

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	i
DEDICATORIA.....	ii
RESUMEN.....	iii
ÍNDICE GENERAL.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	i
1.1. ANTECEDENTES.....	2
1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.3. SOLUCIÓN PROPUESTA.....	3
1.4. OBJETIVOS.....	3
1.4.1. Objetivo general.....	3
1.4.2. Objetivos específicos.....	3
1.5. RESULTADOS ESPERADOS.....	3
1.6. METODOLOGÍA.....	4
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. TÉCNICA DE VISUALIZACIÓN DE FLUIDOS.....	6
2.1.1. Dinámica de fluidos computacional.....	7
2.1.2. Visualización de fluidos.....	9
2.2. PROPIEDADES DEL FLUIDO.....	17
2.2.1. ¿Qué es un fluido?.....	17
2.2.2. Agua.....	18
2.3. CONVECCIÓN NATURAL.....	18
2.3.1. Convección natural de Rayleigh-Bénard.....	19
2.3.2. Número de Rayleigh.....	19

2.3.3.	Tipo de flujo	21
2.4.	INSIGHT 4G for tsi	22
2.5.	fortran	23
2.6.	TECPLOT.....	23
2.7.	Modelo matemático	24
2.7.1.	Métodos de volúmenes finitos.....	26
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA.....		27
3.1.	Alcances del proyecto.....	28
3.2.	CRONOGRAMA	28
3.3.	EQUIPO PIV y PLIF	29
3.4.	PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	33
3.4.1.	Calibración.....	33
3.4.2.	Pasos previos con software INSIGHT 4G.....	37
3.4.3.	Procedimiento según modo de trabajo.....	40
3.5.	PROCEDIMIENTO DE SIMULACIÓN	46
3.6.	PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	47
3.6.1.	Fluorescencia inducida por láser	47
3.6.2.	Velocimetría de imágenes de partículas	49
3.6.3.	Condiciones de borde del sistema	50
3.6.4.	Depósito de análisis de fluidos.....	50
3.7.	Casos de análisis.....	51
CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....		52
4.1.	Resultados del fluido	53
4.1.1.	Resultados experimentales de agua	53
4.1.2.	Resultados simulación de agua.....	59

4.2. Comparativa de resultados.....	65
4.3. Análisis de resultados	83
CONCLUSIONES.....	84
Consideraciones.....	85
ANEXO 1: PLANIFICACIÓN	89
ANEXO 1: CÁLCULO DE NÚMERO DE RAYLEIGH.....	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 CFD Caldera de lecho fluidizado. Fuente: Linjie Xu, Leming Cheng ELSEVIER...	8
Figura 2.2 CFD de turbina. Fuente: CyberLelinka.....	8
Figura 2.3 Campo de velocidades a través de burbujas. Fuente: (Gunt , 2022).....	10
Figura 2.4 Esquema de elementos PIV. Fuente: Elaboración propia.	11
Figura 2.5 Esquema de termómetro de líquido de vidrio. Fuente: La guía Meta.....	12
Figura 2.6 Termómetro de resistencia eléctrica. Fuente: Lifeder.com.....	13
Figura 2.7 Pirómetro óptico. Fuente: PCE Instrument.	13
Figura 2.8 Esquema de elementos PLIF. Fuente: Elaboración propia.	14
Figura 2.9 Esquema convección de Rayleigh-Bénard. Fuente: (Chang, 2019).....	19
Figura 2.10 Tipo de flujo de un fluido. Fuente: Elaboración propia.....	21
Figura 2.11 Situación física del modelo. Fuente: Elaboración propia.....	24
Figura 3.1 Cronograma para la medición experimental. Fuente: Elaboración propia.....	29
Figura 3.2 Equipo PIV/PLIF TSI. Fuente: Laboratorio ingeniería de procesos.....	30
Figura 3.3 Fuente de poder Láser CW. Fuente: Laboratorio ingeniería de procesos.	31
Figura 3.4 Láser 90° CW. Fuente: Laboratorio ingeniería de procesos.	31
Figura 3.5 Dispositivo Rayleight-Bernard. Fuente: Laboratorio ingeniería de procesos.	31
Figura 3.6 Controlador de temperatura Fuente: Laboratorio ingeniería de procesos.	31
Figura 3.7 Cámara Andor Zyla-5.5. Fuente: Laboratorio ingeniería de procesos.....	32
Figura 3.8 Filtro 545 nm fluoro. Fuente: Laboratorio ingeniería de procesos.	32
Figura 3.9 Sincronizador TSI. Fuente: Laboratorio ingeniería de procesos.....	32
Figura 3.10 Cavidad de 10x10 cm. Fuente: Laboratorio ingeniería de procesos.	32
Figura 3.11 Interfaz de configuración de Láser INSIGHT 4G. Fuente: Software INSIGHT 4G.	34
Figura 3.12 Posición de cámara hacia el área de fotografía. Fuente: Laboratorio ingeniería de procesos.	36
Figura 3.13 Conexión E para PIV. Fuente: Laboratorio ingeniería de procesos.....	37
Figura 3.14 Conexión G para PLIF. Fuente: Laboratorio ingeniería de procesos.....	37
Figura 3.15 Creación de nuevo experimento. Fuente: Software INSIGHT 4G.	38
Figura 3.16 Creación de nuevo Run. Fuente: Software INSIGHT 4G.....	38
Figura 3.17 Captura de imagen. Fuente: Software INSIGHT 4G.	38

