

Tabla de Contenido

AGRADECIMIENTOS.....	IV
TABLA DE CONTENIDO.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	XVII
CAPÍTULO 1.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 MOTIVACIÓN.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	2
1.2.1 <i>Objetivos Generales</i>	2
1.2.2 <i>Objetivos Específicos</i>	2
1.3 ALCANCES.....	3
CAPÍTULO 2.....	4
MARCO TEÓRICO.....	4
2.1 FLUJO ALREDEDOR DE UN CILINDRO FIJO.....	4
2.2 PATRONES DE FLUJO.....	4
2.3 DESPRENDIMIENTO DE VÓRTICES.....	5
2.4 FACTORES QUE AFECTAN EL NÚMERO DE STROUHAL.....	6
2.4.1 <i>Número de Reynolds</i>	7
2.4.2 <i>Rugosidad de la superficie</i>	8
2.4.3 <i>Proximidad a la Frontera</i>	8
2.4.4 <i>Gradiente de Velocidad</i>	8
2.4.5 <i>Intensidad de la Turbulencia</i>	8
2.4.6 <i>Relación Longitud/Diámetro de la Tubería</i>	8
2.5 FUERZAS INDUCIDAS POR VÓRTICES.....	8

2.5.1	<i>Fuerza de Arrastre</i>	9
2.5.2	<i>Fuerza de Sustentación</i>	9
2.6	COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR	9
2.7	FLUIDOS	10
2.8	FLUIDOS NEWTONIANOS	10
2.9	FLUIDOS NO NEWTONIANO	11
2.9.1	<i>Ley de Potencia</i>	11
CAPÍTULO 3	1
	GENERACIÓN DE VÓRTICES ALREDEDOR DE UN CUERPO ENFRENTADO CON UN FLUIDO NEWTONIANO EN RÉGIMEN LAMINAR	1
3.1	RESUMEN	1
3.2	OBJETIVOS	1
3.2.1	<i>Objetivos Generales</i>	1
3.2.2	<i>Objetivos Específicos</i>	2
3.3	NOMENCLATURA	3
3.4	SITUACIÓN FÍSICA Y MODELO MATEMÁTICO	3
3.5	IMPLEMENTACIÓN COMPUTACIONAL	7
3.6	PRESENTACIÓN, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	8
3.6.1	<i>Resumen</i>	8
3.6.2	<i>Validación de resultados para la mecánica de fluidos</i>	8
3.6.3	<i>Resultados de la Mecánica de Fluidos</i>	10
3.6.4	<i>Resultados de la Transferencia de Calor</i>	17
3.7	CONCLUSIONES	24
CAPÍTULO 4	26

GENERACIÓN DE VÓRTICES ALREDEDOR DE UN CUERPO ENFRENTADO CON UN FLUIDO NO NEWTONIANO EN RÉGIMEN LAMINAR.....	26
4.1 RESUMEN.....	26
4.2 OBJETIVOS	26
4.2.1 <i>Objetivos Generales.....</i>	26
4.2.2 <i>Objetivos Específicos</i>	27
4.3 NOMENCLATURA.....	28
4.4 SITUACIÓN FÍSICA Y MODELO MATEMÁTICO	29
4.5 IMPLEMENTACIÓN COMPUTACIONAL	34
4.6 PRESENTACIÓN, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	35
4.6.1 <i>Resultados de la Mecánica de Fluidos.....</i>	35
4.6.2 <i>Resultados de la Transferencia de Calor</i>	53
4.7 CONCLUSIONES.....	66
CAPÍTULO 5.....	67
GENERACIÓN DE VÓRTICES ALREDEDOR DE UN CUERPO ENFRENTADO CON UN FLUIDO NO NEWTONIANO EN RÉGIMEN TURBULENTO	67
5.1 RESUMEN.....	67
5.2 OBJETIVOS	67
5.2.1 <i>Objetivos Generales.....</i>	67
5.2.2 <i>Objetivos Específicos</i>	68
5.3 NOMENCLATURA.....	69
5.4 SITUACIÓN FÍSICA Y MODELO MATEMÁTICO	70
5.5 IMPLEMENTACIÓN COMPUTACIONAL	75
5.6 PRESENTACIÓN, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	76
5.6.1 <i>Resultados de la Mecánica de Fluidos.....</i>	76

