



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE QUÍMICA

**EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DE UNA
PLANTA DESALADORA MED ACOPLADA CON
RECURSO GEOTÉRMICO DE BAJA ENTALPÍA.**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO QUÍMICO**

P R E S E N T A:

JOSÉ GUADALUPE MARTÍNEZ ORTEGA



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2019



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE:	Profesor: JUAN MARIO MORALES CABRERA
VOCAL:	Profesor: MARIA ALEJANDRA CABELLO ROSALES
SECRETARIO:	Profesor: HÉCTOR MIGUEL AVIÑA JIMÉNEZ
1er. SUPLENTE:	Profesor: ILEANA RODRIGUEZ CASTAÑEDA
2° SUPLENTE:	Profesor: JESUS ENRIQUE VARGAS MEDRANO

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM, CIUDAD UNIVERSITARIA

ASESOR DEL TEMA:

DR. HÉCTOR MIGUEL AVIÑA JIMENÈZ

SUSTENTANTE:

JOSÉ GUADALUPE MARTÍNEZ ORTEGA

Contenido

1. ANTECEDENTES.....	18
1.1 CONTEXTO DE LA DMG	19
1.2 RECURSOS HIDRICOS	19
1.2.1 GENERALIDADES	19
1.2.2 DISTRIBUCIÓN DE RECURSOS HIDRICOS A NIVEL MUNDIAL.....	20
1.2.3 RECURSOS HÍDRICO EN MÉXICO.....	23
1.2.4 USOS DEL AGUA EN MÉXICO	25
1.2.5 CONTRASTE REGIONAL ENTRE DESARROLLO Y AGUA RENOVABLE.....	27
1.3 DESALACION.....	28
1.3.1 DEFINICION	28
1.3.2 VISION GENERAL DE LOS SISTEMAS DE DESALACIÓN Y TECNOLOGÍAS COMUNES A NIVEL MUNDIAL.....	29
1.3.3 DESALACIÓN EN MÉXICO.....	32
1.3.4 DESALACIÓN CON ENERGÍAS RENOVABLES.....	34
1.3.5 SELECCIÓN DEL PROCESO DE DESALINIZACIÓN	51
1.3.6 TECNOLOGIAS DE DESALACIÓN	52
1.3.7 ENERGÍAS RENOVABLES EN MÉXICO	60
1.3.8 COSTO DE DESALINIZACIÓN ACOPLADA A ENERGÍAS RENOVABLES.....	65
2. PROCESO DESALADORA MODULAR GEOTÉRMICA DMG	68
2.....	69
2.1 ALCANCE	69
2.2 PROTIPO DESARROLLADO	69
2.2.1 VALIDACIÓN TÉCNICA DEL PROCESO.....	70
2.2.2 MANUFACTURA E INTEGRACIÓN DE DISPOSITIVOS DEL PROTOTIPO.....	71
2.2.3 PRUEBAS PRELIMINARES	72
2.2.4 PROTOTIPO INTEGRADO PARA PRUEBAS	72
2.3 DESCRIPCION DEL PROCESO.....	74
2.4 BALANCE TERMODINÁMICO Y DEFINICION DE PARÁMETROS DE OPERACIÓN	76
2.4.1 ECUACION DE CONSERVACION DE ENERGÍA	76
2.4.2 ECUACIÓN DE CONSERVACIÓN DE MASA.....	77
2.5 CONDICIONES OPERACIONALES DE LA UNIDAD DMG-100.....	78
2.5.1 ENTORNO AMBIENTAL DE OPERACIÓN DE LA UNIDAD DMG	78
2.5.2 METODOLOGIA DE RESOLUCIÓN DEL PROBLEMA.....	87
3. EVALUACIÓN ECONÓMICA.	90

3.....	91
3.1 MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS.....	91
3.1.1 VALOR PRESENTE NETO.....	91
3.1.2 EL CRITERIO DE LA TASA INTERNA DE RETORNO (TIR).....	93
3.1.3 CRITERIO DE INVERSIÓN EN FUNCIÓN DEL B/C.....	94
3.1.4 EL PERIODO DE RECUPERACIÓN O PAYBACK.....	95
3.2 ELEMENTOS PARA LA EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	96
3.3 INVERSIÓN TOTAL.....	97
3.3.1 COSTO DIRECTO DE CAPITAL O INVERSIONES FIJAS.....	97
3.3.2 COSTO INDIRECTO DE CAPITAL O INVERSIONES DIFERIDAS.....	97
3.3.3 COSTO DE OPERACIÓN u OPEX.....	99
3.3.4 INGRESOS.....	104
3.3.5 CÁLCULO DE LA INVERSIÓN TOTAL.....	108
3.3.6 COSTOS.....	111
3.3.7 FLUJO DE EFECTIVO.....	116
3.3.8 EVALUACIÓN FINANCIERA E INDICADORES ECONÓMICOS.....	132
3.4 RESULTADOS GENERALES DEL ANÁLISIS ECONÓMICO.....	134
4. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.....	143
4.....	144
4.1 INTRODUCCIÓN.....	144
4.2 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.....	144
4.2.1 PRIMER ESCENARIO, REGIÓN II NOROESTE.....	145
4.2.2 SEGUNDO ESCENARIO, REGIÓN VIII LERMA SANTIAGO PACIFICO.....	147
4.2.3 TERCER ESCENARIO, REGIÓN XIII AGUAS DEL VALLE DE MÉXICO.....	149
4.2.4 CONCLUSIÓN OBTENIDA PARA LOS 3 ESCENARIOS PROPUESTOS.....	151
4.3 CAPACIDAD RENTABLE PARA LOS 3 ESCENARIOS PROPUESTOS.....	151
I. CONCLUSIONES GENERALES.....	154
II. REFERENCIAS.....	156
SECCIÓN DE ANEXOS	
III. ACTUALIZACIÓN DE COSTOS DE EQUIPOS.....	167
IV. CORRELACIONES USADAS PARA LA DESALADORA MODULAR GEOTÉRMICA.....	170
V. DIFERENCIA DE TEMPERATURA MEDIA LOGARÍTMICA.....	173
VI. CONAGUA SISTEMA NACIONAL DE TARIFA.....	176
VII. RESULTADOS OBTENIDOS DE LA DMG.....	177

VIII.	DESGLOSE GENERAL DEL ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA DMG.	187
IX.	UNIDADES MÍNIMAS EN EL PUNTO DE EQUILIBRIO	194
X.	DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO DE LA DMG EN ASPEN PLUS.....	197
XI.	BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA DE LA UNIDAD DMG	198

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1	DISTRIBUCIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS A NIVEL GLOBAL. DISPONIBLE EN: HTTPS://AGUA.ORG.MX/EN-EL-PLANETA/...	20
FIGURA 2	RESERVAS DE AGUA DULCE EN EL MUNDO POR REGIÓN, 2015 (SEMARNAT, 2015).	22
FIGURA 3	VALORES MEDIOS ANUALES DE LOS COMPONENTES DEL CICLO HIDROLÓGICO EN MÉXICO A 2017 (MILLONES DE M ³) (DATOS DE CONAGUA).	23
FIGURA 4	CONTRASTE REGIONAL ENTRE AGUA RENOVABLE Y DESARROLLO (AGUA, 2016).	27
FIGURA 5	ENTRADAS Y SALIDAS PRINCIPALES EN UN PROCESO DE DESALINIZACIÓN (BUROS, 2000).	28
FIGURA 6	CAPACIDAD INSTALADA A NIVEL MUNDIAL (1965-2017) (SEAMONDS, 2017)	29
FIGURA 7	CAPACIDAD DE LAS DISTINTAS PLANTAS DE DESALINIZACIÓN A NIVEL MUNDIAL (IDA, 2015).	30
FIGURA 8	DISTRIBUCIÓN DE CAPACIDADES DE DESALINIZACIÓN A NIVEL GLOBAL (LATTEMAN & AMY, 2010).	31
FIGURA 9	APLICACIONES DE ENERGÍA RENOVABLE PARA LA DESALINIZACIÓN, INCLUIDA LA ENERGÍA GEOTÉRMICA (ALBERTO, 2012).	34
FIGURA 10	EVOLUCIÓN DE LA CAPACIDAD GLOBAL DE ENERGÍA RENOVABLES (ALI & DRIOLI, 2018).	36
FIGURA 11	ESTRUCTURA INTERNA DE LA TIERRA.	37
FIGURA 12	PROPAGACIÓN DEL FLUJO DE CALOR POR CONDUCCIÓN (POUS & JUTGLAR, 2004).	38
FIGURA 13	ILUSTRACIÓN DE UN POZO GEOTÉRMICO CON SU LAZO DE CIRCUITO CERRADO.	39
FIGURA 14	ESQUEMA DE UN RECURSO GEOTÉRMICO (JUYTGLAR, MIRANDA BARRERAS, & VILLARUBIA, 2011).	40
FIGURA 15	CLASIFICACIÓN DE LOS DIFERENTES TIPOS DE YACIMIENTOS GEOTÉRMICOS.	43
FIGURA 16	LOS 10 PRINCIPALES PAÍSES GEOTÉRMICOS BASADOS EN LA CAPACIDAD DE GENERACIÓN DE ENERGÍA INSTALADA [14,600 MW INSTALADA EN TOTAL]. (FUENTE: HTTP://WWW.THINKGEOENERGY.COM/)	44
FIGURA 17	LOCALIZACIÓN DE LAS PRINCIPALES CENTRALES DE GENERACIÓN GEO TERMOELÉCTRICAS (CARRANZA, 2018).	45
FIGURA 18	CAPACIDAD INSTALADA PARA USOS DIRECTOS PARA DIFERENTES PERIODOS (LUND & BOYD, 2016).	46
FIGURA 19	RANGOS DEL FACTOR DE CAPACIDAD (EN PORCENTAJES) REPORTADOS POR DIVERSAS FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLES (CHAMORRO ET AL., 2012).	48
FIGURA 20	EFFECTO DEL AHORRO ENERGÉTICO DE UNA PLANTA CONVENCIONAL AL UTILIZAR ENERGÍA GEOTÉRMICA A DIFERENTES TEMPERATURAS (LUND & BOYD, 2016).	49
FIGURA 21	ÁREAS CON ALTO POTENCIAL GEOTÉRMICO (SANNER, 2006).	50
FIGURA 22	APLICACIÓN DE ENERGÍA GEOTÉRMICA EN DESALINIZACIÓN Y COGENERACIÓN (PRODUCCIÓN DE AGUA Y ENERGÍA).	51
FIGURA 23	CLASIFICACIÓN DE LOS PROCESOS DE DESALINIZACIÓN DEL AGUA.	52

FIGURA 24 DIAGRAMA DE PROCESO DE DESTILACIÓN DE MULTI-ETAPAS FLASH (MSF) (BUROS, 2000).	54
FIGURA 25 ESQUEMA DEL PROCESO MED (GRUPO IIDEA,2012)	56
FIGURA 26 DIAGRAMA DEL PROCESO DE DESTILACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR [VC] (BUROS, 2000).	58
FIGURA 27 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL PROCESO DE ÓSMOSIS INVERSA (BUROS, 2000).	59
FIGURA 28 PROTOTIPO DE MED-LE DESARROLLADA POR IIDEA (MEXICALI, BC) (CORTESÍA DEL GRUPO IIDEA).	70
FIGURA 29 SIMULACIÓN DEL PROCESO DMG EN ASPEN PLUS.	71
FIGURA 30 CONSTRUCCIÓN DE CÁMARA PROTOTIPO, INSTALACIÓN DE DISPOSITIVOS DE BOMBEO Y ANÁLISIS DE AGUA DE MAR PARA PREPARACIÓN DE AGUA SALINA PARA PRUEBAS, CORTESÍA DEL GRUPO IIDEA.	71
FIGURA 31 PRUEBAS OPERATIVAS Y VERIFICACIÓN DE FUNCIONAMIENTO DE LA INSTRUMENTACIÓN, CORTESÍA DEL GRUPO IIDEA..	72
FIGURA 32 PROTOTIPO FINAL DMG PARA PRUEBAS, CORTESÍA DEL GRUPO IIDEA.	72
FIGURA 33 ESQUEMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE DESALACIÓN DMG (GRUPO IIDEA, 2012).	75
FIGURA 34 ESQUEMA GENERAL DE UN PROCESO DE DESALINIZACIÓN POR CAMBIO DE FASE CON FLUJOS DE ENERGÍA (GUDE, NIRMALAKHANDAN, & DENG, 2011).	76
FIGURA 35 REPRESENTACIÓN DE LA UNIDAD DESALADORA MODULAR GEOTÉRMICA PROPUESTA PARA LA ETAPA DE LA SIMULACIÓN EN EXCEL.	80
FIGURA 36 ESQUEMATIZACIÓN DE VOLUMEN DE CONTROL DE LA PRIMERA ETAPA.	81
FIGURA 37 ESQUEMATIZACIÓN DE VOLUMEN DE CONTROL DE 2DA Y 3RA ETAPA.	82
FIGURA 38 ESQUEMATIZACIÓN DE VOLUMEN DE CONTROL PARA CONDENSADOR PRINCIPAL	83
FIGURA 39 METODOLOGÍA DE RESOLUCIÓN DE LA DESALADORA MODULAR GEOTÉRMICA.	87
FIGURA 40 PRINCIPALES COMPONENTES PARA EL ANÁLISIS DE COSTOS PARA UN PROCESO DE DESALINIZACIÓN (GABRIEL, LINKE, &EL-HALWAGI, 2015).	96
FIGURA 41 DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURA EN UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE FLUJO PARALELO DE UN PASO.....	175
FIGURA 42 TEMPERATURA EN UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE FLUJO TRANSVERSAL DE UN PASO.	175

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 PLANTAS DESALINIZADORAS DE AGUAS INSTALADAS EN MÉXICO POR ENTIDAD FEDERATIVA (IDA,2007).	33
TABLA 2 POSIBLES COMBINACIONES DE ENERGÍA RENOVABLES CON TECNOLOGÍAS DE DESALACIÓN RESPECTO AL TIPO DE FLUIDO A DESALAR (MAHMOUDI ET AL., 2010).	35
TABLA 3 CLASIFICACIÓN DE LOS RECURSOS GEOTÉRMICOS.	41
TABLA 4 CAMPOS GEOTÉRMICOS DE MÉXICO.....	45
TABLA 5 CLASIFICACIÓN DE PROCESO DE DESALACIÓN (PHN & DEL, 2001).	53
TABLA 6 CONSUMO DE ENERGÍA Y COSTOS DE PRODUCCIÓN PARA PLANTAS DESALINIZADORAS ACOPLADAS CON ENERGÍAS RENOVABLES (AL-KARAGHOULI, RENNE, & KAZMERSKI, 2009).	65

TABLA 7 COMPARATIVA DE PARÁMETROS ENTRE TECNOLOGÍAS APLICABLES A DESALACIÓN DE AGUA DE MAR (VOUTCHKOV, 2012.	66
TABLA 8 PARÁMETRO DEL SISTEMA MED CON GEOTERMIA DE BAJA ENTALPÍA.....	73
TABLA 9 CARACTERÍSTICAS OPERATIVAS MED-MED-LE.....	73
TABLA 10 DATOS DE ENTORNO AMBIENTALES PARA SISTEMA DMG	78
TABLA 11 CONDICIONES DEL SERVICIO DE AGUA DE MAR ENSENADA, BAJA CALIFORNIA (CORREA,2007).....	78
TABLA 12 DATOS OPERATIVOS PARA CADA UNA DE LAS CÁMARAS DE LA DMG.	79
TABLA 13 COMPARACIÓN DEL FACTOR DE CONCENTRACIÓN FC (AGUA DE MAR) PARA DIFERENTES PROCESO DE DESALINIZACIÓN	85
TABLA 14 INTERPRETACIÓN DEL VALOR PRESENTE NETO (VPN) (VELEZ-PAREJA, 2009).	92
TABLA 15 INTERPRETACIÓN DE LA TASA INTERNA DE RETORNO (TIR) (VELEZ-PAREJA, 2009).	94
TABLA 16 INTERPRETACIÓN DEL COEFICIENTE BENEFICIO/COSTO (B/C) (VELEZ-PAREJA, 2009).	94
TABLA 17 VALORES TÍPICOS COMUNES REPORTADOS EN LA LITERATURA.	99
TABLA 18 DATOS HISTÓRICOS USD/MXN.....	100
TABLA 19 CANTIDAD DE PERSONAL REQUERIDAS PARA LA PUESTA EN MARCHA DE LA DMG.	101
TABLA 20 SUPOSICIONES ESTABLECIDOS PARA EL ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA DMG.	103
TABLA 21 DATOS DE ENTRADA PARA EL ANÁLISIS DE FLUJO DE CAJA.....	106
TABLA 22 PLAN DE OPERACIÓN DE LA DMG.....	106
TABLA 23 PRODUCCIÓN ANUAL DE AGUA DESALADA SIN CONSIDERAR UNA TASA DE CRECIMIENTO.....	107
TABLA 24 INGRESOS OBTENIDOS ANUALMENTE SIN CONSIDERAR UNA TASA DE CRECIMIENTO.	107
TABLA 25 VALORES DE REFERENCIA PARA EL CÁLCULO DE ÁREA DE LOS INTERCAMBIADORES DE CALOR.	109
TABLA 26 DISTRIBUCIÓN DE LA INVERSIÓN PARA EL AÑO CERO DE LA DMG EN USD.	111
TABLA 27 PORCENTAJES DE DEPRECIACIÓN ANUAL DOF :15/08/2012	112
TABLA 28 DEPRECIACIÓN ANUAL DE LOS EQUIPOS QUE INVOLUCRAN LA DMG.	112
TABLA 29 DESGLOSE DE COSTOS PARA LA PRODUCCIÓN MENSUAL DE AGUA PARA EL AÑO 0 DE LA DMG	114
TABLA 30 EXPECTATIVAS DE INFLACIÓN ANUAL PARA 2018,2019 Y 2020.	114
TABLA 31 DESGLOSE DE COSTOS DE OPERACIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE AGUA DURANTE LA VIDA ÚTIL DE LA DMG 1/2.	115
TABLA 32 GASTOS ADMINISTRATIVOS Y VENTAS.	118
TABLA 33 RENDIMIENTOS ANUALES SOBRE LAS ACCIONES	123
TABLA 34 DESGLOSE DE FLUJO DE EFECTIVO DURANTE LA VIDA ÚTIL DE LA DMG EN PESOS MEXICANOS.....	125
TABLA 35 DESGLOSE DEL ISR A LO LARGO DE LA VIDA ÚTIL DE LA DMG.	129
TABLA 36 INDICADORES DE RENTABILIDAD PARA LA PLANTA DMG.....	132
TABLA 37 RESUMEN DE FLUJOS DE EFECTIVOS MENSUALES.	134
TABLA 38 PARÁMETROS OBTENIDOS PARA UNA CAPACIDAD RENTABLE DE 450 M ³ /DÍA.....	141
TABLA 39 COSTO PROMEDIO DE AGUA PARA USO INDUSTRIAL Y DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA DIFERENTES REGIONES.....	144
TABLA 40 INDICADORES ECONÓMICOS PARA UNA PRODUCCIÓN DE 450 M ³ /DÍA EN LA REGIÓN II.....	145
TABLA 41 TARIFA DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA LAS DIFERENTES CIUDADES QUE CONFORMAN LA REGIÓN VIII.....	147
TABLA 42 INDICADORES ECONÓMICOS PARA UNA PRODUCCIÓN DE 450 M ³ /DÍA EN LA REGIÓN VIII.....	148

TABLA 43 INDICADORES ECONÓMICOS OBTENIDOS PARA UNA PRODUCCIÓN DE 450 M ³ /DÍA EN LA REGIÓN XIII.	150
TABLA 44 CAPACIDAD RENTABLE PARA LAS REGIONES PROPUESTAS.	152
TABLA 45 VALORES DE ÍNDICE DE CONSTRUCCIÓN DE PLANTAS CHEMICAL ENGINEERING (AGUILAR RODRÍGUEZ, 2007):	168

ÍNDICE DE GRÁFICAS

GRÁFICA 1 DISTRIBUCIÓN DE AGUA DULCE EN EL PLANETA	21
GRÁFICA 2 DISTRIBUCIÓN DE AGUA SUPERFICIAL Y ATMOSFÉRICA.	21
GRÁFICA 3 PROYECCIONES DE AGUA RENOVABLE EN MÉXICO (2017-2030).....	24
GRÁFICA 4 DISTRIBUCIÓN DE LOS VOLÚMENES CONCESIONADOS PARA USOS CONSUNTIVO AL 2017 EN MÉXICO (SEMARNAT, 2017).	27
GRÁFICA 5 CAPACIDAD INSTALADA JUNIO 2017-JUNIO 2018 (COLDWELL ET AL., 2018).....	61
GRÁFICA 6 GENERACIÓN CON RESPECTO AL PRIMER SEMESTRE (COLDWELL ET AL., 2018).	61
GRÁFICA 7 DISTRIBUCIÓN DE LA CAPACIDAD INSTALADA DE ENERGÍA (MW) AL 30 DE JUNIO DE 2018.	61
GRÁFICA 8 CAPACIDAD INSTALADA DE ENERGÍAS RENOVABLES AL 30 DE JUNIO DE 2018	62
GRÁFICA 9 GENERACIÓN DE ENERGÍA (GWH) DEL 1 DE ENERO AL 30 DE JUNIO DE 2018.	62
GRÁFICA 10 GENERACIÓN CON ENERGÍAS RENOVABLES (GWH) DEL 1 DE ENERO AL 30 DE JUNIO DE 2018 (COLDWELL ET AL., 2018).	63
GRÁFICA 11 GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD POR OTRAS FUENTES LIMPIAS (COLDWELL ET AL., 2018).	64
GRÁFICA 12 CAPACIDAD INSTALADA POR OTRAS FUENTES LIMPIAS (COLDWELL ET AL., 2018).	64
GRÁFICA 13 CRECIMIENTO DE LAS ENERGÍAS LIMPIAS, COMPARATIVO ENTRE EL PRIMER SEMESTRE DE 2017 Y 2018 (COLDWELL ET AL., 2018).	64
GRÁFICA 14 PORCENTAJE DE COSTO ANUAL TOTAL DE LAS PRINCIPALES TECNOLOGÍAS DE DESALINIZACIÓN (IHM, AL-NAJDI, HAMED, JUN, & CHUNG, 2016).	67
GRÁFICA 15 EFECTO DEL PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN EN FUNCIÓN DEL FACTOR DE CONCENTRACIÓN.	88
GRÁFICA 16 EFECTO DEL RENDIMIENTO ELÉCTRICO EN FUNCIÓN DEL FACTOR DE CONCENTRACIÓN.	88
GRÁFICA 17 EFECTO DEL CONSUMO TÉRMICO EN FUNCIÓN DEL FACTOR DE CONCENTRACIÓN.	89
GRÁFICA 18 TENDENCIA DE LA ENERGÍA TÉRMICA PARA EYECCIÓN EN FUNCIÓN DEL FACTOR DE CONCENTRACIÓN	89
GRÁFICA 19 COSTO DE CAPITAL PARA PLANTAS DE DESALINIZACIÓN TÉRMICA (MED Y MSF) EN FUNCIÓN DE LA CAPACIDAD DIARIA (RAHIMI, MAY, REGENAUER-LIEB, & CHUA, 2015).	98
GRÁFICA 20 TARIFAS MÁXIMAS POR M3 DE USO DOMÉSTICO PARA CIUDADES DEL SUBSECTOR-2018-30M ³	104
GRÁFICA 21 TARIFA DE USO INDUSTRIAL 2018, PARA LA REGIÓN I DE LA PENÍNSULA DE BAJA CALIFORNIA, EL PRECIO CORRESPONDE A JUNIO 2018.....	105
GRÁFICA 22 TASA DE BONO M A 10 AÑOS EN PORCENTAJE.	122

GRÁFICA 23 FLUJO DE EFECTIVO A 20 AÑOS.....	131
GRÁFICA 24 VALOR PRESENTE NETO A LO LARGO DE LA VIDA ÚTIL DE LA DMG PARA UNA CAPACIDAD DE 10,000 M ³ /DÍA.	133
GRÁFICA 25 INVERSIÓN INICIAL REQUERIDA EN FUNCIÓN DE LA CAPACIDAD.	135
GRÁFICA 26 COSTO DE AGUA DESALADA EN FUNCIÓN DE LA CAPACIDAD.	136
GRÁFICA 27 EFECTO DE LA TASA INTERNA DE RETORNO EN FUNCIÓN DE LA CAPACIDAD.....	137
GRÁFICA 28 COMPORTAMIENTO DEL VPN A LO LARGO DE LA VIDA ÚTIL DE LA DMG, COMO UNA FUNCIÓN DE LA CAPACIDAD. 138	
GRÁFICA 29 CRECIMIENTO DE LA RELACIÓN B/C.....	138
GRÁFICA 30 RENDIMIENTO DE LA INVERSIÓN EN FUNCIÓN DE LA CAPACIDAD.	139
GRÁFICA 31 TIEMPO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN EN FUNCIÓN DE LA CAPACIDAD.	140
GRÁFICA 32 UNIDADES MÍNIMAS MENSUALES EN EL PUNTO DE EQUILIBRIO VS CAPACIDAD.	140
GRÁFICA 33 VALORES MENSUALES EN \$ MXN VS CAPACIDAD.	141
GRÁFICA 34 TARIFA DE AGUA USO INDUSTRIAL, REGIÓN II.	145
GRÁFICA 35 TARIFA DE AGUA USO INDUSTRIAL, REGIÓN VIII.	148
GRÁFICA 36 TARIFA DE AGUA USO INDUSTRIAL, REGIÓN XIII.	150
GRÁFICA 37 VALOR PRESENTE NETO A LO LARGO DE LA VIDA ÚTIL DE LA DMG PARA UNA CAPACIDAD DE 650 M ³ /DÍA.	153
GRÁFICA 38 PROPORCIÓN DEL ÍNDICE DE COSTO DE PLANTA DE INGENIERÍA QUÍMICA.	168

NOMENCLATURA

Al no ser que se indique todo lo contrario, para fines de este trabajo de ahora en adelante se utilizará la siguiente nomenclatura:

Letras latinas

C_p	Calor específico a presión constante.
FC	Factor de concentración.
h	Entalpía.
\dot{m}	Flujo másico.
P	Presión.
\dot{Q}	Flujo de energía térmica por unidad de tiempo (calor).
S	Concentración de sólidos en porcentaje masa.
T	Temperatura
\dot{V}	Flujo volumétrico, gasto.
\dot{W}	Potencia.
x	Calidad, relación de vapor en una mezcla.
CAPEX	Inversión de capital
OPEX	Gastos operativos
L	Vida útil de la planta
c	Costo de energía eléctrica \$/kWh
k	Costo específico de químicos \$/m ³
w	Consumo específico de energía eléctrica kWh/m ³
f	Disponibilidad de la planta
CUP	Costo unitario de agua desalada, USD/m ³
CRF	Factor de amortización
i	Tasa de interés
z	Tarifa promedio industrial (agua) \$ MXN /m ³
CC_{hex}	Costo del intercambiador de placas en USD
DMG	Desaladora Modular Geotérmica
TIR	Tasa Interna de Retorno
VPN	Valor Presente Neto
ROI	Rendimiento de la inversión
WACC	Coste promedio ponderado del capital

Letras griegas

Δ	Diferencia de.
n	Eficiencia total (involucra la térmica, mecánica y eléctrica).
ρ	Densidad de una sustancia

Subíndices y superíndices

1, 2, 3	Referencia a las etapas 1, 2, 3 de la unidad UDM-100
<i>abs</i>	Absoluto
<i>am</i>	Agua de mar
<i>c</i>	condensado
<i>em</i>	Eléctrica (referente a un motor)
<i>f</i>	Referencia termodinámica a una condición de líquido saturado
<i>g</i>	Referencia termodinámica a una condición de vapor saturado
<i>gt</i>	Fluido geotérmico
<i>man</i>	manométrico
<i>NC</i>	Gases no condensables
<i>P1, 2, 3</i>	Referido a la presión de evaporación de la etapa 1,2,3, respectivamente
<i>v</i>	vapor
<i>mec</i>	mecánica

OBJETIVO

El objetivo de la presente tesis es realizar una evaluación técnico económica de una planta desaladora de Destilación por Múltiple Efecto, por sus siglas en inglés (MED), con el fin de poder determinar una capacidad de producción rentable que pueda ser acoplada con energía geotérmica de baja entalpia. Siendo esta una alternativa a la solución de problemas de abastecimiento de agua principalmente en la zona costera de Baja California.

Objetivo particular

- Optimizar el proceso termodinámico de una planta de desalación térmica de baja entalpia para su evaluación técnico-económica.
- Determinar puntos de rentabilidad para la tecnología a través de indicadores económicos.
- Realizar un análisis económico de la planta MED de acuerdo a los costos variables fijos y operativos.
- Realizar un análisis de sensibilidad sobre el efecto de la tarifa de agua y el costo de energía eléctrica para diferentes regiones de la República Mexicana.

PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN DEL TEMA

El aumento del consumo de agua dulce debido al crecimiento industrial y de la población, han provocado un aumento en el consumo de energía, dando como resultado la sobreexplotación de recursos no renovables como los combustibles fósiles, provocando como consecuencia una contaminación al medio ambiente.

Hoy en día, alrededor del 25% de la población no tiene acceso al agua potable, y más de 80 países enfrentan problemas de escasez de agua lo suficientemente graves como para arriesgar su desarrollo económico. Además, el cambio climático y la variabilidad del clima pueden tener un impacto en los suministros de agua, siendo el más evidente la sequía. (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2006).

Alrededor de 800 millones de personas no tienen acceso al agua potable y cerca de 2,500 millones no poseen servicios de saneamiento adecuado (SEMARNAT, 2015). Además, el 90% de las enfermedades infecciosas son causadas por el consumo de agua no segura. El Instituto de Recursos Mundiales pronostica que para 2025, al menos 3.5 mil millones de personas experimentarán escasez de agua (Gude & Nirmalakhandan, 2010). En México, 9¹ millones de personas no cuentan con agua potable.

Esto podría incluso afectar a países que todavía no están experimentando problemas. Para 2030, el 47 % de la población mundial estará viviendo en áreas de alto estrés hídrico y más de 5 mil millones personas (67%) todavía pueden estar sin acceso a un saneamiento adecuado. (OECD, 2012).

Para abatir este problema, se han tomado acciones desde diversos puntos de vista: sociales, políticos, ambientales y tecnológicos. Dentro de las opciones tecnológicas utilizadas para mitigar la carencia de recursos hídricos se emplea la desalación de agua de mar, esta opción ha demostrado ser viable debido a la disponibilidad del

¹ <https://agua.org.mx/cuanta-agua-tiene-mexico/#algunos-datos-sobre-el-agua>

recurso primario en el planeta, el agua de mar, de acuerdo a información recabada por la FAO representa el 96.5 %² de la cantidad total del agua.

Lo indicado en el párrafo anterior es un problema real en la península de Baja California, donde hay un crecimiento en la densidad poblacional, efecto del crecimiento económico, sin embargo, se denota que los recursos hídricos no son suficientes ni tiene la calidad adecuada en algunas zonas; de acuerdo a datos de CONAGUA, tan solo en el núcleo poblacional que contempla a Tijuana, Rosarito y Ensenada hay una demanda actual no cubierta de al menos 68,060 [m³/día], se pronostica que para 2030 esta cantidad se incremente a 81,245 [m³/día], aunado a esto Baja California es una región cuyo potencial de crecimiento está siendo frenado, en parte, por la escasez de agua y que este es un problema estratégico a atender para promover el desarrollo de la región.

Lo bondadoso de Baja California es su ubicación geográfica, ya que cuenta con acceso al mar. Otra ventaja real que tiene la península de Baja California es su disponibilidad de energía renovable, entre ellas, la energía geotérmica, este recurso tiene alta presencia en la península por la alta incidencia de fallas geológicas.

Hasta este punto, se tienen dos elementos preponderantes y que se muestran como un excelente nicho de oportunidad para el producto objeto del presente estudio: La escasez de agua y la disponibilidad de energía geotérmica son los ejes de desarrollo para la tecnología (DESALADORA MODULAR GEOTÉRMICA).

Abordando el tema de Gases de Efecto Invernadero (GEI); la planta Desaladora Modular Geotérmica es una tecnología diseñada para utilizar energías renovables específicamente energía geotérmica de baja entalpia. De modo que la cantidad de emisiones es menor a una planta que utilice combustibles fósiles.

² <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/didyouknow/index.stm>

ESQUEMA CAPITULAR

En el capítulo 1 se dará un panorama en general sobre los recursos hídricos a nivel global, así como lo existente en la República Mexicana, se introducirá los conceptos más relevantes para comprender el funcionamiento de una planta desaladora, las tecnologías que existen actualmente para llevar a cabo este proceso y el acoplamiento de la misma con diferentes fuentes de energías renovables. Posteriormente, como objeto de estudio de este trabajo, haremos hincapié a la desalación con energía geotérmica a nivel global y en México, explicando sus principales ventajas y desventajas, la clasificación de los diferentes recursos geotérmicos en función de la temperatura, sus principales usos y la selección de la tecnología a usar, por último, pero no menos importante daremos los costos que conlleva el acoplamiento con energía renovable a las diferentes tecnologías de desalinización.

En el capítulo 2 se describirá el proceso de la Desaladora Modular Geotérmica, se presentarán los trabajos desarrollados en el grupo iiDEA, tales como: prototipo construido en Mexicali, Baja California, la validación del proceso a través del programa Aspen Plus V10, las pruebas preliminares llevadas a cabo, etc. El sistema MED modificado sirvió como base al estudio de este trabajo, el cual como se ha dicho previamente, consiste en encontrar una capacidad de producción rentable de agua desalada. De igual forma se presentan las ecuaciones de balance de masa y energía; así como las condiciones de operación de la unidad DMG, las cuales son resultado de un conjunto de artículos, revistas y datos de operación reales de unidades desaladoras.

Para el análisis completo del sistema, se programó en una hoja de cálculo el proceso de la DMG, las propiedades termodinámicas fueron obtenidas por medio de la librería de REFPROP en Excel, los resultados obtenidos para la capacidad evaluada entre los rangos de 50-10,000 m³/día fueron comparados con la simulación llevado a cabo en Aspen Plus, mismas que son presentados en el ANEXO XI.

En el capítulo 3 se dan a conocer los diferentes métodos para la evaluación de la DMG, con el fin de tomar una decisión objetiva, es decir, si el proyecto es viable o no, entre los más importante podemos recalcar: El valor presente neto (VPN), la tasa interna de retorno (TIR), la relación beneficio- costo (B/C) y el periodo de recuperación de la inversión. En la sección 3.2 se darán a conocer los principales componentes de los costos que conforman un sistema de desalinización.

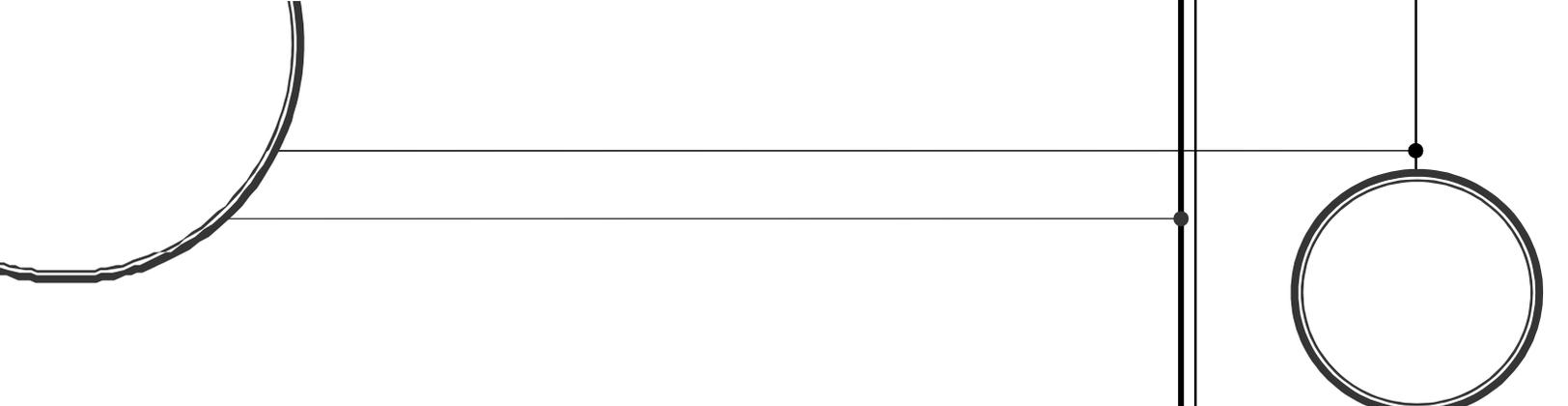
Para estimar el costo de capital de la DMG con capacidades de producción de hasta 10,000 m³/día, se usó la ecuación propuesta por (Rahimi, May, Regenauer-Lieb, & Chua, 2015). Se tomará como referencia el FIX promedio correspondiente del mes de enero de 2018 a diciembre de 2018; para la parte de los ingresos se usó una tarifa promedio industrial que comprenden las ciudades de: Ensenada, la Paz, Mexicali, Tecate y Tijuana, pertenecientes a la región I de la península de Baja California; cuyo valor fue de \$ 56.059 MXN por cada metro cúbico, la tarifa seleccionada es debido a la capacidad que se está evaluando y por otro lado, el servicio va orientadas a lugares donde no están interconectados a la red de suministro de agua.