Figura 3.18 Procesado de imagen. Fuente: Software INSIGHT 4G.	39
Figura 3.19 Etapas para la toma de datos en INSIGHT 4G. Fuente: Elaboración propia.	39
Figura 3.20 Configuración de hardware. Fuente: Software INSIGHT 4G.	40
Figura 3.21 Fluido con colorante rodamina B. Fuente: Laboratorio ingeniería de procesos. ...	41
Figura 3.22 IC a 22.8 °C. Fuente: Software INSIGHT 4G.	42
Figura 3.23 IC a 27.8 °C. Fuente: Software INSIGHT 4G.	42
Figura 3.24 IC a 32.9 °C. Fuente: Software INSIGHT 4G.	42
Figura 3.25 IC a 32.9 °C. Fuente: Software INSIGHT 4G.	42
Figura 3.26 IC a 42.6 °C. Fuente: Software INSIGHT 4G.	43
Figura 3.27 IC a 46.5 °C. Fuente: Software INSIGHT 4G.	43
Figura 3.28 Procesado de imágenes de calibración. Fuente: Software INSIGHT 4G.	43
Figura 3.29 Secuencia para metodología PLIF. Fuente: Elaboración propia.	44
Figura 3.30 Partículas trazadoras. Fuente: Laboratorio ingeniería de procesos.	45
Figura 3.31 Partículas diluidas en la cavidad. Fuente: Laboratorio ingeniería de procesos.	45
Figura 3.32 Etapas para desarrollar una simulación CFD. Fuente: Elaboración propia.	46
Figura 3.33 Toma de temperatura 32.7 °C. Fuente: Laboratorio de procesos.	47
Figura 3.34 Toma de temperatura 40.5 °C. Fuente: Laboratorio de procesos.	47
Figura 3.35 Captura PLIF 33.3 °C. Fuente: INSIGHT 4G.	48
Figura 3.36 Captura PLIF 40.04 °C. Fuente: INSIGHT 4G.	48
Figura 3.37 Procesamiento INSIGHT 4G. Fuente: INSIGHT 4G.	49
Figura 3.38 Procesamiento TECPLOT. Fuente: TECPLOT.	49
Figura 3.39 Depósito de análisis de fluidos. Fuente: Laboratorio de procesos.	50
Figura 4.1 Líneas de corriente experimentales prueba 1. Fuente: Elaboración propia.	54
Figura 4.2 Temperaturas experimentales prueba 1. Fuente: Elaboración propia.	54
Figura 4.3 Líneas de corriente experimental prueba 2. Fuente: Elaboración propia.	55
Figura 4.4 Temperaturas experimentales prueba 2. Fuente: Elaboración propia.	55
Figura 4.5 Líneas de corriente experimental prueba 3. Fuente: Elaboración propia.	56
Figura 4.6 Temperaturas experimentales prueba 3. Fuente: Elaboración propia.	56
Figura 4.7 Líneas de corriente experimental prueba 4. Fuente: Elaboración propia.	57
Figura 4.8 Temperaturas experimentales prueba 4. Fuente: Elaboración propia.	57
Figura 4.9 Líneas de corriente experimental prueba 5. Fuente: Elaboración propia.	58