5.6.2	<i>Resultados de la Transferencia de Calor</i>	84
5.7	CONCLUSIONES	91
CAPÍTULO 6		92
TRANSFERENCIA DE CALOR EN UN CANAL CON GENERADOR DE VORTICES ADIABÁTICO DE DIFERENTES TAMAÑOS ENFRENTADO A UN FLUIDO DEL TIPO LEY DE POTENCIA RÉGIMEN LAMINAR.....		
6.1	INTRODUCCIÓN	92
6.2	OBJETIVOS	93
6.2.1	<i>Objetivos Generales</i>	93
6.2.2	<i>Objetivos Específicos</i>	93
6.3	NOMENCLATURA	94
6.4	SITUACIÓN FÍSICA Y MODELO MATEMÁTICO	94
6.5	IMPLEMENTACIÓN COMPUTACIONAL	99
6.6	PRESENTACIÓN, ANÁLISIS Y DISCUSIONES	99
6.6.1	<i>Resultados de la Mecánica de Fluidos</i>	99
6.6.2	<i>Resultados de la Transferencia de Calor</i>	101
6.7	CONCLUSIONES	103
CAPÍTULO 7		104
TRANSFERENCIA DE CALOR EN UN CANAL CON GENERADOR DE VORTICES ADIABÁTICO DE DIFERENTES TAMAÑOS ENFRENTADO A UN FLUIDO DEL TIPO LEY DE POTENCIA RÉGIMEN TURBULENTO.....		
7.1	INTRODUCCIÓN	104
7.2	OBJETIVOS	105
7.2.1	<i>Objetivos Generales</i>	105
7.2.2	<i>Objetivos Específicos</i>	105
7.3	NOMENCLATURA	106

7.4	SITUACIÓN FÍSICA Y MODELO MATEMÁTICO	106
7.5	IMPLEMENTACIÓN COMPUTACIONAL	111
7.6	PRESENTACIÓN, ANÁLISIS Y DISCUSIONES.....	111
	<i>7.6.1 Resultados de la Mecánica de Fluidos.....</i>	<i>111</i>
	<i>7.6.2 Resultados de la Transferencia de Calor</i>	<i>112</i>
7.7	CONCLUSIONES.....	114
	CAPÍTULO 8	116
	BIBLIOGRAFÍA	116
8.1	CAPÍTULO 2	116
8.2	CAPÍTULO 3	117
8.3	CAPÍTULO 4	118
8.4	CAPÍTULO 5	119
8.5	CAPÍTULO 6	120
8.6	CAPÍTULO 7	121

Índice de Figuras

Figura 1-1: Esquema fuerzas generadas debido a la interacción de un cuerpo con un flujo (Fuente: Propia).....	1
Figura 2-1: Patrones de flujo de un cilindro, para distintos Números de Reynolds (Fuente: Kenny, 1993).....	5
Figura 2-2: Secuencia de campos de presión de superficie y formación de la estela, a aproximadamente un tercio de ciclo de desprendimiento (Fuente: Blevins, 2001).....	6
Figura 2-3: Ancho de la estela para flujo sub-crítico y super-crítico, de izquierda a derecha, respectivamente (Fuente: Kenny J. , 1993).....	7
Figura 2-4: Número de Strouhal en función del número de Reynolds, para cilindros circulares (Fuente: Kenny J. , 1993).....	7
Figura 2-5: Esfuerzo cortante en un sólido y en un fluido (Fuente: Shames, 1995).....	10