En dónde sea necesario actualizar los precios, se utilizó el índice de costo de planta de Ingeniería Química, para la construcción del flujo de caja se tomaron en cuenta la depreciación de los equipos, los gastos administrativos y ventas. Se usó una tasa de descuento de 12.45 % calculada a través del coste promedio ponderado de capital o WACC, cabe destacar que la prima de riesgo del mercado, se definió considerando la relación por el índice de precios al consumidor (IPC) y el índice S&P 500 como indicador del comportamiento de mercado de valores de E.U.A. Con las condiciones establecidas el proyecto resultó ser viable a partir de una capacidad de 450 m³/día.

Por último, con la capacidad de producción rentable obtenida en el capítulo anterior, este capítulo constó de un análisis de sensibilidad, se consideraron como variable de interés el precio por metro cúbico de agua y el costo de energía eléctrica en las regiones: II, VIII y XIII de la República Mexicana, con el fin de analizar cómo se ven afectados los ingresos a lo largo de la vida útil de la DMG y de los indicadores

económicos descritos previamente, se omitieron las regiones III, IV, V, VI, VII, IX, X, XI y XII, dado que la tarifa promedio para uso industrial es baja.

Con la capacidad de producción rentable obtenida en el capítulo 4, los resultados obtenidos mostraron que no es viable la ejecución del proyecto en estas regiones, dado que la TIR obtenida para los 3 escenarios propuestos están por debajo de 12.45%; aunado a esto se evaluó un último análisis de sensibilidad con el fin de determinar una capacidad rentable para dichos escenarios, con el fin de minimizar la inversión inicial, el costo de agua desalada y el periodo de recuperación de la inversión, la capacidad obtenida se comparó con la región I de la península de Baja California, se determinó que es la mejor opción para poner en marcha la Desaladora Modular Geotérmica. Para una producción de 650 m³/día y un factor de concentración de 1.5 la inversión inicial fue de \$1, 849,045 USD (\$ 35, 592,405 MXN), los flujos de efectivos traídos al año cero en que se realiza la inversión, considerando el valor del dinero en el tiempo, superan el valor de la inversión en \$ 10, 031, 941 millones de pesos, una TIR atractiva de 17.44% y el tiempo de recuperación de la inversión fue de 5 años.



1. ANTECEDENTES

El objetivo de este capítulo es dar un panorama en general sobre el arte de la desalación a nivel global y en México, así como las diferentes tecnologías que actualmente existen para desalar el agua de mar, su funcionamiento, sus principales ventajas, el acoplamiento de estas tecnologías con diferentes fuentes de energías renovables y el costo que implica la puesta en marcha de estas tecnologías. En la sección 1.3.4.1 haremos hincapié a la energía geotérmica, el cual se ha de tomar como base para el desarrollo pleno del escrito.

1.1 CONTEXTO DE LA DMG

Daremos a conocer de manera general el contexto de análisis técnico- económico de la Desaladora Modular Geotérmica con el fin de tener un mayor entendimiento del marco teórico que abarca este proyecto. En primera instancia se dará a conocer la distribución de recursos hídricos a nivel mundial y en especial en México. Posteriormente se expondrá el arte de la desalación, así como las principales tecnologías que existe actualmente para desalar el agua de mar. Después se presentarán los aspectos más relevantes sobre las fuentes de energía, misma que nos ayudara a comprender con mayor claridad el acoplamiento de estas a los sistemas de desalinización convencionales. Por último, se explicará el proceso de desalación térmica en México.

1.2 RECURSOS HIDRICOS

1.2.1 GENERALIDADES

Los recursos hídricos existentes en la tierra son un regalo de la naturaleza, los cuales como se sabe son básicos y vitales para el sostenimiento del género humano. La mayoría de nuestros países cuentan con abundante cantidad de agua en las corrientes y drenajes, en los lagos, embalses y acuíferos, cuyo suministro puede satisfacer las demandas actuales y futuras inmediatas de los mismos.

En el pasado, el agua se consideraba un recurso inagotable como el aire. Sin embargo, en años más recientes hemos comenzado a valorar el agua como un recurso limitado. Es probable que las generaciones futuras no cuenten con la suerte de la presente y pasadas, en cuanto a la utilización de los recursos hídricos. El incremento de la población, la contaminación y todo un velo de problemáticas actuales nos induce a hacer conciencia de lo valioso que representa este recurso de vital importancia para la sociedad.

1.2.2 DISTRIBUCIÓN DE RECURSOS HIDRICOS A NIVEL MUNDIAL

Durante el siglo XX, la población mundial se triplicó, mientras que la demanda de agua aumentó seis meses sin aumento en la eficiencia (Gourbesville, 2008). Se ha estimado que existen alrededor de 1 400 millones de kilómetros cúbicos de agua en el planeta, de estos el 97.5% es agua salada no apta para el consumo, de los cuales sólo 2.5% corresponden a agua dulce (PNUMA, 2007), (Zou & Liu, 2016) y de ésta casi el 70% no está disponible para consumo humano debido a que se encuentra en forma de glaciares, nieve o hielo, como se muestra en la Figura 1.

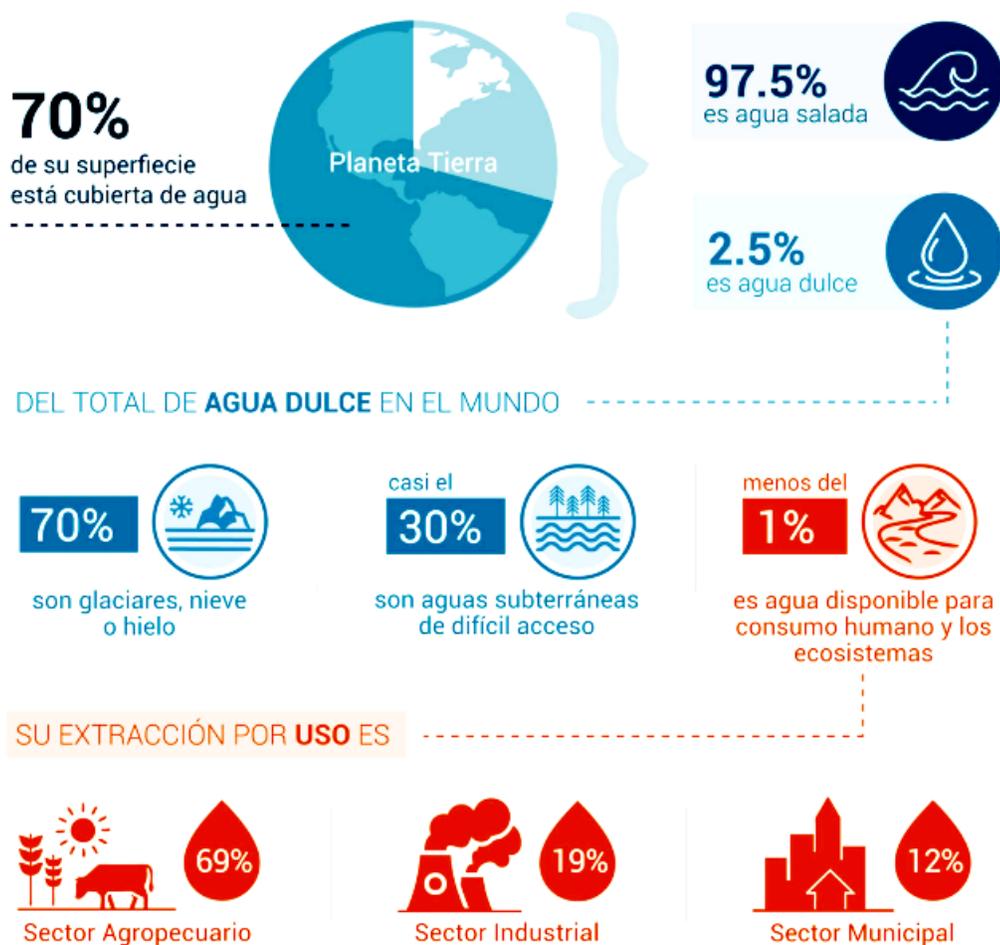
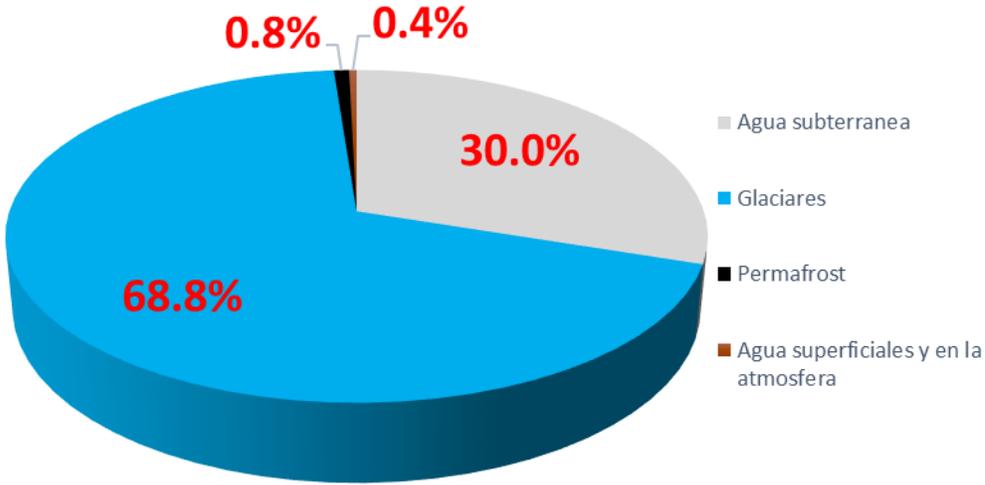
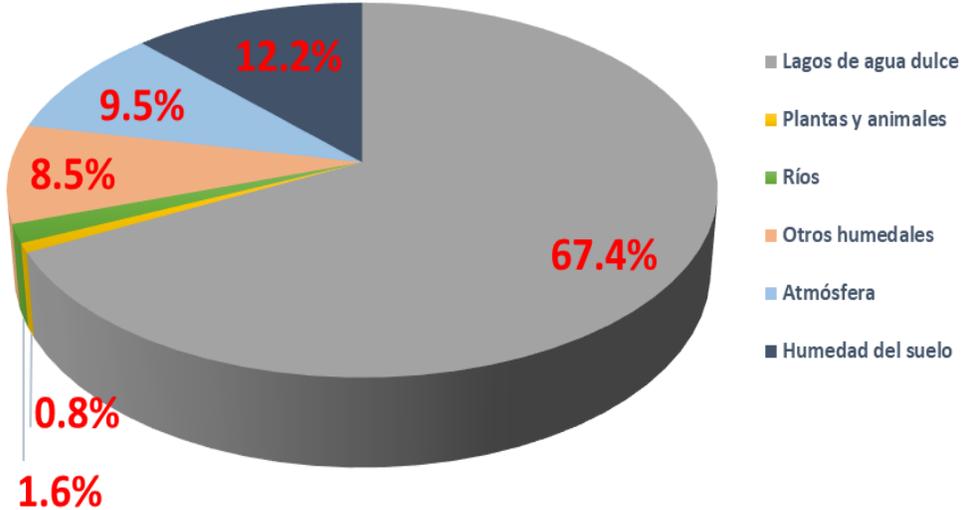


Figura 1 Distribución de recursos hídricos a nivel global. Disponible en: <https://agua.org.mx/en-el-planeta/>

Del agua dulce existente en el planeta 30% corresponde a agua subterránea,, 0.8 a Permafrost (la International Permafrost Association) IPA lo define como suelo frio por debajo de los 0°C por 2 o más años consecutivos) y sólo el 0.4% del agua total del planeta, equivalente a 140 km³ está contenida en atmósfera, seres vivos, ríos y el subsuelo, como se muestra en la Gráfica 1 y 2.



Gráfica 1 Distribución de agua dulce en el planeta



Gráfica 2 Distribución de agua superficial y atmosférica.

1.2.2.1 RESERVA REGIONALES DE AGUA

Las reservas de agua en el mundo consideran el volumen disponible³ total acumulado de agua subterránea y superficial. En la figura 2 se presentan los volúmenes de las reservas de agua en todo el mundo.

Sudamérica es la región con los mayores recursos hídricos renovables⁴ del planeta (cerca del 31.8% del total), seguida por Asia (28.9%) y Europa (13.9%); en contraste, la región de Centroamérica posee tan sólo el 1.5% de la reserva total mundial (SEMARNAT, 2015).

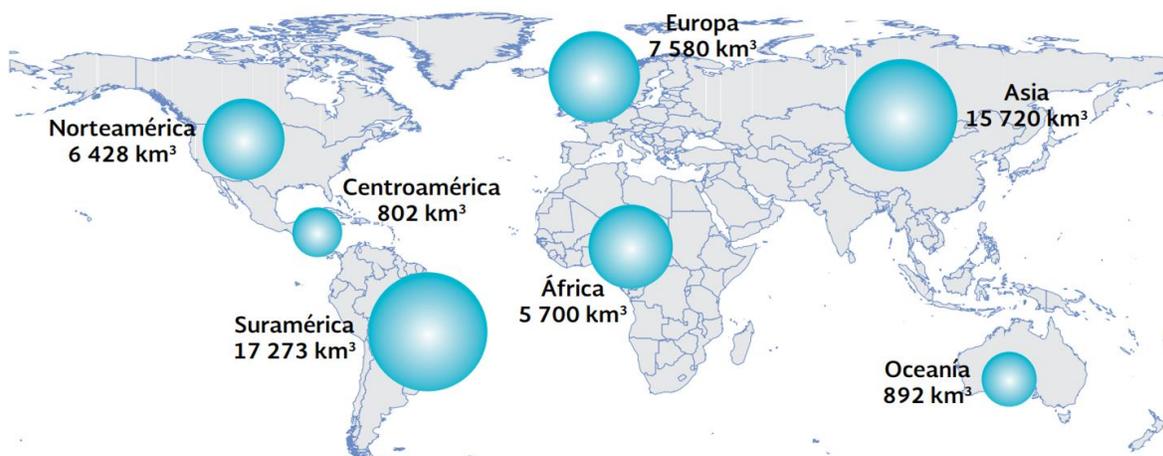


Figura 2 Reservas de agua dulce en el mundo por región, 2015 (SEMARNAT, 2015).

Nota:

* Para algunas regiones los valores no comprenden al 100% de los países que las conforman: África (98% de los países); Centroamérica (81% de los países); Europa (85% de los países) y Oceanía (31% de los países).

Fuente: FAO-Aquastat. Sistema de información sobre el uso del agua en la agricultura y el medio rural de la FAO. Disponible en: www.fao.org/nr/water/aquastat/data/.

La disponibilidad de agua de una región o país depende del balance de agua, esto es, del volumen que se recibe por precipitación y de lo que se pierde por la evaporación de los cuerpos de agua y por la evapotranspiración de la vegetación.

³ Se refiere a la disponibilidad natural media que corresponde al volumen total de agua renovable superficial y subterránea que ocurre en forma natural en una región

⁴ El agua renovable se le denominará así a la cantidad máxima de agua que es factible explotar anualmente en un país sin alterar el ecosistema. Equivale a la que es renovada por la lluvia.

El volumen restante puede dirigirse hacia la recarga de los acuíferos o escurrir superficialmente.

1.2.3 RECURSOS HÍDRICO EN MÉXICO

Anualmente México recibe aproximadamente 1 449 471 millones de metros cúbicos de agua en forma de precipitación. De esta agua, se estima que el 72.2% se evapotranspira y regresa a la atmósfera, el 21.5% escurre por los ríos o arroyos, y el 6.3% restante se infiltra al subsuelo de forma natural y recarga los acuíferos. Tomando en cuenta los flujos de salida (exportaciones) y de entrada (importaciones) de agua con los países vecinos, el país cuenta anualmente con 451 584 millones de metros cúbicos de agua dulce renovable, el 67% de agua renovable ocurre en el sur y sureste del país y el 33% ocurre en el norte y noroeste del país. La Figura 3 muestra los componentes y valores que conforman el cálculo de agua renovable.

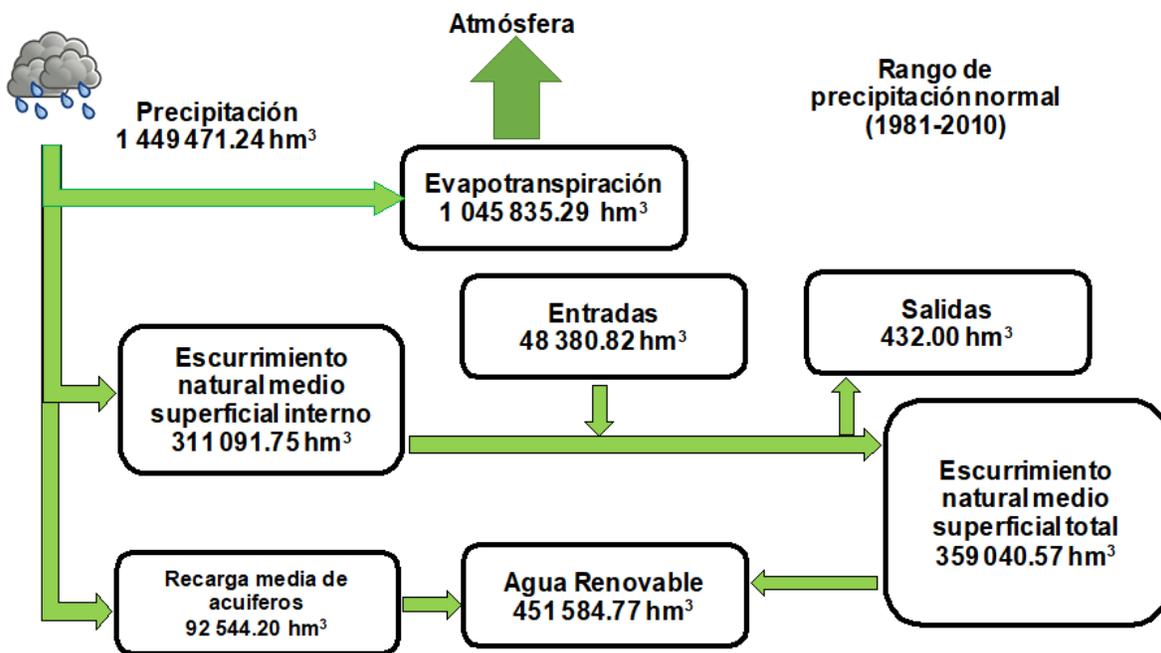
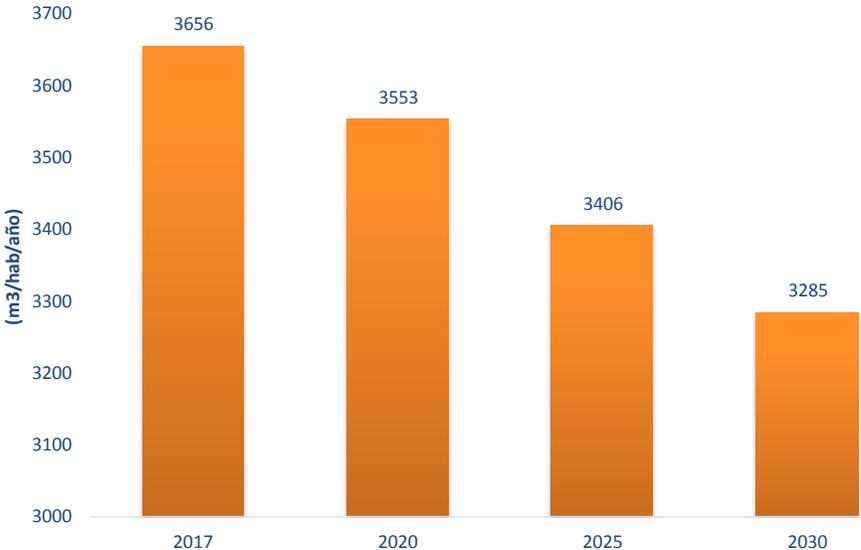


Figura 3 Valores medios anuales de los componentes del ciclo hidrológico en México a 2017 (millones de m³) ⁵ (DATOS DE CONAGUA).

⁵ Consultado en : <https://bit.ly/2MMzOt9>

El agua renovable per cápita⁶ se estimaba al 2017 en 3 656 m³/hab/año, para una población de 123.518 millones de habitantes.

El incremento de la población ocasionará la disminución del agua renovable per cápita a nivel nacional. El decremento previsible se muestra en la Gráfica 3, de 3, 656 m³/hab/año en 2017 a 3,285 en el 2030. El valor de agua renovable calculado para el año 2017 es de 451, 584 millones de metros cúbicos.



Gráfica 3 Proyecciones de agua renovable en México (2017-2030)⁷

NOTA: El valor del agua renovable se mantiene constante hasta cubrir un ciclo completo en la actualización de cálculos hidrológicos del escurrimiento y la recarga media. FUENTE: CONAGUA. 2017. Subdirección General de Planeación. Elaborado con base en datos de: Subdirección General Técnica. CONAPO. Proyecciones de población 2010-2030. Sistema Nacional de Información del Agua (SINA).

⁶ El agua renovable per cápita de un país resulta de la operación de dividir sus recursos renovables entre el número de habitantes.

⁷ Consultado el 5 de agosto de 2018 en : <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=aguaRenovable&ver=grafica&o=0&n=nacional>

1.2.3.1 AGUA SUPERFICIALES

El agua superficial escurre por ríos y canales y se embalsa en cuerpos de aguas naturales y artificiales. Por su desembocadura se clasifica en 3 vertientes: Interior; Golfo de México y Mar Caribe; Pacífico y Golfo de California, a continuación, se muestran los principales ríos por su longitud⁸.

INTERIOR

Nazas-Aguanaval: **1081 km**

Lerma : **708 km**

Pacífico y Golfo de California

Culiacán :**875 km**

Balsas :**770 km**

Golfo de México y Mar Caribe

Grijalva-Usumacinta :**1521 km**

Pánuco :**510 km**

México recibe y entrega agua a sus países vecinos en las cuencas transfronterizas que comparte con ellos, de cada 100 litros de agua superficial en México, 14 provienen de Estados Unidos, Guatemala y Belice.

1.2.4 USOS DEL AGUA EN MÉXICO

1.2.4.1 USO AGROPECUARIO

Existen en México alrededor de 30 millones de hectáreas agrícolas, de las cuales 6.5 millones son de riego y el resto de temporal. Anualmente la superficie sembrada es de alrededor de 22 millones de hectáreas. México ocupa el 7° lugar en superficie de riego a escala mundial, de cada 100 litros de agua empleados en México 76 son empleados en uso agropecuario; de los cuales el 48.5 provienen de aguas superficiales y el 27.5 provienen de aguas subterráneas.

⁸ Estos datos fueron tomados de (Soto & Marina, 2016)

1.2.4.2 USO ABASTECIMIENTO PÚBLICO

La disposición de agua potable en cantidad y calidad suficiente es una condición para la salud y bienestar de la población. En México la provisión del servicio de agua potable está a cargo de los municipios. De cada 100 litros de agua empleados en México, 14.5 son empleados en abastecimiento público, de los cuales, 6 provienen de aguas superficiales y 8.5 provienen de aguas subterráneas. Para el periodo de 2007 a 2016 13% se incrementó el volumen para abastecimiento público.

1.2.4.3 USO INDUSTRIAL

La industria autoabastecida es aquella que cuenta con aprovechamientos propios para obtener su agua, en forma independiente de las redes de abastecimiento público, de cada 100 litros de agua empleados en México, 4.4 son empleados en el uso industrial, de los cuales, 2.5 provienen de aguas superficiales y 1.9 provienen de aguas subterráneas. Para el periodo de 2007 a 2016 21% se incrementó el volumen para la industria autoabastecida.

1.2.4.4 USO ENERGÍA ELÉCTRICA

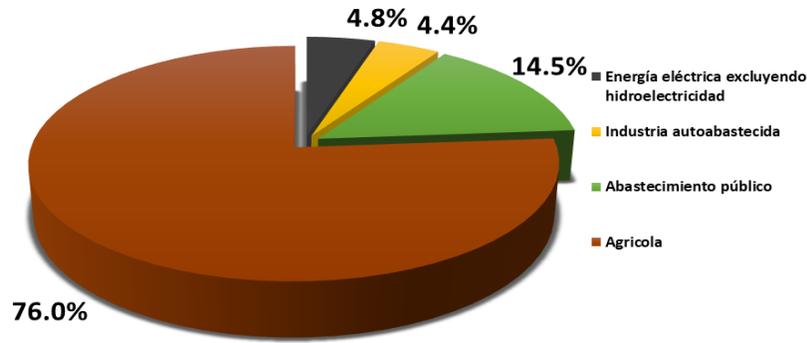
De cada 100 litros de agua empleados en México, 4.8 son empleados en energía eléctrica (centrales térmicas), de los cuales, 4.3 provienen de aguas superficiales y tan solo el 0.5 provienen de aguas subterráneas.

En 2016 el 89% de la energía eléctrica se generó en centrales térmicas y el 11% de energía eléctrica se generó mediante hidroelectricidad⁹.

A modo de resumen, el mayor volumen concesionado para usos consuntivos de agua es el que corresponde al uso agrícola, principalmente para riego como se observa en la Gráfica 4¹⁰.

⁹ La generación por hidroelectricidad no consume o modifica las propiedades del agua, por lo que se contabiliza aparte.

¹⁰ Datos extraído del documento NUMERAGUA MÉXICO 2017 (SEMARNAT, 2017)



Gráfica 4 Distribución de los volúmenes concesionados para usos consuntivo al 2017 en México (SEMARNAT, 2017).

1.2.5 CONTRASTE REGIONAL ENTRE DESARROLLO Y AGUA RENOVABLE

La distribución de la población en el territorio nacional también crea presiones para la disponibilidad de agua. Como se puede ver en la Figura 4, las regiones del norte, centro y noroeste cuentan con el 33.01% de agua renovable en el país (Agua, 2016), 76.95 % de la población (INEGI, 2017) y 82.31 % de la aportación regional al PIB nacional. Considerando el agua renovable per cápita, la disponible en las regiones del sureste es siete veces mayor que la disponible en el resto de las regiones hidrológica-administrativa de nuestro país.

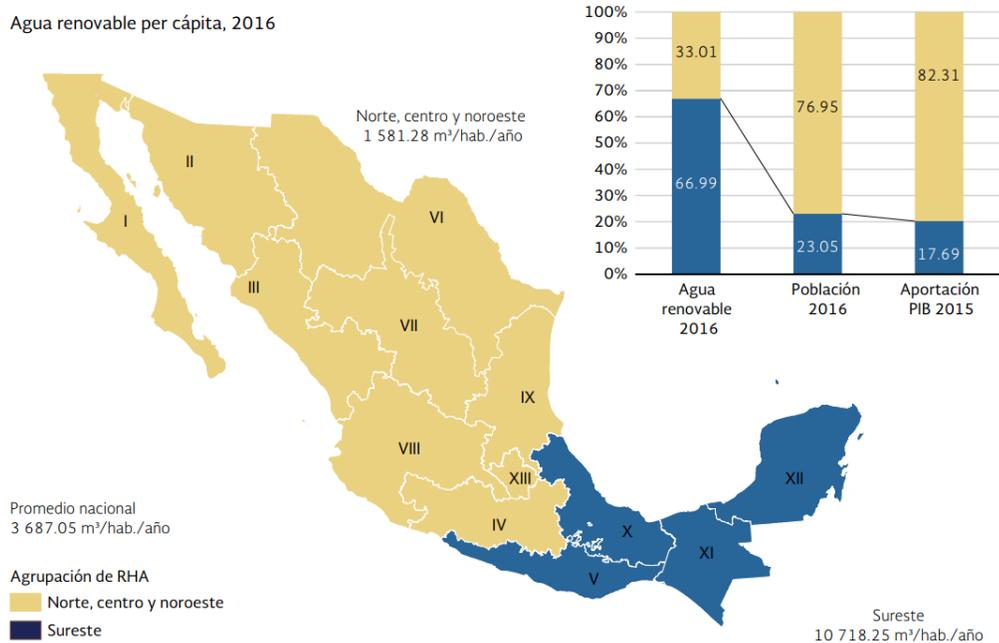


Figura 4 Contraste regional entre agua renovable y desarrollo (Agua, 2016).

México es un país con un gran potencial para la desalación, ya que el insumo primario, agua de mar, es vasto en las costas mexicanas, en adición a lo anterior el país cuenta con cantidades considerable de energía a partir de fuentes renovables, biomasa de fácil acceso en las costas del sur, geotermia y energía solar en las costas de la zona Noroeste.

Es por eso que el Instituto de Ingeniería UNAM y su grupo de investigación IIDEA (Instituto de Ingeniería, Desalación y Energías Alternas) se ha dado la tarea de encontrar soluciones eficientes y adecuadas para contrarrestar diversas problemáticas a la sociedad y que al mismo tiempo respeten al medio ambiente, unas de ellas es la desalación de agua de mar.

Antes de exponer los diferentes sistemas de desalación que funcionan con energías renovables, será útil al lector dar algunas definiciones. De este modo, resultará más fácil comprender la configuración y principio de funcionamiento de los sistemas desalinizadores, que hacen uso de las energías renovables como medio de abastecimiento energético.

1.3 DESALACION

1.3.1 DEFINICION

La desalinización tal como se muestra en la Figura 5 ; es un proceso en el cual el agua salina se separa en dos partes usando diferentes formas de energía, una que tiene una baja concentración de sales disueltas (agua dulce) y la otra que tiene una concentración mucho más alta de sales disueltas que la original agua de alimentación (concentrado de salmuera) (Buros, 2000).

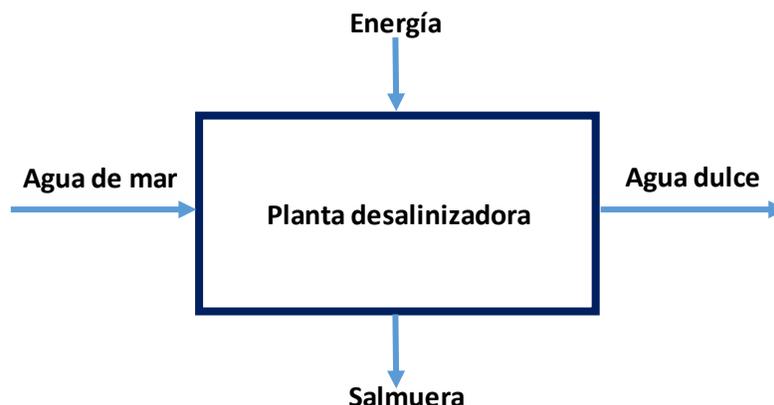


Figura 5 Entradas y salidas principales en un proceso de desalinización (Buros, 2000).

El agua salina está clasificada como agua salobre o agua de mar dependiendo de la salinidad y fuente de agua. Es un proceso de separación endotérmica por lo que requiere una cantidad considerable de energía (Banat, 2007).

1.3.2 VISION GENERAL DE LOS SISTEMAS DE DESALACIÓN Y TECNOLOGÍAS COMUNES A NIVEL MUNDIAL

Para tener un panorama general de la importancia de contar con sistema de desalación, la Figura 6 ilustra la evolución en capacidad instalada a nivel mundial durante los años de 1965 a 2017.

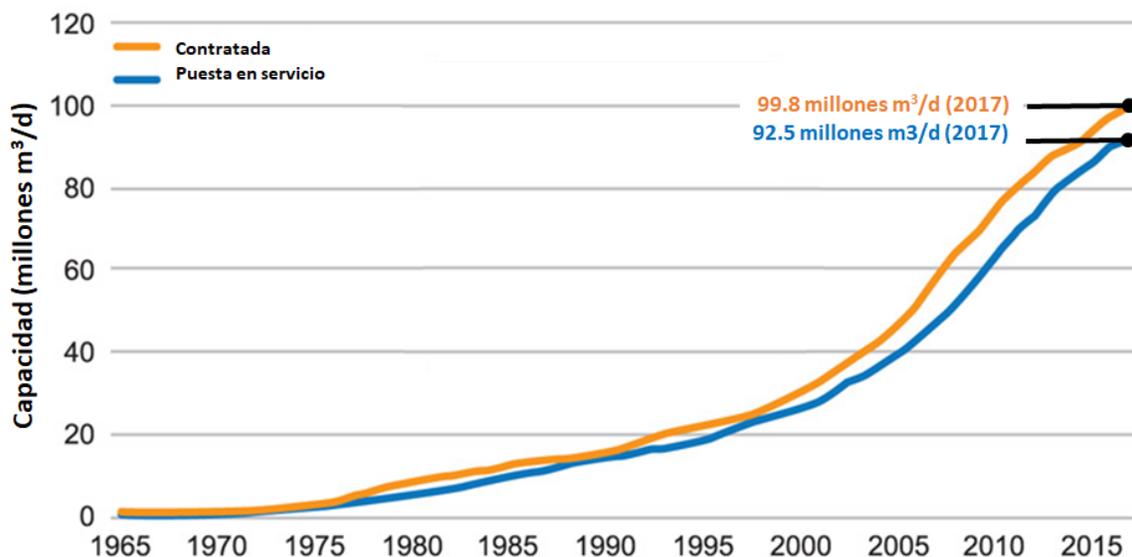


Figura 6 Capacidad instalada a nivel mundial (1965-2017) (Seamonds, 2017)

Con los continuos avances en las tecnologías de desalinización, la capacidad de desalinización global ha aumentado rápidamente en las últimas décadas, la capacidad global de desalinización acumulada aumentó de 95,7 millones de metros cúbicos por día (m^3 / d) a mediados de 2016 a **99,8 millones** de m^3 / d a mediados de 2017, un aumento de 4,06 millones de m^3 / d (Seamonds, 2017).

La capacidad global instalada puesta en servicio para el año 2017 fue de 92.5 millones de m^3/d , en comparación con los 88.6 millones de m^3/d en 2016 y el número total de plantas de desalinización en todas las categorías asciende a 19,372 en 2017, frente a 18,983 en 2016.

A nivel global, las tecnologías de membranas más utilizadas son la osmosis inversa (RO) con un 65%, destilación instantánea de Múltiple Efecto (MSF) con un 21%, Destilación de Múltiple Efectos (MED) con el 7% y electrodiálisis con un 3%, como se puede observar en la Figura 7. Sin embargo, existen procesos menos convencionales, como es la compresión de vapor, ya sea mecánico o térmico (MCV, TVC), osmosis inducida (FO), des ionización capacitiva (CDI), congelación, humidificación/des humidificación (HDH) y la destilación solar (Eltawil, Zhengming, & Yuan, 2009). Durante el período de 2000 a 2015, la capacidad de la planta de desalinización aumentó en alrededor de 60 millones de metros cúbicos por día (IDA, 2017).

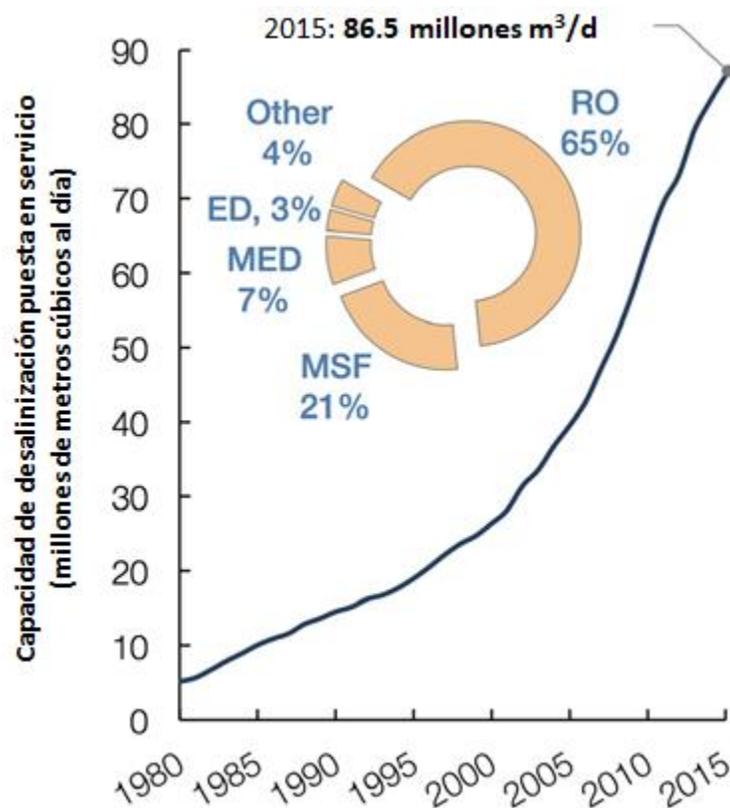


Figura 7 Capacidad de las distintas plantas de desalinización a nivel mundial (IDA, 2015).

