

ÍNDICE

CAPÍTULO 1. INTRODUCCION.....	1
1.1 ANTECEDENTES Y MOTIVACIÓN	2
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	2
1.3 SOLUCIÓN PROPUESTA	3
1.4 OBJETIVOS	4
1.4.1 <i>Objetivo general</i>	4
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i>	4
1.5 ALCANCES DEL PROYECTO.....	5
1.6 METODOLOGÍA Y HERRAMIENTAS A UTILIZAR	5
1.6.1 <i>Determinar la situación física a simular</i>	5
1.6.2 <i>Realizar las pruebas experimentales de la situación física a simular</i>	5
1.6.3 <i>Obtener resultados propuestos de comparación (líneas de corriente)</i>	6
1.6.4 <i>Estudiar simulación CFD (modelo matemático)</i>	6
1.6.5 <i>Familiarizarse con cada sección que conforma el CFD del software “Ansys Fluent”</i>	6
1.6.6 <i>Generar geometrías que simulen el flujo del fluido al interior de módulos utilizados para el proceso de perstracción</i>	6
1.6.7 <i>Realizar un estudio de malla</i>	6
1.6.8 <i>Obtener resultados propuestos de comparación (líneas de corriente) para validar la simulación CFD</i>	6
1.6.9 <i>Simulación CFD de 4 geometrías adicionales que asemejen la misma situación física</i>	6
1.6.10 <i>Análisis del todas las geometrías del punto de vista de la dinámica de fluidos</i>	7
1.7 RESULTADOS ESPERADOS	7
1.8 ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO	7
CAPÍTULO 2. MARCO TEORICO.....	9
2.1 HIDROXITIRO SOL (HT).....	10
2.1.1 <i>Motivos para su consumo</i>	11

2.1.2	<i>Obtención del HT a partir de subproductos de la industria del aceite de oliva</i>	11
2.1.3	<i>Subproductos de la industria del aceite de oliva</i>	11
2.1.4	<i>Alperujo subproducto seleccionado</i>	12
2.2	PROCESOS DE SEPARACIÓN POR MEMBRANA CONVENCIONALES	13
2.2.1	<i>Micro-Filtración</i>	13
2.2.2	<i>Ultra-Filtración</i>	13
2.2.3	<i>Nano-Filtración</i>	13
2.3	PROCESO DE SEPARACIÓN POR MEMBRANA NO CONVENCIONAL	14
2.3.1	<i>Destilación por membrana</i>	14
2.3.2	<i>Pervaporación</i>	14
2.3.3	<i>Perstracción</i>	14
2.4	MÓDULOS PROCESO DE SEPARACIÓN POR MEMBRANA	15
2.4.1	<i>Modulos planos</i>	16
2.5	SIMULACIÓN CFD (DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL)	17
2.5.1	<i>Métodos numéricos</i>	18
2.6	ESTRUCTURA DE CFD	19
2.7	MODELO MATEMATICO	20
2.7.1	<i>Ecuación de masa</i>	21
2.7.2	<i>Ecuación de Momento</i>	21
2.8	MODELOS DE TURBULENCIA	22
2.9	CONDICIONES INICIALES Y DE FRONTERA	23
2.10	DISCRETIZACION ESPACIAL (GENERACION DE MALLA)	23
2.10.1	<i>Mallas estructuradas</i>	24
2.10.2	<i>Mallas no – estructuradas</i>	25
2.11	SOLVER (SOLUCIÓN DE LAS ECUACIONES)	26
2.11.1	<i>Modelo de acoplamiento de presión y velocidad</i>	26
2.12	ANÁLISIS DE RESULTADOS	27
2.12.1	<i>Energía cinética turbulenta</i>	27

CAPÍTULO 3. MODELO FISICO	28
3.1 MODELO EXPERIMENTAL (1).....	29
3.1.1 <i>Condiciones de funcionamiento modelo experimental (1)</i>	30
3.1.1.1 Datos relevantes de funcionamiento	31
3.2 MODELO EXPERIMENTAL (2).....	32
3.3 ELABORACIÓN DEL MÓDULO PARA EL MODELO EXPERIMENTAL (2)	33
3.3.1 <i>Modelo experimental (2) sistema hidráulico</i>	38
3.3.2 <i>Procedimiento operativo del modelo experimental (2)</i>	39
3.3.3 <i>Resultados obtenidos del experimento de caudal</i>	40
3.3.4 <i>Resultados obtenidos el modelo experimental (2)</i>	40
CAPÍTULO 4. MODELO MATEMÁTICO	42
4.1 MODELO MATEMÁTICO PARA EL FLUJO DE AGUA TURBULENTO	43
4.1.1 <i>Restricciones de la situación física</i>	43
4.1.2 <i>Campo de velocidades del fluido</i>	43
4.1.3 <i>Conservación de masa</i>	43
4.1.4 <i>Conservación de momento</i>	43
4.1.5 <i>Modelo turbulento</i>	44
4.1.5.1 <i>Función de pared Estándar modelo turbulento $k-\varepsilon$</i>	45
4.2 CONDICIONES INICIALES Y DE FRONTERA	47
4.2.1 <i>Condiciones iniciales</i>	47
4.2.2 <i>Condiciones de frontera</i>	47
CAPÍTULO 5. GENERACION DE MALLADO	48
5.1 ESTUDIO DE MALLA EN ANSYS FLUENT	49
5.1.1 <i>Metodología para el estudio de malla</i>	49
5.2 POSICIÓN AL INTERIOR DEL MODULO.....	50
5.3 RESULTADOS POSICIÓN (1) HORIZONTAL	50
5.4 RESULTADOS POSICIÓN (2) VERTICAL	51