Figura 2-6: Comportamiento reológico de algunos materiales viscosos (Fuente: Shames, 1995).....	11
Figura 3-1: Esquema de la situación física (Fuente: elaboración propia).....	4
Figura 3-2: Malla variable utilizada para la solución del problema (Fuente: elaboración propia).....	7
Figura 3-3: Relación del Número de Reynolds – Número Strouhal para un cilindro; $40 < Re < 2 \times 10^4$ (Fuente: Lienhard, 1966).....	9
Figura 3-4: Coeficiente de arrastre evolucionando en el tiempo para número de Reynolds igual a 200: (a) trabajo de Lam, Gong, & So (2008), (b) presente trabajo.....	10
Figura 3-5: Evolución en el tiempo del coeficiente de sustentación para un número de Reynolds $Re=60$ (Fuente: elaboración propia).	10
Figura 3-6: Evolución en el tiempo del coeficiente de arrastre para un número de Reynolds $Re=60$ (Fuente: elaboración propia).	11
Figura 3-7: Líneas de corrientes para un número de Reynolds $Re=60$ para tiempos adimensionales: (a) $t^*=30$, (b) $t^*=60$, (c) $t^*=90$, (d) $t^*=120$ (Fuente: elaboración propia).	12
Figura 3-8: Evolución en el tiempo del coeficiente de sustentación para un número de Reynolds $Re=100$ (Fuente: elaboración propia).....	13
Figura 3-9: Evolución en el tiempo del coeficiente de arrastre para un número de Reynolds $Re=100$ (Fuente: elaboración propia).....	13
Figura 3-10: Líneas de corrientes para número de Reynolds $Re=100$ para tiempos adimensionales: (a) $t^*=50$, (b) $t^*=100$, (c) $t^*=150$, (d) $t^*=200$ (Fuente: elaboración propia).	14
Figura 3-11: Evolución en el tiempo del coeficiente de sustentación para un número de Reynolds $Re=200$ (Fuente: elaboración propia).....	15
Figura 3-12: Evolución en el tiempo del coeficiente de arrastre para un número de Reynolds $Re=200$ (Fuente: elaboración propia).....	15
Figura 3-13: Líneas de corrientes para un número de Reynolds $Re=200$ para tiempos adimensionales: (a) tiempo $t^*=100$, (b) $t^*=200$, (c) $t^*=300$, (d) $t^*=400$ (Fuente: elaboración propia).....	17
Figura 3-14: Relación del número de Strouhal (St) con respecto al número de Reynolds (Re) para un cuerpo cilíndrico.	17

Figura 3-15: Evolución en el tiempo del número de Nusselt considerando un número de Reynolds $Re=60$ (Fuente: elaboración propia).....	18
Figura 3-16: Isotermas para un número de Reynolds $Re=60$ para tiempos adimensionales: (a) $t^*=30$, (b) $t^*=60$, (c) $t^*=90$ segundos, (d) $t^*=120$ segundos (Fuente: elaboración propia).....	19
Figura 3-17: Evolución en el tiempo del número de Nusselt considerando un número de Reynolds $Re=100$ (Fuente: elaboración propia).....	20
Figura 3-18: Isotermas para un número de Reynolds $Re=100$ para tiempos adimensionales: (a) $t^*=50$, (b) $t^*=100$, (c) $t^*=150$, (d) $t^*=200$ (Fuente: elaboración propia).....	21
Figura 3-19: Evolución en el tiempo del número de Nusselt considerando un número de Reynolds $Re=200$ (Fuente: elaboración propia).....	22
Figura 3-20: Isotermas para un número de Reynolds $Re=200$ para tiempos adimensionales: (a) $t^*=100$, (b) $t^*=200$, (c) $t^*=300$, (d) $t^*=400$ (Fuente: elaboración propia).....	23
Figura 3-21: Relación del número de Nusselt con respecto al número de Reynolds en un cuerpo cilíndrico, tanto para el presente trabajo y Lienhard (1966).....	24
Figura 4-1: Esquema de la situación física (Fuente: elaboración propia).....	29
Figura 4-2: Malla variable.....	34
Figura 4-3: Evolución en el tiempo del coeficiente de sustentación para un número de Reynolds $Re_{LP}=9$ para un fluido tipo Ley de Potencia $n=0,4$ (Fuente: elaboración propia).....	35
Figura 4-4: Evolución en el tiempo del coeficiente de arrastre para un número de Reynolds $Re_{LP}=9$ para un fluido tipo Ley de Potencia $n=0,4$ (Fuente: elaboración propia).....	36
Figura 4-5: Líneas de corriente para un número de Reynolds $Re_{LP}=9$ para tiempos adimensionales: (a) $t^*=15$, (b) $t^*=30$, (c) $t^*=45$, (d) $t^*=60$ (Fuente: elaboración propia).....	37
Figura 4-6: Evolución en el tiempo del coeficiente de sustentación para un número de Reynolds $Re_{LP}=20$ para un fluido tipo Ley de Potencia $n=0,4$ (Fuente: elaboración propia).....	37
Figura 4-7: Evolución en el tiempo del coeficiente de arrastre para un número de Reynolds $Re_{LP}=20$ para un fluido tipo Ley de Potencia $n=0,4$ (Fuente: elaboración propia).....	38