La desalinización térmica se basa en el principio de evaporación del agua dulce en forma de vapores de agua puros del agua salina y condensación de los mismos en una superficie fría para producir agua casi pura libre de sólidos disueltos. Los procesos de membrana emplean una barrera física (membrana) que permite el paso de las moléculas de agua, para producir permeado con una concentración considerablemente baja de sólidos disueltos. Los procesos térmicos requieren grandes cantidades de energía térmica para evaporar el agua pura, y los procesos de la membrana requieren una energía eléctrica de alta calidad para aplicar la presión mecánica sobre la membrana para provocar la separación (Gude, 2015b) y (Clayton, 2015).

La capacidad de desalinización está aumentando rápidamente en todo el mundo, principalmente en el Mediterráneo y la región del Golfo; la desalinización de agua de mar en la región del Golfo representa el 65% de la capacidad mundial de desalinización debido a la abundancia de las reservas de petróleo más grandes del mundo, con una aguda escasez de recursos de agua potable. La Figura 8 muestra la ubicación de las plantas de desalinización existentes en todo el mundo (Lattemann, Kennedy, Schippers, & Amy, 2010).

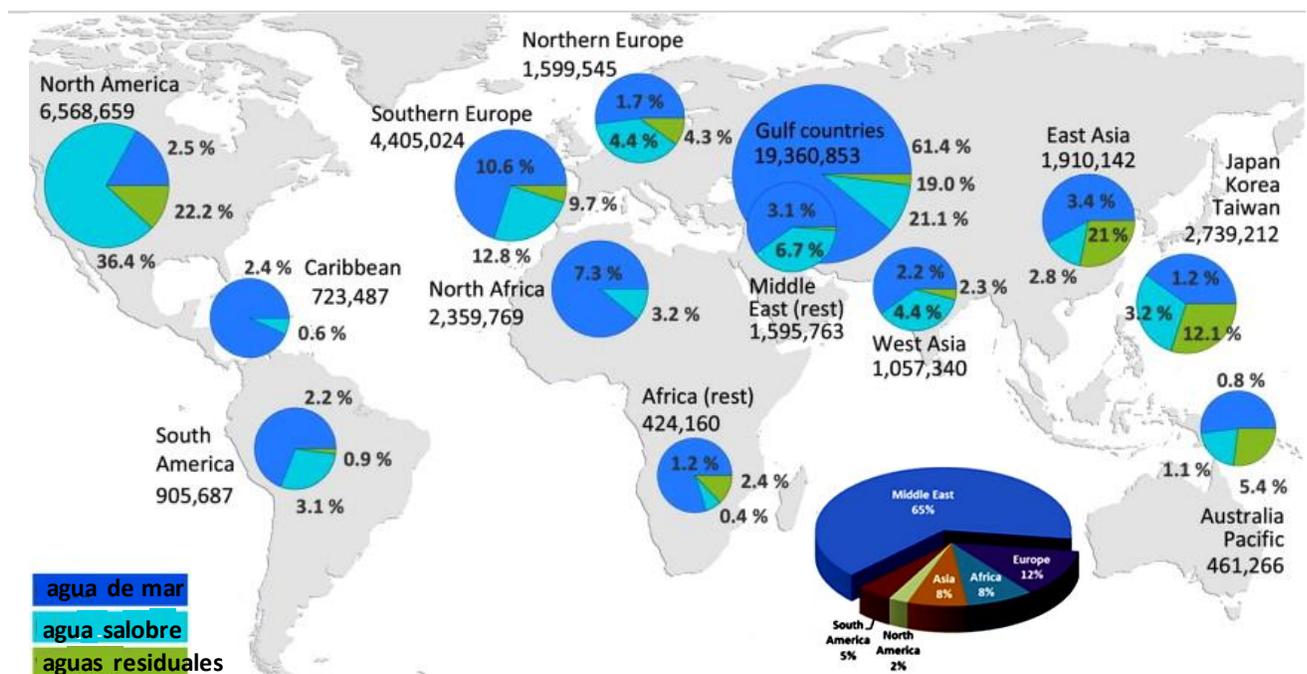


Figura 8 Distribución de capacidades de desalinización a nivel global (Lattemann & Amy, 2010).

1.3.3 DESALACIÓN EN MÉXICO

La desalinización de agua es una tecnología que se ha utilizado en México durante mucho tiempo, principalmente en zonas turísticas donde el agua es escasa como en Cancún Quintana Roo, Acapulco Guerrero y los cabos en Baja California.

En 1970 se puso en operación en la planta termoeléctrica Benito Juárez de Rosarito, Baja California, la primera planta desaladora de México y una de la más grandes en su época, con una capacidad de producción de 28, 350 m³/día (“Water Desalination Report”, 1970).

En la década de los setenta, el bajo costo del petróleo impulsó la instalación de desaladoras por destilación, pero las siguientes crisis hicieron muy cara la producción de agua por este proceso.

En el periodo que va de 1970-2000 se instalaron pequeñas plantas desaladoras en complejos turísticos y purificación de agua de red municipal para la producción de agua embotellada.

Hacia el año 2000 el proyecto “Desaladora para Hermosillo, Sonora”, con una capacidad de 216,000 m³/día se detiene después de una evaluación, la aprobación técnica y financiera quedó pausada.

En 2003 la Desaladora de 100 m³/día Maquilas Tetakawi en Guaymas-Empalme, con una producción para uso industrial a un costo entre 0.6-0.8 [USD/m³], en este mismo año se inició el proyecto de desaladora de 200 [lt/seg] en Cabo San Lucas, Baja California, su construcción continúa en proceso.

En 2004 inició la Evaluación de Alternativas desaladoras en Ensenada y en Tijuana Baja California.

Mientras que en 2005 se dio la Evaluación de Alternativas desaladoras en Guaymas-Empalme y en Puerto Peñasco (Felipe, 1962).

En el año 2006 entró en operación la planta desalinizadora municipal más grande de México, con una capacidad nominal de 200 l/s, en los Cabos, Baja California Sur (Ponce Fernández, González Enríquez, & Dévora Isiordia, 2012).

1.3.3.1 DATOS RELEVANTES EN MÉXICO

En el año 2002 había 171 plantas desalinizadoras con una capacidad instalada de 67,500 m³/día.

Según reportes de IDA Yearbook (IDA, 2007; IDA, 2005) e informes nacionales existen 435 plantas desalinizadoras en México (Justice & Officer, s/f), ubicadas en 320 sitios que cuentan con una capacidad instalada de 311 377 m³ /día. Los estados con mayor crecimiento de plantas desalinizadoras son el de Baja California Sur y Quintana Roo. Este último tiene la mayor cantidad de plantas desaladoras, con un 28.5%. La mayoría de las plantas desalinizadoras pertenece al sector turismo.

Tabla 1 Plantas desalinizadoras de aguas instaladas en México por entidad federativa (IDA, 2007).

Entidad federativa	Sitios con plantas	Número de unidades	% Nacional	Operan		PROCESO					Capacidad en m ³ /día
				SI	NO	OI	CV	MSF	S	D	
Baja California	23	38	8.74	24	14	26	7	2	3	0	51 938
Baja California Sur	71	73	16.78	53	20	63	6	0	4	0	36 971
Campeche	8	19	4.37	14	5	16	2	0	1	0	5 456
Coahuila	31	33	7.59	23	10	30	1	0	1	1	7 668
Colima	17	18	4.14	2	16	17	1	0	0	0	2 856
Edo, de México	3	4	0.92	2	2	4	0	0	0	0	7 000
CDMX	14	17	3.91	12	5	15	0	0	1	1	95 471
Durango	26	26	5.98	13	13	26	0	0	0	0	868
Guerrero	6	6	1.38	3	3	6	0	0	0	0	2 355
Jalisco	3	4	0.92	3	1	3	0	0	1	0	2 865
Morelos	2	21	4.83	21	2	20	1	0	0	0	110
Nuevo León	5	5	1.15	5	1	5	0	0	0	0	2 847
Oaxaca	1	4	0.92	4	1	4	0	0	0	0	14 256
Quintana Roo	79	124	28.51	73	51	121	2	0	1	0	53 339
San Luis Potosí	1	1	0.23	1	0	1	0	0	0	0	60
Sonora	16	22	5.06	15	7	17	2	0	1	2	9 349
Tamaulipas	4	4	0.92	2	2	4	0	0	0	0	5 100
Veracruz	9	15	3.45	11	4	13	1	0	0	1	12 167
Yucatán	1	1	0.23	1	2	1	0	0	0	0	700
Total Nacional	320	435	100%	282	137	392	23	2	13	5	311 377

Por otra parte, se tiene el registro de que el 32% de las plantas está fuera de uso, principalmente por fallas de operación de las desalinizadoras, falta de personal capacitado, carencia de asistencia técnica de los proveedores y alto costo de las refacciones.

1.3.4 DESALACIÓN CON ENERGÍAS RENOVABLES

La finalidad de utilizar fuentes renovables, es dar abastecimiento a zonas que no tengan a su disposición hidrocarburos o alguna fuente de energía ya sea térmica, o eléctrica por medio de una red de transmisión. El uso de fuentes de energías renovables (tales como eólica, solar, geotérmica) para impulsar los procesos de desalación puede ser un enfoque sostenible y asequible para recuperar el agua potable del agua de mar y las aguas salobres (Gude & Nirmalakhandan, 2010). Otro factor importante en este tipo de tecnologías es el cuidado al medio ambiente debido a que no utiliza energía convencional y las emisiones de gases que se generan son bajas, contribuyendo al problema global del cambio climático.

Las posibles combinaciones de tecnología de energía renovable y desalinización (Mathioulakis, Belessiotis, & Delyannis, 2007) se muestran en la Figura 9 (Alberto, 2012).

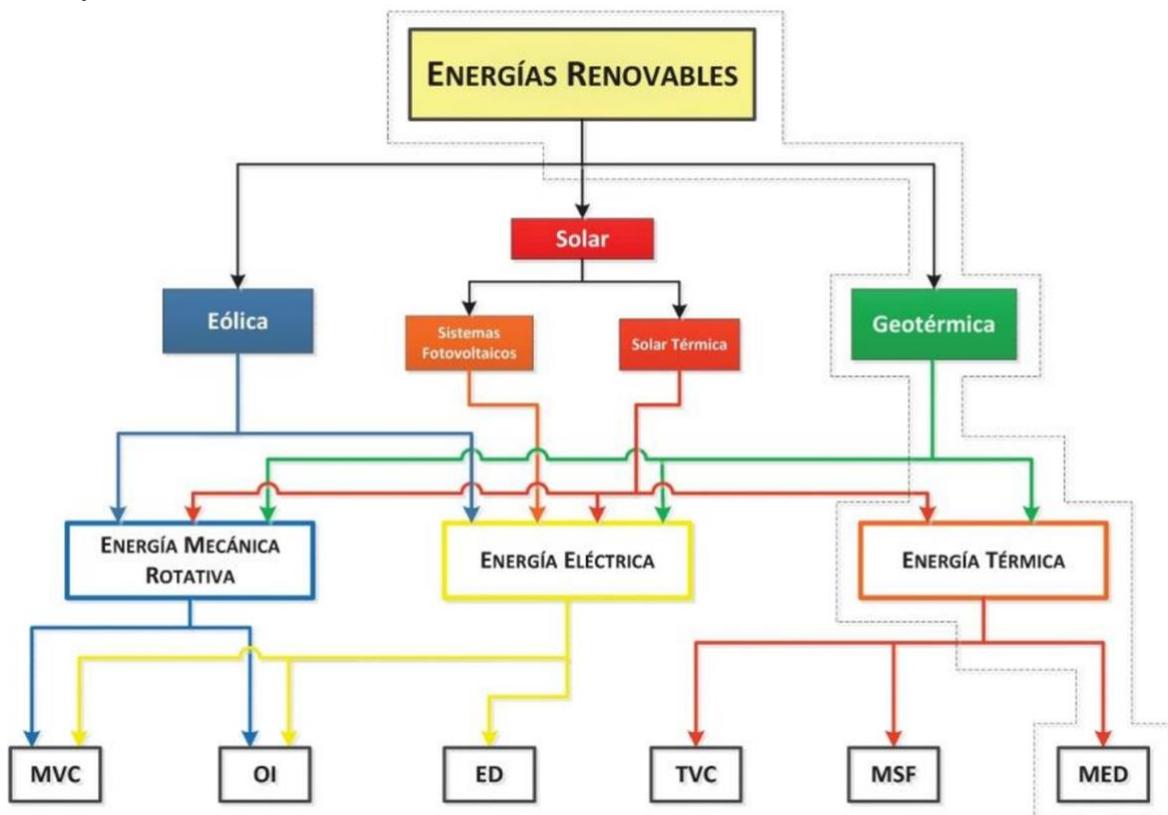


Figura 9 Aplicaciones de energía renovable para la desalinización, incluida la energía geotérmica (Alberto, 2012).

MSF: Destilación instantánea de Múltiple-Etapa. MED: Destilación por Múltiple Efecto. MVC: Compresión Mecánica de Vapor. TVC: Compresión Térmica de Vapor. OI: Ósmosis Inversa. ED: Electrodialisis. (Alberto, 2012)

Pero no todas las tecnologías de desalación son fácilmente adaptables a las fuentes de energía renovables, dado que algunas requieren de manera más directa energía térmica o mecánica.

Tabla 2 Posibles combinaciones de energía renovables con tecnologías de desalación respecto al tipo de fluido a desalar (Mahmoudi et al., 2010).

Tecnologías con fuentes renovables	Recurso a desalar	MED	MSF	MVC	TVC	RO	ED
Solar Térmica	Agua de Mar	X	X				
	Agua Salobre						
Fotovoltaica	Agua de Mar					X	
	Agua Salobre					X	X
Eólica	Agua de Mar			X		X	
	Agua Salobre					X	
Geotérmica	Agua de Mar	X	X		X		
	Agua Salobre						

La Tabla 2 tiene la finalidad de despejar dudas sobre que tecnologías pueden ser mejor aplicadas a los principales procesos de desalación (Mahmoudi et al., 2010). Para el caso del Noroeste de México, se ha detallado que la energía geotérmica es capaz de competir, principalmente por la disponibilidad del recurso en la región, especialmente es las costas de B.C. La variable a dominar en este caso, son los costos de producción de agua desalada, es decir, la capacidad de diseñar una planta desaladora optimizada en eficiencia respecto a las comerciales que garantice precios competitivos (Zárate, 2016).

En la actualidad, la mayoría de las plantas de desalinización se han localizado en regiones con alta disponibilidad y bajos costos de energía. Las estadísticas actuales sobre la desalinización muestran que solo el 1% del agua total desalinizada se basa en la energía de fuentes renovables (Isaka, 2012). Las energías renovables son cada vez más confiable y convencional con costos que disminuyen año tras año, convirtiendo la energía renovable en una opción viable en muchas regiones.

La dependencia de los combustibles fósiles continúa siendo considerada por muchos como la forma de energía más rentable y confiable. Sin embargo, el despliegue masivo de la desalinización ha presentado una serie de desafíos, resultando en una demanda de energía muy alta y emisiones de CO₂ de fuentes alimentadas con combustibles fósiles (van der Vegt, Iliev, Tannock, & Helm, 2011).

El crecimiento de estas tecnologías en los últimos años se ha resumido en la Figura 10. La figura muestra que la cantidad neta de energía producida a través de estas tecnologías ha aumentado aproximadamente 5 veces durante los últimos diez años (Ali, Tufa, Macedonio, Curcio, & Drioli, 2018).

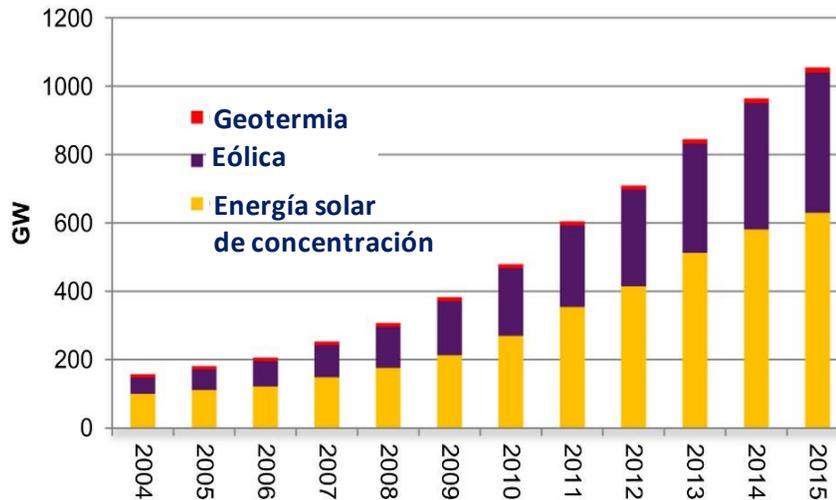


Figura 10 Evolución de la capacidad global de energía renovables (Ali & Drioli, 2018).

La energía solar y eólica contribuye predominantemente a la capacidad global de energía renovable, mientras que la contribución de la energía geotérmica ha sido menor. Entre estos, la energía solar se ha estudiado más intensamente; especialmente para el Medio Oriente y América del Norte.

Sin embargo, no todas las partes de la superficie de la Tierra reciben la misma radiación solar. Ello se debe a diversos factores: latitud, nubosidad, orografía del terreno, océanos, tierra firme, etc. Este hecho, unido al movimiento de rotación de la tierra, es la causa de los vientos. El inconveniente de usar estas fuentes de energía renovables para el caso de la energía solar es la siguiente; al ser una energía muy dispersa e intermitente, depende de la estación del año y de las horas del sol; en el caso de la energía eólica, su intermitencia natural muestra ser una desventaja ante las tecnologías que pueden mantener un suministro continuo de energía; por otro lado, su instalación representa una costosa inversión inicial. La geotermia es una energía renovable que normalmente proporciona la generación de carga base, ya que su operación no se ve afectada por variaciones climatológicas o estaciones a diferencia de otras tecnologías renovables intermitentes (SENER, 2018a).

1.3.4.1 DESALACIÓN CON ENERGÍA GEOTÉRMICA

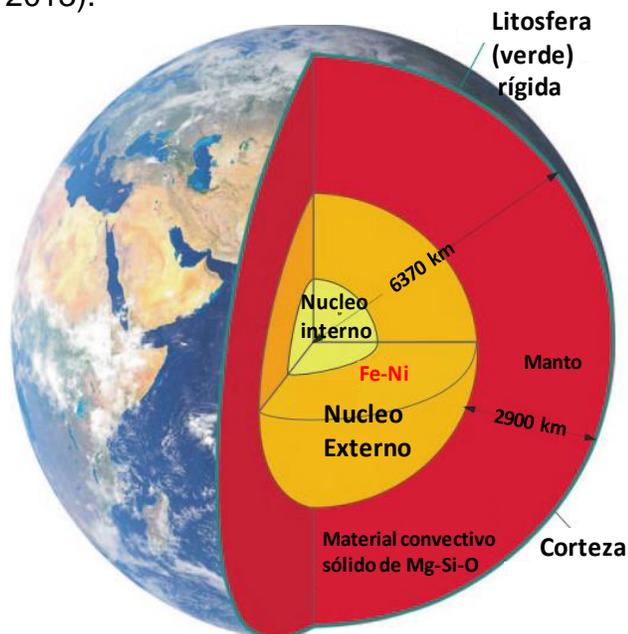
A continuación, se definirán algunos términos de gran importancia para tener un panorama en general sobre la geotermia, su clasificación, entre otras.

1.3.4.1.1 ENERGÍA GEOTÉRMICA

Es la forma comercial de energía proveniente del vapor a presión o del agua caliente almacenada en el subsuelo. Se utiliza en forma directa como calefacción, o bien, para generar electricidad. Unas de las ventajas primarias de la geotermia es que ayuda a disminuir la demanda de otros combustibles y el almacenamiento térmico es innecesario. No se necesitan grandes áreas de terreno para la obtención del recurso y no hay etapas de refinamiento ni de transporte (Jiménez Cisneros, 2001).

En su sentido más amplio, es la energía calorífica que la tierra transmite desde sus capas internas hacia las partes más externa de la corteza terrestre. Se trata de una fuente de energía sostenible, renovable, casi infinita, que proporciona calor y electricidad las 24 horas del día a lo largo del año.

La energía que llega cada segundo a la superficie de la tierra, desde su interior, en forma de calor es de $4.2 \times 10^{13} J$. Aunque la energía que recibimos del Sol es cuatro órdenes de magnitud superior [$2 \times 10^{17} J/s$] a la geotérmica, aquella sólo penetra unos centímetros bajo la superficie de la tierra (Pous & Jutglar, 2004), (Stober & Bucher, 2013).



La temperatura promedio en la superficie de la tierra es de $14^{\circ}C$. La temperatura de la superficie del sol es de aproximadamente $5,800^{\circ}C$, lo que corresponde a la temperatura en el centro de la Tierra con una presión aproximadamente de 400 GPa.

Figura 11 Estructura interna de la tierra.

1.3.4.1.2 GRADIENTE GEOTÉRMICO

La temperatura del interior de la tierra, aumenta con la profundidad y este aumento de acuerdo a la ecuación diferencial que se presenta a continuación; se le conoce como gradiente geotérmico (dT/dZ). El gradiente geotérmico puede variar de un punto a otro de la superficie de la Tierra, su valor medio es de 0.02 a 0.04 °C/m.

$$W(z) = -k \frac{dT}{dZ} \quad \text{Ecuación 1.}$$

De acuerdo a la Ecuación 1., el signo negativo sirve para indicar que el calor se propaga en la dirección del eje z negativo, es decir de z_2 (que está más caliente) a z_1 (que está a una temperatura inferior) (Pous & Jutglar, 2004).

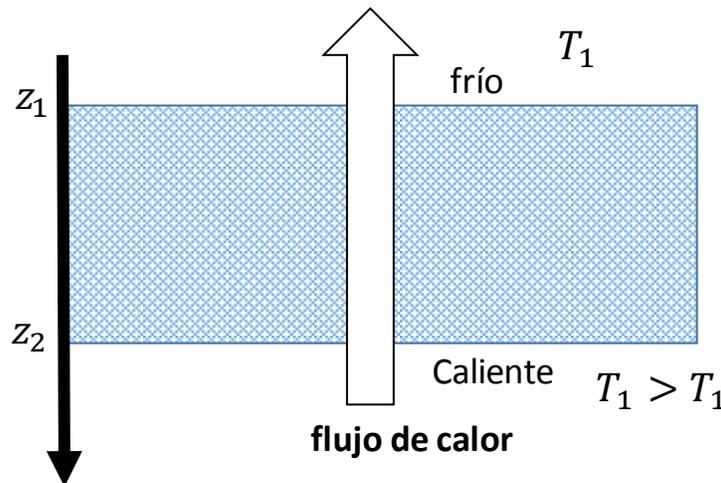


Figura 12 Propagación del flujo de calor por conducción (Pous & Jutglar, 2004).

A partir del gradiente geotérmico, multiplicándolo por la conductividad de la roca, se obtiene el flujo de calor [W].

1.3.4.1.3 FLUIDO GEOTÉRMICO

El calor contenido en las rocas y suelos es demasiado difuso para ser extraído directamente de forma económica, por lo que es necesario disponer de un fluido para transportarlo hasta la superficie de forma concentrada, mediante sondeos, sondas geotérmicas, colectores horizontales o intercambiadores de calor tierra-aire

enterrados a poca profundidad en el subsuelo. El fluido geotérmico-liquido caliente rico en sales minerales y/o vapor es, generalmente, agua (Kiaghadi & Rifai, 2017).

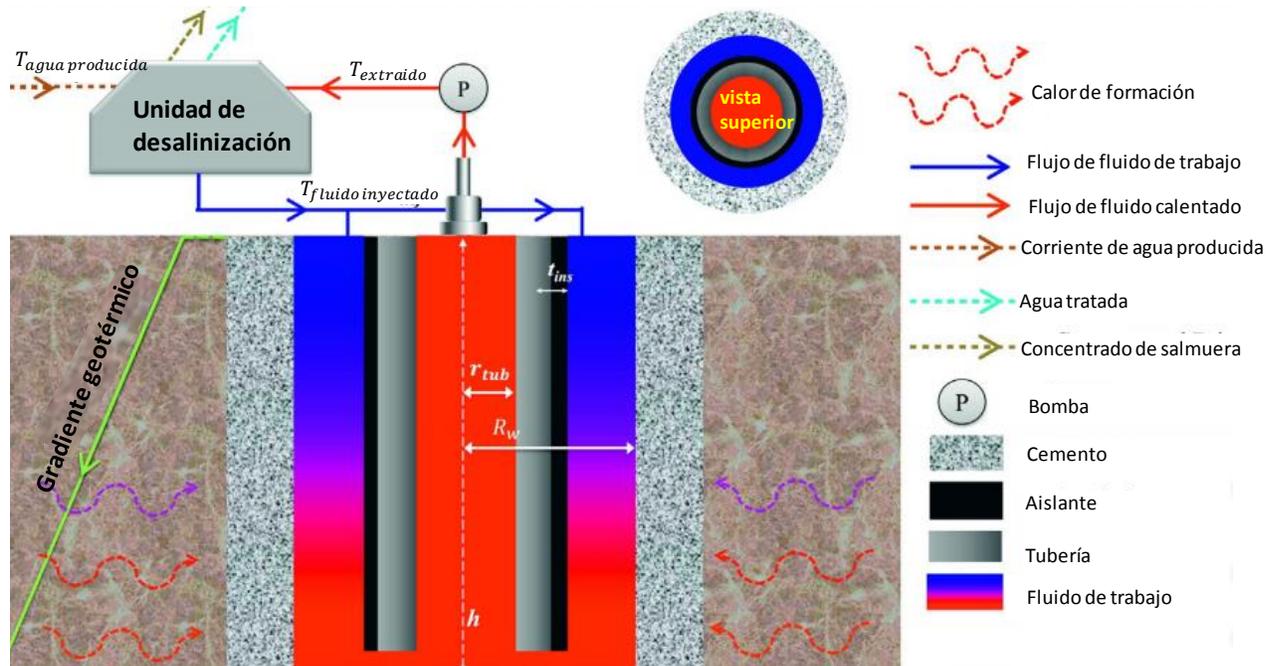


Figura 13 Ilustración de un pozo geotérmico con su lazo de circuito cerrado.

De acuerdo a la Figura 13 para un sistema de desalinización acoplada con energía geotérmica objeto de estudio de este trabajo, el fluido de trabajo (agua) se inyecta en la zona anular entre el tubo del pozo y la cubierta y se extrae a través del tubo continuamente a altas temperaturas y se reinyecta una vez que se enfría para calentarlo. La caída de temperatura en el flujo ascendente se puede minimizar mediante la implementación de un aislante térmico entre las capas del pozo. La corriente de agua producida se trata en la superficie y nunca se inyecta en el pozo geotérmico.

El fluido caliente extraído se envía para alimentar a la unidad desaladora donde se extrae su calor, y el agua más fría resultante vuelve a circular hacia el pozo geotérmico (Kiaghadi, Sobel, & Rifai, 2017).

1.3.4.1.4 RECURSO GEOTÉRMICO

En su sentido más amplio, se define como recurso geotérmico, aquella parte de la energía geotérmica que puede ser utilizada por el hombre, de forma viable técnica y económicamente. El concepto es tan amplio que incluye desde el calor que puede

encontrarse en los horizontes más superficiales del suelo hasta el almacenado en rocas situadas a las profundidades que podrían alcanzarse con técnicas de perforación de pozos petrolíferos. Para que exista un recurso geotérmico es necesario, excepto los de roca seca que exista una capa permeable, por lo que pueda circular el agua freática¹¹ cubierta por una capa impermeable que impida su afloración a la superficie.

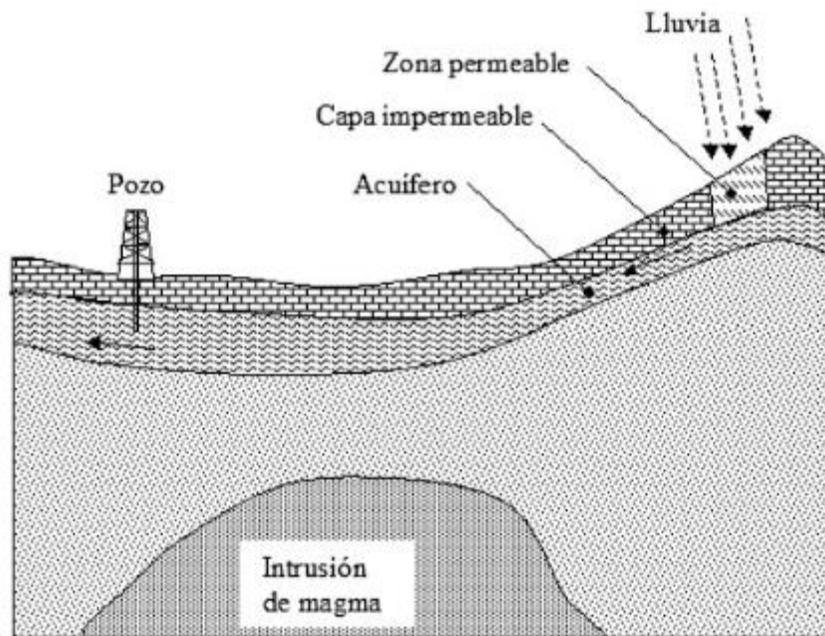


Figura 14 Esquema de un recurso geotérmico (Juytglar, Miranda Barreras, & Villarubia, 2011).

A medida que el agua va saliendo, por afloraciones naturales o bien artificiales, el acuífero se recarga naturalmente por aportación de la lluvia o aguas superficiales en zonas elevadas. Cuando el acuífero transcurre por capas profundas se calienta paulatinamente y este calentamiento es tanto más acusado cuánto más cerca pasa de zonas próximas al magma interior.

¹¹ aquellas que se acumulan bajo la tierra, almacenada en los poros que existen sedimentos como la arena y la grava, y en las fisuras que se encuentran en rocas

En cuanto a sus tipos, los recursos geotérmicos se clasifican de acuerdo a su nivel térmico o lo que es lo mismo, su entalpía¹², factor que condiciona claramente su aprovechamiento como se muestra en la Tabla 3 (Juytglar, Miranda Barreras, & Villarubia, 2011).

Tabla 3 Clasificación de los recursos geotérmicos.

<i>Tipo de recurso geotérmico</i>	<i>Rango de temperaturas</i>	<i>Características y usos.</i>
<i>Alta entalpía</i>	T>150°C	Se encuentran principalmente en zonas con gradientes geotérmicos elevados y se sitúan a profundidades muy variables (son frecuentes entre 1.500 y 3.000 m). Están constituidos por vapor seco (muy pocos casos) o por una mezcla de agua y vapor, y se aprovechan fundamentalmente para la producción de electricidad.
<i>Media entalpía</i>	T:100-150°C	Pueden localizarse en zonas con un gradiente geotérmico elevado a profundidades inferiores a los 2.000 m, y en cuencas sedimentarias a profundidades entre los 3.000 y 4.000 m. Su temperatura permite el uso para la producción de electricidad mediante ciclos binarios. También pueden aprovecharse para uso térmico en calefacción y refrigeración en sistemas urbanos y en procesos industriales.
<i>Baja entalpía</i>	T:30-100°C	Se localizan habitualmente en zonas con un gradiente geotérmico normal a profundidades entre 1.500 y 2.500 m, o a profundidades inferiores a los 1.000 m en zonas con un gradiente geotérmico más elevado. Su utilización se centra en los usos térmicos en sistemas de calefacción/climatización, y en diferentes procesos

¹² Cantidad de energía térmica que un fluido puede intercambiar con entorno. Se expresa en kJ/kg o en kcal/kg

		industriales. Los fluidos geotérmicos raras veces se utilizan directamente, lo más frecuente es el aprovechamiento de su energía mediante intercambiadores y/o bombas de calor. Suelen requerir una demanda importante de energía calorífica en las proximidades
<i>Muy baja entalpía</i>	T<30°C	Las temperaturas de estos recursos suelen acercarse a la media anual del lugar donde se captan. Corresponden a la energía térmica almacenada en las aguas subterráneas, incluidas las provenientes de labores mineras y drenajes de obras civiles, siempre para uso exclusivamente energético y no consuntivo del agua, y en el subsuelo poco profundo (normalmente, a menos de 200 m, incluyendo las captaciones de calor asociadas a elementos constructivos de la edificación). Su aplicación son los usos directos del calor: aporte energético a sistemas de ventilación, calefacción y refrigeración de locales y/o procesos, con o sin utilización de una bomba de calor.

1.3.4.1.5 YACIMIENTO GEOTÉRMICO

Volumen de roca permeable y caliente, geoméricamente definida, de la cual se puede extraer el calor utilizando como vector de transporte el fluido que contiene naturalmente o el introducido artificialmente. Los yacimientos geotérmicos pueden clasificarse según diferentes criterios: contexto geológico, nivel de temperatura, modo de explotación y tipo de utilización. Lo habitual es clasificarlos en función del nivel térmico de los fluidos que contienen [Figura 15], es decir, de los recursos que albergan, adoptándose los mismos intervalos de temperatura considerados para éstos:

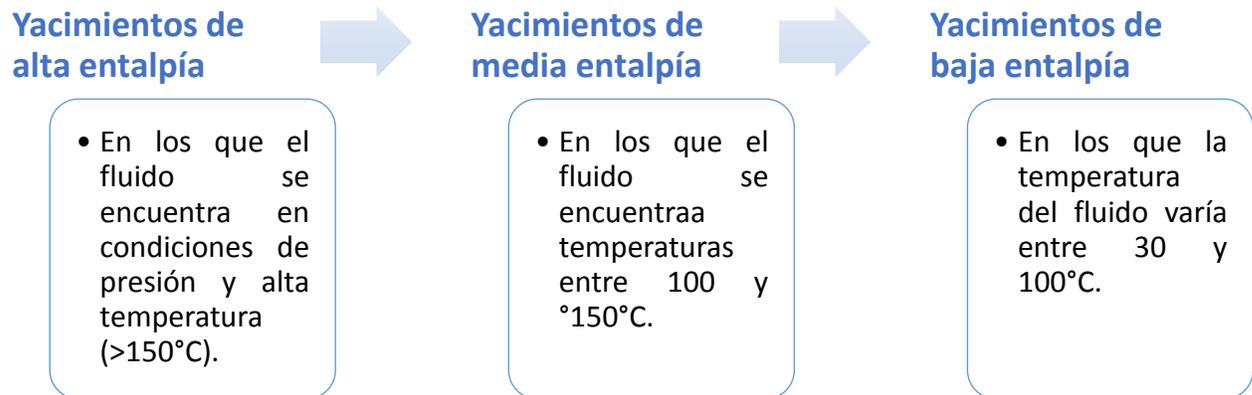


Figura 15 Clasificación de los diferentes tipos de yacimientos geotérmicos.

Para el caso de la energía geotérmica de muy baja temperatura no suele utilizarse el término yacimiento, ya que este recurso se encuentra difuso en toda la superficie terrestre.

Las técnicas de destilación térmica basadas en el calentamiento directo a partir de energía geotérmica es el método de elección en la mayoría de las plantas de desalinización. La primera planta de desalinización alimentada por energía geotérmica se construyó en 1972 en los EE. UU., seguida de plantas en Francia, Túnez y Grecia. En 2000, se instaló una planta piloto de energía geotérmica / MED con una capacidad de 80 m³ / día en la isla de Kimolos y opera a 61 ° C con una unidad MED de dos etapas (Barbier, 2002).

1.3.4.2 ENERGÍA GEOTÉRMICA UTILIZADA ALREDEDOR DEL MUNDO

La utilización directa como fuente de calor de la energía geotérmica constituye la forma más antigua, versátil y también la más común de aprovechamiento de esta forma renovable de energía. La capacidad geotérmica instalada a nivel global, para la generación de energía eléctrica alcanzó los 14,600 MW en el año 2018 (Richter, 2018). Como se logra observar en la Figura 16, México se ubica dentro de los primeros seis países con mayor capacidad instalada en unidades geo termoeléctricas, junto con Estados Unidos de América, Filipinas, Indonesia, Turquía y Nueva Zelanda.

