



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍAS

Simulación Numérica de Termofluidos de una Bomba Centrífuga para un Prototipo OTEC de 1 kWe en el Mar Caribe Mexicano.

PROYECTO TERMINAL

PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO INDUSTRIAL

REALIZADO POR

Oscar Sierra Llanes

Cristian Alan Carrillo Martínez

Asesor:

Dr. Víctor Manuel Romero Medina

Cancún, Quintana Roo a 22 de noviembre de 2021



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍAS

Simulación Numérica de Termofluidos de una Bomba Centrífuga para un Prototipo OTEC de 1 kWe en el Mar Caribe Mexicano.

PROYECTO TERMINAL

PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO INDUSTRIAL
INGENIERO AMBIENTAL

REALIZADO POR

Oscar Sierra Llanes

Cristian Alan Carrillo Martínez

Asesor:

Dr. Víctor Manuel Romero Medina

Comité:

IME. Jarmen Said Virgen Suarez

IME. Leslye Johanna Ramírez Carmona

Titular de la Asignatura:

Dra. Estela Cerezo Acevedo

Cancún, Quintana Roo a 22 de noviembre de 2021

CARTA BENEFICIARIO



CARTA DE ACEPTACIÓN

Cancún, Quintana Roo, México a 18 de agosto del 2021

ASUNTO: CARTA DE ACEPTACIÓN

Dra. Estela Cerezo Acevedo
Profesora investigadora
Titular de la Asignatura de Proyecto Terminal
Universidad del Caribe
Presente

Por este medio me permito comunicar que deseamos formalizar nuestra intención e interés de ser beneficiarios y participar activamente en el desarrollo del Proyecto Terminal: ***Simulación numérica mediante el programa Ansys Fluent de la bomba centrífuga de flujo axial Lederle Hermetic CAM 1 de un prototipo de planta maremotérmica de 1 kWe en el mar caribe mexicano***, que realizan los estudiantes ***Oscar Sierra Llanes*** y ***Cristian Alan Carrillo Martínez***, de las Licenciaturas en Ingeniería Industrial e Ingeniería Ambiental, respectivamente, de la Universidad del Caribe, dirigidos por el ***Dr. Víctor Manuel Romero Medina***. En nuestra organización el proyecto será asignado al área de la ***Línea Estratégica de Gradiente Térmico del CEMIE-Océano***, y el contacto directo se puede realizar con el ***Dr. Miguel Alatorre Mendieta***, a quien pueden contactar en maam@cmarl.unam.mx

Sin otro particular, agradezco su atención.

ATENTAMENTE

Dr. Miguel Ángel Alatorre Mendieta
Líder de Gradiente Térmico
CEMIE-Océano

CONTENIDO

RESUMEN	20
ABSTRACT	21
1. INTRODUCCIÓN	22
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	23
1.2 ANTECEDENTES	23
1.2.1 Primer mecanismo de elevación de agua.....	23
1.2.2 Primera bomba hidráulica.....	23
1.2.3 Desarrollo de las bombas centrífugas.....	24
1.2.4 Uso de las bombas centrífugas en México	25
1.3 SITUACIÓN ACTUAL.....	26
1.4 ESTADO DEL ARTE	26
1.5 PROPUESTA	27
1.6 JUSTIFICACIÓN	28
1.7 OBJETIVOS	28
1.7.1 Objetivo General.....	28
1.7.2 Objetivos Específicos	28
1.8 HIPÓTESIS	28
1.9 MARCO TEÓRICO.....	28
1.9.1 Simulación numérica	29
1.9.2 Ansys Fluent.....	29
1.9.3 Simulación numérica en Ansys Fluent.....	29
1.9.4 Bomba	29
1.9.5 Bomba centrífuga	29
1.9.6 Bomba centrífuga de flujo axial.....	30
1.9.7 Impulsor o rodete.....	31
1.9.8 Cubierta o voluta.....	31
1.9.9 Eje	32
1.9.10 Anillo de desgaste	32
1.9.11 Cierre hidráulico.....	32
1.9.12 Ecuaciones de conservación	32

1.9.13	Conservación de masa y cantidad de movimiento.....	33
1.9.14	Conservación de energía.....	33
1.9.15	Triángulo de velocidades.....	34
2.	METODOLOGÍA.....	36
2.1	ETAPA 1.....	36
2.1.1	Seleccionar del objeto de estudio.....	36
2.1.2	Consultar las características técnicas de la bomba.....	36
2.1.3	Dibujar la geometría de la bomba en SolidWorks.....	36
2.1.4	Definir el volumen de control del fluido en SolidWorks.....	36
2.2	ETAPA 2.....	36
2.2.1	Exportar el volumen de control del fluido al programa Ansys Fluent.....	36
2.2.2	Discretizar el volumen de control del fluido de la bomba.....	37
2.2.3	Establecer las condiciones de operación de la bomba y propiedades termofísicas del refrigerante R-152a.....	37
2.3	ETAPA 3.....	37
2.3.1	Realizar la simulación de la bomba.....	37
2.3.2	Analizar los resultados.....	37
3.	DESARROLLO.....	39
3.1	SELECCIÓN DE LA BOMBA COMERCIAL LEDERLE HERMETIC.....	39
3.2	CONSULTA DE LAS DIMENSIONES DE LA BOMBA PARA SU MODELADO.....	41
3.3	MODELADO DE LA BOMBA CENTRÍFUGA MEDIANTE SOLIDWORKS.....	44
3.3.1	Modelado del primer impulsor.....	44
3.3.2	Modelado del segundo impulsor.....	49
3.3.3	Modelado del tercer impulsor.....	53
3.3.4	Modelado del eje.....	56
3.3.5	Modelado de la cubierta.....	59
3.4	ENSAMBLAJE COMPLETO DE LA BOMBA.....	68
3.5	MODELADO DEL VOLUMEN DE FLUIDO.....	71
3.5.1	Consulta de las dimensiones para el modelado del volumen de fluido.....	71
3.5.2	Modelado CAD en SolidWorks del volumen de fluido.....	72
3.6	ENSAMBLAJE DEL VOLUMEN DE FLUIDO.....	74
3.6.1	Restricción de coincidencia.....	74