Figura 4-8: Líneas de corriente para un número de Reynolds $R_e=20$ para tiempos adimensionales: (a) $t^*=25$, (b) $t^*=50$, (c) $t^*=75$, (d) $t^*=100$ (Fuente: elaboración propia).	39
Figura 4-9: Evolución en el tiempo del coeficiente de sustentación para un número de Reynolds $R_{e,LP}=30$ para un fluido tipo Ley de Potencia $n=0,4$ (Fuente: elaboración propia).	39
Figura 4-10: Evolución en el tiempo del coeficiente de arrastre para un número de Reynolds $R_{e,LP}=30$ para un fluido tipo Ley de Potencia $n=0,4$ (Fuente: elaboración propia).	40
Figura 4-11: Líneas de corriente para un número de Reynolds $R_e=30$ para tiempos adimensionales: (a) $t^*=32,5$, (b) $t^*=65$, (c) $t^*=97,5$, (d) $t^*=130$ (Fuente: elaboración propia).	41
Figura 4-12: Evolución en el tiempo del coeficiente de sustentación para un número de Reynolds $R_{e,LP}=50$ para un fluido tipo Ley de Potencia $n=0,4$ (Fuente: elaboración propia).	41
Figura 4-13: Evolución en el tiempo del coeficiente de arrastre para un número de Reynolds $R_{e,LP}=50$ para un fluido tipo Ley de Potencia $n=0,4$ (Fuente: elaboración propia).	42
Figura 4-14: Líneas de corriente para un número de Reynolds $R_e=50$ para tiempos adimensionales: (a) $t^*=42,5$, (b) $t^*=85$, (c) $t^*=127,5$, (d) $t^*=170$ (Fuente: elaboración propia).	43
Figura 4-15: Evolución en el tiempo del coeficiente de sustentación para un número de Reynolds $R_{e,LP}=70$ para un fluido tipo Ley de Potencia $n=0,4$ (Fuente: elaboración propia).	44
Figura 4-16: Evolución en el tiempo del coeficiente de arrastre para un número de Reynolds $R_{e,LP}=70$ para un fluido tipo Ley de Potencia $n=0,4$ (Fuente: elaboración propia).	44
Figura 4-17: Líneas de corriente para un número de Reynolds $R_e=70$ para tiempos adimensionales: (a) $t^*=52,5$, (b) $t^*=105$, (c) $t^*=157,5$, (d) $t^*=210$ (Fuente: elaboración propia).	45
Figura 4-18: Evolución en el tiempo del coeficiente de sustentación para un número de Reynolds $R_{e,LP}=100$ para un fluido tipo Ley de Potencia $n=0,4$ (Fuente: elaboración propia).	46
Figura 4-19: Evolución en el tiempo del coeficiente de arrastre para un número de Reynolds $R_{e,LP}=100$ para un fluido tipo Ley de Potencia $n=0,4$ (Fuente: elaboración propia).	46