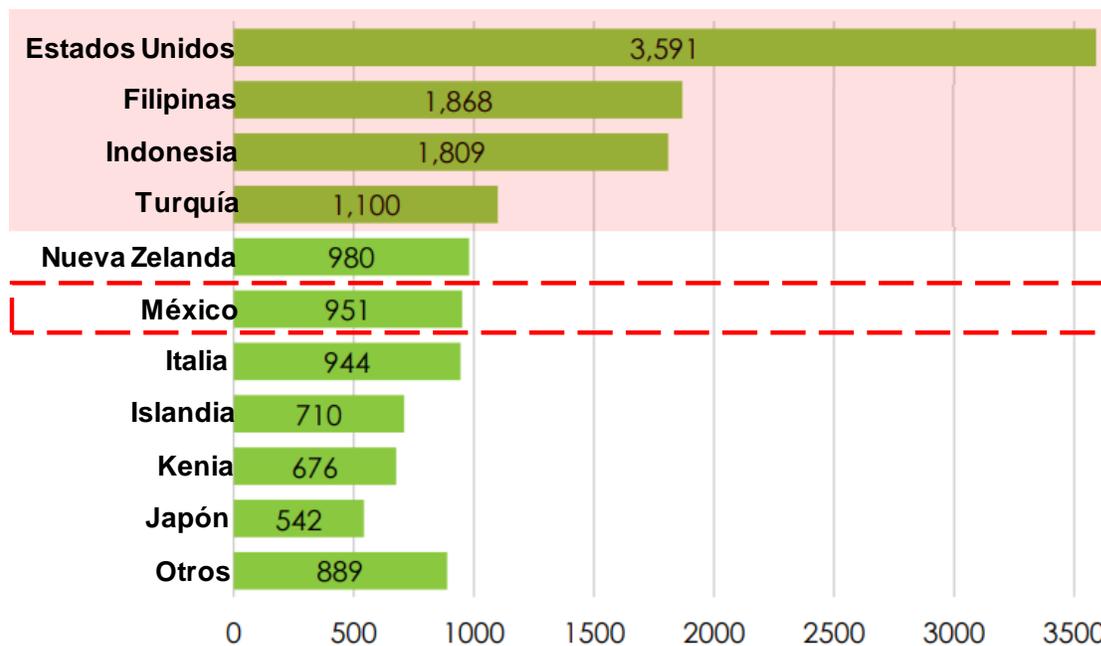


Figura 16 Los 10 principales países geotérmicos basados en la capacidad de generación de energía instalada [14,600 MW instalada en total]. (Fuente: <http://www.thinkgeoenergy.com/>).

1.3.4.2.1 GEOTERMIA EN MÉXICO

En México, la Comisión Federal de Electricidad (CFE), a través de su Gerencia de Proyectos Geo termoeléctricos (GPG), ha venido operando a la fecha cuatro campos geotérmicos de tipo hidrotermal; la capacidad total de producción instalada de energía eléctrica basada en fuentes geotérmicas en nuestro país es de 958 MW (Carranza, 2018).

Tabla 4 Campos geotérmicos de México.

<i>Campos del país</i>	<i>Capacidad instalada</i>
Cerro Prieto, Baja California	570 MWe
Los Azufres, Michoacán	247.9 MWe
Los Humeros, Puebla	95.7 MWe
Las Tres Vírgenes, Baja California Sur	10 MWe



Figura 17 Localización de las principales centrales de generación geo termoeléctricas (Carranza, 2018).

1.3.4.2.2 USOS DIRECTOS DE LA GEOTERMIA

Las tendencias actuales de los usos directos son principalmente para sistemas de calefacción que trabajan directamente a través de bombas de calor, acuicultura, secado de cultivos, cultivo de plantas y hortalizas e invernaderos, procesos del papel y la industria cementera, procesamiento de alimentos, elaboración de cervezas, teñido de tejidos, derretimiento de nieve, enfriamiento de espacios, balneología, entre otros. La tendencia a nivel global de la utilización geotérmica (uso directo) para diversas aplicaciones entre 1995 y 2015 se muestra en la Figura 18 [datos tomados de (Lund & Boyd, 2016)].

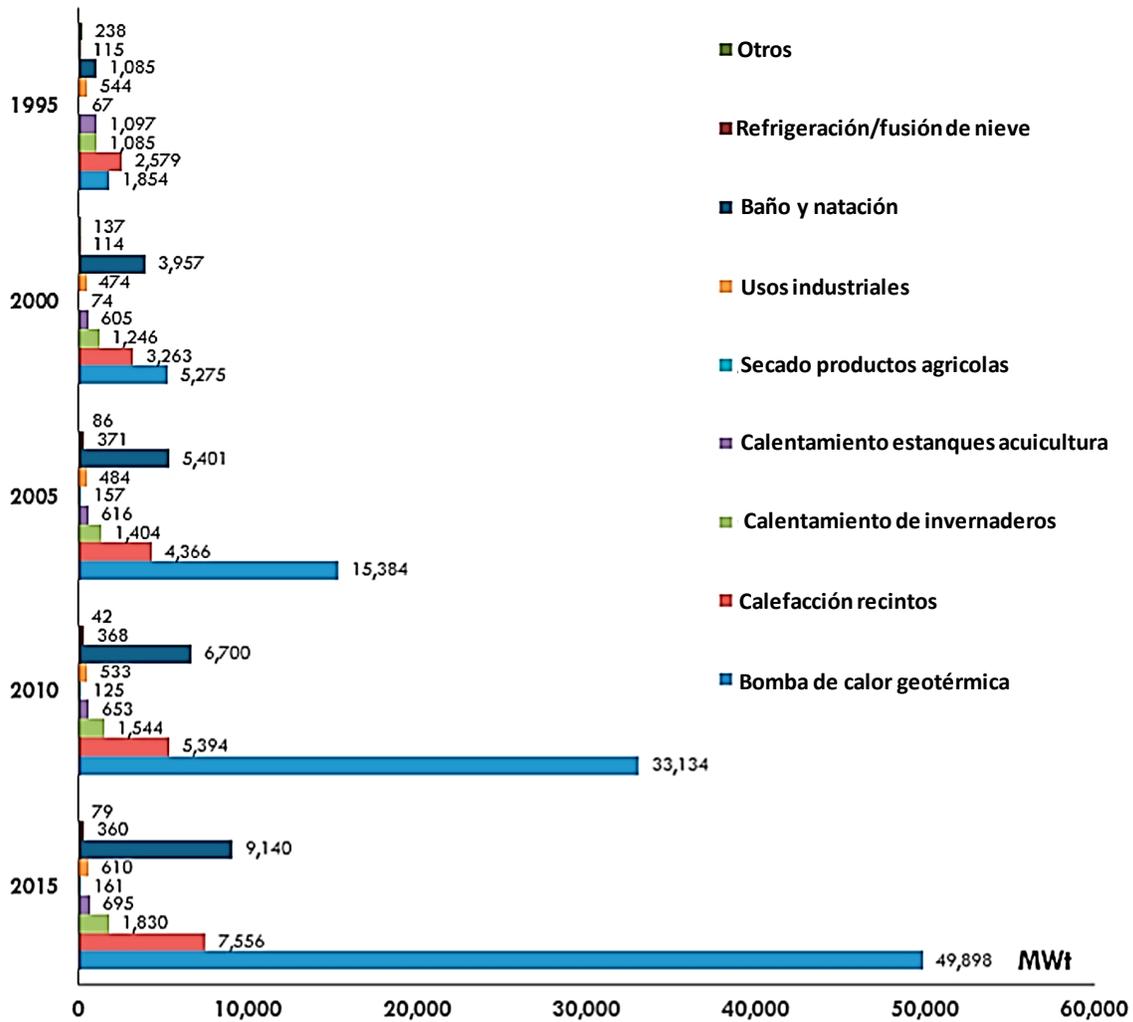


Figura 18 Capacidad instalada para usos directos para diferentes periodos (Lund & Boyd , 2016).

Se puede observar que la aplicación de la bomba de calor geotérmica está aumentando constantemente a lo largo de los años. Otros usos importantes incluyen el baño y la natación y la calefacción de espacios. Los países con mayor capacidad instalada son EE. UU., China, Suecia, Noruega y Alemania, que representan aproximadamente el 63% de la capacidad instalada y los cinco países con mayor consumo anual de energía fueron: China, EE. UU., Suecia, Turquía y Japón, que representan 55 % del uso mundial.

1.3.4.2.3 ¿Por qué la energía geotérmica?

Existen varios beneficios asociados con el uso de fuentes geotérmicas para diversas aplicaciones domésticas e industriales. La energía geotérmica es una tecnología comercial comprobada y bien establecida para la producción de electricidad, calefacción, refrigeración urbana y aplicaciones de procesos industriales. La energía geotérmica se puede utilizar para la desalinización debido a las siguientes ventajas (Goldstein et al., 2011), (Goosen, Mahmoudi, & Ghaffour, 2010) y (Gude, Nirmalakhandan, & Deng, 2010).

- i. Las fuentes de energía geotérmica tienen un factor de capacidad elevado que proporciona un suministro de calor estable y confiable que garantiza la estabilidad de la desalinización térmica y los procesos de ósmosis inversa. El factor de capacidad se define como la disponibilidad de recursos tanto en términos de cantidad como de calidad (durante un período de aplicación).
- ii. La tecnología de producción geotérmica (extracción de agua caliente de acuíferos subterráneos) está madura. No se ve afectado por los cambios estacionales y las fluctuaciones meteorológicas.
- iii. Las temperaturas típicas de la fuente geotérmica están en el rango de 70-90 ° C en la mayoría de las partes del mundo, que son ideales para la desalinización MED a baja temperatura. Las fuentes de alto grado por encima de 100 ° C se pueden usar para la generación de energía y otras aplicaciones de calor de proceso.
- iv. Estas fuentes no requieren una unidad de almacenamiento físico, ya que se almacenan en los acuíferos por debajo del nivel del suelo y pueden ser de manera constante (es decir, se puede acceder a él las 24 horas al día, los 365 días del año para satisfacer las necesidades del proceso) (Gude, 2015a).
- v. La desalinización geotérmica es amigable con el medio ambiente porque es la única energía renovable utilizada en el proceso sin emisiones de contaminantes atmosféricos y gases de efecto invernadero relacionados con los combustibles fósiles.
- vi. La desalación geotérmica ahorra combustibles fósiles importados que pueden usarse para otros fines mejorando la seguridad energética local y la sostenibilidad ambiental.
- vii. El agua de alimentación puede ser reemplazada por las aguas geotérmicas; en otras palabras, el agua geotérmica puede servir como medio de alimentación y transferencia de calor para la desalinización.

1.3.4.2.4 FACTOR DE CAPACIDAD

A diferencia de otras fuentes renovables, se puede confiar en las fuentes geotérmicas por su disponibilidad tanto en cantidad como en calidad. La energía geotérmica se puede considerar inagotable si se puede operar en una configuración de circuito cerrado como se ejemplificó en la Figura 13.

El factor de capacidad para las fuentes geotérmicas está relacionado con la disponibilidad de una fuente de energía tanto en cantidad como en calidad. Este parámetro refleja el porcentaje equivalente de horas de funcionamiento anual a plena carga de una determinada instalación (por ejemplo, un factor de capacidad de 0.70 significa, significa un 70% de horas/año de funcionamiento a plena carga). Se calcula mediante la expresión:

$$\text{Factor de capacidad} = \frac{(\text{Energía anual utilizada en Tj/año})}{\text{Capacidad instalada en MWt}} \times 0.1317 \quad \text{Ecuación 2.}$$

Cuando se lo compara con otras fuentes de energía renovables como fuentes solares, eólicas y de biomasa, el factor de capacidad para la fuente geotérmica es muy alto. Los factores de capacidad para varias fuentes de energía renovables se muestran en la Figura 19 (Evans, Strezov, & Evans, 2009)(Chamorro et al., 2012).

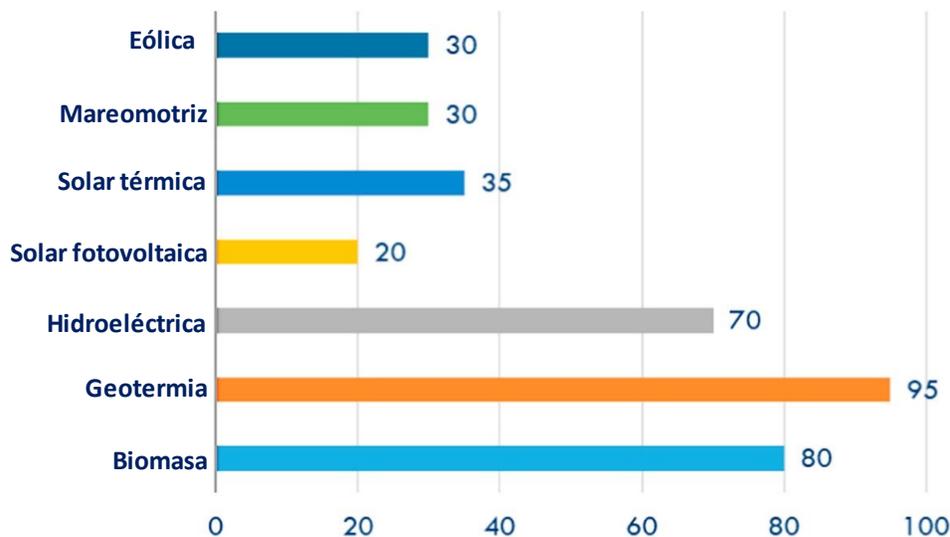


Figura 19 Rangos del factor de capacidad (en porcentajes) reportados por diversas fuentes de energía renovables (Chamorro et al., 2012).

La disponibilidad de biomasa es estacional y depende del clima y de la disponibilidad de otros recursos, como el agua y la tierra. Las fuentes geotérmicas no son una excepción, pero adolecen en menor medida de estas limitaciones. Para las fuentes geotérmicas, el factor de capacidad puede estar influenciado por los recursos limitados, un pozo obstruido, cambios en las condiciones del subsuelo y pérdida en la disponibilidad de agua (Goldstein et al., 2011).

1.3.4.2.5 AHORRO ENERGÉTICO

La energía geotérmica es una fuente de energía sostenible y renovable, capaz de reemplazar otras fuentes energéticas entre las que, naturalmente se incluyen a los combustibles fósiles, con lo que ello significa en términos de reducción, tanto de la dependencia energética como de las emisiones de gases de efecto invernadero y partículas.

(Lund & Boyd, 2016) realizó una estimación en la reducción de ahorro de combustibles fósiles de una planta de destilación por múltiple efecto con compresión térmica de vapor al sustituir dicho combustible fósil por energía geotérmica a temperaturas de 100°C, 115°C y 130°C mostrada en la Figura 20; el ahorro energético fue de 85%, 88%, 89 % y un ahorro de 46% para una planta híbrida que combina las tecnologías de ósmosis inversa y destilación por múltiple efecto.

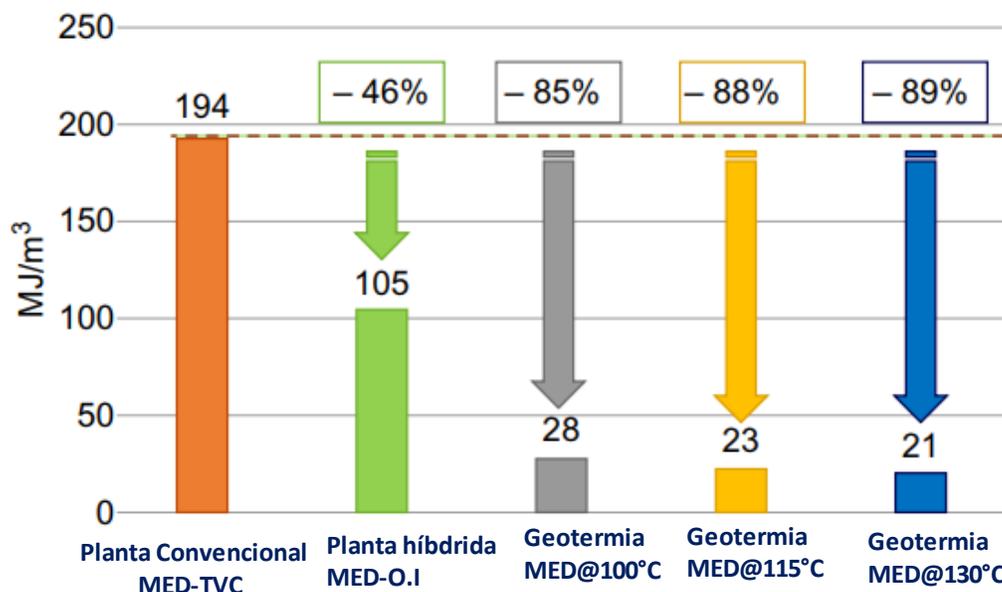


Figura 20 Efecto del ahorro energético de una planta convencional al utilizar energía geotérmica a diferentes temperaturas (Lund & Boyd, 2016).

1.3.4.3 DESALINIZACIÓN CON GEOTERMIA A NIVEL GLOBAL: ESTADO ACTUAL

La Figura 21 muestra las fuentes geotérmicas más calientes del mundo (Sanner, 2006). Se puede observar que estas ubicaciones coinciden con las regiones con escasez de agua y desiertos en la mayoría de los casos en todo el mundo. Este mapa también se asemeja al mapa solar de los recursos mundiales donde las fuentes de agua son limitadas.

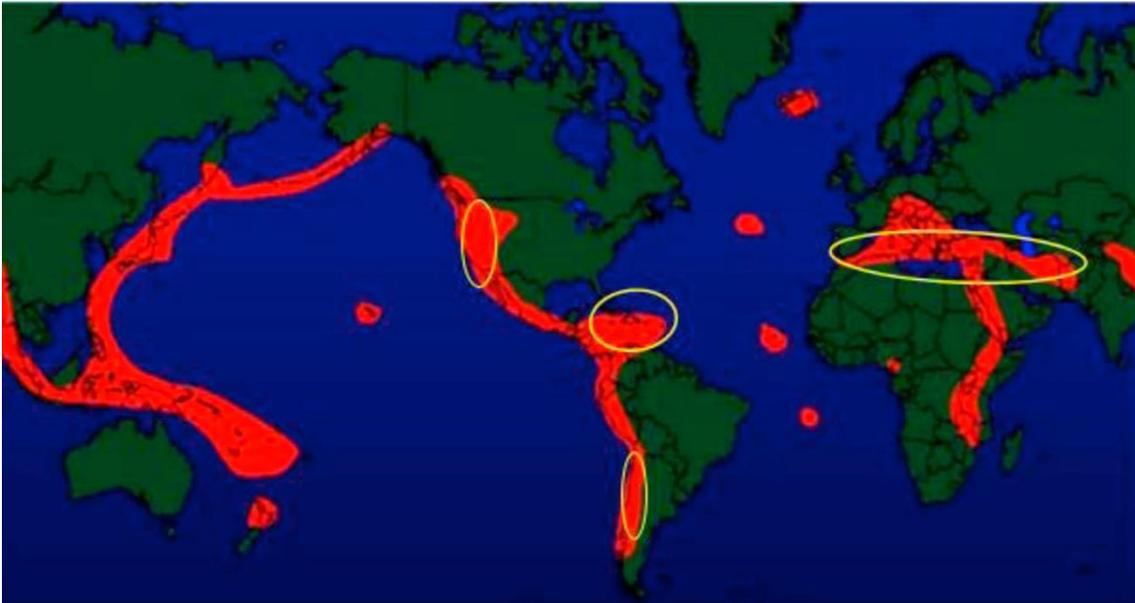


Figura 21 Áreas con alto potencial geotérmico (Sanner, 2006).

Esto indica claramente que las regiones con escasez de agua definitivamente pueden beneficiarse de las fuentes geotérmicas disponibles localmente. Los puntos geotérmicos más calientes se encuentran en el noroeste y sudoeste de los Estados Unidos, México, América Central y el Caribe, y en los países de Medio Oriente y el norte de África.

Las fuentes geotérmicas con temperaturas entre 40 y 70 ° C pueden usarse para aplicaciones de desalinización a baja temperatura, por ejemplo, destiladores solares, destilación de membrana o unidades de destilación multi-efectos a baja temperatura (LTMED) y procesos de humidificación-des humidificación. Las fuentes de calor de mayor grado (> 70 ° C) se pueden usar para procesos de desalinización por múltiple efecto (MED), MSF y procesos de ósmosis inversa.

Las temperaturas de fuente mucho más altas entre 120 y 200 ° C son adecuadas para los esquemas de cogeneración.

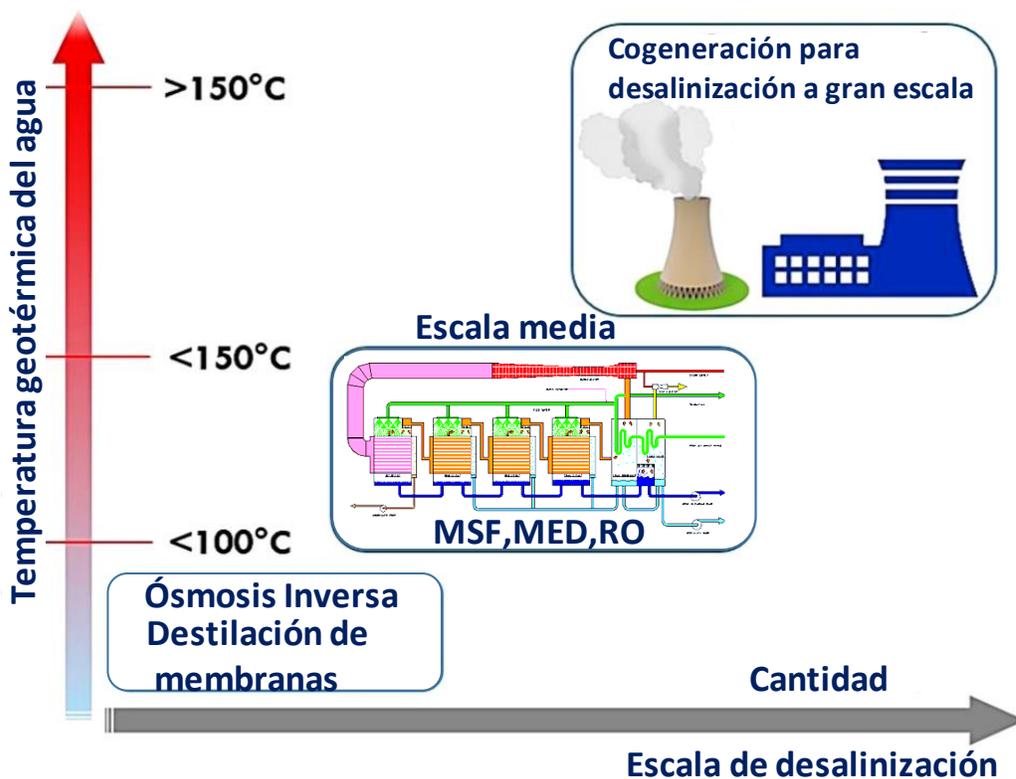


Figura 22 Aplicación de energía geotérmica en desalinización y cogeneración (Producción de agua y energía).

1.3.5 SELECCIÓN DEL PROCESO DE DESALINIZACIÓN

A la hora de seleccionar un proceso de desalinización apto para aplicaciones geotérmicas se deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones (Gude, 2011), (Andrienne & Alardin, 2003): (a) tamaño de la planta; (b) disponibilidad de fuentes de energía geotérmica y otras fuentes de energía renovables; (c) procesos de desalinización; (d) características del agua de alimentación; (e) requisitos de calidad del agua del producto; (f) opciones de eliminación de salmuera e (g) intensidad energética del proceso de desalinización.

1.3.6 TECNOLOGÍAS DE DESALACIÓN

Existen diversas tecnologías de desalación, pero las más utilizadas se pueden clasificar en procesos térmicos de cambio de fase y procesos de membranas. Como se puede observar en la Figura 23.

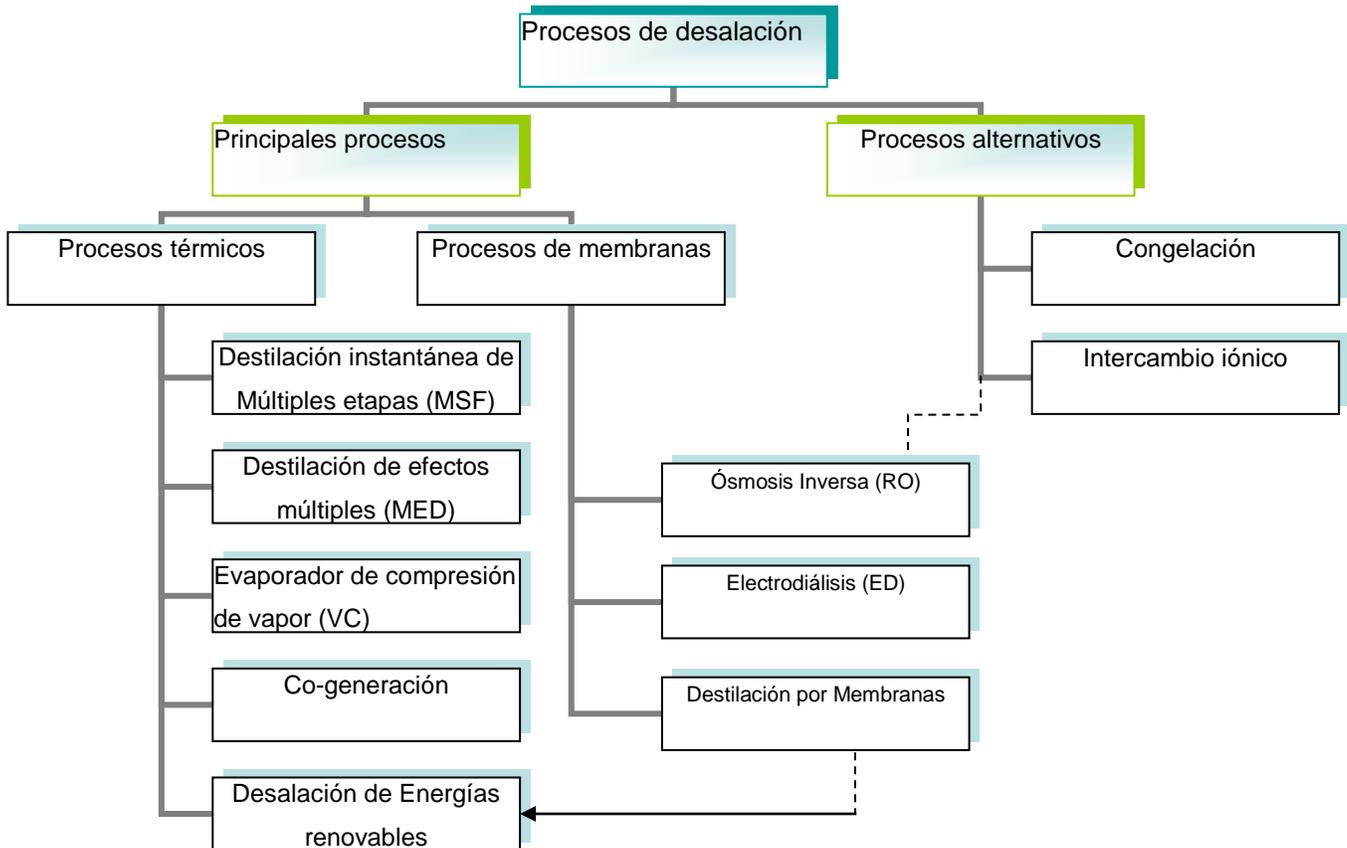


Figura 23 Clasificación de los procesos de desalinización del agua.

Como anteriormente se mencionó, en la desalación se puede separar el agua de las sales o viceversa. Por lo tanto, la primera clasificación de los métodos de desalación se atendrá a la forma de separación de sales y agua. Las siguientes clasificaciones se harán según el tipo de energía utilizada para el proceso, y finalmente por el proceso físico de la desalación. La Tabla 5 muestra dicha clasificación de los métodos (Phn & Del, 2001).

Tabla 5 Clasificación de proceso de desalación (Phn & Del, 2001).

Separación	Energía	Proceso	Método
Aguas de sales	Térmica	Evaporación	Destilación súbita (flash)
			Destilación múltiple efecto
			Termo compresión de vapor
			Destilación solar
	Cristalización	Congelación	
		Formación de hidratos	
	Filtración y evaporación	Destilación con membranas	
Mecánica	Evaporación	Compresión mecánica de vapor	
	Filtración	Ósmosis inversa	
Sales de agua	Eléctrica	Filtración selectiva	Electrodialisis
	Química	Intercambio	Intercambio iónico

1.3.6.1 TECNOLOGIA TÉRMICA DE DESALACIÓN

La desalación térmica es uno de los procesos más antiguos para purificar el agua de mar y agua salobre. Su principio se basa en calentar el agua a tratar hasta su punto de ebullición para lograr su evaporación y luego su condensación, proceso que es muy similar al ciclo del agua. El vapor de agua generado no contiene concentración de sales, y una vez que este condensa se puede obtener agua fresca. Algunos procesos de desalación térmica se detallan a continuación:

1.3.6.2 DESTILACIÓN MULTI-ETAPAS FLASH (MSF)

Método en el cual se precalienta el agua de mar por medio de una fuente de calor externa, logrando una temperatura de ebullición. El vapor generado pasa a través de un demister (des nebulizador) donde quedan retenidas las gotas de salmuera que han sido arrastradas.

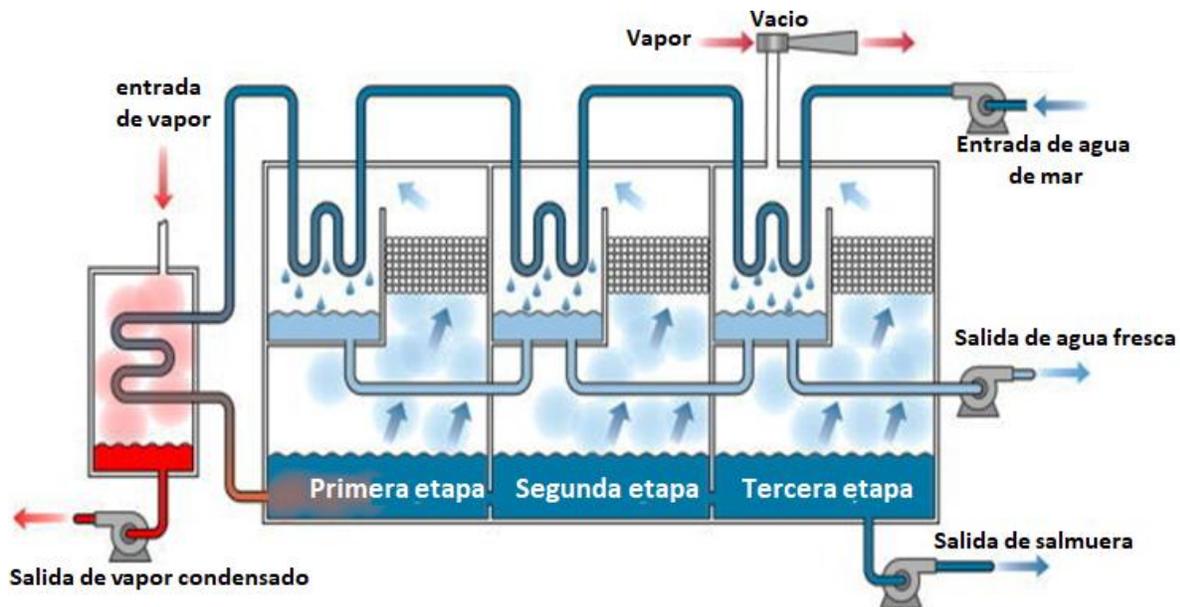


Figura 24 Diagrama de proceso de Destilación de Multi-Etapas Flash (MSF) (Buros, 2000).

En la Figura 24 se puede observar el proceso de Destilación Multi-Etapas Flash, el cual se inicia cuando el agua de alimentación entra en cada uno de los intercambiadores de calor de cada cámara los cuales tienen la función por un lado de precalentar el agua de alimentación a medida que este va circulando a través del arreglo de cámaras, y por el otro de condensar el vapor de agua generado en cada cámara. Una vez que el agua fue precalentada en las cámaras, es llevada a una cámara de vacío denominada "sector de calentamiento", la temperatura alcanzada por el agua salada es normalmente de 90-110°C.

El agua salada calentada pasa a otra cámara denominada primera etapa. La presión en esta cámara es menor que en la anterior, siendo la correspondiente a la de saturación del agua de alimentación que inicia inmediatamente el proceso de ebullición. El condensado es colectado y enviado a la etapa siguiente donde se repite el proceso de evaporación-condensación. Este proceso se repite en varias

etapas más, con menor presión entre cada una de ellas, obteniéndose el agua desalada como condensado de la última etapa. La cantidad de agua destilada que se puede obtener con este método es de 12-20% aproximadamente (Al-Mutaz & Al-Namlah, 2004).

Ventajas y desventajas de proceso MSF (Buros, 2000), (Khawaji & Wie, 1994), (Hamed & Mustafa, 2001), (Alkaisi, Mossad, & Sharifian-Barforoush, 2017).

- Son simples de construir y operar.
- Cantidad mínima de tuberías de conexión y no contiene partes móviles (solo bombas convencionales).
- En comparación con el proceso de ósmosis inversa, el agua de alimentación no es tan importante.
- El agua obtenida contiene un alto nivel de purificación (alrededor de 2-10 ppm) por lo tanto se le debe dar un post tratamiento para remineralizarla.
- Para obtener una mejor eficiencia del proceso se debe aumentar la temperatura alrededor de 115°C, produciendo problemas térmicos y mecánicos debido a que las sales de sulfato de calcio precipitan sobre la superficie de los tubos.
- Para aumentar la producción de agua de mar a tratar se deben añadir más etapa al proceso, elevando los costos de capital y la complejidad operativa.
- Puede tratar agua muy salada hasta 70,000 mg/l.
- No es adecuado para acoplarlo con energías renovables que tienen suministro de energía intermitente.

1.3.6.3 DESTILACIÓN POR MÚLTIPLE EFECTO (MED)

Este proceso de desalación utiliza el mismo principio que el proceso MSF, pero la diferencia radica en la forma en que se lleva a cabo la evaporación. El agua por desalar es precalentada en la etapa de condensación del vapor generado en el último efecto, ingresa al primer efecto en donde se eleva su temperatura al punto de ebullición con vapor externo, como se puede observar en la Figura 25 con 3 efectos (Grupo iiDEA, 2012), el agua salada se rocía sobre la superficie de los tubos del evaporador donde se forma inmediatamente una película delgada la cual favorece su rápida ebullición y evaporación. El vapor producido es colectado en este efecto y enviado al interior de los tubos evaporadores del siguiente efecto, el cual opera a una temperatura y presión inferior a las del anterior.

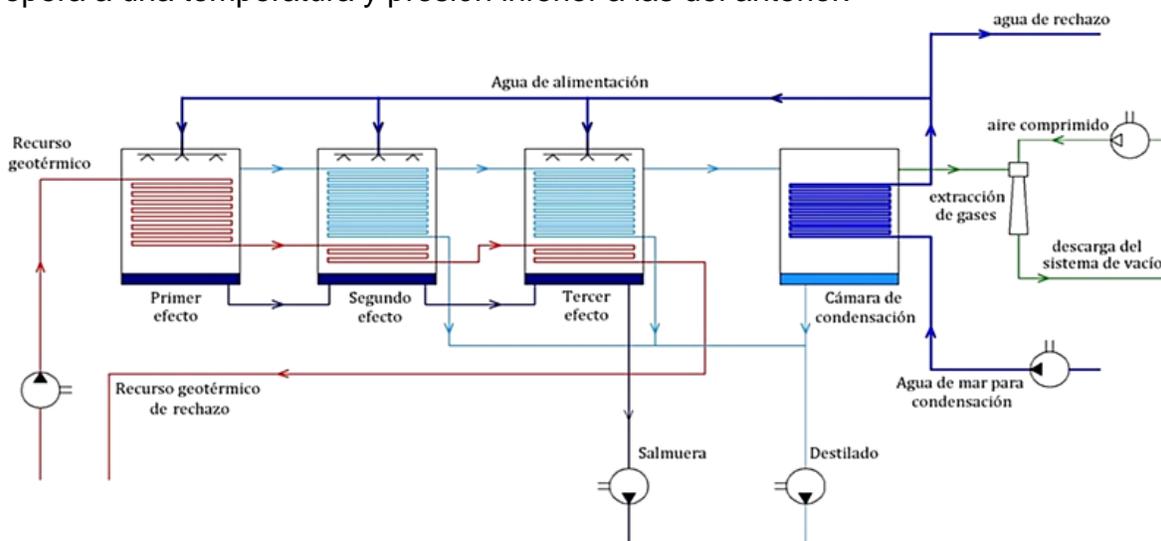


Figura 25 Esquema del proceso MED (Grupo iiDEA, 2012)

La salmuera generada en el primer efecto es también enviada al siguiente efecto donde se rocía formando una película delgada sobre la superficie de los tubos por los que circula el vapor del efecto anterior, repitiendo así el proceso de evaporación. El vapor de cada uno de los efectos se convierte así en agua desalada al ser condensado en el evaporador del efecto siguiente. El proceso se repite varias veces, dependiendo del número de efectos en el sistema.

La Figura 25 representa el proceso convencional de una planta MED, por lo general usan dos o tres efectos, obteniendo una tasa de evaporación baja, sin embargo, el proceso puede variar dependiendo de los flujos utilizados y la combinación en la

configuración de transferencia de calor. Las plantas MED modernas pueden estar compuestas por tubos verticales u horizontales, y para resolver el problema con baja tasa de evaporación, distribuyen de mejor manera el agua de alimentación sobre la superficie de calentamiento, mediante la utilización de un delgado film que permite que el fluido tenga contacto en forma de una fina capa en vez de generar una piscina profunda como en el método convencional.