3.6.2	Eliminación de los sólidos.....	76
3.7	DIVISIÓN DEL VOLUMEN DE FLUJO INTERNO.....	80
3.7.1	Volumen de entrada	81
3.7.2	Volumen de primer impulsor	81
3.7.3	Volumen del primer soporte.....	82
3.7.4	Volumen del segundo impulsor.....	82
3.7.5	Volumen del segundo soporte	83
3.7.6	Volúmenes del tercer impulsor y la voluta	84
3.8	SIMULACIÓN DE TERMOFLUIDOS MEDIANTE ANSYS FLUENT 18.2	85
3.8.1	Exportación del volumen de fluido a Ansys Fluent 18.2	85
3.8.2	Geometría (<i>Geometry</i>).....	86
3.8.3	Discretización (<i>Mesh</i>)	98
3.8.4	Configuración (<i>Setup</i>).....	100
3.8.5	Resolución (<i>Solution</i>).....	105
4.	RESULTADOS.....	107
4.1	Simulación con presión manométrica de 412 kPa y velocidad rotacional de 3440 rpm utilizando un modelo de flujo laminar.....	107
4.1.1	Distribución de la presión a través del volumen de fluido	108
4.1.2	Distribución de la magnitud de velocidad a través del volumen de fluido	110
4.1.3	Vectores de velocidad en el volumen de fluido.....	112
4.2	Simulaciones con presión manométrica de 412 kPa a diferentes velocidades rotacionales utilizando un modelo de flujo laminar	114
4.2.1	Variación del flujo másico respecto a las rpm.....	115
4.2.2	Variación del flujo volumétrico respecto a las rpm.....	115
4.3	Simulación con presión manométrica de 412 kPa y velocidad rotacional de 3440 rpm utilizando un modelo de turbulencia K-omega.....	116
4.3.1	Distribución de la presión a través del volumen de fluido	117
4.3.2	Distribución de la magnitud de velocidad a través del volumen de fluido	119
4.3.3	Vectores de velocidad en el volumen de fluido.....	121
4.4	Simulaciones con presión manométrica de 412 kPa a diferentes velocidades rotacionales utilizando un modelo de turbulencia k-omega	123
4.4.1	Variación del flujo másico respecto a las rpm.....	123
4.4.2	Variación del flujo volumétrico respecto a las rpm.....	124

5. DISCUSIÓN.....	125
6. CONCLUSIONES	126
6.1 Recomendaciones que se plantean en relación al problema de estudio.....	126
7. REFERENCIAS	127
8. ANEXOS.....	129
8.1 INDICE DE ANEXOS	129

RESUMEN

Actualmente, el CASES de la Universidad del Caribe está colaborando con el grupo interdisciplinario CEMIE-Océano desarrollando el prototipo de una planta OTEC de 1 kWe para el Caribe mexicano. Como parte de las investigaciones para el desarrollo del prototipo, el CASES cuenta con una línea de investigación enfocada a la simulación numérica de cada uno de sus cuatro componentes principales: bomba, evaporador, turbina-generator y condensador; por lo anterior, el presente trabajo tiene como objetivo principal la simulación de la bomba centrífuga comercial de flujo axial modelo Lederle Hermetic CAM 1, que impulsa al fluido de trabajo, R152a, durante todo el ciclo termodinámico.

El proceso de simulación consiste en 5 etapas fundamentales, para llevarse a cabo se da inició con la definición de la geometría de la bomba, mediante el uso de una herramienta de modelado CAD como SolidWorks se desarrollaron los modelos 3D de los diferentes componentes que lo conforman junto con su ensamblaje correspondiente. Seguidamente se procedió a la discretización del volumen de fluido, esta etapa consiste en la generación de una malla de volúmenes finitos en el espacio que ocupa el fluido dentro de la bomba. Posteriormente se realizó la selección de los modelos numéricos, las propiedades de los materiales que conforman la bomba y el fluido R152a y se establecieron las condiciones de frontera (condiciones de operación de la bomba) que son necesarias para la simulación. Por último, se realiza la simulación mediante el programa Ansys Fluent versión 18.2 y se finalizará con el análisis de los resultados obtenidos.

Mediante la validación de la simulación numérica con las condiciones de operación de la bomba comercial será posible utilizar el programa de simulación para el desarrollo de nuevos proyectos.

PALABRAS CLAVE: Bomba centrífuga, Modelado CAD, Simulación Numérica CFD, FEM, Energía maremotérmica, OTEC.