CAPÍTULO 6. RESULTADOS SIMULACIÓN CFD	52
6.1 SIMULACIÓN CFD1 MODELO EXPERIMENTAL (2).....	53
6.1.1 <i>Comparación grafica</i>	53
6.1.2 <i>Comparación de resultados (Posición)</i>	54
6.1.3 <i>Comparación de resultados de trayectoria del flujo del fluido (líneas de corriente)</i>	58
6.2 SIMULACIÓN CFD2, COMPARACIÓN DE TRES GEOMETRÍAS	59
6.2.1 <i>Resultados Simulación CFD 2 energía cinética turbulenta</i>	59
6.3 SIMULACIÓN CFD3 MODIFICACIÓN 2 (GEOMETRÍA SELECCIONADA)	62
6.3.1 <i>Resultados Simulación CFD energía cinética turbulenta</i>	62
CONCLUSIONES	65
BIBLIOGRAFÍA	67
ANEXOS	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Representación gráfica del proceso de perstracción.	3
Figura 2-1. Esquema del proceso de obtención de la solución usada para perstracción.	12
Figura 2-2. Procesos de separación por membrana convencionales.	14
Figura 2-3. Proceso de Perstracción.	15
Figura 2-4. Funcionamiento de los módulos utilizados para el proceso de separación por membrana.	16
Figura 2-5. Módulos planos.	17
Figura 2-6. Comparación entre los 3 métodos de solución.	18
Figura 2-7. Estructura General del CFD.	19
Figura 2-8. Estructura de un software de CFD.	20
Figura 2-9. Mallas con nodos centrado en los elementos y centrado en los vértices.	24
Figura 2-10. Estructura de la matriz de una malla estructurada.	25
Figura 2-11. Representación de la matriz de conectividad de una malla no-estructurada.	26
Figura 3-1. Modelo experimental (1).	29
Figura 3-2. Perstracción en laboratorio modelo experimental (1).	31
Figura 3-3. Tabla de funcionamiento de Cabezales de bombas L/S Easy-Load.	31
Figura 3-4. Modulo (1) y (2) usado para el proceso de perstracción.	33
Figura 3-5. Modulo Modelo Experimental (2).	34
Figura 3-6. Formlabs 2.	34
Figura 3-7. Modulo_1 Modelo experimental (2) Inventor.	35
Figura 3-8. Modulo modelo experimental (2) Formlabs 2.	35
Figura 3-9. Terminación de manguera, Autodesk Inventor.	36
Figura 3-10. Terminación de manguera, "Formlabs2".	36
Figura 3-11. Modulo Modelo experimental (2).	37
Figura 3-12. Modulo, Fabricación, Modelo experimental (2).	37
Figura 3-13. Modelo experimental (2).	38

Figura 3-14. Modelo experimental (2) en laboratorio.....	39
Figura 3-15. Resultados gráficos líneas de corriente Modelo experimental (2).	41
Figura 4-1. Condiciones iniciales y de frontera.....	47
Figura 5-1. Posiciones (1) horizontal (2) vertical	50
Figura 6-1. Contornos de velocidad x (m/s) en tiempo de solución (Resumen).	53
Figura 6-2. Estado estable v/s Tiempo 0,0 s modelo experimental (2).	54
Figura 6-3. Estado estable v/s Tiempo 0,25 s modelo experimental (2).	55
Figura 6-4. Estado estable v/s Tiempo 0,5; 0,75; 1,0 s modelo experimental (2).	56
Figura 6-5. Estado estable v/s Tiempo 1,25; 1,5; 1,75 s modelo experimental (2).	57
Figura 6-6. Trayectoria líneas de corriente.....	58
Figura 6-7. TKE Geometría 1.....	60
Figura 6-8. TKE Geometría 2.....	60
Figura 6-9. TKE Geometría 3.....	61
Figura 6-10. TKE Geometría 4.....	63
Figura 6-11. TKE Geometría 5.....	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1. Componentes principales modelo experimental (1)	30
Tabla 3-2. Datos de densidad y viscosidad del permeado.....	32
Tabla 3-3. Resultados de caudal obtenidos del experimento de caudal.....	40
Tabla 5-1. Mallas y número de elementos.....	49
Tabla 5-2. Error Absoluto promedio, Posición (1).....	50
Tabla 5-3. Error Absoluto promedio, Posición (2).....	51