Ventajas del proceso MED (Buros, 2000), (Darwish & El-Dessouky, 1996), (Nations, 2001).

- Baja probabilidad de corrosión en los tubos y de formación de incrustaciones, debido a que el proceso es diseñado para operar con temperaturas bajas, la que bordean los 70°C.
- En comparación con el proceso de ósmosis inversa, el agua de alimentación no es tan importante, reduciendo los costos de operación.
- Bajo consumo energético comparado con una planta MSF.
- Mayor eficiencia en comparación con una planta MSF, en términos de transferencia de calor y costo de producción de agua potable.
- Es adecuado para acoplarlo con energías renovables.
- Durante el proceso, la recuperación máxima es de 30-40% respecto al agua de alimentación. Su producción va desde los 500 hasta los 15,000 [m³/día].

1.3.6.4 DESTILACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR VC

En este proceso el calor necesario para llevar el agua de mar a ebullición se obtiene directamente del vapor que es removido del evaporador y reinyectado en la primera etapa luego de ser comprimido para elevar su temperatura de saturación (Mathioulakis et al., 2007).

En la Figura 26 se puede observar el funcionamiento de una planta VC. El agua de alimentación ingresa a un intercambiador de calor transformándose en vapor dentro del evaporador, para luego ser comprimido mediante un compresor mecánico (MVC) o un termocompresor (TVC), produciendo un aumento de temperatura el cual es utilizado como fuente de calor. La concentración de salmuera es retirada del evaporador mediante bombas de recirculación, sin embargo, no todo este flujo se considera residuo, ya que una fracción de éste es mezclada con el agua de alimentación.

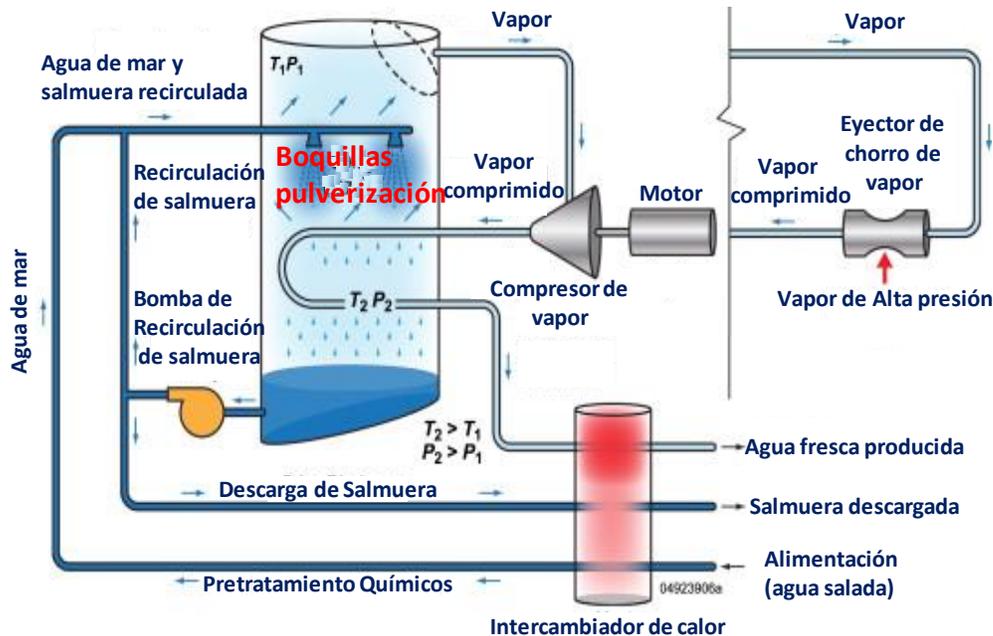


Figura 26 Diagrama del proceso de Destilación por compresión de vapor [VC] (Buros, 2000).

El compresor mecánico de vapor es construido con diferentes combinaciones para promover el intercambio de calor necesario para lograr evaporar el agua de mar y funciona generalmente con energía eléctrica. Este método crea un vacío dentro del evaporador para luego comprimir el vapor, el cual es condensado dentro de un haz de tubos. Estos tubos son rociados externamente con agua de mar, donde es calentada hasta su punto de ebullición, evaporándose parcialmente, produciendo más vapor. En los termocompresores, la presión del evaporador es disminuida extrayendo una parte del vapor generado mediante un Venturi, al ser comprimido se transforma en un chorro de vapor. Esta mezcla es condensada en las paredes del tubo produciendo la energía térmica necesaria para evaporar el agua de mar.

Ventajas del proceso VC (Buros, 2000)

- Ideal para desalinización a pequeña escala debido a la simplicidad y fiabilidad de su operación, alcanzando una capacidad de 3,000 m³/día.
- Bajo requerimiento energético debido a que no necesita altas temperaturas para funcionar.
- Debido a las bajas temperaturas que necesita para operar (menores a 70°C) se reduce el potencial de formación de incrustaciones y de corrosión en el tubo.
- La producción de este tipo de plantas va desde 500 a 20,000 m³/día. Las plantas en operación por lo regular son de una sola etapa.

1.3.6.5 DESALINIZACION POR MEMBRANAS

Esta tecnología logra producir agua dulce por medio de dos aguas con concentraciones diferentes, mediante membranas semipermeables. Se pueden encontrar una variedad de métodos que utilizan este sistema, si bien el principio es el mismo, la principal diferencia radica en el tamaño de las moléculas, iones y partículas suspendidas presentes en la solución a tratar.

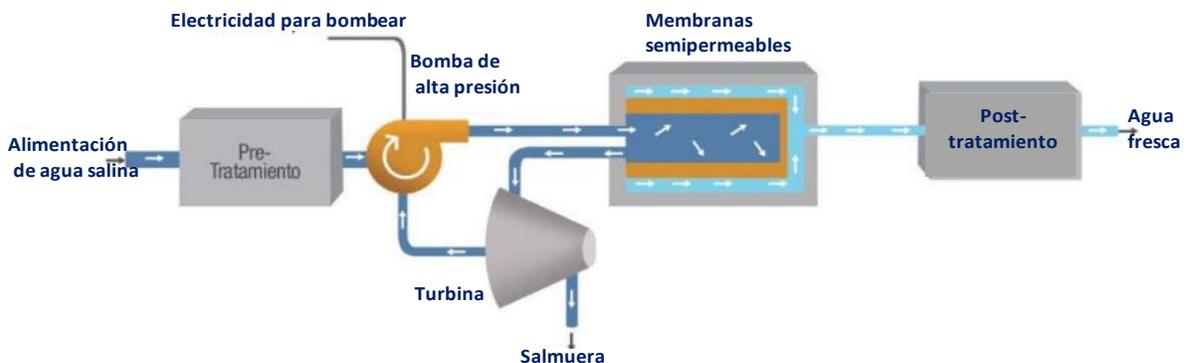


Figura 27 Diagrama esquemático del proceso de Ósmosis Inversa (Buros, 2000).

1.3.7 ENERGÍAS RENOVABLES EN MÉXICO

1.3.7.1 DEFINICIÓN DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES

Es importante mencionar, que los términos de energía limpia¹³ y energía renovable no son totalmente equivalentes. Las energías renovables forman parte de la energía limpia. La ley de Transición Energética (LTE) en su artículo 3, fracción decimosexta, define a las energías renovables como aquellas cuya fuente reside en fenómenos de la naturaleza, proceso o materiales susceptibles de ser transformado en energía aprovechable por el ser humano, que se genera naturalmente, por lo que se encuentra disponibles de forma continua o periódica, y que al ser generadas no liberan emisiones contaminantes [Ilustración 1] (SENER, 2018b).

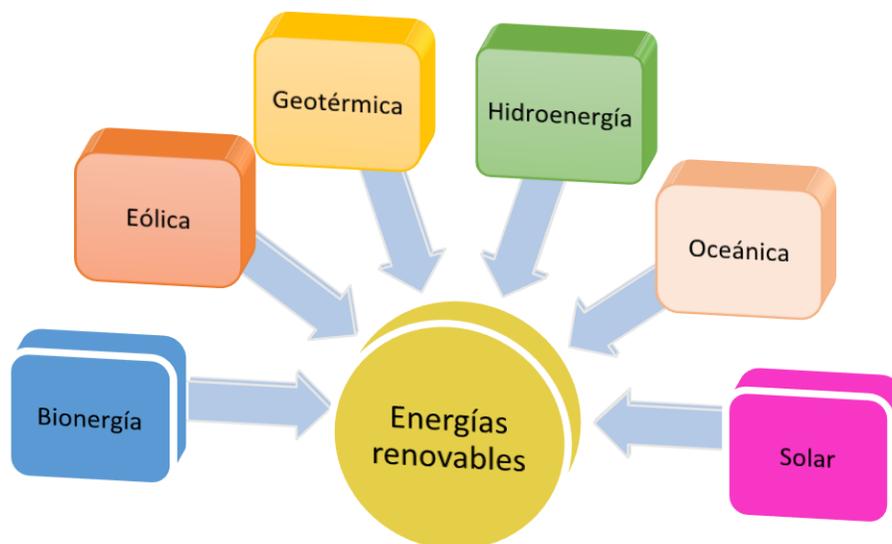


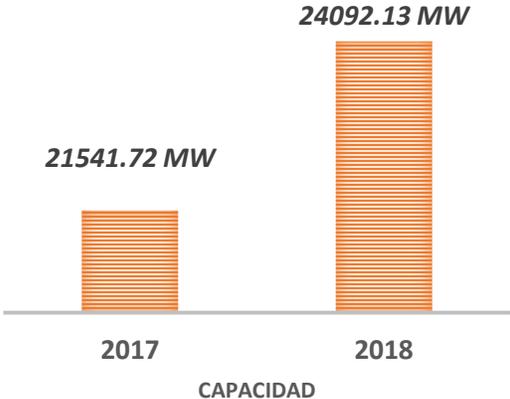
Ilustración 1 Tipos de energías renovables (SENER, 2018 b)

México cuenta con un gran potencial para generación de energía eléctrica a partir de recursos renovables. Al cierre del primer semestre de 2018 la generación por fuentes limpias alcanzó los **40,499.01 GWh**¹⁴ [Gigavatio-hora].

¹³ Son aquellas fuentes de energía y procesos de generación de electricidad cuyas emisiones o residuos, cuando lo haya, no rebasen los umbrales establecidos en las disposiciones reglamentarias que para tal efecto se expidan. Consultado en: DOF (2015) LTE Art. 3, fracc. XVI.

¹⁴ https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/416177/Boletin_Energias_Limpas_42ok.pdf

Las tecnologías que mayor crecimiento presentaron fueron la fotovoltaica, la eólica y la cogeneración eficiente contribuyendo a que la capacidad instalada por fuentes limpias se incrementara 11.84 % (2,550.41 MW) y la generación en 21.71 % con respecto al primer semestre del 2017(Coldwell et al., 2018).



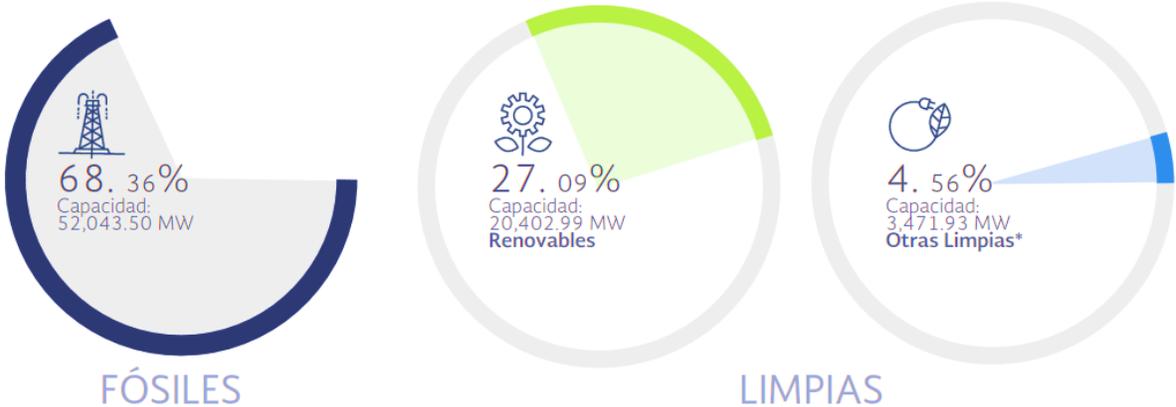
Gráfica 5 Capacidad instalada Junio 2017-Junio 2018 (Coldwell et al., 2018).



Gráfica 6 Generación con respecto al primer semestre (Coldwell et al., 2018).

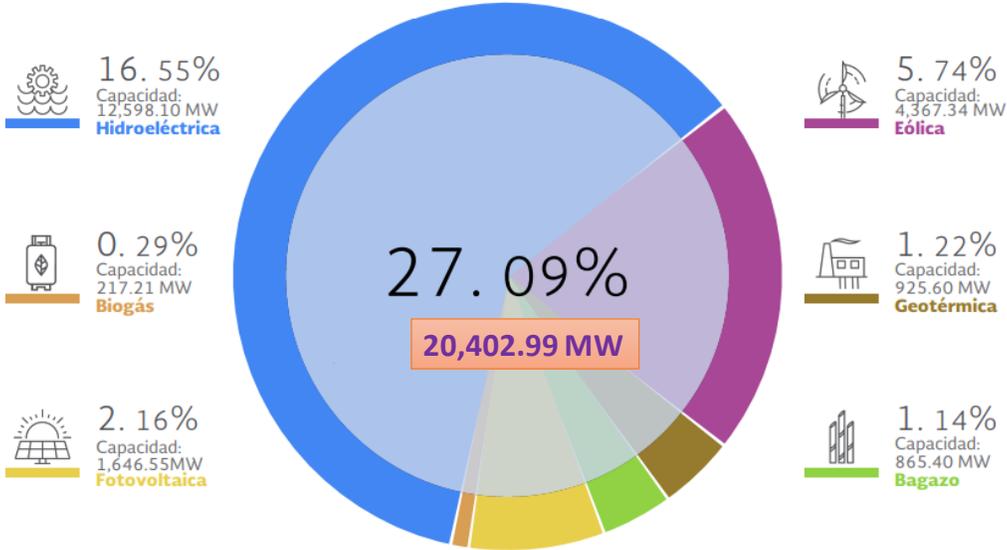
1.3.7.2 CAPACIDAD TOTAL INSTALADA

Al cierre del primer semestre de 2018, México contaba con una capacidad total instalada de **75,918.42 MW** de los cuales **23,874.92 MW** provino de tecnologías limpias representando el 31.45% [Gráfica 7].



Gráfica 7 Distribución de la capacidad instalada de energía (MW) al 30 de Junio de 2018.

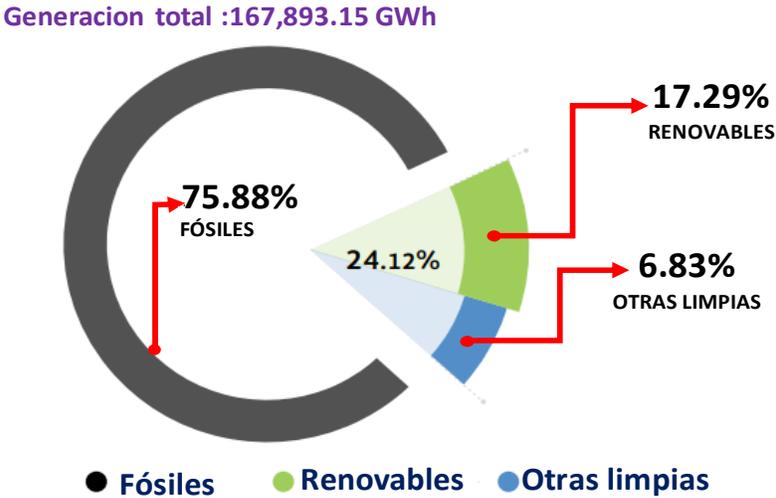
Cómo se puede apreciar en la Gráfica 7, el 27.09 % de la capacidad instalada provienen de fuentes de energías renovables, el porcentaje de los diferentes recursos renovables por capacidad se aprecia en la Gráfica 8, de los cuales la hidroeléctrica representa el 16.55% de la capacidad instalada.



Gráfica 8 Capacidad instalada de energías renovables al 30 de junio de 2018

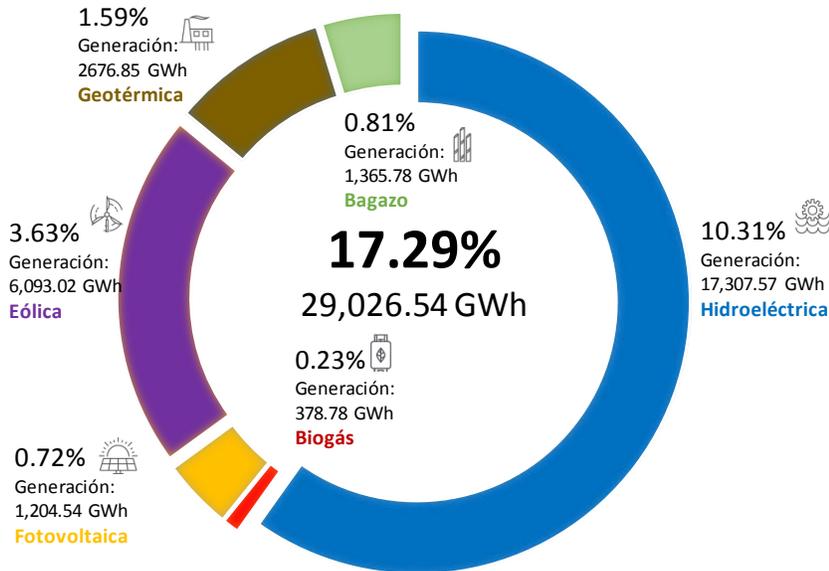
1.3.7.3 GENERACIÓN TOTAL DE ELECTRICIDAD

En cuando a la generación de electricidad, en 2018 las energías limpias aportaron el 24.12% de toda la energía eléctrica generada en nuestro país, alcanzando **167,893.15 Giga watts-hora [GWh]**, el incremento se muestra en la Gráfica 13.



Gráfica 9 Generación de energía (GWh) del 1 de enero al 30 de Junio de 2018.

En lo que respecta a las energías renovables Gráfica 10, la hidroelectricidad sigue siendo la principal fuente de generación con 17,307.57 GWh, seguida por la energía eólica, con 6,093.02 GWh, cifra que por segundo año consecutivo fue superior a la energía geotérmica, la cual alcanzó 2,676.85 GWh en junio de 2018.



Gráfica 10 Generación con energías renovables (GWh) del 1 de enero al 30 de junio de 2018 (Coldwell et al., 2018).

1.3.7.3.1 CAPACIDAD Y GENERACIÓN DE OTRAS ENERGÍAS LIMPIAS

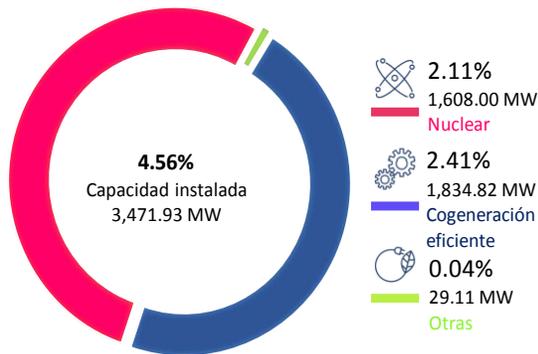
Entre las tecnologías conocidas como otras limpias (nuclear, cogeneración eficiente¹⁵, frenos regenerativos¹⁶ y licor negro¹⁷), la cogeneración ha tenido un crecimiento muy importante en el último año al duplicar su generación y alcanzar los 4,679.70 GWh, colocándose por orden de importancia como la cuarta en importancia (2.79% de la generación nacional).

¹⁵ Es la energía eléctrica producida conjuntamente con vapor u otro tipo de energía térmica secundaria, o cuando la energía térmica no aprovechada en los procesos se utilice para la producción directa o indirecta de energía eléctrica.

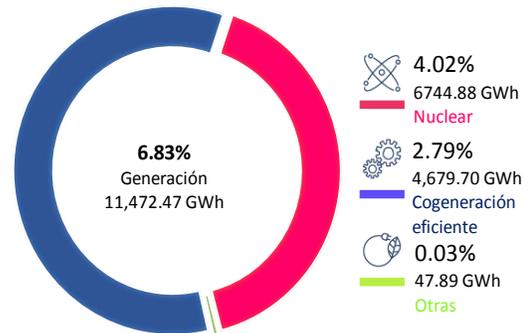
¹⁶ Es un dispositivo que permite reducir la velocidad de un vehículo transformando parte de su energía cinética en energía eléctrica.

¹⁷ Líquido residual proveniente del lavado y separación de la pulpa cocida en la fabricación del papel, utilizado como combustible durante el proceso de fabricación de pulpa sulfato.

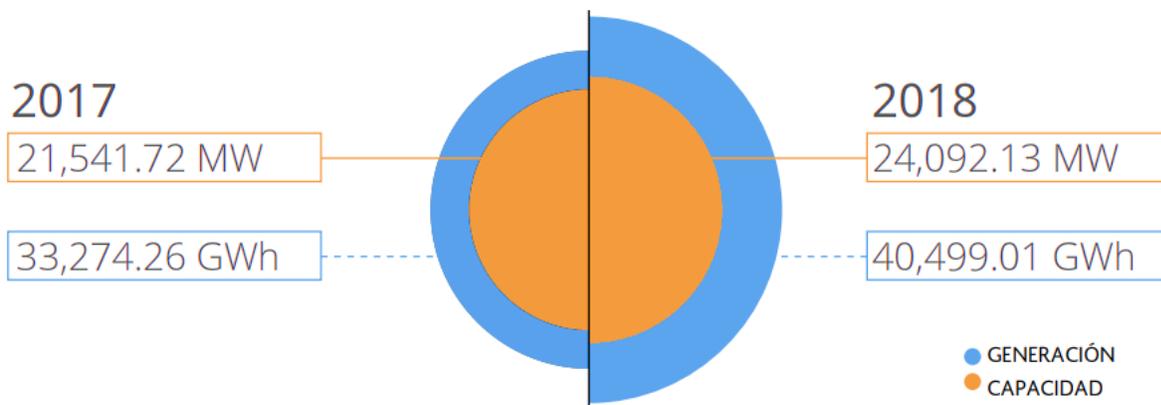
De esta manera las otras fuentes de energías limpias contribuyen con el 6.83% (11,472.47 GWh) de generación de energía eléctrica y el 4.56% de la capacidad instalada (3,471.93 MW) a nivel nacional (Coldwell et al., 2018).



Gráfica 12 Capacidad instalada por otras fuentes limpias (Coldwell et al., 2018).



Gráfica 11 Generación de electricidad por otras fuentes limpias (Coldwell et al., 2018).



CAPACIDAD INSTALADA

Incremento :11.84%

La instalación de las fases iniciales de los primeros proyectos ganadores de las Subastas de Largo Plazo y proyectos legados fueron el principal motor de crecimiento de capacidad instalada limpia

GENERACIÓN

Incremento :21.71%

El incremento corresponde principalmente a que las plantas hidroeléctricas generaron 2,315.43 GWh adicionales, la instalación de nuevos sistemas de cogeneración eficiente dio lugar a 2,404 GWh, la energía fotovoltaica y la eólica crecieron 931 GWh y 999 GWh respectivamente, compensando la caída de la generación geotérmica.

Gráfica 13 Crecimiento de las energías limpias, comparativo entre el primer semestre de 2017 y 2018 (Coldwell et al., 2018).

1.3.8 COSTO DE DESALINIZACIÓN ACOPLADA A ENERGÍAS RENOVABLES

El costo del agua producida está fuertemente relacionado con el tipo de proceso que se utilice para obtenerla y sus respectivos consumos energéticos. Si bien, la energía solar es un recurso renovable y gratuito, las tecnologías que la utilizan requieren de un costo de capital bastante elevado, incrementando los costos para poder producirla.

Sin embargo, estos tipos de procesos que utilizan energías renovables están en un constante desarrollo y estudio para poder disminuir estos costos de inversión. En la Tabla 6 se puede observar el consumo energético y costos de producción asociados a las distintas tecnologías de desalación que utilizan energías renovables para su funcionamiento (Al-Karaghoul, Renne, & Kazmerski, 2009) y (Michael, Marcel, & Charlotte, 2010).

Tabla 6 Consumo de energía y costos de producción para plantas desalinizadoras acopladas con energías renovables (Al-Karaghoul, Renne, & Kazmerski, 2009).

RE-desalinización proceso	Capacidad típica (m ³ /día)	Demanda de energía (KWhe/m ³)	Costo de producción (US\$/m ³)
Destilador solar	<100	Solar pasiva	1.3-6.5
MEH solar	1-100	Térmica:29.6 Eléctrica:1.5	2.6-6.5
MD solar	0.15-10	45-59	10.5-19.5
Estanque solar/MED	20,000-200,000	Térmica:12.4-24.1 Eléctrica:2-3	0.71-0.89
Estanque solar/RO	20,000-20,000	Agua de mar:4-6 Agua salobre:1.5-4	0.66-0.77
CSP/MED solar	>5000	Térmica:12.4-24.1 Eléctrica:2-3	2.4-2.8
PV/RO solar	<100	Agua de mar:4-6 Agua salobre:1.5-4	11.7-15.6 6.5-9.1
PV/EDR solar	<100	1.5-4	10.04-11.07
RO/Viento	50-2,000	Agua de mar :4-6 Agua salobre:1.5-4	6.6-9.0 pequeña capacidad 1.95-5.2 para 1000 m ³ /día
MVC/Viento	<100	7-12	5.2-7.8
MED/Geotermia	80	Térmica:12.4-24.1 Eléctrica:2-3	2-2.8

En los últimos treinta años, la investigación y el desarrollo sistemáticos han reducido el costo de la tecnología de desalinización al reducir el consumo de energía y mejorar el diseño. La Tabla 7 muestra el costo aproximado de las principales tecnologías de desalinización (VOUTCHKOV, 2012).

Tabla 7 Comparativa de parámetros entre tecnologías aplicables a desalación de agua de mar (VOUTCHKOV, 2012).

Propiedades	MSF	MED-TVC	MED	MVC	RO
Tamaño típico unidad (m ³ /día)	50,000-70,000 ¹⁸	10,000-35,000	5,000-15,000	100-2,500 ¹¹	145,000 ¹⁸
Consumo de energía eléctrica (kWh/m ³)	3.5-5	1.5-2	1.5-2.5	11-12	5-9
Consumo de energía térmica (kJ/kg)	250-300(Gude et al., 2010)	220-240	150-220	Ninguna	ninguna
Equivalente eléctrico a energía térmica (kWh/m ³)	9.5-19.5	9.5-25.5	5-8.5	Ninguna	ninguna
Consumo total de electricidad (kWh/m ³)	13.5-25.5	11-28	6.5-11	7-12	3-7
Calidad de agua producida (ppm)	≈10	≈10	≈10	≈10	400-500
Rango de temperatura	60-120°C		50-90°C	40-100°C	<45°C
Costos de planta	1500-2000	900-1700	1500-2000	1500-2000	900-1500
Costo de Capital (\$/m ³ /día)	1600-2300		550-2100	890-1350 ¹¹	900-1700 ¹⁸
Costo de Energía (\$/m ³)	0.35-1.1		0.08-1.15	0.057-0.4	0.3-0.6
Costo de agua producida (\$/m ³)	0.77-1.85 ¹⁹		0.87-1.95 ¹¹	0.46-5	0.55-2.37
% de recuperación	35-45% ²⁰		35-45% ¹²	25-40% ¹²	35–50%(AM) 50–90% (AS) ¹⁹

¹⁸ (Abdelkareem, El Haj Assad, Sayed, & Soudan, 2018)

¹⁹ (Gude, 2015b)

²⁰ (Center, 2005)

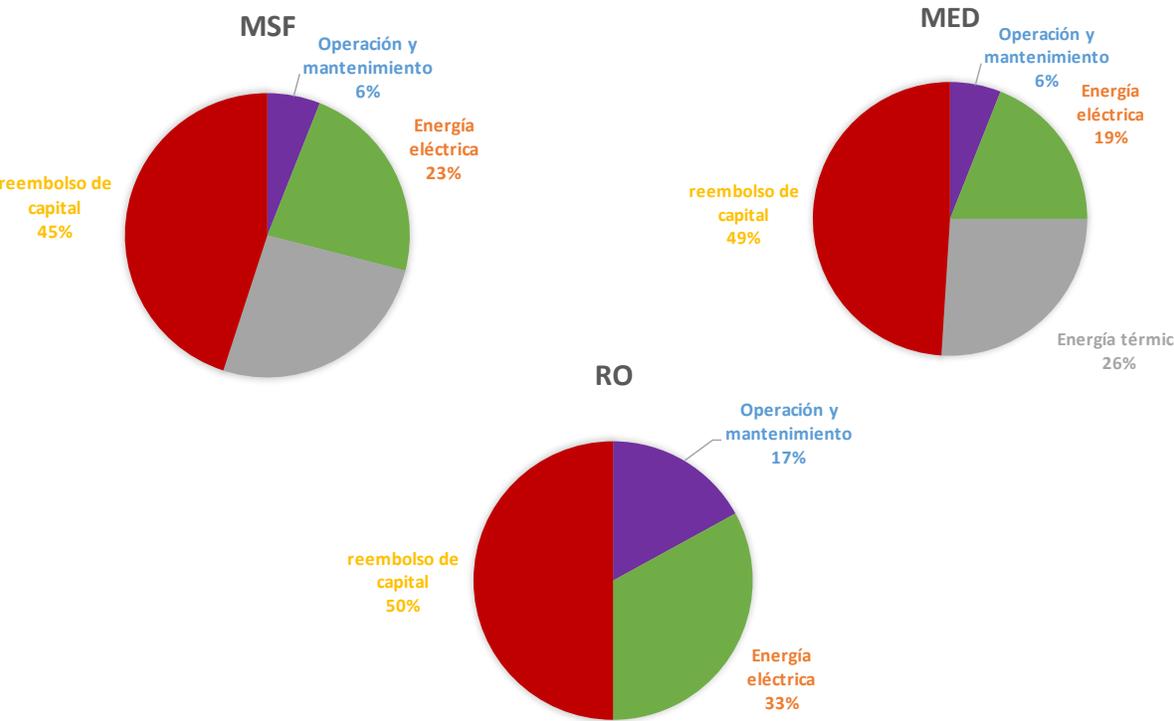
Como podemos apreciar en la Tabla 7, los procesos de desalinización térmica requieren tanto energía térmica como eléctrica. Mientras que los procesos de desalinización de membranas requieren energía eléctrica.

A partir de La Tabla 7 se puede observar que el proceso de MSF tiene el mayor consumo de energía específica (Eltawil et al., 2009) (Gude et al., 2010).

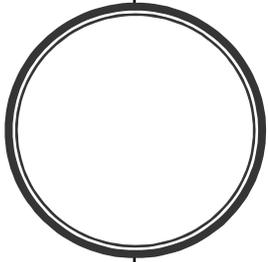
El costo de inversión de capital y el costo de la energía son los dos factores principales que afectan el costo de la tecnología de desalinización, mientras que otros factores, como el costo de operación y mantenimiento, son casi a una tasa fija (Ghaffour, Missimer, & Amy, 2013).

La salinidad de la fuente de agua, la disponibilidad de la fuente de energía, el tamaño de la planta, el costo de la tierra y el subsidio del gobierno son otros factores que afectan el costo de la desalinización.

La Gráfica 14 muestra el porcentaje de costo anual total de cada componente para las principales técnicas de desalinización (Ihm, Al-Najdi, Hamed, Jun, & Chung, 2016), (Huttner, 2013).



Gráfica 14 Porcentaje de costo anual total de las principales tecnologías de desalinización (Ihm, Al-Najdi, Hamed, Jun, & Chung, 2016).



2. PROCESO DESALADORA MODULAR GEOTÉRMICA DMG

El objetivo de este capítulo es dar a conocer el prototipo de la Desaladora Modular Geotérmica desarrollada por grupo iiDEA Mexicali, Baja California, el cual permitirá apoyar la comprensión del grado de la tecnología para desalar el agua de mar, que en este trabajo servirá de base para continuar este tipo de tecnología, la producción de la desaladora a escala piloto es de 40 m³/día, se pretende encontrar las mejores condiciones del proceso para incrementar la producción de agua desalada a través de simulaciones en el rango de 50-10,000 m³/día, en la sección 2.5.2 se establecerá una metodología para la resolución del problema partiendo de las ecuaciones de balance de masa y energía; de igual forma los supuestos para aplicarla de manera correcta a la DMG .

2.1 ALCANCE

En este capítulo se expondrá las características operativas necesarias para el funcionamiento de la DMG. El sistema DMG (por sus siglas Desaladora Modular Geotérmica) tiene como propósito lograr la destilación de agua de mar mediante la utilización de energía renovable proveniente de un yacimiento geotérmico de baja entalpía a 90°C. Para fines del presente trabajo, se evaluó la producción de una desaladora entre los rangos de **50-10,000 m³/día** a una concentración máxima de sólidos de 80 ppm, estará conformada por 3 unidades, la UDM-100 (Unidad Desaladora Modular), UVE-100 (Unidad de Vacío y Extracción de gases) y UPA-100 (Unidad de Pretratamiento de Agua), es alcance de esta descripción únicamente la unidad UDM-100, dónde se llevará a cabo la evaporación y producción de agua potable.

2.2 PROTIPO DESARROLLADO

Dentro de los planes de innovación referente al proyecto “Desarrollo tecnológico para el aprovechamiento de la geotermia de baja entalpía” el cual es llevado a cabo por grupo iiDEA, se incluye la construcción de una planta **DESALADORA MODULAR GEOTÉRMICA**, en adelante DMG, el cual acorde a programas medioambientales del país tiene por objeto la producción de agua potable. Esta agua debe cumplir con las condiciones adecuadas para su utilización en actividades humanas al ser producida mediante la utilización de una planta desalinizadora de agua de mar, con efluentes geotérmicos de baja entalpía como fuente de energía primaria. El aprovechamiento y uso de este recurso geotérmico deberá dar cumplimiento de acuerdo con la LEY DE ENERGÍA GEOTÉRMICA, publicado el 14 de agosto de 2014(Reforman, Disposiciones, Ley, & Nacionales, 2014).

Cabe destacar que la tecnología DMG ha sido probada mediante prototipos de pequeña escala desarrollados en un ámbito científico sin dejar de lado un desarrollo de acuerdo a normas nacionales e internacionales [Figura 28], añadido a esto, al experiencia en pruebas de campos ha enriquecido y optimizado protocolos de operación de la tecnología; todo esto ha dado la certeza de un producto confiable y seguro operativamente (Grupo iiDEA, 2012).



Figura 28 Prototipo de MED-LE desarrollada por iiDEA (Mexicali, BC) (Cortesía del grupo iiDEA).

La planta DMG nace del Instituto de Ingeniería de la UNAM; como resultado del esfuerzo e investigadores, especialista en desalación, geotermia e ingeniería industrial aplicada. Como todo desarrollo tecnológico ha pasado por validaciones mediante prototipos de pequeña escala sustentados técnicamente mediante software en investigación particular.

2.2.1 VALIDACIÓN TÉCNICA DEL PROCESO

La validación técnica se realizó mediante el software Aspen Plus V10, software utilizado ampliamente para la simulación, evaluación y análisis de sensibilidad de procesos. Los resultados de balance de materia y energía se presentan en el anexo XI

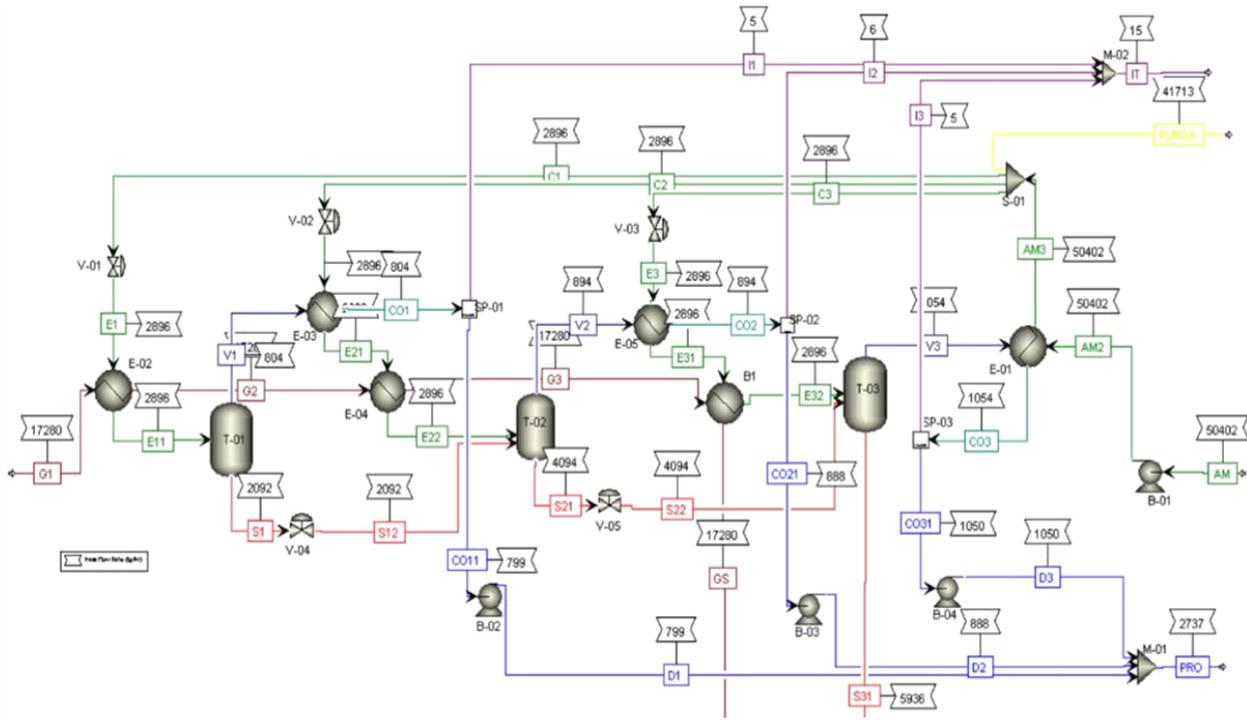


Figura 29 Simulación del proceso DMG en Aspen Plus.

