOS DE LA FUNCIÓN DE RICHARDSON & ZAKI.....	96
ANEXO 5: VALORES PARA GRÁFICOS DOBLE LOGARÍTMICOS.....	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Diagrama cuerpo libre de una partícula sedimentando en campo gravitacional.....	18
Figura 2.2: Representación de los efectos producidos en la sedimentación centrifuga	24
Figura 2.3: Diagrama cuerpo libre de una partícula sedimentando en campo centrifugo	26
Figura 2.4: Medición fotométrica por extinción.....	34
Figura 2.5: Centrifuga de fotosedimentación	35
Figura 3.1: Partículas Geltech 200.	42
Figura 3.2: Partículas Geltech 1000	44
Figura 3.3: Partículas Geltech 1500.	45
Figura 3.4: Shimadzu SA-CP3	47

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1: Función de corrección de velocidad de sedimentación de Richardson & Zaki	30
Gráfico 3.1: Distribuciones de tamaño Geltech 200.....	41
Gráfico 3.2: Distribuciones de tamaño Geltech 1000.....	43
Gráfico 3.3: Distribuciones de tamaño Geltech 1500.....	44
Gráfico 3.4: Velocidad normalizada dependiendo de la concentración volumétrica para Geltech 200.....	57
Gráfico 3.5: Velocidad normalizada dependiendo de la concentración volumétrica para Geltech 1000	58
Gráfico 3.6: Velocidad normalizada dependiendo de la concentración volumétrica para Geltech 1500	59
Gráfico 3.7: Contraste entre sistemas de partículas y función de corrección.....	60
Gráfico 3.8: Ajuste por línea de tendencia para Geltech 200.....	62
Gráfico 3.9: Ajuste por línea de tendencia para Geltech 1000.....	62
Gráfico 3.10: Ajuste por línea de tendencia para Geltech 1500.....	63
Gráfico 3.11: Comparación ajuste de los tres sistemas de partículas	64
Gráfico 4.1: Función de corrección de Richardson & Zaki para distintos valores de "n" en contraste con las mediciones de los sistemas de partículas	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Exponente función de corrección según número de Reynolds.....	30
Tabla 3.1: Diámetros representativos de los sistemas de partículas.....	41
Tabla 3.2: Datos iniciales Geltech 200.....	42
Tabla 3.3: Datos iniciales Geltech 1000.....	43
Tabla 3.4: Datos iniciales Geltech 1500.....	45
Tabla 3.5: Datos iniciales para suspensiones.....	46
Tabla 3.6: Datos iniciales de las mediciones realizas.....	52
Tabla 3.7: Velocidad experimental para Geltech 200	53
Tabla 3.8: Velocidad experimental para Geltech 1000	53
Tabla 3.9: Velocidad experimental para Geltech 1500	54
Tabla 3.10: Velocidad de Stokes para cada sistema de partículas.....	55
Tabla 3.11: Velocidad normalizada para Geltech 200	56
Tabla 3.12: Velocidad normalizada para Geltech 1000	57
Tabla 3.13: Velocidad normalizada para Geltech 1500	58
Tabla 3.14: Resumen de los ajustes realizados a los tres tamaños de partículas.....	64
Tabla 3.15: Contraste errores de la velocidad efectiva para Geltech 200.	66
Tabla 3.16: Contraste errores de la velocidad efectiva para Geltech 1000	67
Tabla 3.17: Contraste errores de la velocidad efectiva para Geltech 1500.	67
Tabla 4.1: Presentación de resultados finales.....	70
Tabla 4.2: Promedio de errores relativos y absolutos para la velocidad efectiva dependiendo del exponente n.....	77