Figura 4-20: Líneas de corriente para un número de Reynolds $Re=100$ para tiempos adimensionales: (a) $t^*=65$, (b) $t^*=130$, (c) $t^*=195$, (d) $t^*=260$ (Fuente: elaboración propia).....	47
Figura 4-21: Evolución en el tiempo del coeficiente de sustentación para un número de Reynolds $Re_{LP}=160$ para un fluido tipo Ley de Potencia $n=0,4$ (Fuente: elaboración propia).....	48
Figura 4-22: Evolución en el tiempo del coeficiente de arrastre para un número de Reynolds $Re_{LP}=160$ para un fluido tipo Ley de Potencia $n=0,4$ (Fuente: elaboración propia).....	48
Figura 4-23: Líneas de corriente para un número de Reynolds $Re=160$ para tiempos adimensionales: (a) $t^*=90$, (b) $t^*=180$, (c) $t^*=270$, (d) $t^*=360$ (Fuente: elaboración propia).....	49
Figura 4-24: Evolución en el tiempo del coeficiente de sustentación para un número de Reynolds $Re_{LP}=260$ para un fluido tipo Ley de Potencia $n=0,4$ (Fuente: elaboración propia).....	50
Figura 4-25: Evolución en el tiempo del coeficiente de arrastre para un número de Reynolds $Re_{LP}=260$ para un fluido tipo Ley de Potencia $n=0,4$ (Fuente: elaboración propia).....	50
Figura 4-26: Líneas de corriente para un número de Reynolds $Re=260$ para tiempos adimensionales: (a) $t^*=122,5$, (b) $t^*=245$, (c) $t^*=367,5$, (d) $t^*=490$ (Fuente: elaboración propia).....	51
Figura 4-27: Coeficiente de arrastre para diferentes números de Reynolds Re_{LP} (Fuente: elaboración propia).....	52
Figura 4-28: Número de Strouhal para diferentes números de Reynolds Re_{LP} (Fuente: elaboración propia).....	52
Figura 4-29: Número de Strouhal para diferentes números de Reynolds para un fluido newtoniano y uno no newtoniano del tipo ley de potencia con $n=0,4$	53
Figura 4-30: Isotermas para un número de Reynolds $Re=9$ para tiempos adimensionales: (a) $t^*=15$, (b) $t^*=30$, (c) $t^*=45$, (d) $t^*=60$ (Fuente: elaboración propia).....	54
Figura 4-31: Número de Nusselt para un número de Reynolds $Re_{LP}=9$ para un fluido tipo Ley de Potencia $n=0,4$ (Fuente: elaboración propia).....	54
Figura 4-32: Isotermas para un número de Reynolds $Re=20$ para tiempos adimensionales: (a) $t^*=25$, (b) $t^*=50$, (c) $t^*=75$, (d) $t^*=100$ (Fuente: elaboración propia).....	55
Figura 4-33: Número de Nusselt para un número de Reynolds $Re_{LP}=20$ para un fluido tipo Ley de Potencia $n=0,4$ (Fuente: elaboración propia).....	56