2.2.2 MANUFACTURA E INTEGRACIÓN DE DISPOSITIVOS DEL PROTOTIPO

El primer prototipo DMG fue ejecutado a nivel laboratorio, a continuación, se muestran imágenes sobre la manufactura, construcción e integración de los diversos componentes del prototipo DMG [Figura 30].



Figura 30 Construcción de cámara prototipo, instalación de dispositivos de bombeo y análisis de agua de mar para preparación de agua salina para pruebas, cortesía del grupo IIDEA.

2.2.3 PRUEBAS PRELIMINARES

Como protocolo general, se desarrolló un conjunto de pruebas con el objeto de verificar el correcto funcionamiento del prototipo; el pre arranque involucró: pruebas de fugas, circulación, balance de motores y pruebas de arranque paro [Figura 31].



Figura 31 Pruebas operativas y verificación de funcionamiento de la instrumentación, cortesía del grupo IIDEA.

2.2.4 PROTOTIPO INTEGRADO PARA PRUEBAS

La culminación de las etapas de conceptualización, diseño, construcción y evaluación del prototipo permitieron caracterizar los equipos para un óptimo funcionamiento de la DMG: intercambiadores, condensadores, bombas y sistema de eyección de gases. A continuación, se presenta el prototipo final [Figura 32].

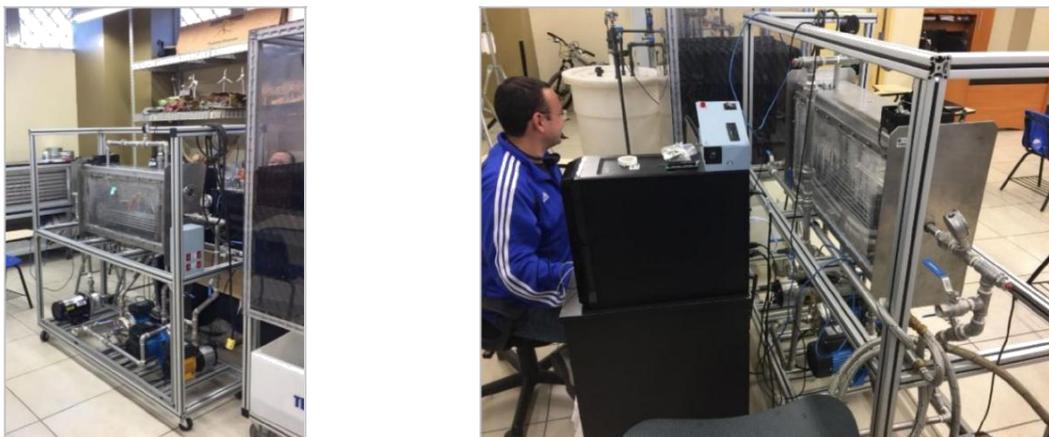


Figura 32 Prototipo final DMG para pruebas, cortesía del grupo IIDEA.

Aunado a todo lo planteado previamente, se modificó el sistema MED aprovechando el recurso geotérmico de baja entalpía como fuente energética, con el fin de mejorar el rendimiento del proceso. En la Tabla 8 se presentan los resultados de las evaluaciones que se realizaron tomando en cuenta los diferentes escenarios, siendo estas: alimentaciones en paralelo, en serie o combinaciones de estas.

Tabla 8 Parámetro del sistema MED con geotermia de baja entalpía.

	<i>Paralelo</i>	<i>Serie</i>	<i>Propuesta 1</i>	<i>Propuesta 2</i>	<i>MED LE</i>
<i>Agua de alimentación [m³/hr]</i>	66	54	359	71	92
<i>Destilado [m³/hr]</i>	21.5	20.2	16.5	26.6	27.8
<i>Recuperación[-]</i>	33%	37%	5%	37%	30%
<i>Potencia bombas [KW]</i>	18.8	24.6	95.8	40.5	26.7

Al modelo propuesto se le dio el nombre de MED-LE (MED Low Enthalpy) debido al recurso geotérmico de baja entalpía que se empleó. Este tiene el mismo principio de operación que un sistema MED convencional para la evaporación, sin embargo, difiere en el arreglo y equipamiento, a continuación, la Tabla 9 muestran sus principales características.

Tabla 9 Características operativas MED-MED-LE.

	<i>MED CONVENCIONAL</i>	<i>MED-LE</i>
<i>Fuente energética</i>	Vapor	Recurso geotérmico de baja entalpía (Líquido)
<i>Temperaturas de operación</i>	<70°C	85°C
<i>Aprovechamiento energético</i>	Primer Efecto (Cámara de evaporación)	El recurso es empleado en el primer efecto. Posteriormente, se aprovecha en cámaras subsecuentes en intercambiadores secundarios inferiores.

Como podemos observar en la Tabla 9, la configuración MED-LE mejora el rendimiento de la planta desaladora modular geotérmica, sin embargo, la producción obtenida es menor y económicamente no es viable, dado que a menor producción el costo de agua desalada es mayor, aunado a esto, esta tesis fue hecha para tratar de encontrar una capacidad rentable, reduciendo los costos de operación y mantenimiento, desde un enfoque ecológico. El sistema MED-LE propone un sistema eficiente que emplee recursos renovables para producir agua desalada, mitigando la problemática de la distribución de agua de mar en sectores aislados del noreste del país, así como también disminuir los impactos ambientales generados por plantas de desalinización convencionales.

2.3 DESCRIPCION DEL PROCESO

El proceso consta de tres efectos de evaporación a presiones por debajo de la atmosfera, consecutivas y decrecientes cuyo propósito es obtener agua con una pureza máximo de 50 [ppm] de sólidos disueltos para consumo humano. El esquema básico de la DMG es mostrado en la Figura 33. Cabe destacar que se seleccionó la tecnología MED para desalar agua de mar en la costa de baja california, debido a la disponibilidad de efluentes geotérmicos de baja entalpía y la necesidad de abatir problemáticas de suministro de agua.

El funcionamiento es similar a un sistema de desalación MED convencional, el agua de mar es tomada e introducida en un condensador de contacto directo, donde se busca precalentar el agua de mar por un parte y por otra condensar el vapor resultante dentro de los tubos del último efecto de la unidad desaladora. Al otro extremo del proceso, se suministra fluido geotérmico de baja entalpía, a una temperatura de 90°C a la primera cámara, el propósito es que este fluido transfiera de su energía térmica al fluido que circula por la parte externa al banco de tubos de la cámara, el fluido geotérmico abandona este primer efecto a una temperatura razonablemente alta. En tanto, la alimentación hacía las cámaras se hace en

paralelo con el agua de mar pre-calentada en el condensador, se especifica que en este primer efecto la presión está por debajo de la atmosférica, en este efecto el agua de mar evaporada es inducida al efecto siguiente. En tanto la salmuera resultante, que cuenta con una cantidad de energía térmica también es inducida al segundo efecto.

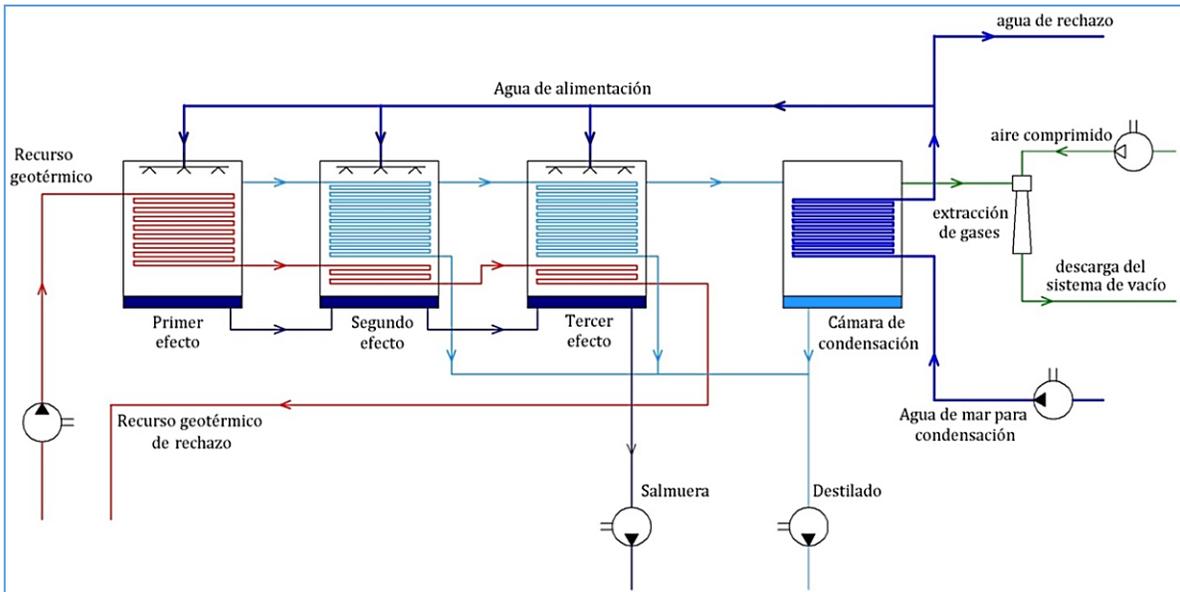


Figura 33 Esquematzación del sistema de desalación DMG (Grupo iiDEA, 2012).

Dentro de la segunda cámara se introducen por un lado la salmuera del efecto anterior y el agua de mar precalentada, por el otro lado se introduce el vapor generado en la primera cámara y el fluido geotérmico, tanto el calor latente y el sensible de ambas sustancias, respectivamente, provocan un incremento en la energía térmica del agua de mar en el segundo efecto y de la salmuera. La extracción de condensados se realiza entre una cámara y otra. Previamente a la entrada del agua de alimentación es necesario realizar una ramificación generando un remanente de agua de mar, dado que, un porcentaje alto de agua para la alimentación del sistema llevaría a una reducción en la generación de vapor, por otro lado, un porcentaje reducido significaría una mayor cantidad de vapor generado, pero con altos problemas de incrustaciones y corrosión. De un análisis térmico previo se ha deducido que 3 efecto nos da un moderado consumo energético de agua destilada (Alberto,2012).

2.4 BALANCE TERMODINÁMICO Y DEFINICION DE PARÁMETROS DE OPERACIÓN

Es necesario hacer hincapié a la primera ley de la termodinámica principalmente y la ecuación del balance de masa.

2.4.1 ECUACION DE CONSERVACION DE ENERGÍA

La primera ley de la termodinámica se ha utilizado comúnmente para analizar tecnologías de desalinización que considera, principalmente, la cantidad de energía utilizada en un proceso. En la figura 34 se muestra una representación general de un proceso de desalinización por cambio de fase, que incluye un evaporador y una

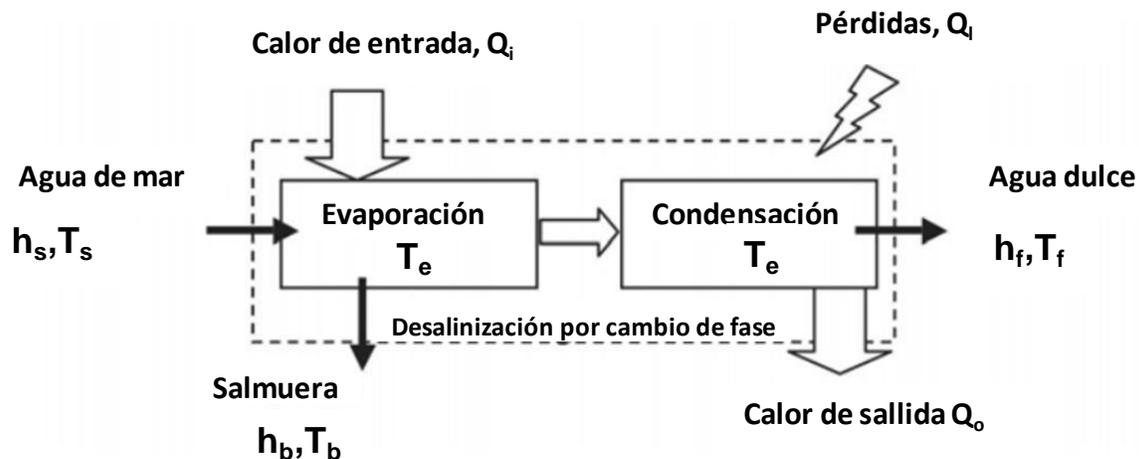


Figura 34 Esquema general de un proceso de desalinización por cambio de fase con flujos de energía (Gude, Nirmalakhandan, & Deng, 2011).

condensación.

De donde, h es la entalpía específica, T es la temperatura, y Q es tasa de transferencia de calor, $Q_o = m_f h_{L(T_e)}$ es la tasa de calor que se rechaza a través del calor latente, donde m_f es la tasa de producción de agua dulce y $h_{L(T_e)}$ es el calor latente de la condensación a la temperatura de evaporación, T_e ; y $Q_l = UA \Delta T$ es la tasa de pérdida de calor, donde U es el coeficiente de transferencia de calor, A es el área de transferencia de calor, y ΔT es la diferencia de temperatura entre la cámara de evaporación y el ambiente, Q_i es el calor que ingresa al proceso y h_s , h_f son las entalpías del agua del mar, salmuera y flujo de agua respectivamente. Similarmente, T_s , T_b y T_f son las temperaturas del agua del mar, salmuera y flujo de agua (Gude, Nirmalakhandan, & Deng, 2011).

$$\frac{dq}{dt} + \frac{dw}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} \iiint \left[\left(i + \frac{1}{2} v^2 + gz \right) \rho dV \right] + \iint \left[\left(i + \frac{1}{2} v^2 + gz \right) \rho(v) * dA \right]$$

Para aplicarla de manera correcta a la unidad DMG, se toman los siguientes puntos como supuestos:

- Estado permanente: Es decir, se tiene un proceso de flujo de Energía y materia constante en todo momento y no hay variaciones en el proceso respecto al tiempo.
- Las variaciones de energía cinética y potencial son despreciables.
- No se considera pérdida de calor hacia los alrededores, es decir, se considera un sistema adiabático.
- Se determinarán las propiedades termodinámicas de acuerdo a las condiciones de cada estado, en ocasiones se usa la temperatura promedio para algunas propiedades, en dichos casos se aclara.
- La distribución de los flujos es uniforme en todos los tubos del intercambiador.
- El flujo de masa caliente: En este caso el flujo másico del fluido geotérmico se considera como agua solamente.
- El flujo de agua fría: Que será el flujo másico marino, se considera como agua de mar, se definen sus propiedades en el anexo IV.
- Se hace un análisis de concentración de sólidos en suspensión en el agua de mar y de gases incondensables en la misma.
- Los gases incondensables se consideran con las propiedades termodinámicas del aire, es decir una mezcla de: Nitrógeno, Argón y Oxígeno.

2.4.2 ECUACIÓN DE CONSERVACIÓN DE MASA

Indica la transferencia, acumulación y/o pérdida de masa en un volumen de control definido, se define cualitativamente como:

$$0 = \frac{\partial}{\partial t} \iiint [\rho dV] + \iint [\rho v * dA]$$

2.5 CONDICIONES OPERACIONALES DE LA UNIDAD DMG-100

2.5.1 ENTORNO AMBIENTAL DE OPERACIÓN DE LA UNIDAD DMG

La Tabla 10 resume las condiciones de operación de la unidad DMG para una producción de 10,000 m³/día y un FC de 2 que inciden directamente en el funcionamiento de la unidad desde un aspecto térmico, las variables a manipular son el flujo de agua geotérmica y el flujo de agua de mar en cada cámara, especificando la producción de agua que se desea alcanzar, para cada corrida el factor de concentración permanece constante.

Tabla 10 Datos de entorno ambientales para sistema DMG

Temperatura del fluido geotérmico	90° [C]	Eficiencia de intercambiadores	90%	DP entre cámaras	3 [Kpa]
Temperatura de agua de mar	25 [°C]	Caída de presión monofase	30[Kpa]	Presión más baja	0.01 [Mpa]
Concentración de sólidos agua de mar	34,396 [ppm]	Pinch intercambiador monofásico	6 [°C]	Flujo de agua de mar c/u de cámaras	88.2281 [Kg/s]
Flujo de agua geotérmica	1061.2456 [kg/s]	Porcentaje de incondensables (masa)	3%	Fluido NC	Air
Altura sobre nivel del mar	50 [m]	Pinch para condensador-evaporador	6 [°]	Fluido	Water
Presión atmosférica	0.10073 [MPa]	Pinch de condensador	8 [°C]	Sistema de unidades	C
Factor de operación	90%	Eficiencia bombas	65%	Eficiencia eyector	20 %

2.5.1.1 ESPECIFICACIONES DEL AGUA DE MAR

El suministro de agua de mar se hará a presión atmosférica, 25°C y una concentración de 34,396 ppm. Las especificaciones del agua de mar resumidas en la Tabla 11 corresponden a las reportadas para las costas de ensenada cuyo pH promedio es de 8.2.

Tabla 11 condiciones del servicio de agua de mar Ensenada, Baja california (Correa, 2007)

Servicio: Agua de mar			
Sólidos disueltos			
Cationes		Aniones	
Na	11941.7	Cl ⁻¹	18391.71
Mg	1219.07	SO ₄ ²⁻	2575.7
Ca	391.31	HCO ₃ ⁻	101.64
K	379	Br	63.82

Sr ²⁺	7.55	CO ₃ ²⁻	15.26
		BO ₃ ³⁻	7.64
		F	1.3
Gases Disueltos ²¹			
Gas	% volumen		
N ₂	64		
O ₂	34		
CO ₂	1.6		
[He] otros gas	0.4		
Concentración máxima de clorofila superficial de 3.2 mg/m ³ en verano			

A pesar de que se tiene cuantificada la cantidad de cationes y aniones reportados en la Tabla 11, estos datos se deben de confirmar mediante estudios de campos realizados al agua de mar, los siguientes datos son una lista de compuestos que se encuentran diluidos de forma natural en el agua de mar.

Fórmula		[ppm]	[%] masa
Cloruro de sodio	NaCl	24,000	2.318
Cloruro de Magnesio	MnCl ₂	5,000	0.4835
Sulfato de sodio	Na ₂ SO ₄	4,000	0.3864
Cloruro de calcio	CaCl ₂	1,100	0.1062
Cloruro de potasio	KCl	700	0.0676
Bicarbonato de sodio	NaHCO ₃	200	0.0193
Bromuro de sodio	NaBr	96	0.0092
Total de sólidos		35,096	
Agua		1,0000	96.61
Total de Mezcla		1,035,096	100

Las siguientes condiciones operativas, son resultado de un conjunto de artículos, revistas, datos de operación reales de unidades desaladoras recopilados por grupo IIDEA, la referencia más destacable es el libro "Fundamentals of Salt Water Desalination" (El-Dessouky and Hisham M. Ettouney, 2002).

Tabla 12 Datos Operativos para cada una de las cámaras de la DMG.

Parámetro	Valor	Unidades
Efectos (cámaras)	3	[-]
Acercamiento de temperatura para condensador	8	[°C]
Presión en 1er cámara	0.16	[bara]
Caída de presión en cámaras subsecuentes	-0.03	[barm]
Acercamiento de temperatura para cada condensador- evaporador	6	[°C]
Caída de presión permisible de lado tubos del intercambiador	0.3	[barm]
Acercamiento de temperaturas para intercambiador monofásico	6	[°C]
Factor de Operación anual	90	[%]
Flujo de agua de mar para cada una de las cámaras	88.2281	[kg/s]
Eficiencia hidráulica de bombas	76	[%]
Eficiencia eléctrica de motor para bombas	95	[%]
Eficiencia mecánica de bombas	90	[%]

²¹ (Cifuentes, García, & Frias, 1986)

Para el análisis completo del sistema, se programó en una hoja de cálculo el proceso de desalación ocupando las ecuaciones que se presentan en la sección 2.5.1.2, así como los parámetros de funcionamiento. Para las propiedades termodinámicas necesaria en los cálculos, se utilizó una librería para Excel de propiedades físicas de fluidos, llamada REFPROP²², en la parte inferior se muestra el esquema de la planta DMG.

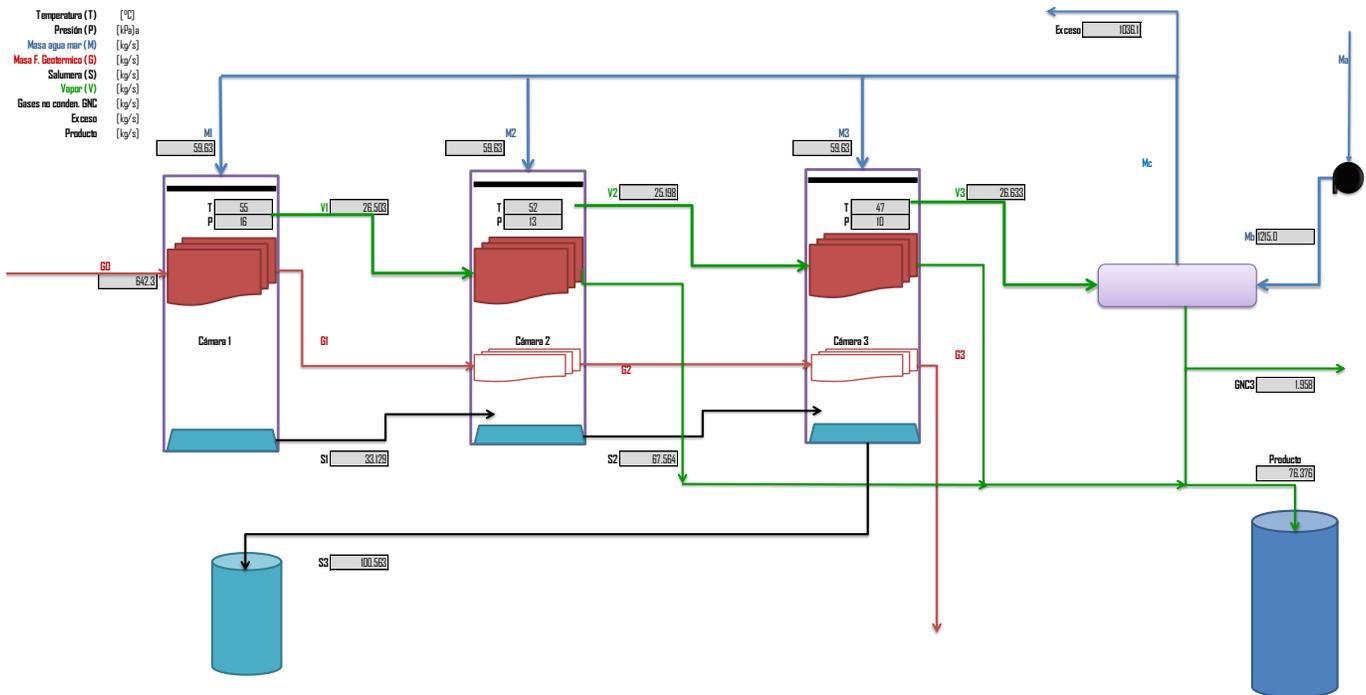


Figura 35 Representación de la Unidad Desaladora Modular Geotérmica propuesta para la etapa de la simulación en Excel.

2.5.1.2 BALANCE DE MASA Y ENERGÍA ENTRE CÁMARAS.

Para este proceso, se han considerado tres etapas de evaporación y un último proceso de condensación. Se describen a continuación:

- Primera etapa: donde se aprovecha la mayor cantidad de energía térmica disponible por parte del fluido geotérmico, con ella se forma cierta cantidad de vapor, que pasa al siguiente efecto.

²² <https://www.nist.gov/srd/refprop>

- Segunda y tercera etapa: en ellos se aprovecha la energía térmica remanente de los procesos anteriores, mediante procesos de evaporación-condensación.
- Proceso de condensación: cuyo propósito es condensar el vapor proveniente del último efecto, y a la vez lograr un precalentamiento del agua de mar que ha de entrar en la primera cámara.

Lo anterior se esquematiza en la Figura 35.

Considerando al sistema completo se efectúa un balance de masa del agua que entra en las cámaras, para la cual se utiliza la siguiente ecuación:

$$\dot{m}_{am} = \dot{m}_d + \dot{m}_s \quad \text{Ecuación 3.}$$

Dónde

\dot{m}_{am} = Gasto másico de agua de mar para el proceso

\dot{m}_d = Gasto másico de destilado

\dot{m}_s = Gasto másico de salmuera

2.5.1.2.1 ANÁLISIS TÉRMICO

En primera instancia se realiza el análisis de cada componente (Cámara) usando las ecuaciones fundamentales de la primera ley de la termodinámica tal como se muestra a continuación.

Primera etapa

Tomando como referencia la nomenclatura señalada en la Figura 36, se establece el siguiente balance de masa y energía dada por la Ecuación 5:

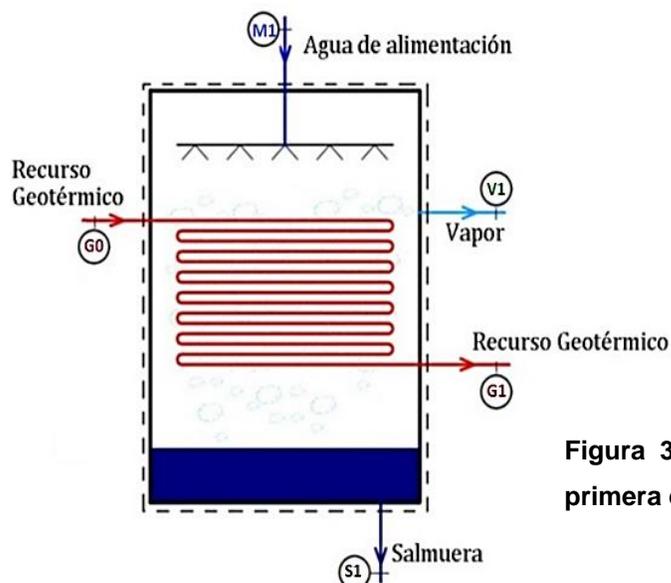


Figura 36 Esquematización de volumen de control de la primera etapa.

Balance de masa

$$\dot{m}_{V1} + \dot{m}_{S1} = \dot{m}_{M1}$$

$$\dot{m}_{G0} = \dot{m}_{G1}$$

Ecuación 4.

Balance de energía

$$\dot{m}_{G0}(h_{G0} - h_{G1}) = \dot{m}_{V1}h_{V1} + \dot{m}_{S1}h_{S1} - \dot{m}_{M1}h_{M1} + F_{NC}\dot{m}_{M1}h_{NC1}$$

Ecuación 5.

el factor de concentración, definido como: $FC = \frac{S_{S1}}{S_{M1}}$

Dónde

$\dot{m}_{V1} =$ Gasto másico de vapor 1

$\dot{m}_{S1} =$ Gasto másico de salmuera 1

$\dot{m}_{M1} =$ Gasto másico de agua de mar por cámara

$\dot{m}_{G0} =$ Gasto másico del recurso geotérmico

$h_i =$ Entalpía a las condiciones del fluido correspondiente

$F_{NC} =$ Factor gases no condensables

$h_{NC} =$ Entalpía de gases no condensables a la T de la cámara

En el segundo y tercer efecto, se lleva a cabo el mismo análisis considerando como fuente de calor al vapor generado en la cámara anterior y al mismo recurso geotérmico utilizado. También se toma en cuenta la salmuera que sale del efecto anterior y que entra al siguiente.

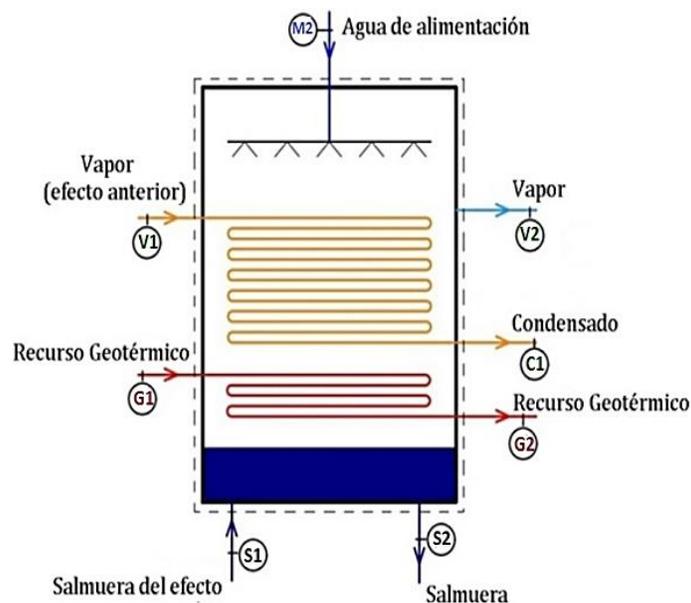


Figura 37 Esquematzación de volumen de control de 2da y 3ra etapa.

Segundo efecto y tercer efecto

Tomando como referencia la nomenclatura señalada en la Figura 37, se establece el siguiente balance de masa y energía:

Balance de masa

$$\dot{m}_{V2} + \dot{m}_{S2} = \dot{m}_{M1} + \dot{m}_{S1}$$

$$\dot{m}_{G1} = \dot{m}_{G2}$$

Ecuación 6.

$$(\dot{m}_{V1} - F_{NC}\dot{m}_{M1})(h_{V1} - h_{C1}) + \dot{m}_{G1}(h_{G1} - h_{G2})$$

$$= \dot{m}_{V2}h_{V2} + \dot{m}_{S2}h_{S2} - \dot{m}_{S1}h_{S1} - \dot{m}_{M2}h_{M2} + F_{NC}\dot{m}_{M2}h_{NC2} \quad 7.$$

Ecuación

Dónde

\dot{m}_{V1} = Gasto másico de vapor 1

\dot{m}_{S1} = Gasto másico de salmuera 1

\dot{m}_{V2} = Gasto másico de vapor 2

\dot{m}_{S2} = Gasto másico de salmuera 2

\dot{m}_{M1} = Gasto másico de agua de mar por cámara

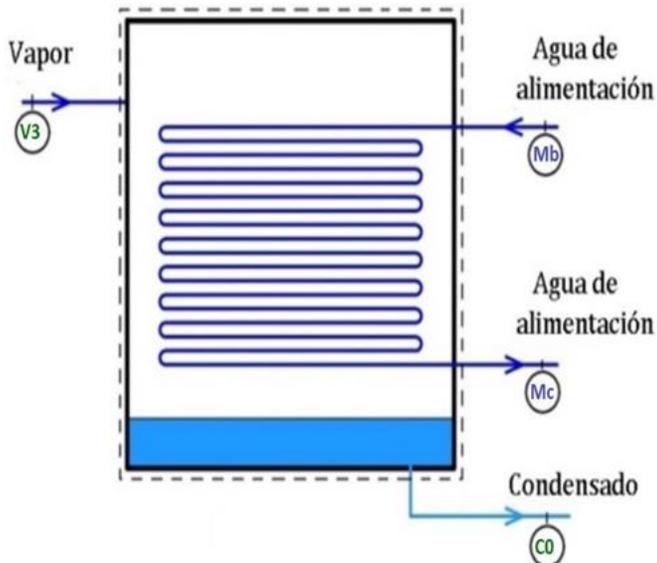
\dot{m}_{G2} = Gasto másico del recurso geotérmico

h_i = Entalpía a las condiciones del fluido correspondiente

F_{NC} = Factor de gases no condensables

el factor de concentración: $FC = \frac{S_{M2} + S_{S1}}{S_{S2}}$

La Ecuación 7 también aplica para la etapa tres.



Condensador

Cómo última parte del análisis térmico se tiene al precalentador de agua de mar y que sirve como condensador del último efecto del sistema MED.

Figura 38 Esquemmatización de volumen de control para condensador principal

Su balance de energía es:

$$(\dot{m}_{V3} - F_{NC}\dot{m}_{M3})(h_{V3} - h_{C0}) = \dot{m}_{Mc}h_{Mc} - \dot{m}_{Mb}h_{Mb} \quad \text{Ecuación 8.}$$

Dónde

$$\begin{aligned} \dot{m}_b &= \dot{m}_b && \text{Gasto másico de agua de mar inicial} \\ \dot{m}_{V3} &= && \text{Gasto másico de vapor al precalentador de agua de mar} \\ h_i &= && \text{Entalpía a las condiciones del fluido correspondiente} \end{aligned}$$

Análisis de concentración en salmuera de desecho

Se hace para la primera etapa (Figura 36), pero de igual manera aplica para todos los demás efectos:

$$\dot{m}_{M1}S_{M1} = \dot{m}_{V1}S_{V1} + \dot{m}_{S1}S_{S1} \quad \text{Ecuación 9.}$$

En primera instancia se dice que el vapor producido, no contiene concentración alguna de sales, de modo que $S_{V1} = 0$. En adición, el factor de concentración está definido como:

$$FC = S_{S1}/S_{M1} \quad \text{Ecuación 10.}$$

Estas consideraciones arrojan que:

$$FC = \dot{m}_{M1}/\dot{m}_{S1} \quad \text{Ecuación 11.}$$

De igual manera, se sabe que:

$$\dot{m}_{S1} = (1 - x_1)\dot{m}_{M1} \quad \text{Ecuación 12.}$$

y

$$x_1 = \frac{FC - 1}{FC} \quad \text{Ecuación 13.}$$

De esta manera el factor de concentración se puede relacionar con la calidad, es decir, la cantidad de energía que tenemos que agregar a cada una de las cámaras para que se genere cierta cantidad de vapor sin llegar a una concentración excesiva de sólidos. De modo que se obtienen todas las calidades de vapor para cada efecto en función del factor de concentración.

En algunas prácticas industriales, la salmuera de desecho alcanza hasta una concentración de 64,500 [ppm] (Trieb, 2007). La Tabla 13 muestra el factor de concentración para diferentes procesos de desalinización con sus respectivos porcentajes de recuperación, como se puede observar los procesos de desalinización térmica pueden alcanzar hasta un factor de concentración de 2.

Tabla 13 Comparación del factor de concentración FC (agua de mar) para diferentes procesos de desalinización

	MSF	MED	VC	RO
% de recuperación (Y%)	30-5	40-50	40-50	35-45
Factor de concentración $\frac{1}{1-Y}$	1.4-2	1.6-2	1.6-2	1.5-1.8

Para fines de este trabajo, el factor de concentración es una variable que afecta al proceso, en la simulación se varió desde un valor inicial de 1 hasta un valor final de 2 con el fin de determinar el efecto de esta en la unidad desaladora modular geotérmica.

En general, para todos los balances de materia y energía, se utilizan las expresiones desarrolladas en la Sección 2.5.1.2 de este documento, adicionalmente aplica la teoría de la termodinámica clásica, junto con todas las expresiones y modelos matemáticos que aseguran un correcto análisis para el análisis de sustancias puras y/o mezclas.

2.5.1.2.1.1 CONSUMO TÉRMICO

El consumo térmico en los sistemas de desalación comunes se hace con base al GOR (Gain Output Ratio) que es una relación de la cantidad de agua destilada entre la cantidad de vapor utilizada en el proceso, sin embargo, es un sistema de

desalación, como el tratado en este trabajo, donde no se utiliza agua como fluido de calor y en vez de ello se utiliza fluido líquido geotérmico de baja entalpía, se puede utilizar la siguiente ecuación:

$$PR = \frac{\dot{Q}_{suministrado} \left[\frac{MJ}{m^3} \right]}{\dot{V}_{destilado}} \quad \text{Ecuación 14.}$$

Una relación de rendimiento cuya razón es la cantidad de energía térmica necesaria para destilar una cierta cantidad de agua.