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. MODEL: 8090-802-278; SHURFLO.}	70
Anexo 2. Datos del experimento de caudal.	71
Anexo 3. Modulo experimental LabProSem.	72
Anexo 4. Explosión Modulo Modelo experimenta (2).	73
Anexo 5. Ensamble Modulo Modelo Experimental (2).	74
Anexo 6. Modulo_1 Modelo experimental (2).	75
Anexo 7. Membrana_1 Modelo experimental (2).	76
Anexo 8. Terminación de manguera Modelo experimental (2).	77
Anexo 9. Geometría Flujo fluido 1.	78
Anexo 10. Tabla de datos TKE, Error Relativo y Absoluto. Posición (1)	80
Anexo 11. Tabla de datos TKE, Error Relativo y Absoluto. Posición (2)	81
Anexo 12. Grafico Estudio de malla Posición (1).	82
Anexo 13. Grafico Estudio de malla Posición (2).	83
Anexo 14. Contornos de velocidad x (m/s) tiempo de solución.	84
Anexo 15. Geometría Flujo del fluido 3.	85
Anexo 16. Geometría Flujo Fluido 2.	86
Anexo 17. Grafico x vs TKE, Simulación CFD 2.	87
Anexo 18. Gráfico y vs TKE, Simulación CFD 2.	88
Anexo 19. Geometría Flujo de Fluido 4.	89
Anexo 20. Geometría Flujo de Fluido 5.	90
Anexo 21. Grafico x vs TKE, Simulación CFD 3.	91
Anexo 22. Gráfico y vs TKE, Simulación CFD 3.	92

NOMENCLATURA

Símbolos

$C_{1\varepsilon}, C_{2\varepsilon}, C_{3\varepsilon}$: Constantes finales del modelo $k-\varepsilon$	-
C_μ	: Constante fenomenológica del modelo de turbulencia	-
E	: Constante empírica.	-
F	: Fuerzas másicas sobre el volumen de control.	-
G_k	: Generación de energía cinética turbulenta debido a los gradientes de velocidad media.	-
G_b	: producción de energía cinética debido a la flotacion	-
K	: Constante von Kármán.	-
k	: Energía cinética turbulenta.	$[J/kg]$
kp	: Turbulencia energía cinética en el punto P.	$[J/kg]$
P	: Presión.	$\left[\frac{N}{m^2}\right]$ o bar
S_k, S_ε	: Términos fuente definidos por el usuario	-
T_w	: Temperatura a la pared.	K
t	: Tiempo.	s
U	: campo de velocidades del fluido	$[m/s]$
U_p	: Velocidad media del fluido en el punto P.	$[m/s]$
U^*	: Velocidad media	$[m/s]$
u, v, w	: Componentes de velocidad en dirección $-x, y, z$.	-
x, y, z	: Coordenadas en dirección- x, y, z .	-
y_p	: Distancia del punto P a la pared.	$[m]$
y^*	: Distancia media del punto P a la pared.	$[m]$

Símbolos griegos

ε	: Disipación de energía cinética turbulenta.	$[m^2/s^2]$
---------------	--	-------------

ε_p	: Tasa de disipación en las células de la pared adyacente	-
μ	: Viscosidad dinámica del fluido.	[Pa * s]
μ_t	: Viscosidad dinámica turbulenta del fluido.	[Pa * s]
ρ	: Densidad.	$\left[\frac{kg}{m^3}\right]$
σ_k	: Constante de difusión turbulenta de la energía cinética	-
σ_ε	: Constante de disipación turbulenta de la energía cinética	-
τ_{ij}	: Tensor de esfuerzos viscoso.	-

Siglas

CEAP	: Centro de Estudios de Alimentos Procesados.	-
CFD	: Computacional Fluid Dinamic.	-
MDF	: Método de diferencias finitas.	-
MEF	: Método de elementos finitos.	-
MVF	: Método de volúmenes finitos.	-
PISO	: Modelo de presión implícito con división de operadores.	-
SIMPLE	: Método Semi-implícito para ecuaciones acopladas a la Presión.	-
SIMPLEC	: SIMPLE – Consistente	-
TKE	: Turbulence Kinetic Energy (Energía Cinética Turbulenta)	-