Figura 4-34: Isotermas para un número de Reynolds $Re=30$ para tiempos adimensionales: (a) $t^*=32,5$, (b) $t^*=65$, (c) $t^*=97,5$, (d) $t^*=130$ (Fuente: elaboración propia).....	57
Figura 4-35: Número de Nusselt para un número de Reynolds $Re_{LP}=30$ para un fluido tipo Ley de Potencia $n=0,4$ (Fuente: elaboración propia).....	57
Figura 4-36: Isotermas para un número de Reynolds $Re=50$ para tiempos adimensionales: (a) $t^*=42,5$, (b) $t^*=85$, (c) $t^*=127,5$, (d) $t^*=170$ (Fuente: elaboración propia).....	58
Figura 4-37: Número de Nusselt para un número de Reynolds $Re_{LP}=50$ para un fluido tipo Ley de Potencia $n=0,4$ (Fuente: elaboración propia).....	59
Figura 4-38: Isotermas para un número de Reynolds $Re=70$ para tiempos adimensionales: (a) $t^*=52,5$, (b) $t^*=105$, (c) $t^*=157,5$, (d) $t^*=210$ (Fuente: elaboración propia).....	60
Figura 4-39: Número de Nusselt para un número de Reynolds $Re_{LP}=70$ para un fluido tipo Ley de Potencia $n=0,4$ (Fuente: elaboración propia).....	60
Figura 4-40: Isotermas para un número de Reynolds $Re=100$ para tiempos adimensionales: (a) $t^*=65$, (b) $t^*=130$, (c) $t^*=195$, (d) $t^*=260$ (Fuente: elaboración propia).....	61
Figura 4-41: Número de Nusselt para un número de Reynolds $Re_{LP}=100$ para un fluido tipo Ley de Potencia $n=0,4$ (Fuente: elaboración propia).....	62
Figura 4-42: Isotermas para un número de Reynolds $Re=160$ para tiempos adimensionales: (a) $t^*=90$, (b) $t^*=180$, (c) $t^*=270$, (d) $t^*=360$ (Fuente: elaboración propia).....	63
Figura 4-43: Número de Nusselt para un número de Reynolds $Re_{LP}=260$ para un fluido tipo Ley de Potencia $n=0,4$ (Fuente: elaboración propia).....	63
Figura 4-44: Isotermas para un número de Reynolds $Re=260$ para tiempos adimensionales: (a) $t^*=122,5$, (b) $t^*=245$, (c) $t^*=367,5$, (d) $t^*=490$ (Fuente: elaboración propia).....	64
Figura 4-45: Gráfico del comportamiento del número de Nusselt con respecto al número de Reynolds para un fluido no newtoniano del tipo Ley de Potencia con $n=0,4$ y para un fluido newtoniano (Fuente: elaboración propia).....	65
Figura 4-46: Gráfico del comportamiento del número de Nusselt con respecto al tiempo adimensional para diferentes números de Reynolds para un fluido no newtoniano del tipo Ley de Potencia con $n=0,4$ (Fuente: elaboración propia).....	65
Figura 5-1: Esquema de la situación física (Fuente: elaboración propia).....	70

Figura 5-2: Malla variable	75
Figura 5-3: Evolución en el tiempo del coeficiente de arrastre para un número de Reynolds $Re_{e,LP}=3,3 \times 10^3$ para un fluido tipo Ley de Potencia $n=0,4$ (Fuente: elaboración propia).....	76
Figura 5-4: Evolución en el tiempo del coeficiente de sustentación para un número de Reynolds $Re_{e,LP}=3,3 \times 10^3$ para un fluido tipo Ley de Potencia $n=0,4$ (Fuente: elaboración propia).....	76
Figura 5-5: Líneas de corriente para un número de Reynolds $Re_{e,LP}= 3,3 \times 10^3$ para tiempos adimensionales: (a) $t^*=592,5$ (b) $t^*=1185$, (c) $t^*=1777,5$, (d) $t^*=2370$ (Fuente: elaboración propia).....	77
Figura 5-6: Evolución en el tiempo del coeficiente de arrastre para un número de Reynolds $Re_{e,LP}=1,6 \times 10^4$ para un fluido tipo Ley de Potencia $n=0,4$ (Fuente: elaboración propia).....	78
Figura 5-7: Evolución en el tiempo del coeficiente de sustentación para un número de Reynolds $Re_{e,LP}=1,6 \times 10^4$ para un fluido tipo Ley de Potencia $n=0,4$ (Fuente: elaboración propia).....	78
Figura 5-8: Líneas de corriente para un número de Reynolds $Re_{e,LP}= 1,6 \times 10^4$ para tiempos adimensionales: (a) $t^*=1620$, (b) $t^*=3240$, (c) $t^*=4860$, (d) $t^*=6480$ (Fuente: elaboración propia).....	79
Figura 5-9: Evolución en el tiempo del coeficiente de arrastre para un número de Reynolds $Re_{e,LP}=3,3 \times 10^4$ para un fluido tipo Ley de Potencia $n=0,4$ (Fuente: elaboración propia).....	80
Figura 5-10: Evolución en el tiempo del coeficiente de sustentación para un número de Reynolds $Re_{e,LP}=3,3 \times 10^4$ para un fluido tipo Ley de Potencia $n=0,4$ (Fuente: elaboración propia).....	80
Figura 5-11: Líneas de corriente para un número de Reynolds $Re_{e,LP}= 3,3 \times 10^4$ para tiempos adimensionales: (a) $t^*=2500$, (b) $t^*=5000$, (c) $t^*=7500$, (d) $t^*=10000$ (Fuente: elaboración propia).....	81
Figura 5-12: Evolución en el tiempo del coeficiente de arrastre para un número de Reynolds $Re_{e,LP}=3,3 \times 10^5$ para un fluido tipo Ley de Potencia $n=0,4$ (Fuente: elaboración propia).....	82
Figura 5-13: Evolución en el tiempo del coeficiente de sustentación para un número de Reynolds $Re_{e,LP}=3,3 \times 10^5$ para un fluido tipo Ley de Potencia $n=0,4$ (Fuente: elaboración propia).....	82

