



**CEMIE-Océano**

Centro Mexicano de Innovación  
en Energía – Océano

**Energía por Gradiente Térmico**

**G-LE2**

**MEMORIAS DE CÁLCULO DEL PROTOTIPO OTEC-CC-MX-1kWe**



# Centro Mexicano en Innovación de Energías del Océano

Acrónimo:	CEMIE-Océano		
Número de etapa:	8	Fecha de entrega	18/05/2022.
Nombre de la línea:	Energía por Gradiente Térmico		
Responsable de la línea:	Dr. Miguel Ángel Alatorre Mendieta		
Nombre de la acción:	Desarrollo de prototipos y microplantas para la obtención y almacenamiento de energía a partir de gradientes de temperatura específicamente diseñados para optimizar los procesos a partir de las características de los recursos nacionales		
Responsable de la acción:	Dra. Estela Cerezo Acevedo		
Título del entregable:	Memorias de cálculo del prototipo OTEC-CC-MX-1kWe.		
Autores: (Indicar entre paréntesis su adscripción)	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Dra. Estela Cerezo Acevedo (UNICARIBE)</li><li>2. Ing. Jessica Guadalupe Tobal Cupul (UNICARIBE)</li><li>3. Dr. Víctor Manuel Romero Medina (UNICARIBE)</li><li>4. Ing. Enrique Alberto Avilés Encalada (UNICARIBE)</li><li>5. Ing. Luis Melesio García Juárez (UNICARIBE)</li></ol>		
Estatus:  (Final, Avance, Borrador, Aprobado)	Final		
Página de internet del proyecto:	<a href="http://www.cemieoceanomx.com">www.cemieoceanomx.com</a>		
Inicio del proyecto:	01 de enero de 2017.		
Notas			



## CONTENIDO

CONTENIDO.....	III
ÍNDICE DE FIGURAS .....	IV
ÍNDICE DE TABLAS .....	V
1. INTRODUCCIÓN .....	6
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	6
2.1. SELECCIÓN DEL FLUIDO DE TRABAJO .....	6
2.2. CONDICIONES DE DISEÑO .....	8
2.3. BASES GENERALES DE DISEÑO DEL PROTOTIPO.....	10
2.4. BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA.....	11
2.5. DIMENSIONAMIENTO DE TUBERÍAS .....	15
2.6. CÁLCULO DE LA CAÍDA DE PRESIÓN .....	16
3. RESULTADOS .....	18
3.1. SELECCIÓN DEL FLUIDO DE TRABAJO .....	18
3.2. LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA .....	19
3.3. BALANCE DE MASA Y ENERGÍA .....	20
3.4. DIÁMETRO DE LA TUBERÍA DE COBRE EN LAS LÍNEAS DEL FLUIDO REFRIGERANTE .....	23
3.5. CAÍDA DE PRESIÓN .....	24
4. REFERENCIAS.....	30
5. ANEXOS .....	32
5.1. ANEXO I .....	32
5.2. ANEXO II .....	33
5.3. ANEXO III .....	34

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Gradiente de temperatura promedio entre 10 y 700 m. ....	9
Figura 2.2. Perfil de temperaturas con respecto a la profundidad. ....	10
Figura 2.3. Diagrama de flujo del ciclo Rankine del prototipo OTEC-CC-MX-1kWe.....	11
Figura 2.4. Desviación del ciclo Rankine real respecto al ideal.....	12

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Valores de los parámetros en cada una de las ponderaciones. ....	8
Tabla 3.1. Valores de los parámetros de selección para los fluidos restantes después del primer filtro. .....	18
Tabla 3.2. Primeras tres posiciones en las evaluaciones de las cinco ponderaciones. ....	18
Tabla 3.3. Información química, física y de compatibilidad del R152a. ....	19
Tabla 3.4. Balance de masa y energía del ciclo OTEC-CC para producir 1.0 kW ..... 23	23
Tabla 3.5. Longitud total de las tuberías en las líneas que van de la bomba a la turbina ..... 24	24
Tabla 3.6. Constante de caída de presión en accesorios en las líneas de la bomba a la turbina..... 27	27
Tabla 3.7. Caídas de presión en las líneas del fluido del prototipo OTEC-CC-MX-1kWe ..... 29	29
Tabla 3.8. Estados termodinámicos antes de entrar al equipo conectado al final de la línea del prototipo OTEC-CC-MX..... 29	29

## 1. INTRODUCCIÓN

El aprovechamiento de la energía por gradiente térmico (OTEC, por sus siglas en inglés), es la tecnología que utiliza la diferencia de temperatura entre la superficie y el agua subsuperficial (hasta 1000 m de profundidad) del océano para la producción energética a través de un ciclo termodinámico. Según diversas investigaciones, México cuenta con potencial para el aprovechamiento de este recurso renovable, por lo que es de interés desarrollar equipos específicamente diseñados para el aprovechamiento del recurso térmico de los mares mexicanos.

Desde 2017, la Universidad del Caribe participa en el Centro Mexicano de Innovación en Energía del Océano (CEMIE-O) en el desarrollo de un prototipo de planta OTEC a nivel laboratorio, de tipo ciclo cerrado para la producción de 1 kWe. Este prototipo fue llamado OTEC-CC-MX-1kWe y es el primero de su clase a nivel Latinoamérica, diseñado específicamente para las condiciones de temperatura del Mar Caribe Mexicano.

En el presente trabajo se muestra las memorias de cálculo del diseño del prototipo OTEC-CC-MX-1kWe. El informe se divide en diferentes secciones donde se aborda: 1) la selección del fluido de trabajo, 2) la selección del sitio de estudio para los parámetros de diseño, 3) el balance de masa y energía, 4) el dimensionamiento de tuberías y 5) el cálculo de la caída de presión. De igual manera, en los anexos se presentan los planos de tubería e instrumentación, así como el plano 3D del prototipo OTEC.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. SELECCIÓN DEL FLUIDO DE TRABAJO

Se definieron distintos parámetros referentes a las características ambientales, de seguridad y de eficiencia térmica para seleccionar aquel fluido que mejor cumplieran los requerimientos para el prototipo OTEC-CC-MX-1kWe a nivel laboratorio. Los parámetros utilizados para esta selección fueron:

1. Potencial de Destrucción del Ozono (ODP)
2. Capacidad de Calentamiento Global a 100 años (GWP)
3. Presión de saturación a 15.56 °C ( $P_v$ )
4. valores de  $\beta$  y  $\varphi$ .
5. Menor Límite de Inflamabilidad (LFL)
6. Límite de Exposición Profesional (OEL)
7. Costos

Los valores de ODP, GWP, LFL y OEL se consultaron en la tabla *“Physical, Safety and Environmental Data for Refrigerants (sorted by ASHRAE 34 designations 2010)”*, presente en la tabla *“Physical, Safety and Environmental Data for Current and Alternative Refrigerants”* de Calm y Hourahan.