Figura 4.10 Temperaturas experimentales prueba 5. Fuente: Elaboración propia.	58
Figura 4.11 Líneas de corriente experimental prueba 6. Fuente: Elaboración propia.....	59
Figura 4.12 Temperaturas experimentales prueba 6. Fuente: Elaboración propia.	59
Figura 4.13 Líneas de corriente simulación. prueba 1. Fuente: Elaboración propia.	60
Figura 4.14 Temperatura simulación prueba 1. Fuente: Elaboración propia.	60
Figura 4.15 Líneas de corriente simulación prueba 2. Fuente: Elaboración propia.	61
Figura 4.16 Temperatura simulación prueba 2. Fuente: Elaboración propia.	61
Figura 4.17 Líneas de corriente simulación prueba 3. Fuente: Elaboración propia.	62
Figura 4.18 Temperatura simulación prueba 3. Fuente: Elaboración propia.	62
Figura 4.19 Líneas de corriente simulación prueba 4. Fuente: Elaboración propia.	63
Figura 4.20 Temperatura simulación prueba 4. Fuente: Elaboración propia.	63
Figura 4.21 Líneas de corriente simulación prueba 5. Fuente: Elaboración propia.	64
Figura 4.22 Temperatura simulación prueba 5. Fuente: Elaboración propia.	64
Figura 4.23 Líneas de corriente simulación prueba 6. Fuente: Elaboración propia.	65
Figura 4.24 Temperatura simulación prueba 6. Fuente: Elaboración propia.	65
Figura 4.25 Cuadro comparativo líneas de corriente prueba 1. Fuente: Elaboración propia. ...	66
Figura 4.26 Cuadro comparativo temperaturas prueba 1. Fuente: Elaboración propia.....	67
Figura 4.27 Cuadro comparativo líneas de corriente prueba 2. Fuente: Elaboración propia	69
Figura 4.28 Cuadro comparativo temperaturas prueba 2. Fuente: Elaboración propia.....	70
Figura 4.29 Cuadro comparativo líneas de corriente prueba 3. Fuente: Elaboración propia	72
Figura 4.30 Cuadro comparativo temperaturas prueba 3. Fuente: Elaboración propia.....	73
Figura 4.31 Cuadro comparativo líneas de corriente prueba 4. Fuente: Elaboración propia	75
Figura 4.32 Cuadro comparativo temperaturas prueba 4. Fuente: Elaboración propia.....	76
Figura 4.33 Cuadro comparativo líneas de corriente prueba 5. Fuente: Elaboración propia	78
Figura 4.34 Cuadro comparativo temperaturas prueba 5. Fuente: Elaboración propia.....	79
Figura 4.35 Cuadro comparativo líneas de corriente prueba 6. Fuente: Elaboración propia	80
Figura 4.36 Cuadro comparativo temperaturas prueba 6. Fuente: Elaboración propia.....	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Propiedades físicas del agua. Fuente: Elaboración propia.	18
--	----

Tabla 2.3 Componentes del número de Rayleigh. Fuente: Elaboración propia.	20
Tabla 2.4 Tipo de flujo. Fuente: Elaboración propia.....	22
Tabla 3.1 Especificaciones del equipo. Fuente: Elaboración propia.....	33
Tabla 3.2 Funcionalidad de parámetros de configuración de laser. Fuente: Elaboración propia.	35
Tabla 3.3 Casos de análisis en la experimentación y simulación. Fuente: Elaboración propia.	51
Tabla 4.1 Resultados de velocidad experimental y simulación en prueba 1. Fuente: Elaboración propia.....	67
Tabla 4.2 Resultados de temperatura experimental y simulación prueba 1. Fuente: Elaboración propia.....	68
Tabla 4.3 Resultados de velocidad experimental y simulación en prueba 2. Fuente: Elaboración propia.....	70
Tabla 4.4 Resultados de temperatura experimental y simulación prueba 2. Fuente: Elaboración propia.....	71
Tabla 4.5 Resultados de velocidad experimental y simulación en prueba 3. Fuente: Elaboración propia.....	73
Tabla 4.6 Resultados de temperatura experimental y simulación en prueba 3. Fuente: Elaboración propia.....	74
Tabla 4.7 Resultados de velocidad experimental y simulación en prueba 4. Fuente: Elaboración propia.....	76
Tabla 4.8 Resultados de temperatura experimental y simulación en prueba 4. Fuente: Elaboración propia.....	77
Tabla 4.9 Resultados de velocidad experimental y simulación en prueba 5. Fuente: Elaboración propia.....	78
Tabla 4.10 Resultados de temperatura experimental y simulación en prueba 5. Fuente: Elaboración propia.....	80
Tabla 4.11 Resultados de velocidad experimental y simulación en prueba 6. Fuente: Elaboración propia.....	81
Tabla 4.12 Resultados de temperatura experimental y simulación en prueba 6. Fuente: Elaboración propia.....	82