Figura 5-14: Líneas de corriente para un número de Reynolds $Re_{LP} = 3,3 \times 10^5$ para tiempos adimensionales: (a) $t^* = 10500$, (b) $t^* = 21000$, (c) $t^* = 31500$, (d) $t^* = 42000$ (Fuente: elaboración propia).....	83
Figura 5-15: Gráfico del coeficiente de arrastre con respecto al número de Reynolds para un fluido del tipo ley de potencia con $n=0,4$ en régimen de flujo turbulento	84
Figura 5-16: Gráfico del número de Strouhal con respecto al número de Reynolds para un fluido del tipo ley de potencia con $n=0,4$ en régimen de flujo turbulento	84
Figura 5-17: Evolución en el tiempo del número de Nusselt para un número de Reynolds $Re_{LP} = 3,3 \times 10^3$ para un fluido tipo Ley de Potencia $n=0,4$ (Fuente: elaboración propia)..	85
Figura 5-18: Isotermas para un número de Reynolds $Re = 3,3 \times 10^3$ para tiempos adimensionales: (a) $t^* = 592,5$, (b) $t^* = 1185$, (c) $t^* = 1777,5$, (d) $t^* = 2370$ (Fuente: elaboración propia).....	86
Figura 5-19: Evolución en el tiempo del número de Nusselt para un número de Reynolds $Re_{LP} = 1,6 \times 10^4$ para un fluido tipo Ley de Potencia $n=0,4$ (Fuente: elaboración propia)...	86
Figura 5-20: Isotermas para un número de Reynolds $Re = 1,6 \times 10^4$ para tiempos adimensionales: (a) $t^* = 1620$, (b) $t^* = 3240$, (c) $t^* = 4860$, (d) $t^* = 6480$ (Fuente: elaboración propia).....	87
Figura 5-21 : Evolución en el tiempo del número de Nusselt para un número de Reynolds $Re_{LP} = 3,3 \times 10^4$ para un fluido tipo Ley de Potencia $n=0,4$ (Fuente: elaboración propia).....	88
Figura 5-22: Isotermas para un número de Reynolds $Re = 3,3 \times 10^4$ para tiempos adimensionales: (a) $t^* = 2500$, (b) $t^* = 5000$, (c) $t^* = 7500$, (d) $t^* = 10000$ (Fuente: elaboración propia).....	89
Figura 5-23: Evolución en el tiempo del número de Nusselt para un número de Reynolds $Re_{LP} = 3,3 \times 10^5$ para un fluido tipo Ley de Potencia $n=0,4$ (Fuente: elaboración propia)..	89
Figura 5-24: Isotermas para un número de Reynolds $Re = 3,3 \times 10^5$ para tiempos adimensionales: (a) $t^* = 10500$, (b) $t^* = 21000$, (c) $t^* = 31500$, (d) $t^* = 42000$ (Fuente: elaboración propia).....	90
Figura 5-25: Gráfico del número de Nusselt con respecto al número de Reynolds para un fluido del tipo ley de potencia con $n=0,4$ con régimen de flujo turbulento	91
Figura 6-1: Esquema de la situación física (Fuente: elaboración propia).....	95
Figura 6-2: Malla variable	99
Figura 6-3: Contorno de velocidad adimensional para $Re = 400$ en el caso de un fluido newtoniano (N) y para $Re = 626$ en el caso de un fluido no newtoniano del tipo ley de	

potencia (NN). (a) y (b) flujo canal, (c) y (d) $D/H=1/6$, (e) y (f) $D/H=1/4$, (g) y (h) $D/H=1/3$, (i) y (j) $D/H=5/12$ 100

