

Tabla de Contenido

1	Introducción	1
1.1	Motivación	1
1.2	Objetivo	2
1.3	Objetivos Específicos	2
2	Antecedentes	3
2.1	Generalidades.....	3
2.2	Mecanismos Generales de Mezclado.....	4
2.3	Escalas de Mezclado	4
2.4	Medidas de Mezclado	5
2.5	Regímenes de flujo	6
2.6	Mezclado en sistemas de Alta Viscosidad.....	6
2.6.1	Dispersión y Distribución de Partículas en sistemas de Alta Viscosidad.....	7
2.6.2	Corte y Elongación de Flujos de Alta Viscosidad.....	8
2.7	Mezcladores Estáticos.....	9
2.7.1	Geometría mezclador Kenics KMS.....	10
2.7.2	Geometría de hélice mezcladora KENICS	10
2.7.3	Ecuación de la hélice	12
2.8	Marco Teórico.....	13
2.8.1	Fluido.....	13
2.8.2	Conservación de la masa	14
2.8.3	Ecuación de momentum	15
2.8.4	Ecuación de <i>Navier-Stokes</i>	16
2.8.5	Flujo Reptante (<i>Stoke's Flow</i>)	17
2.8.6	Tasa de corte (<i>Shear rate</i>)	17
2.9	Análisis Cinemático.....	18
2.9.1	Gradiente de Deformación.....	19
2.9.2	Tensores de <i>Cauchy-Green</i>	21
2.9.3	Cálculo de Elongación para flujos 2D.....	22
2.9.4	Eficiencia de mezclado para Flujos 2D	22
2.9.5	Parámetros cinemáticos para flujos 3D	24

2.9.6	Análisis Estadístico	25
2.9.7	Promedio y Desviación Estándar.....	25
2.9.8	Función de probabilidad acumulada (Función Distribución).....	25
2.9.9	Función densidad de probabilidad.....	26
2.9.10	Percentiles.....	27
2.9.11	Histogramas	27
2.9.12	Función de Auto-correlación.....	28
2.9.13	Escala de Segregación	32
2.9.14	Intensidad de Segregación.....	32
2.10	Influencia del ángulo de torsión en la calidad de la mezcla	33
3	Metodología	36
3.1	Antecedentes del problema.....	36
3.2	Enunciado del problema	40
3.3	Simplificaciones al problema.....	42
3.4	Metodología Computacional.....	43
3.4.1	Selección de <i>software</i>	44
3.4.2	Entrenamiento en CFD.....	45
3.4.3	Modelamiento Mezclador Kenics ($\alpha=180^\circ$; L=230 mm).....	46
3.4.4	Modelamiento Mezclador Kenics ($\alpha=180^\circ$; L=460 mm).....	47
3.4.5	Modelamiento Mezclador Kenics para distintos ángulos de hélice	48
3.4.6	Análisis de resultados	48
3.5	Implementación en ANSYS.....	48
3.5.1	Modelamiento Geométrico.....	48
3.5.2	Mallado.....	51
3.5.3	Seteo datos de entrada en Polyflow (Setup).....	57
3.6	Análisis Cinemático.....	63
3.7	Configuración Tarea de Mezclado.....	63
3.7.1	Tipo de tarea de mezclado (A)	65
3.7.2	Definición dominio de flujo (B).....	65
3.7.3	Definición de condiciones de borde (C).....	65
3.7.4	Definición del campo de velocidades (D)	65
3.7.5	Generación de conjunto de partículas (E).....	66

3.7.6	Parámetros de seguimiento de partículas (<i>traking</i>) (F)	67
3.7.7	Selección de propiedades (G).....	67
3.7.8	Almacenamiento de resultados (H)	67
3.7.9	Definición de análisis cinemático (I).....	68
3.8	Lectura de resultados en <i>Polystat</i>	70
4	Resultados	73
4.1	Cálculo de Campo de Velocidades	73
4.2	Análisis de convergencia	73
4.3	Resultados RL-180-230	74
4.4	Resultados RL-180-460	76
4.5	Resultados RR-180-460.....	77
4.6	Resultados RL-120-460	78
4.7	Resultados RL-150-460	79
4.8	Resultados Análisis Cinemático	80
4.8.1	Resultados RL-180-460.....	80
4.8.2	Estadísticas para RL-180-460.....	82
4.8.3	Comparación de estadísticas según modelo	87
5	Discusión y conclusiones	91
6	Bibliografía.....	92