2.5.1.2.1.2 ANÁLISIS ENERGÉTICO DE POTENCIA EN BOMBAS

La simulación llevada a cabo requiere de 4 bombas, de las cuales: una bomba de suministro de agua de mar al condensador principal [BA-101], una bomba de extracción de salmuera [BA-102], una bomba de extracción de agua destilada [BA-103] y una bomba de suministro de fluido geotérmico [BA-104]. La potencia eléctrica se determina de la siguiente forma:

$$\dot{W} = \frac{\dot{V}[P_{out} - P_{in}]}{n_{hi} n_m n_{mec}} \quad \text{Ecuación 15.}$$

Usualmente los proveedores dan valores de eficiencia total, la cual ya contempla la hidráulica, la mecánica en transmisiones o reductores y la de motor eléctrico. La diferencia de presión (ΔP) a utilizar en los cálculos, contempla las diferencias de elevaciones, caída de presión por fricción, caída de presión en equipos y accesorios.

2.5.1.2.1.3 RENDIMIENTO ELÉCTRICO

Éste parámetro es de gran importancia para conocer la energía eléctrica que se consume al obtener un cierto volumen de destilado, es calculado por medio de la siguiente ecuación:

$$RE = \frac{\dot{W}_T}{\dot{m}_{Td}} \quad \text{Ecuación 16.}$$

Dónde

$$\begin{aligned} RE &= \text{Rendimiento eléctrico [kWh/m}^3\text{]} \\ \dot{W}_T &= \text{Potencia eléctrica total del sistema [kW]} \\ \dot{m}_{Td} &= \text{Gasto másico total de destilado [m}^3\text{/hr]} \end{aligned}$$

2.5.2 METODOLOGIA DE RESOLUCIÓN DEL PROBLEMA.

De acuerdo a las ecuaciones previamente planteadas, se observa que son dependientes entre sí, lo cual permite dejarlas en función del factor de concentración. La metodología llevada a cabo en la etapa de la simulación para la desaladora modular geotérmica se muestra a continuación.

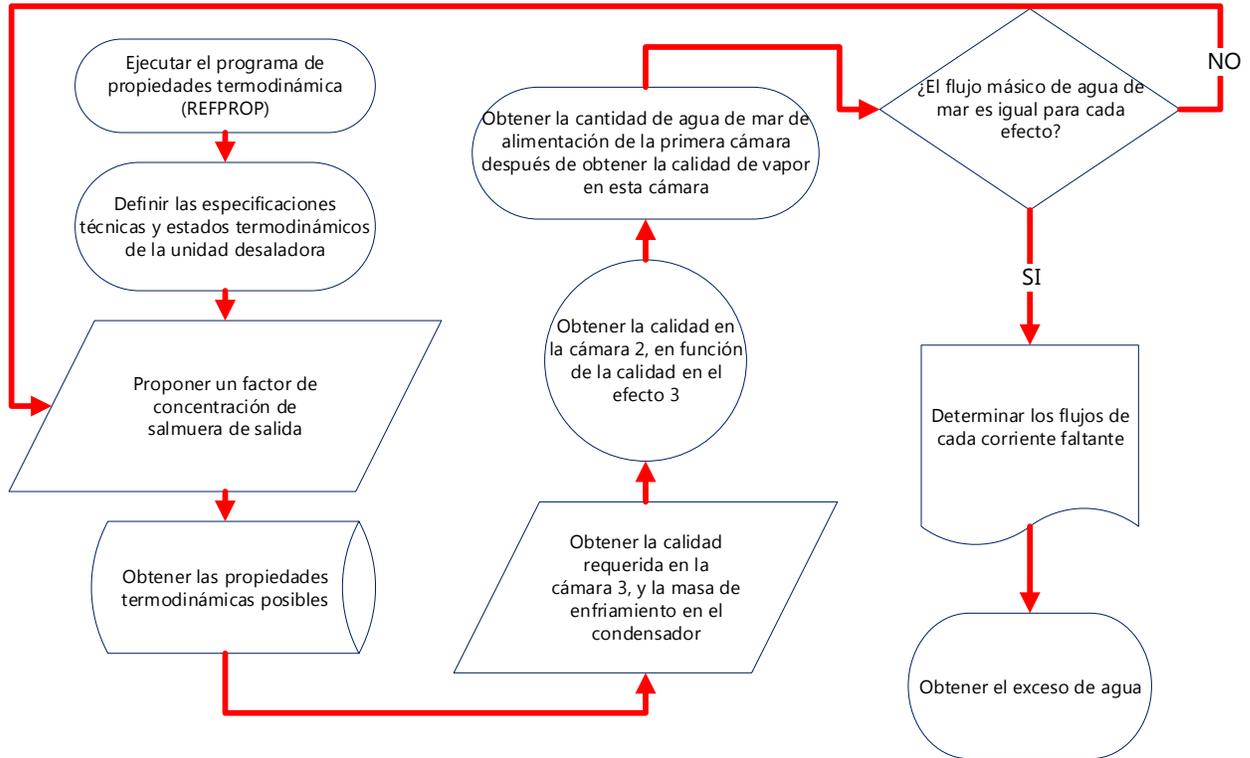


Figura 39 Metodología de resolución de la Desaladora Modular Geotérmica.

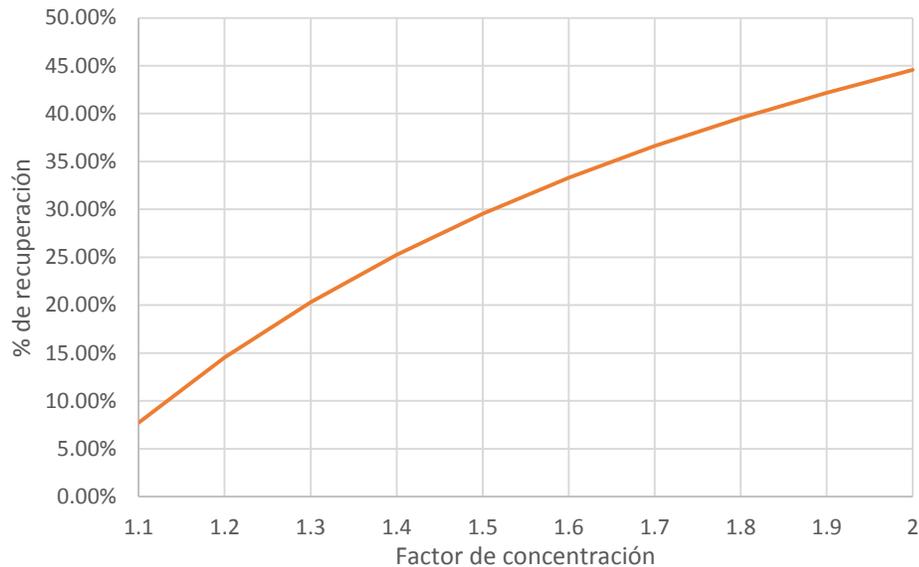
Los datos obtenidos durante las corridas se muestran en el ANEXO VII, para comprobar la validez de los resultados obtenidos en la hoja de cálculo en Excel, se simuló la planta desaladora en Aspen Plus y los resultados obtenidos son casi idénticos, para una mayor claridad consultar el ANEXO X y XI.

$$FC_{efecto1} = \frac{\text{Sólidos disueltos } 109 - 1}{\text{Sólidos disueltos } 104 - 1} = \frac{50,137.78 \text{ ppm}}{33,746.72 \text{ ppm}} = 1.48 \quad FC_{efecto2} = \frac{109 - 2}{104 - 2} = \frac{50,633.93 \text{ ppm}}{33,746.72 \text{ ppm}} = 1.5$$

El flujo total de agua de mar que ingresa a la desaladora es de 91.42 kg/s, de los cuales el flujo másico de sólidos disueltos es de 3.106 kg/s, 0.086 kg/s de gases disueltos y lo restante le corresponde el agua de mar sin considerar lo mencionado.

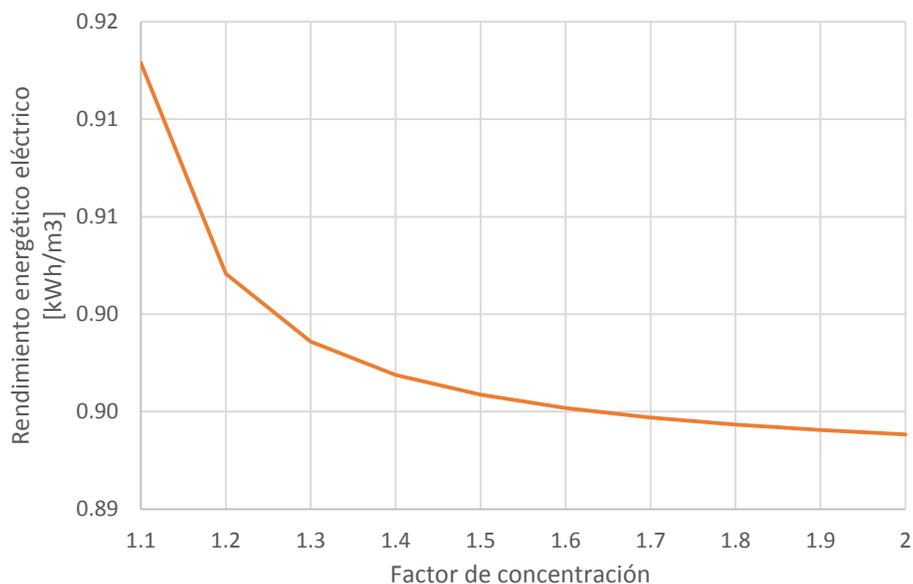
A continuación, se presentan las conclusiones resaltantes obtenidas de la simulación, la variable a analizar es el factor de concentración, independiente del flujo de agua desalada.

- ❖ El porcentaje de recuperación de agua desalada respecto al agua de mar de alimentación es proporcional al factor de concentración, de acuerdo a la Gráfica 15 se alcanza una recuperación del 45% a un FC de 2.



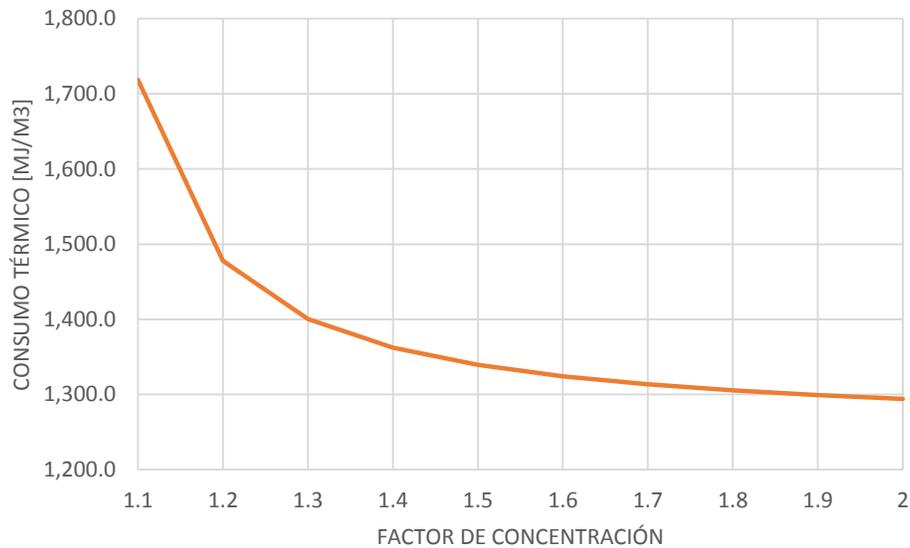
Gráfica 15 Efecto del porcentaje de recuperación en función del factor de concentración.

- ❖ El efecto del rendimiento eléctrico es inversamente proporcional al factor de concentración.



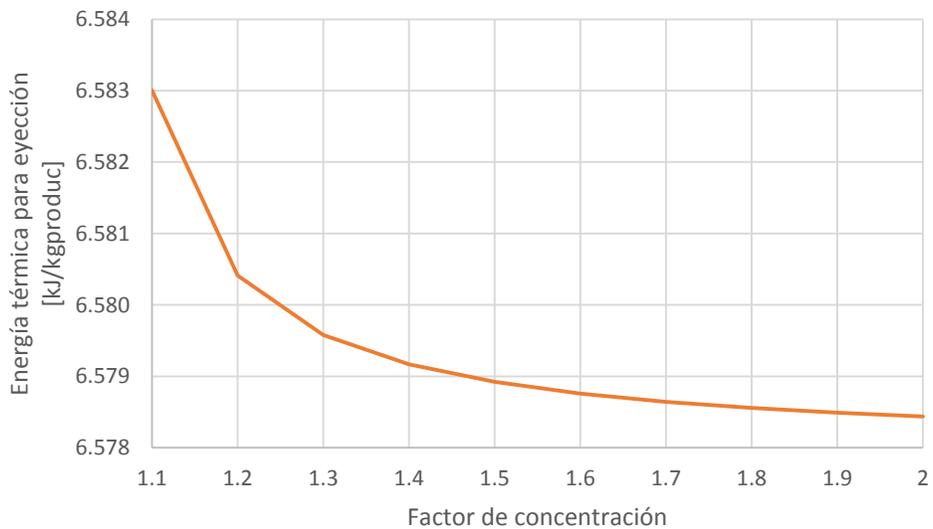
Gráfica 16 Efecto del rendimiento eléctrico en función del factor de concentración.

- ❖ El consumo térmico requerido sigue la misma tendencia que la mostrada en la Gráfica 16, podemos afirmar que no es recomendable trabajar a factores de concentración menores a 1, ya que, se requiere un mayor consumo térmico.

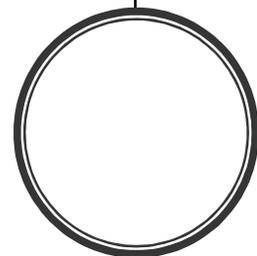


Gráfica 17 Efecto del consumo térmico en función del factor de concentración.

- ❖ El efecto de la energía térmica para eyección sigue el siguiente comportamiento, los cuales se mantienen en el rango de 6.583-6.578 kJ/kg produc y la diferencia de un factor a otro puede considerarse despreciable.



Gráfica 18 Tendencia de la energía térmica para eyección en función del factor de concentración



3. EVALUACIÓN ECONÓMICA.

El objetivo de este capítulo es evaluar financieramente al proyecto usando los diferentes métodos de evaluación de proyectos más tradicionales como lo son: la TIR, el VPN, y el PRI, periodo de recuperación de la inversión. Esta evaluación permitirá llegar a una decisión objetiva para conocer si es viable financieramente la puesta en marcha de la Desaladora Modular Geotérmica en la región I de la península de Baja California. Los resultados muestran una capacidad de producción rentable de agua desalada, misma que será de gran ayuda para la elaboración del flujo de caja. También se emplea la metodología del Costo de Capital (WACC en inglés) que permite calcular la tasa de descuento empleada en los cálculos del valor presente neto.

3

3.1 MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS.

A la hora de analizar la conveniencia o no de realizar un proyecto de inversión, es necesario utilizar ciertos indicadores financieros que nos permiten tomar una decisión objetiva. Estos indicadores nos dicen si el proyecto es viable o no.

Entre los más importantes tenemos (Papapetrou et al., 2017a).

Indicadores de evaluación

Valor presente neto (VPN)
Tasa interna de retorno (TIR)
Coeficiente beneficio-costos (B/C)
Periodo de recuperación del capital (PR)

3.1.1 VALOR PRESENTE NETO

El VPN²³ indica el valor resultante de descontar la suma adicional que recibe el inversionista por su inversión. En otras palabras, es el remanente neto que obtiene el inversionista, en pesos de hoy, después de descontar el ingreso a la tasa de descuento. Se puede considerar que el inversionista le “presta” al proyecto un dinero que debe ser devuelto con intereses a la tasa de descuento y algo adicional, que es el beneficio por haber realizado la inversión (Velez-Pareja, 2009) .

El VPN como criterio representa una medida de valor o riqueza, es decir, al calcular un VPN se busca determinar cuánto valor o desvalor generaría un proyecto para una compañía o inversionista en el caso de ser aceptado. Para su cálculo se utiliza la siguiente ecuación:

$$VPN = \sum_{t=1}^n \frac{Y_t}{(1+i)^t} - \sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+i)^t} - I_0 \quad \text{Ecuación 17.}$$

Donde

Y_t representa el flujo de ingresos del proyecto

E_t sus egresos

²³ Es la suma de todos los flujos actualizados de efectivos futuros de una inversión o un proyecto, menos todas las salidas.

I_0 La inversión inicial en el momento cero de la evaluación.

i La tasa de descuento

t Número de periodos de vida útil del proyecto

Aunque es posible aplicar directamente esta ecuación, la operación puede simplificarse a una sola actualización mediante:

$$VPN = \sum_{t=1}^n \frac{Y_t - E_t}{(1+i)^t} - I_0 \quad \text{Ecuación 18.}$$

Que es lo mismo que:

$$VPN = \sum_{t=1}^n \frac{BN_t}{(1+i)^t} - I_0 \quad \text{Ecuación 19.}$$

Donde BN_t representa el beneficio neto del flujo en el periodo t . Obviamente, BN_t puede tomar un valor positivo o negativo.

Con base en la interpretación del resultado del VPN, el evaluador podrá adoptar una decisión adecuada sobre la ejecución del proyecto:

Tabla 14 Interpretación del valor presente neto (VPN) (Velez-pareja, 2009).

Resultado	Significado		Decisión
VPN=0	$VA_{\text{ingresos}} = VA_{\text{egresos}}$	Los ingresos y egresos del proyecto son iguales, no existe ganancia ni pérdida.	Indiferente.
VPN<0	$VA_{\text{ingresos}} < VA_{\text{egresos}}$	En este caso los ingresos son menores a los egresos (costo + inversión), quedando una porción pendiente de pago.	Rechazar el proyecto
VPN>0	$VA_{\text{ingresos}} > VA_{\text{egresos}}$	Este resultado determina que los flujos de efectivos cubrirán los costos totales y la inversión, y quedará un excedente	Ejecutar el proyecto.

Las reglas anteriores se aplican cuando se trata de rechazar o aceptar una alternativa

3.1.2 EL CRITERIO DE LA TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

Es aquella tasa de actualización máxima que reduce a cero el valor presente neto (VPN) del proyecto. La TIR es la más alta tasa de actualización que se puede exigir en un proyecto. Cualquier tasa mayor a la tasa interna de retorno genera un VPN negativo y en consecuencia el proyecto arroja pérdidas. En conclusión, mientras más alta sea la TIR el proyecto presenta mayores posibilidades de éxito.

La tasa interna de retorno puede calcularse aplicando la siguiente ecuación:

$$TIR = 0 = \sum_{t=1}^n \frac{Y_t}{(1+r)^t} + \sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t} + I_0 \quad \text{Ecuación 20.}$$

Donde r es la tasa interna de retorno. Al simplificar y agrupar los términos, se obtiene lo siguiente:

$$\sum_{t=1}^n \frac{Y_t - E_t}{(1+r)^t} - I_0 = 0 \quad \text{Ecuación 21.}$$

Que es lo mismo que:

$$\sum_{t=1}^n \frac{BN_t}{(1+r)^t} - I_0 = 0 \quad \text{Ecuación 22.}$$

Al igual que el VPN, el valor que toma la TIR sirve de criterio para decidir sobre inversiones en nuevos proyectos. La Tabla 15 resume las opciones en función del resultado de este indicador.

Los resultados pueden ser:

Tabla 15 Interpretación de la tasa interna de retorno (TIR) (Velez-pareja, 2009).

Resultado	Significado	Decisión
TIR=Tasa de actualización	Cuando la TIR y la Tasa de actualización (TA) son iguales, la rentabilidad es igual a cero.	Indiferente.
TIR<Tasa de actualización	En este escenario la rentabilidad del proyecto es inferior al costo de oportunidad de la inversión.	Rechazar el proyecto
TIR>Tasa de actualización	Este resultado significa que el proyecto presenta una rentabilidad mayor al costo de oportunidad.	Ejecutar el proyecto

3.1.3 CRITERIO DE INVERSIÓN EN FUNCIÓN DEL B/C.

El B/C es un criterio adicional que contribuye a la toma de decisiones sobre nuevas inversiones en un proyecto. El cuadro resume la interpretación de los valores que puede alcanzar esta función.

Sin embargo, este indicador no permite decidir entre proyectos alternativos.

Tabla 16 Interpretación del coeficiente beneficio/costo (B/C) (Velez-pareja, 2009).

Resultado	Significado		Decisión
B/C=1	Beneficios=costos	Si la relación B/C es igual a la unidad, entonces el proyecto no presenta beneficios ni pérdidas	Indiferente
B/C>1	Beneficios>Costos	Si el coeficiente B/C es mayor que la unidad, el beneficio es superior al costo.	Ejecutar el proyecto
B/C<1	Beneficios<Costos	Si la relación B/C es menor que la unidad, no existe beneficio, por el contrario, se registran pérdidas.	Rechazar el proyecto

3.1.4 EL PERIODO DE RECUPERACIÓN O PAYBACK²⁴

El período o plazo de recuperación de una inversión es el tiempo que tarda en recuperarse la inversión inicial del proyecto. Cuando los flujos netos de efectivo generados por el proyecto son iguales en cada periodo, el periodo de recuperación puede determinarse con la siguiente correlación:

$$\text{Período de recuperación}(PR) = \frac{I}{R} = \text{años} \qquad \text{Ecuación 23.}$$

Donde

I=Inversión inicial

R= Flujo neto anual de efectivo después de impuestos

Cuando los flujos netos de efectivo no son iguales, el período de recuperación se calcula acumulando los flujos de efectivo sucesivos hasta que su suma sea igual a la inversión inicial. Según este método, las mejores inversiones son aquellas que tienen un plazo de recuperación más corta (Fernández Espinoza, 2010).

²⁴ El término utilizado en inglés es el de pay-back, pay-out o pay-off.

3.2 ELEMENTOS PARA LA EVALUACIÓN ECONÓMICA

Los principales componentes de los costos en un sistema de desalinización incluyen los costos relacionados con las características de la fuente de agua, la capacidad de la planta, el diseño técnico, el tiempo de vida útil de la planta y los criterios de costos (Papapetrou et al., 2017b), (Al-Nory, Brodsky, Bozkaya, & Graves, 2014).

Los criterios de costos proporcionan los detalles del costo específico del sitio, como el tipo de consumo, la ubicación y el costo de electricidad, que son utilizados para calcular los costos de capital y operativos (Watson, Morin, & Henthorne, 2003).

Los cálculos del costo unitario del producto dependen de la capacidad del proceso, las características del sitio y las características de diseño. Las características del sitio tienen un fuerte efecto sobre el tipo de equipo de pretratamiento y post-tratamiento, al igual que el consumo de químicos y energía eléctrica. La figura 40 muestra un resumen de los costos involucrados para un proceso de desalación (Gabriel, Linke, & El-Halwagi, 2015).

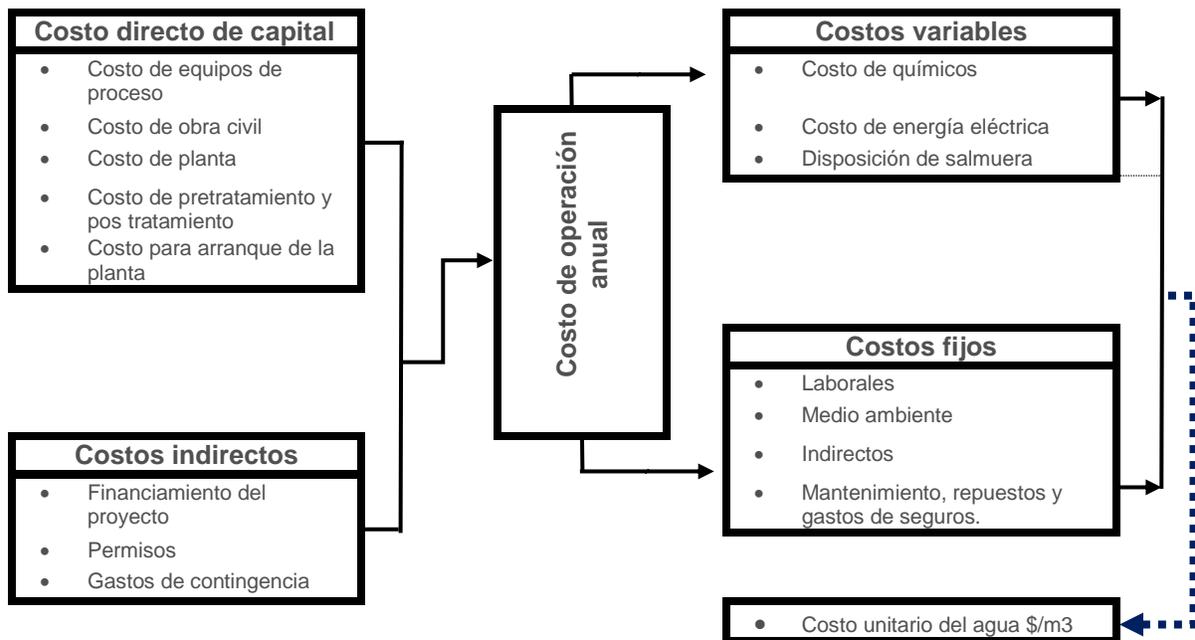


Figura 40 Principales componentes para el análisis de costos para un proceso de desalinización (Gabriel, Linke, & El-Halwagi, 2015).

3.3 INVERSIÓN TOTAL.

Antes que una planta industrial pueda ser puesta en servicio, una gran cantidad de dinero deber ser invertido para adquirir e instalar la maquinaria y los equipos necesarios. El capital necesario para la construcción de las instalaciones necesarias para la planta se llama CAPEX (bienes físicos comprados por la empresa), el capital necesario en un periodo determinado para pagar la operación mientras el proyecto genera los primeros ingresos se le llama costo de capital de trabajo. La suma del CAPEX y el capital del trabajo se le conocen como inversión total.

De acuerdo a la figura 40, para obtener el costo de agua desalada se deben contemplar el CAPEX anualizado; el cual a su vez se subdivide en costo directo e indirecto y el OPEX (costo de operación anual). Los elementos que forman ambas categorías se explican a continuación (Ghaffour et al., 2013):

3.3.1 COSTO DIRECTO DE CAPITAL O INVERSIONES FIJAS

El costo directo de capital abarca el costo de compra de los equipos principales para la desaladora modular geotérmica, costo de obra civil (preparación del sitio, captación, conducción de la salmuera de deshecho y edificación), costo de planta (tubería, instalación eléctrica e instrumentación), costo de pretratamiento y pos tratamiento y costo para el arranque de la planta.

El CAPEX para la construcción de una planta MED se compensa durante un plazo de amortización, generalmente entre 15 y 25 años, en la mayoría de los casos se elige 20 como vida útil de la planta (Papapetrou et al., 2017c).

3.3.2 COSTO INDIRECTO DE CAPITAL O INVERSIONES DIFERIDAS

Para fines de este trabajo se consideraron lo siguiente

- Financiamiento del proyecto
- Permisos
- Gastos de contingencia

El CAPEX o gastos de capital para plantas MED convencionales se puede estimar razonablemente en función de los datos disponibles en el inventario de plantas desaladoras de GWI (Global Water Intelligence).

Para estimar el costo de una planta MED convencional con capacidades de producción de hasta 10,000 m³/día se usó la Ecuación 24 propuesta por (Rahimi et al., 2015).

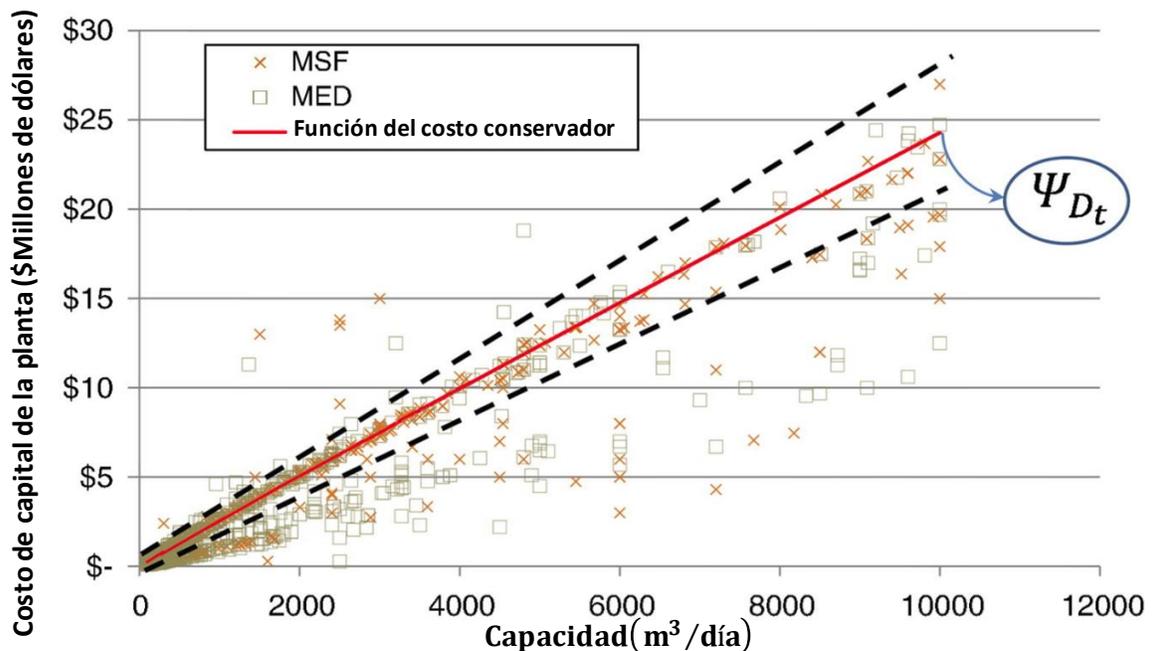
$$COSTO\ PLANTA_{MED}\ (USD) = \psi_{D_t} = 3054 \times D_t^{0.9751} \quad \text{Ecuación 24.}$$

De la Ecuación 24. D_t es la tasa de producción total de una planta convencional en m³/día. Esta función con una ($R^2 = 0.994$) en la región delimitada de los datos relevantes (que se muestra con dos líneas punteadas, Gráfica 19) muestra que el costo de una planta MED como función del costo conservador; puede considerarse como una función de la capacidad de producción de la planta.

La ecuación toma en cuenta las siguientes consideraciones:

*La ubicación tiene un efecto poco apreciable sobre los costos de una planta desaladora (Park, Shin, & Kim, 1997).

*Para mejorar la precisión del análisis de regresión, los valores atípicos obvios por parte de los autores fueron eliminados, dejando solo los valores conservadores dentro de la parte superior límite de la región de alta densidad.



Gráfica 19 Costo de capital para plantas de desalinización térmica (MED y MSF) en función de la capacidad diaria (Rahimi, May, Regenauer-Lieb, & Chua, 2015).

Para el costo de los equipos que involucran la DMG, (Sommariva, Pincirolí, Tolle, & Adinolfi, 1999), mencionan que aproximadamente el 40% del costo de una planta de desalinización está representado por el costo del evaporador, el 29% por la tubería del equipo, el 7% por la electricidad e instrumentación, el 14 % por la construcción, ingeniería y puesta en servicio el 10%, intercambiador de placas el 2.76 % y el capital de trabajo el 0.22%; en lo que representa el análisis económicos se tomaron en cuenta dichos porcentajes .

Dado que la planta DMG lleva un sistema de precalentamiento, el CAPEX se evaluó mediante la Ecuación 25 como la suma del costo para la planta MED convencional sección primaria MED (el primer término) y el costo de capital del intercambiador de calor de placas (el segundo término).

$$CAPEX_{total} (USD \$) = \psi D_t + \sum_{i=1}^j CC_{precalentador,i} \quad \text{Ecuación 25.}$$

3.3.3 COSTO DE OPERACIÓN u OPEX

El costo de operación abarca todos los gastos incurridos después de la puesta en servicio de la planta desaladora modular geotérmica y durante la operación real.

Estos incluyen el costo de mano de obra, energía eléctrica, mantenimiento, partes de repuesto y costo de químicos.

Los costos de operación y mantenimiento están asociados con las operaciones de la planta y pueden expresarse como gastos durante un periodo de año (USD \$/año) o como costos por m³ de agua desalada producida. Cabe mencionar que para la parte económica se utilizaron las siguientes suposiciones.

Tabla 17 Valores típicos comunes reportados en la literatura.

-Costo específico de químicos(k) [\$/m ³]	0.025	(Hisham M Ettouney, 2002), (Loutatidou & Arafat, 2015), (Wade, 2001).
-Consumo específico de energía eléctrica (w) [kwh/m ³]	0.91	Proveniente del documento "Análisis económico"
-Costo de energía eléctrica (c) [\$/kwh]	0.048	https://bit.ly/2KakcMi
-L [Vida útil de la planta]	20	(Wittholz, O'Neill, Colby, & Lewis, 2008)

3.3.3.1 ELECTRICIDAD

Los gastos eléctricos se aproximan al costo de la electricidad consumida por todas las bombas de proceso, ya que deben constituir la principal contribución al consumo total de energía eléctrica de una planta de desalinización.

La tasa de consumo de electricidad es conocida para cada bomba de proceso debido a las simulaciones de procesos existentes.

El costo de energía eléctrica anual $OC_{e\text{ eléctrica}}$ se especifica en la Ecuación 26 .

$$OC_{e\text{ eléctrica}}(\text{USD } \$/\text{año}) = c \times w \times F^{\text{desalación}} \times 24 \times 365 \times f^{25} \quad \text{Ecuación 26.}$$

Donde f es la disponibilidad de la planta, la cual es considerada para fines de este trabajo aproximadamente de 95%. Para todos los cálculos dónde sea necesario convertir dólares americanos a pesos mexicanos, se tomará como referencia el FIX promedio correspondiente del mes de enero de 2018 a diciembre de 2018, cuyo valor es de \$19.249 (Tabla 18)^{26,27}.

Tabla 18 Datos históricos USD/MXN.

Fecha	Cierre	Fecha	Cierre	Fecha	Cierre	Fecha	Cierre
Enero	18.600	Abril	18.714	Julio	18.648	Octubre	20.340
Febrero	18.840	Mayo	19.914	Agosto	19.085	Noviembre	20.405
Marzo	18.160	Junio	19.918	Septiembre	18.718	Diciembre	19.648

²⁵ (Rahimi et al., 2015)

²⁶ Consultado en: <https://bit.ly/2jj9lkd>

²⁷ <http://www.banxico.org.mx/>

Para calcular el costo de energía eléctrica anual, se usó una tarifa intermedia industrial perteneciente a la ciudad de Ensenada, Baja California; con un valor de cargo por kilowatt-hora de energía consumida de \$0.9243²⁸, con lo expuesto previamente:

$$c = \$ 0.9243 \frac{MXN}{kWhr} \left[\frac{1 USD}{\$ 19.249 MXN} \right] = \$0.048 USD.$$

3.3.3.2 MANO DE OBRA

La mano de obra para fines de este estudio es presentada en la Tabla 19 con sus respectivos porcentajes respecto al costo unitario, es importante recalcar en este apartado que por simplicidad se consideró un costo de mano de obra constante para cualquier capacidad dada.

Tabla 19 Cantidad de personal requeridas para la puesta en marcha de la DMG.

<i>Personal</i>	<i>Cant</i>	<i>C.U. [\$]</i>	<i>Aguinaldo [\$]</i>	<i>Vacación [\$]</i>	<i>Prima Vac. [\$]</i>	<i>IMSS [\$]</i>	<i>Seguro Ret. [\$]</i>
<i>Personal Operaciones</i>			4.17%	1.67%	0.42%	10.67%	2.00%
<i>Supervisores de obra</i>	2	\$ 18,000	\$ 750	\$ 300	\$ 75	\$ 1,921	\$ 360
<i>Obreros</i>	6	\$ 8,000	\$ 333	\$ 133	\$ 33	\$ 854	\$ 160
<i>Personal</i>	<i>Cant.</i>	<i>C.U. [\$]</i>	<i>Infonavit [\$]</i>	<i>Imp/Nomin [\$]</i>	<i>Subtotal [\$]</i>	<i>Total mensual [\$]</i>	
<i>Personal Operaciones</i>			5.23%	2.50%			
<i>Supervisores de obra</i>	2	\$ 18,000	\$ 942	\$ 450	\$ 22,798	\$45,595.37	
<i>Obreros</i>	6	\$ 8,000	\$ 418	\$ 200	\$ 10,132	\$60,794	
<i>Total Nómina</i>						\$106,389	

El costo anual de la mano de obra es dado por la siguiente ecuación

$$CC_{\text{mano de obra}} \left(\frac{USD}{\text{año}} \right) = \$106,389 \frac{MXN}{\text{mes}} \left(\frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}} \right) \left(\frac{1 USD}{\$ 19.249 MXN} \right) = \$ 66,324 USD/\text{año} \quad \text{Ecuación 27.}$$

²⁸ <https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/TarifasCREIndustria/Tarifas/DemandaIndustrialTran.aspx>

3.3.3.3 QUÍMICOS

La adicción de químicos es indispensable para asegurar la efectividad y mantenimiento de los procesos de desalinización. La toma del agua de mar que ingresa a la planta MED contiene partículas suspendidas, el cual es necesario llevar un pretratamiento inicial y un pos-tratamiento para obtener el producto final deseado para consumo humano. La dosis química específica y el costo (basado en el volumen del agua de alimentación se calculará de la misma manera y de acuerdo a este se considera un valor estándar de 0.025 USD\$/m³ (Hisham M Ettouney, 2002), (Loutatidou & Arafat, 2015), (Wade, 2001).