Figura 6-4: Contorno temperatura adimensional para $Re=400$, $Pr=24$ en el caso de un fluido newtoniano (N) y para $Re=626$, $Pr=15$ en el caso de un fluido no newtoniano del tipo ley de potencia (NN). (a) y (b) flujo canal, (c) y (d) $D/H=1/6$, (e) y (f) $D/H=1/4$, (g) y (h) $D/H=1/3$, (i) y (j) $D/H=5/12$ 101

Figura 6-5: Comportamiento del número de Nusselt local para $Re=400$ y $Pr=24$ para fluido newtoniano (N) y $Re=626$ y $Pr=15$ para un fluido tipo Ley de Potencia $n=0,4$ (NN) 102

Figura 7-1: Esquema de la situación física (Fuente: elaboración propia)..... 107

Figura 7-2: Malla variable 111

Figura 7-3: Contorno de velocidad adimensional con $Re=1,2 \times 10^4$ para el fluido newtoniano (N) y con $Re=1,5 \times 10^5$ para el fluido tipo Ley de Potencia (NN): (a) y (b) flujo en canal, (c) y (d) $D/H=1/6$, (e) y (f) $D/H=1/4$, (g) y (h) $D/H=1/3$, (i) y (j) $D/H=5/12$ 112

Figura 7-4: Contorno de temperatura adimensional para $Re=1,2 \times 10^4$ para el fluido newtoniano (N) y $Re=1,5 \times 10^5$ para el fluido tipo Ley de Potencia (NN): (a) y (b) flujo en el canal, (c) y (d) $D/H=1/6$, (e) y (f) $D/H=1/4$, (g) y (h) $D/H=1/3$, (i) y (j) $D/H=5/12$ 113

Figura 7-5: Comportamiento del número de Nusselt local para $Re=1,2 \times 10^4$ para fluido newtoniano (N) y para $Re=1,5 \times 10^5$ para un fluido no newtoniano del tipo Ley de Potencia $n=0,4$ (NN)..... 114

Índice de Tablas

Tabla 3-1: Características del fluido (Fuente: Shames, 1995).....4

Tabla 3-2: Número de Strouhal obtenidos por Lienhard (1966) y en el presente trabajo para un fluido con comportamiento newtoniano (Fuente: elaboración propia).9

Tabla 3-3: Coeficiente de arrastre y número de Strouhal obtenidos por Lam (2008) y en el presente trabajo para un fluido con comportamiento newtoniano (Fuente: Elaboración propia).9

Tabla 3-4: Validación de la transferencia de calor.....23

Tabla 4-1: Características del fluido (Fuente: Propipe, 2011)29

Tabla 5-1: Características del fluido (Fuente: Propipe, 2011)70

Tabla 5-2: Velocidad de flujo para diferentes números de Reynolds en un fluido del tipo Ley de Potencia con $n=0,4$ (Fuente: elaboración propia).74

Tabla 6-1: Variación de la relación D/H.....	95
Tabla 6-2 Número de Nusselt, factor de fricción y rendimiento termo-hidráulico con $Re=400$ para un fluido Newtoniano (N) y para $Re=626$ para un fluido tipo Ley de Potencia (NN).....	103
Tabla 7-1: Variación de la relación D/H.....	107
Tabla 7-2: Número de Nusselt, factor de fricción y rendimiento termo-hidráulico con $Re=1,2 \times 10^4$ y $Pr=24$ para un fluido Newtoniano (N) y $Re=1,5 \times 10^5$ y $Pr=2$ para un fluido no newtoniano del tipo ley de potencia (NN).....	114