Índice de Tablas

Tabla 3.1-Parámetros de proceso para flujos de PP y HDPE.....	40
Tabla 3.2-Parámetros de operación para mezclado PP+HDPE 50-50%.....	41
Tabla 3.3-Dimensiones mezclador estático Kenics KMS.....	41
Tabla 3.4-Parámetros de mezcla.....	41
Tabla 3.5-Resumen de parámetros mallado de modelos.....	56
Tabla 3.6-Condiciones de borde para mezclador Kenics.....	61
Tabla 4.1-Tabla resumen pérdidas de carga según modelo de mezclador.....	80

Índice de Figuras

Figura 2.1-Intensidad y escala de segregación.....	6
Figura 2.2-Interrelación entre Mecanismos de Mezcla Dispersivo y Distributivo.....	7
Figura 2.3-Mezcla Laminar Distributiva y difusión entre dos fluidos miscibles.....	8
Figura 2.4-Mezcla Laminar Distributiva de dos fluidos inmiscibles con reologías similares.....	8
Figura 2.5-Mezclador estático helicoidal Kenics (KMS) y mezclador Kenics con entramado.....	9
Figura 2.6-Mezclador estático Kenics tipo KMX realizando la homogenización de dos fluidos.....	9
Figura 2.7-Dimensiones generales de un mezclador estático Kenics KMS.....	10
Figura 2.8-Dimensiones generales de una hélice mezcladora de un mezclador Kenics KMS.....	10
Figura 2.9-Elemento de hélice con ángulo de torsión de 90°.....	11
Figura 2.10-Mezclador estático Kenics KMS con ángulo de torsión 180°.....	11
Figura 2.11-Configuraciones RL y RR para elementos de hélice de 180°.....	12
Figura 2.12-Gráfico de ecuación para hélice de 180°.....	13
Figura 2.13-Volumen de control diferencial.....	13
Figura 2.14-Elemento diferencial de volumen y balance de momentum.....	15
Figura 2.15-Esquema tasa de corte en un fluido.....	18
Figura 2.16-Gradiente de deformación actuando en un elemento lineal de fluido.....	19
Figura 2.17-Representación de un cubo deformado.....	20
Figura 2.18-Gráfico de función de distribución de probabilidad para una cantidad escalar.....	26
Figura 2.19- Gráfico de función densidad de probabilidad para una cantidad escalar.....	26
Figura 2.20-Gráfico de percentiles.....	27
Figura 2.21-Ejemplo de gráfico histograma.....	28
Figura 2.22-Esquema de fluidos mezclándose.....	28
Figura 2.23-Proceso de mezclado en un instante de tiempo (t) cualquiera.....	29
Figura 2.24-Gráfico de función Auto-correlación de concentraciones.....	30
Figura 2.25-Pares de partículas separados a una distancia $r = \xi *$	31
Figura 2.26-Gráfico escala de segregación.....	32
Figura 2.27-Evolución de la intensidad de mezcla.....	33
Figura 2.28-Dependencia de la calidad de mezcla y pérdida de carga de flujo principal en función del número de elementos helicoidales.....	34

Figura 2.29-Dependencia de la calidad de la mezcla con el ángulo de torsión de la hélice para configuraciones RR.	34
Figura 2.30-Escala de segregación para distintas configuraciones de hélice.	35
Figura 2.31-Funcionamiento de un mezclador Kenics RL-180.	35
Figura 3.1-Curva esfuerzo deformación para distintos porcentajes de PP y HDPE	36
Figura 3.2-Propiedades mecánicas para aleaciones de PP+HDPE y PP+LDPE	37
Figura 3.3-Gráfico de Viscosidad en función de tasa de corte para distintas mezclas de PP+HDPE.	38
Figura 3.4-Fusión y Extrusión de polímeros.	39
Figura 3.5-Mezclador estático Kenics KMS.	39
Figura 3.6-Diagrama esquemático del equipamiento utilizado para realizar la mezcla de PP y HDPE.	40
Figura 3.7-Dimensiones generales mezclador estático Kenics KMS.	41
Figura 3.8-Cálculo de patrones de flujo incorporando condición de borde periódica.	43
Figura 3.9-Diagrama de flujo metodología de trabajo.	44
Figura 3.10-Elemento de hélice $\alpha=180^\circ$; $L=230$ mm (1 periodo de mezcla).....	47
Figura 3.11-Ensamblaje de 2 elementos de hélice (2 periodos de mezclado), en donde $\alpha=180^\circ$.	47
Figura 3.12-Modelo 3D Kenics KMS configuración RL-180°, $L=230$ mm.	48
Figura 3.13-Modelo 3D Kenics KMS configuración RL-180°, $L=460$ mm.	49
Figura 3.14- Modelo 3D Kenics KMS configuración RR-180°, $L=460$ mm.	49
Figura 3.15-Modelo 3D Kenics KMS configuración RL-120°, $L=460$ mm.	50
Figura 3.16-Modelo 3D Kenics KMS configuración RL-150°, $L=460$ mm.	50
Figura 3.17-Mallado grueso (<i>coarse</i>) generado con ANSYS Meshing.....	51
Figura 3.18-Vista frontal mallado grueso RL-180-230.	52
Figura 3.19-Estadísticas de métricas para mallado grueso RL-180-230.	52
Figura 3.20-Mallado fino RL-180-230 con 100707 elementos tetraédricos.	53
Figura 3.21- Vista frontal mallado fino RL-180-230.	53
Figura 3.22- Estadísticas de métricas para mallado grueso RL-180-230.	54
Figura 3.23- Mallado fino RL-180-460 con 368373 elementos tetraédricos.	55
Figura 3.24- Estadísticas de métricas para mallado fino RL-180-460.	55
Figura 3.25-Caras pertenecientes al dominio del flujo.....	56
Figura 3.26-Ventana principal de ingreso de datos a <i>Polyflow</i>	57
Figura 3.27-Creación de una nueva tarea F.E.M. en <i>Polydata</i>	58
Figura 3.28-Sub-tarea generada en <i>Polydata</i> con un tipo de flujo newtoniano isotérmico.....	58
Figura 3.29-Ventana para definición de parámetros de sub-tarea en flujo newtoniano	59
Figura 3.30-Dominio del flujo.....	59
Figura 3.31-Secuencia de configuración de datos para propiedades del material.....	60
Figura 3.32-Cuadro de diálogo para configurar condiciones de borde.	61
Figura 3.33-Configuración de condiciones de borde en <i>Polydata</i>	62
Figura 3.34-Generación de una tarea de mezclado a partir de la malla creada en la tarea F.E.M.	63
Figura 3.35-Eschema de configuración tarea de mezclado (<i>Mixing task</i>).	64
Figura 3.36-Lectura archivo de campo de velocidades en tarea de mezclado.	66

Figura 3.37-Zona de generación de partículas en mezclador Kenics.	66
Figura 3.38-Zonas de generación de partículas a la entrada del mezclador Kenics.	68
Figura 3.39-Partículas de la zona A y B distribuidas por efecto del flujo.	69
Figura 3.40-Inicialización de herramienta <i>Polystat</i>	70
Figura 3.41-Ventana de inicio <i>Polystat</i>	70
Figura 3.42-Búsqueda y carga de archivo de estadísticas en <i>Polystat</i>	71
Figura 3.43-Proceso de lectura de archivo de resultados y estadísticas en <i>Polystat</i>	71
Figura 4.1-Test de convergencia para modelo RL-180-230.	73
Figura 4.2-Representación gráfica test de convergencia velocidad máxima.	74
Figura 4.3-Resultados RL-180-230: Velocidad, Tasa de corte y Presión.	75
Figura 4.4-Resultados RL-180-460: Velocidad, Tasa de corte y Presión.	76
Figura 4.5-Resultados RR-180-460: Velocidad, Tasa de corte y Presión.	77
Figura 4.6- Resultados RL-120-460: Velocidad, Tasa de corte y Presión.	78
Figura 4.7-Resultados RL-150-460: Velocidad, Tasa de corte y Presión.	79
Figura 4.8-Mezclador RL-180-460 mostrando la trayectoria seguida por una partícula desde la entrada hasta la salida del mezclador.	80
Figura 4.9-Proceso de mezclado utilizando 1000 partículas.	81
Figura 4.10-Slices 2D en función del avance en el eje z.	82
Figura 4.11-Función de auto-correlación calculada en distintas <i>slices</i>	82
Figura 4.12-Función de autocorrelación para slice 40 (salida del mezclador).	83
Figura 4.13-Escala de segregación RL-180-460 calculada a lo largo del eje z.	84
Figura 4.14-Densidad de probabilidad para tasa de deformación λ	85
Figura 4.15-Función probabilidad acumulada para tasa de deformación λ	86
Figura 4.16-Comparación de escalas de segregación modelos RR-180-460 y RL-180-460.	87
Figura 4.17-Comparación de escala de segregación para distintos modelos.	88
Figura 4.18-Densidad de probabilidad en configuraciones RR y RL 180-460.	89
Figura 4.19-Comparación función de densidad múltiples configuraciones.	89