La Ecuación 28 permite estimar el costo total de químicos para un periodo de un año (Ettouney, El-Dessouky, Faibish, & Gowin, 2002).

$$OC_{químicos} (USD/año) = (k)(F^{desalación})(365)(24) \quad \text{Ecuación 28.}$$

3.3.3.4 COSTO DE CAPITAL ANUALIZADO, C_{ap}.

El CAPEX se anualiza por medio del factor de recuperación del capital, el cual se utiliza para calcular los pagos iguales requeridos para amortizar un monto presente de un préstamo, dónde el interés se calcula sobre saldos (Zugarramurdi, Parin, & Lupin, 1998). Con las suposiciones que se presentan en la Tabla 20, el valor del CRF es de :

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} = \frac{0.08(1+0.08)^{20}}{(1+0.08)^{20} - 1} = 0.1018 \quad \text{Ecuación 29.}$$

Por lo que

$$CAPEX_{an}(USD/año) = CAPEX \times CRF \quad \text{Ecuación 30.}$$

3.3.3.5 MANTENIMIENTO, REPUESTO Y SEGURO

El costo anual para las actividades de mantenimiento, repuestos y seguros que se dará a la planta desaladora modular geotérmica es considerado el 1.5% del costo del CAPEX anualizado. Como se especifica en la Ecuación 31.

$$OC_{\text{mantenimiento, repuesto y seguro}} \left(\frac{\text{USD}}{\text{año}} \right) = 1.5\% \times CAPEX_{an} \quad \text{Ecuación 31.}$$

Dónde $CAPEX_{an}$ es el costo de capital anualizado, se determina como una función de la capacidad de producción descrita en la Ecuación 24.

3.3.3.6 Costo unitario de agua desalada

El costo unitario de agua desalada, viene dada por la suma del costo de capital (CAPEX) depreciado durante la vida útil de la DMG y el costo de operación por m^3 de agua tratada; la disponibilidad de la planta se define como la cantidad de días en un año en que opera la planta, que generalmente se toma entre el 90% y el 95% (Watson et al., 2003), según los índices de demanda y consumo. Esto es para permitir espacio para retrasos imprevistos y mantenimiento. Se calcula por medio de la siguiente ecuación

$$CUP \text{ (USD/m}^3\text{)} = \frac{CAPEX \times CRF + OPEX}{D_t \times f \times 365} \quad \text{Ecuación 32.}$$

En dónde OPEX se refiere a los costos de operación descrita en la sección 3.3.3, D_t a la cantidad de agua desalada en $m^3/\text{día}$.

A manera de resumen, para el flujo de caja se consideraron las siguientes suposiciones:

Tabla 20 Suposiciones establecidos para el análisis económico de la DMG.

Variable	Valor
Disponibilidad de la planta, f	95
Tasa de interés, i (%)	8
Temperatura del fluido geotérmico	90°C
Tasa de cambio USD/MXN	19.249
Precio promedio industrial del agua \$ MXN,[z]	56.059
Vida útil de la planta, L (años)	20
Factor de recuperación de capital, CRF	0.1018

3.3.4 INGRESOS

Se asume que los ingresos de la planta desaladora en un periodo son iguales a los ingresos obtenidos por la venta del volumen de agua por la producción total de la planta dentro de ese mismo periodo; Ecuación 33..

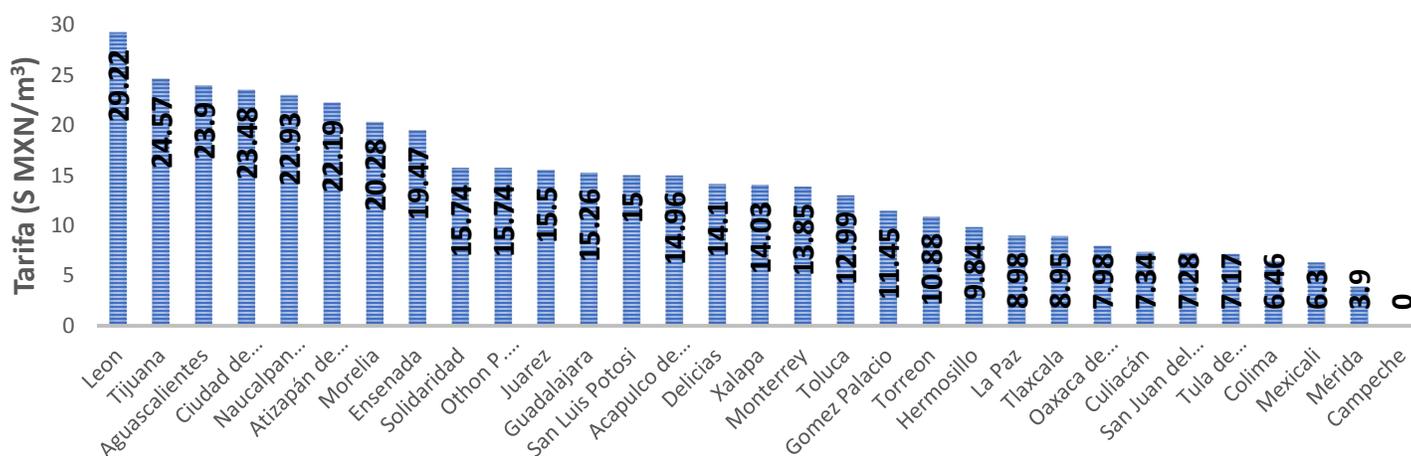
$$INGRESO_1 = 365 * D_t \left(\frac{m^3}{día} \right) * f * z \quad \text{Ecuación 33.}$$

En dónde z es la tarifa promedio del agua potable al mercado en USD/m^3 .

3.3.4.1.1 COSTOS DE PRESTACIONES DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE POR ENTIDAD FEDERATIVA

Las tarifas de agua potable son fijadas de diferente manera en cada municipio, dependiendo de la legislación de cada Entidad Federativa. En algunas Entidades las tarifas son aprobadas por el congreso Local de la Entidad, mientras que en otras son aprobadas por el Órgano de Gobierno o Congreso Directivo del organismo operador o por la Comisión Estatal de Aguas y algunas otras veces por los cabildos.

En general, las tarifas son distintas para los usuarios domésticos que para los comercios e industrias y generalmente son progresivas, es decir, a mayor consumo de agua el precio por metro cúbico es mayor; sin embargo, las categorías y rangos tarifarios varían, así como los criterios para su determinación, como se muestra en la Gráfica 20²⁹.



Gráfica 20 Tarifas máximas por m3 de Uso doméstico para ciudades del subsector-2018-30m³

²⁹ Consultada en: <https://portal.conagua.gob.mx/Tarifas/paginas/Consultas.aspx>

De acuerdo con la clasificación anterior, los estados de: Guanajuato, Baja California, Aguascalientes y Ciudad de México representan las tarifas de consumo de agua más costosas en uso doméstico, consulte el Anexo VI.

En este trabajo se eligió una tarifa promedio de uso industrial para junio de 2018, que comprenden las ciudades de Baja California: Ensenada, La Paz, Mexicali, Tecate y Tijuana, pertenecientes a la región I de la península de Baja California, con un valor promedio de **\$2802.95/ 50m³≈\$ 56.059 MXN/m³**³⁰; unas de las razones por la cual se eligió este valor es debido a la capacidad que se está evaluando, la cual como se ha dicho en secciones anteriores tendrá un rango de 50-10,000 m³/día y por otro lado, el servicio va orientadas a lugares donde no están interconectados a la red de suministro de agua.



Gráfica 21 Tarifa de uso industrial 2018, para la región I de la península de Baja California, el precio corresponde a junio 2018.

Por lo que el costo de agua al mercado será de

$$z[USD/m^3] = \$56.059 \frac{MXN}{m^3} \left(\frac{1 USD}{\$ 19.249 MXN} \right) = \$2.91 USD/m^3$$

³⁰ <http://187.189.183.90/index.php>

Tomando como referencia los datos de la Tabla 21 para el caso extremo con un factor de concentración de 2 y una capacidad de 10,000 m³/día.

Tabla 21 Datos de entrada para el análisis de flujo de caja.

Plan de producción	
Capacidad instalada	10,000 [m ³ /día]
Factor de planta	95% [-]
Horas de producción anual	8,322 [hr]
Capacidad de producción anual	3,467,500 [m ³ /año]
Días de mantenimiento anuales	18 [días]

Se proseguirá a calcular la capacidad de producción anual, considerando que la planta operará a un 95%.

Tabla 22 Plan de operación de la DMG.

	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
Días del mes	31	28	31	30	31	30
Días de Mantenimiento			2			2
<i>Horas de Mantenimiento</i>	0	0	48	0	0	48
Días de operación, d _o	31	28	31	30	31	30
<i>Horas de Operación</i>	744	672	744	720	744	720
m ³ a procesar	6609.2	5969.6	6609.2	6396.0	6609.2	6396.0
m³ Agua potable	294,500.00	266,000.00	294,500.00	285,000.00	294,500.00	285,000.00

	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12
Días del mes	31	31	30	31	30	31
Días de Mantenimiento			2			12
<i>Horas de Mantenimiento</i>	0	0	48	0	0	288
Días de operación, d _o	31	31	30	31	30	31
<i>Horas de Operación</i>	744	744	720	744	720	744
m ³ a procesar	6609.2	6609.2	6396.0	6609.2	6396.0	6609.2
m³ Agua potable	294,500.00	294,500.00	285,000.00	294,500.00	285,000.00	294,500.00

$$\begin{aligned}
 m^3 \text{ agua potable}_{mes 1} &= D_t \left(\frac{m^3}{día} \right) * f * d_o = \left(10,000 \frac{m^3}{día} \right) (0.95)(31) \\
 &= 294,500 m^3 / mes
 \end{aligned}$$

Ecuación 34.

Con los datos de la Tabla 22, se deduce que la producción anual es de

$$\begin{aligned}
 \text{Volumen de producción}_{año 1} &= 294,500 + 266,000 + \dots + 294,500 \\
 &= 3,467,500 m^3 / año
 \end{aligned}$$

Para los años subsiguientes; se considera que el volumen de agua desalada es la misma, dado que no se tiene contemplado aumentar la producción de la planta desaladora modular geotérmica, como se muestra en la Tabla 23, por lo tanto:

$$\text{Volumen producción}(VP)_{\text{año } 1} = VP_{\text{año } 2} = VP_{\text{año } 3} \dots VP_{\text{año } 20}$$

Tabla 23 Producción anual de agua desalada sin considerar una tasa de crecimiento.

	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
Días del mes	365									
Días de Mantenimiento	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Horas de Mantenimiento	432	432	432	432	432	432	432	432	432	432
Días de operación	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365
Horas de Operación	8760	744	744	744	744	744	744	744	744	744
m ³ a procesar	3,467,500	3,467,500	3,467,500	3,467,500	3,467,500	3,467,500	3,467,500	3,467,500	3,467,500	3,467,500
Tasa de Crecimiento		0.00%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
m³ Agua potable	3,467,500									

	AÑO 11	AÑO 12	AÑO 13	AÑO 14	AÑO 15	AÑO 16	AÑO 17	AÑO 18	AÑO 19	AÑO 20
Días del mes										
Días de Mantenimiento	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Horas de Mantenimiento	432	432	432	432	432	432	432	432	432	432
Días de operación	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365
Horas de Operación	744	744	744	744	744	744	744	744	744	744
m ³ a procesar	3,467,500	3,467,500	3,467,500	3,467,500	3,467,500	3,467,500	3,467,500	3,467,500	3,467,500	3,467,500
Tasa de Crecimiento	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
m³ Agua potable	3,467,500									

Los ingresos que se obtienen anualmente se muestran en la Tabla 24.

Tabla 24 Ingresos obtenidos anualmente sin considerar una tasa de crecimiento.

	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7
m3 en Red							
	3,467,500.00	3,467,500	3,467,500.00	3,467,500.00	3,467,500.00	3,467,500.00	3,467,500.00
m3 Vendidos							
	3,467,500.00						
Precio m3	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
	56.06	56.06	56.06	56.06	56.06	56.06	56.06
Total Ingresos	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
	194,384,582						

	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10	AÑO 11	AÑO 12	AÑO 13	AÑO 14
m3 en Red	3,467,500.00	3,467,500.00	3,467,500.00	3,467,500.00	3,467,500.00	3,467,500.00	3,467,500.00
m3 Vendidos	3,467,500.00						
Precio m3	\$ 56.06	\$ 56.06	\$ 56.06	\$ 56.06	\$ 56.06	\$ 56.06	\$ 56.06
Total Ingresos	\$ 194,384,582						

	AÑO 15	AÑO 16	AÑO 17	AÑO 18	AÑO 19	AÑO 20	AÑO
m3 en Red	3,467,500.00	3,467,500.00	3,467,500.00	3,467,500.00	3,467,500.00	3,467,500.00	-----
m3 Vendidos	3,467,500.00	3,467,500.00	3,467,500.00	3,467,500.00	3,467,500.00	3,467,500.00	-----
Precio m3	\$ 56.06	\$ 56.06	\$ 56.06	\$ 56.06	\$ 56.06	\$ 56.06	-----
Total Ingresos	\$ 194,384,582	-----					

Cabe destacar que el crecimiento de los ingresos a lo largo del año solo se ve variada por la inflación por lo que la capacidad de la planta es fija.

3.3.5 CÁLCULO DE LA INVERSIÓN TOTAL

El monto de inversiones que se requiere para iniciar la operación de la planta desaladora con las condiciones presentadas en la Tabla 21 es mostrada a continuación, las inversiones se establecen a lo largo del año cero, todos los valores reportados.

3.3.5.1 COSTO DEL INTERCAMBIADOR DE PLACAS

El costo de capital de un intercambiador de calor es una función del área y del material. Hay muchas referencias de ingeniería química que incluyen la función de costo para equipos de proceso, tales como como intercambiadores de calor, evaporadores, recipientes, torres de enfriamiento, bombas, etc.

Para estimar el costo de capital del intercambiador de calor de placas, se tomó como referencia la propuesta por (Haslego & Polley, 2002), dicha función tal como se presenta a continuación; es una función del área, a una presión de diseño de 10 bares y una temperatura de diseño de hasta 160°C.

Para área menos de 18.6 m²:

$$CC_{hex} = 1839 \times IF \times A^{0.4631} \text{ para titanio (grado 1)} \quad \text{Ecuación 35.}$$

$$CC_{hex} = 1281 \times IF \times A^{0.47887} \text{ para acero inoxidable 316} \quad \text{Ecuación 36.}$$

Para área más de 18.6 m²

$$CC_{hex} = 781 \times FI \times A^{0.7514} \text{ para titanio (grado 1)} \quad \text{Ecuación 37.}$$

$$CC_{hex} = 702 \times FI \times A^{0.6907} \text{ para acero inoxidable 316} \quad \text{Ecuación 38.}$$

En dónde, A es el área en m², FI es el factor de instalación que se puede considerar entre 1.5 y 2 (para este caso hemos usado 2), dependiendo del tamaño de la unidad; y CC_{hex} es el costo del intercambiador de calor de placas y bastidores en \$ USD.

Para calcular el área del intercambiador de calor y de placa, tomaremos en cuenta los datos que se proporcionan en la Tabla 25 y de los resultados obtenidos de la simulación del Anexo VII.

Tabla 25 Valores de referencia para el cálculo de área de los intercambiadores de calor.

Capacidad de producción diaria	Dt	10,000 [m ³ /día]
Temperatura ambiente	Tamb	25 [°C]
Recuperación	R	44.56 [%]
Numero de condensadores		1.00
Efectos subsecuentes		2.00
Numero de efectos	Ne	3.00 [-]

Variable	Ecuación	Resultado
1 Flujo másico de agua evaporada por cámara	$m_e = D_t \times 1,000 / 24 \times 60 \times 60 \times N_e$	38.58 [kg/s]
2 Energía de cambio de fase	DH_{fg}	2136 [kJ/kg]
3 Calor específico de agua	C_{pw}	4.185 [kJ/kgK]
4 Energía de calentamiento	$DH_{ca} = C_{pw} / (45 - T_{amb})$	83.7 [kJ/kg]
5 Flujo bomba circulación	$ml = ((m_e / (90 - 56)) * (DH_{fg} + DH_{ca} / (R / 100))) / C_{pw}$	630.115 [kg/s]
6 Flujo másico de agua para condensación	$mc = Q_1 / c_{pw} * 15$	1680.306 [kg/s]

7	Acercamiento de cámara de calentamiento de <i>Pitch 1</i>		5[°C]
8	Acercamiento de cámara subsecuentes de <i>Pitch 2</i>		5[°C]
9	Acercamiento condensador en <i>Pitch c</i>		4[°C]
10	LMTD de cámara de calentamiento	$LMTD_1 = ((90 - 55) - pitch1)/LN((90 - 55)/pitch1)$	15.42[°C]
11	LMTD de cámaras (promedio)	$LMTD_2 = ((50 - 38) - pitch2)/LN((50 - 38)/pitch2)$	8 [°C]
12	LMTD condensador en	$LMTD_c = ((42 - 22) - pitchc)/LN((42 - 22)/pitchc)$	9.94 [°C]
13	LMTD de cambiador de placas	$LMTD_p = (pitch1 - (70 - 50))/LN(pitch1/(70 - 50))$	10.82[°C]
14	Calor de intercambio efecto 1	$Q_1 = Cp_w \times ml \times (90 - 50)$	105,481[kW]
15	Calor de intercambio efectos subsecuentes	$Q_2 = Q_1 \times 0.96$	101,262[kW]
16	Calor de intercambio en condensador	$Q_c = Q_1 / \text{número de condensadores}$	105,481[kW]
17	Calor de intercambio en cambiador de placas	$Q_c = Q_1 / 0.95$	111,033[kW]
18	U global para evaporadores	$U_e = 1,800$	1,800[W/m²k]
19	U global para condensador	$U_c = 4,000$	4,000[W/m²k]
20	U global para cambiador de placas	$U_p = 2,200$	2,200[W/m²k]
21	Área efecto 1	$A_1 = Q_1 \times 1,000 / LMTD_1 \times U_e$	3,801 [m²]
22	Área efecto 2	$A_{2,3} = Q_2 \times 1,000 / LMTD_2 \times U_e$	7,036 [m²]
23	Área condensador	$A_c = Q_c \times 1,000 / LMTD_c \times U_c$	2,653 [m²]
24	Área intercambiador de placa	$A_p = Q_c \times 1,000 / LMTD_p \times U_p$	4,664 [m²]

Ahora calcularemos el costo del intercambiador de placas con la Ecuación 38 y el área obtenida previamente

$$CC_{hex}@2002 = 702 * 2 * 4,664 \text{ m}^2 = \$480,178.11 \text{ USD}$$

Cómo podemos observar, el precio obtenido corresponde para el año 2002, el precio actual se actualizó utilizando el Índice de costos de planta de Ingeniería Química, misma que se describe en el Anexo III de esta tesis. Con los datos que se proporciona en la Tabla 45, el costo resultante es de \$ 699,633 USD.

$$CE \text{ index en } 2002 = 395.6 \quad CE \text{ index en } 2018 = 576.4$$

$$Costo_{\text{año 2018}} = Costo_{\text{año 1999}} \left(\frac{CE_{Index\ 2018}}{CE_{Index\ 1999}} \right) = \$480,178.11 \left(\frac{576.4}{395.6} \right) = 699,633\ USD$$

Las inversiones se establecen a lo largo del año cero, de acuerdo a la Ecuación 25 y sustituyendo valores, el costo de la inversión total es de:

$$TCC_{P-MED} (USD \$) = 3,054 \times (10,000\ m^3/día)^{0.9751} \times \left(\frac{CE_{2018}}{CE_{2011}} \right) + 699,633 + C_{\text{capital de trabajo}}$$

$$TCC_{P-MED} (USD \$) = 3,054 \times (10,000\ m^3/día)^{0.9751} \times \left(\frac{576.4}{585.7} \right) + 699,633 + 55564 = 25,296,686\ USD$$

La Tabla 26 muestra la distribución de los diferentes costos que involucran para la DMG, las inversiones se establecen para el año cero.

Tabla 26 Distribución de la inversión para el año cero de la DMG en USD.

Total Año 0	
Inversiones Fijas	
Equipo de tuberías	\$ 7,336,039.04
Evaporadores	\$ 10,118,675
Intercambiador de placa	\$ 699,632.62
Total Equipos, tubería y accesorios	\$ 18,154,346.19
Obra Civil	\$ 3,541,536.09
Electricidad, instrumentación y control	\$ 1,770,768.04
Total Inversiones Fijas	\$ 23,466,650.32
INVERSIONES DIFERIDAS	
Ingeniería y puesta en marcha	\$ 2,529,668.63
Total Inversiones Diferidas	\$ 2,529,668.63
Total Capital de Trabajo*	\$ 55,564
Total Inversiones	\$ 25,296,686

3.3.6 COSTOS

La estimación de costos se realiza en función de la cantidad de m³ a vender para el horizonte contemplado del proyecto [Tabla 23], considerando los costos por consumo de energía eléctrica, siendo estos los costos de operación más relevantes, así como la mano de obra operativa y costos indirectos de operación, con la ayuda de las ecuaciones descritas en la sección 3.3.3 ; donde son considerable los efectos de los costos por depreciación; también se consideran los efectos inflacionarios, dado que los costos más relevantes pueden ser afectados año tras año, en la siguiente tabla se muestran los valores para el periodo de evaluación.

3.3.6.1 DEPRECIACION DE EQUIPOS DE LA DMG

Para estimar la vida útil de los equipos, se tomó el porcentaje de depreciación anual (Tabla 27), de conformidad con las principales Reglas de Registro y Valoración del Patrimonio (Elementos Generales) publicadas en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 27 de diciembre de 2010 y con las Reglas Específicas del Registro y Valoración del Patrimonio publicadas en el DOF el 13 de diciembre de 2011.³¹

Tabla 27 Porcentajes de depreciación anual DOF: 15/08/2012

Depreciación	
Concepto	% Depreciación fiscal
Obra Civil	5%
Maquinaria	10%
Mobiliario y Equipo de Oficina	10%
Automóviles	25%
Computadores y otros	30%
Maquinaria y equipo para la generación de energía	100%

Con los porcentajes proporcionados anteriormente, se calculará la depreciación de los equipos a lo largo de la vida útil de la planta Desaladora Modular Geotérmica, la cual está contemplada para un periodo de 20 años como se muestra en la tabla 28.

Tabla 28 Depreciación anual de los equipos que involucran la DMG.

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Infraestructura		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Obra civil	\$ 68,319,352					
Total infraestructura	\$ 68,319,352					
Maquinaria y Equipos		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Equipos, tubería y accesorios	\$ 370,876,482					
Total Maquinaria y Equipos	\$ 370,876,482					
Infraestructura	\$ -	\$ 3,415,968	\$ 3,415,968	\$ 3,415,968	\$ 3,415,968	\$ 3,415,968
Maquinaria y Equipos	\$ -	\$ 37,087,648.24	\$ 37,087,648	\$ 37,087,648	\$ 37,087,648	\$ 37,087,648

³¹ http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5264340&fecha=15/08/2012

0	\$	\$	\$	\$	\$	\$
	-	-	-	-	-	-
Total de depreciacion	\$	\$	\$	\$	\$	\$
	-	40,503,616	40,503,616	40,503,616	40,503,616	40,503,616

	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11
Infraestructura	\$	\$	\$	\$	\$	\$
	-	-	-	-	-	-
Obra civil						
Total infraestructura						
Maquinaria y Equipos	\$	\$	\$	\$	\$	\$
	-	-	-	-	-	-
Equipos, tubería y accesorios						
Total Maquinaria y Equipos						
Infraestructura	\$	\$	\$	\$	\$	\$
	3,408,565	3,408,565	3,408,565	3,408,565	3,408,565	3,408,565
Maquinaria y Equipos	\$	\$	\$	\$	\$	\$
	37,007,274	37,007,274	37,007,274	37,007,274	37,007,273.74	-
0	\$	\$	\$	\$	\$	\$
	-	-	-	-	-	-
Total de depreciacion	\$	\$	\$	\$	\$	\$
	40,415,838	40,415,838	40,415,838	40,415,838	40,415,838	3,408,565

	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20
Infraestructura	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Obra civil									
Total infraestructura									
Maquinaria y Equipos	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Equipos, tubería y accesorios									
Total Maquinaria y Equipos									
Infraestructura	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
	3,408,565	3,408,565	3,408,565	3,408,565	3,408,565	3,408,565	3,408,565	3,408,565	3,408,565
Maquinaria y Equipos	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total de depreciación	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
	3,408,565	3,408,565	3,408,565	3,408,565	3,408,565	3,408,565	3,408,565	3,408,565	3,408,565

Tabla 29 Desglose de costos para la producción mensual de agua para el año 0 de la DMG

	<i>Mes 1</i>	<i>Mes 2</i>	<i>Mes 3</i>	<i>Mes 4</i>	<i>Mes 5</i>	<i>Mes 6</i>
<i>Inflación</i>						
M3 Producidos	294,500.03	266,000.03	294,500.03	285,000.03	294,500.03	285,000.03
MP						
Consumo de Energía Eléctrica de la planta	\$ 243,307	\$ 219,762	\$ 243,307	\$ 235,459	\$ 243,307	\$ 235,459
Insumos Químicos	\$ 141,721	\$ 128,006	\$ 141,721	\$ 137,150	\$ 141,721	\$ 137,150
Mano de Obra	\$ 106,389	\$ 106,389	\$ 106,389	\$ 106,389	\$ 106,389	\$ 106,389
CIF						
Mantenimiento, repuesto y seguros	\$ 61,995	\$ 61,995	\$ 61,995	\$ 61,995	\$ 61,995	\$ 61,995
Depreciación	\$ 3,381,886	\$ 3,381,886	\$ 3,381,886	\$ 3,381,886	\$ 3,381,886	\$ 3,381,886
Costos indirectos	\$ 819,930	\$ 819,930	\$ 819,930	\$ 819,930	\$ 819,930	\$ 819,930
Total Costos	\$ 4,755,229	\$ 4,717,968	\$ 4,755,229	\$ 4,742,808	\$ 4,755,229	\$ 4,742,808
	<i>Mes 7</i>	<i>Mes 8</i>	<i>Mes 9</i>	<i>Mes 10</i>	<i>Mes 11</i>	<i>Mes 12</i>
<i>Inflación</i>						
M3 Producidos	294,500.03	294,500.03	285,000.03	294,500.03	285,000.03	294,500.03
MP						
Consumo de Energía Eléctrica de la planta	\$ 243,307	\$ 243,307	\$ 235,459	\$ 243,307	\$ 235,459	\$ 243,307
Insumos Químicos	\$ 141,721	\$ 141,721	\$ 137,150	\$ 141,721	\$ 137,150	\$ 141,721
Mano de Obra	\$ 106,389	\$ 106,389	\$ 106,389	\$ 106,389	\$ 106,389	\$ 106,389
CIF						
Mantenimiento, repuesto y seguros	\$ 61,995	\$ 61,995	\$ 61,995	\$ 61,995	\$ 61,995	\$ 61,995
Depreciación	\$ 3,381,886	\$ 3,381,886	\$ 3,381,886	\$ 3,381,886	\$ 3,381,886	\$ 3,381,886
Costos indirectos	\$ 819,930	\$ 819,930	\$ 819,930	\$ 819,930	\$ 819,930	\$ 819,930
Total Costos	\$ 4,755,229	\$ 4,755,229	\$ 4,742,808	\$ 4,755,229	\$ 4,742,808	\$ 4,755,229

Los resultados relativos a las expectativas de inflación para el cierre de 2018, 2019 y 2020 fueron tomadas de la página oficial de BANXICO³² y se presentan en la Tabla 30, los cuales nos permitirá predecir a futuro los costos de operación de la DMG.

Tabla 30 Expectativas de inflación anual para 2018,2019 y 2020.

Inflación general	
Para 2018 (dic-dic)	3.77
Para 2019 (dic-dic)	3.80
Para 2020 (dic-dic)	3.66

³² Consultado en: <http://www.banxico.org.mx/publicaciones-y-prensa/encuestas-sobre-las-expectativas-de-los-especialis/%7B50B17716-0CD1-935E-D8DC-17B8DBE3CFCA%7D.pdf>

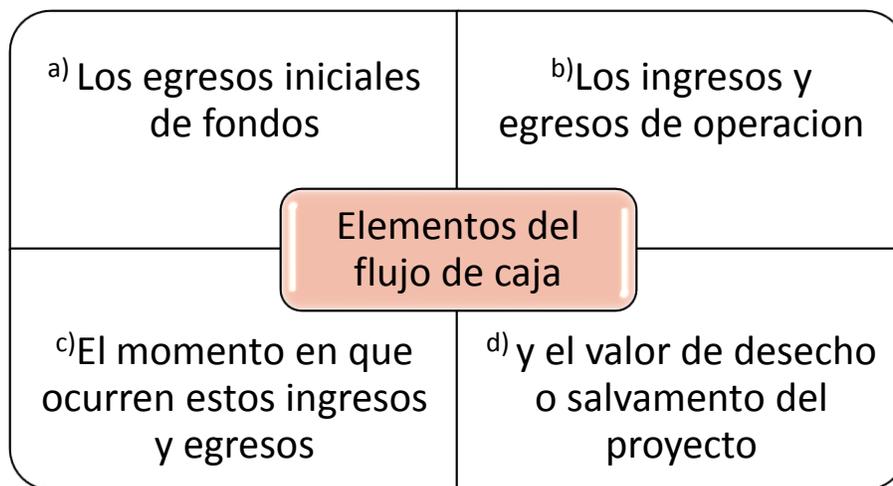
Considerando el crecimiento de la inflación presentada en la Tabla 30, la Tabla 31 resume el comportamiento de los costos de operación anuales durante la vida útil de la Desaladora Modular Geotérmica.

Tabla 31 Desglose de costos de operación para la producción de agua durante la vida útil de la DMG 1/2.

	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
<i>Inflación</i>		3.77%	3.80%	3.66%	3.74%	3.73%	3.71%	3.73%	3.73%	3.72%
m ³ Producidos	3,467,500.35									
MP										
Consumo de Energía Eléctrica de la planta	\$ 2,864,748.51	\$ 2,972,750	\$ 3,085,714	\$ 3,198,651	\$ 3,318,387	\$ 3,442,311	\$ 3,570,110	\$ 3,703,279	\$ 3,841,253	\$ 3,984,256
Insumos Químicos	\$ 1,668,654.36	\$ 1,731,563	\$ 1,797,362	\$ 1,863,145	\$ 1,932,889	\$ 2,005,072	\$ 2,079,512	\$ 2,157,080	\$ 2,237,447	\$ 2,320,743
Mano de Obra	\$ 1,276,670.30	\$ 1,324,801	\$ 1,375,143	\$ 1,425,473	\$ 1,478,834	\$ 1,534,060	\$ 1,591,013	\$ 1,650,360	\$ 1,711,848	\$ 1,775,577
CIF										
Mantenimiento, repuesto y seguros	\$ 743,935.38	\$ 771,982	\$ 801,317	\$ 830,645	\$ 861,739	\$ 893,920	\$ 927,108	\$ 961,690	\$ 997,520	\$ 1,034,656
Depreciación	\$ 40,415,838	\$ 40,415,838	\$ 40,415,838	\$ 40,415,838	\$ 40,415,838	\$ 40,415,838	\$ 40,415,838	\$ 40,415,838	\$ 40,415,838	\$ 40,415,838
Costos indirectos	\$ 9,839,156	\$ 9,842,941	\$ 9,846,900	\$ 9,850,858	\$ 9,855,055	\$ 120,642	\$ 125,121	\$ 129,788	\$ 134,623	\$ 139,635
Total Costos	\$ 56,809,003.2	\$ 57,059,874	\$ 57,322,275	\$ 57,584,612	\$ 57,862,742	\$ 48,411,843	\$ 48,708,702	\$ 49,018,036	\$ 49,338,530	\$ 49,670,705
	AÑO 11	AÑO 12	AÑO 13	AÑO 14	AÑO 15	AÑO 16	AÑO 17	AÑO 18	AÑO 19	AÑO 20
<i>Inflación</i>	3.73%	3.72%	3.72%	3.73%	3.72%	3.72%	3.73%	3.72%	3.72%	3.73%
MP										
Consumo de Energía Eléctrica de la planta	\$ 4,132,718	\$ 4,286,658	\$ 4,446,321	\$ 4,611,958	\$ 4,783,751	\$ 4,961,943	\$ 5,146,778	\$ 5,338,495	\$ 5,537,353	\$ 5,743,620
Insumos Químicos	\$ 2,407,219	\$ 2,496,886	\$ 2,589,886	\$ 2,686,366	\$ 2,786,432	\$ 2,890,225	\$ 2,997,887	\$ 3,109,558	\$ 3,225,389	\$ 3,345,535
Mano de Obra	\$ 1,841,739	\$ 1,910,342	\$ 1,981,495	\$ 2,055,311	\$ 2,131,870	\$ 2,211,282	\$ 2,293,653	\$ 2,379,091	\$ 2,467,712	\$ 2,559,635
CIF										
Mantenimiento, repuesto y seguros	\$ 1,073,209	\$ 1,113,185	\$ 1,154,648	\$ 1,197,661	\$ 1,242,274	\$ 1,288,548	\$ 1,336,547	\$ 1,386,333	\$ 1,437,974	\$ 1,491,538
Depreciación	\$ 3,408,565	\$ 3,408,565	\$ 3,408,565	\$ 3,408,565	\$ 3,408,565	\$ 3,408,565	\$ 3,408,565	\$ 3,408,565	\$ 3,408,565	\$ 3,408,565
Costos indirectos	\$ 144,838	\$ 150,233	\$ 155,829	\$ 161,634	\$ 167,655	\$ 173,900	\$ 180,378	\$ 187,097	\$ 194,066	\$ 201,295
Total Costos	\$ 13,008,287	\$ 13,365,869	\$ 13,736,744	\$ 14,121,496	\$ 14,520,546	\$ 14,934,462	\$ 15,363,808	\$ 15,809,138	\$ 16,271,059	\$ 16,750,188

3.3.7 FLUJO DE EFECTIVO

El flujo de caja de cualquier proyecto se compone de los elementos básicos siguientes (Nassir Sapag Chain, 2007).



A continuación, se presenta la metodología llevada a cabo para la construcción del flujo de caja mediante una estructura general³³ durante la vida útil de la planta Desaladora Modular geotérmica, teniendo en cuenta que se desea medir la rentabilidad de la inversión.

- + Ingresos afectos a impuestos
- Egresos afectos a impuestos
- Gastos no desembolsables
- = Utilidad antes de impuestos
- Impuesto
- = Utilidad después de impuesto
- + Ajuste por gastos no desembolsables
- Egresos no afectos a impuestos
- = Flujo de caja

³³ El modelo general es propuesto por Nassir Sapag en Criterios de evaluación de proyectos. Madrid: McGraw-Hill, 1993.

- a) Ingresos afectos a impuestos: Están constituidos por los ingresos esperados por la venta de los productos, lo que se calcula multiplicando el precio de cada unidad por la cantidad de unidades que se proyecta producir y vender cada año.
- b) Egresos afectos a impuestos: Corresponden a los costos variables resultantes del costo de fabricación unitario por las unidades producidas, el costo anual fijo de fabricación, la comisión de ventas y los gastos de administración y ventas.
- c) Gastos no desembolsables: Están compuestos por la depreciación.
- d) Cálculo por impuesto: Se considera como el 30% de las utilidades antes de impuesto, se eligió este valor de acuerdo a la ley del ISR³⁴
- e) Ajuste por gastos no desembolsables: Para anular el efecto de haber incluido gastos que no constituían egresos de caja, se suman la depreciación y la amortización. La razón de incluirlos primero y eliminarlos después obedece la importancia de incorporar el efecto tributario que estas cuentas ocasionan a favor del proyecto.
- f) Egresos no afectos a impuesto: Para fines de este trabajo no se considera la amortización del capital, el aumento de activos fijos y el aumento de capital de trabajo.

Como parte del flujo neto se considera un valor terminal en el año 20, que representa los flujos que el proyecto puede generar a perpetuidad partiendo del hecho que su operación se mantendrá vigente en el tiempo y crecerá a una tasa del 2% de acuerdo al crecimiento del suministro de agua y de número de clientes.

3.3.7.1 GASTOS ADMINISTRATIVOS Y VENTAS

Incluye los gastos de ventas tales como remuneraciones y comisiones pagadas al personal de ventas, propaganda, promoción, etc. Los diferentes gastos administrativos y ventas se presentan en la Tabla 32.

³⁴ Consultado en: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LISR_301116.pdf

Tabla 32 Gastos administrativos y ventas.

	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
Inflación		3.77%	3.80%	3.66%	3.74%	3.73%	3.71%	3.73%	3.73%	3.72%
Gastos Administrativos										
Personal	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Administración general	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Personal de servicios de higiene y limpieza	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Personal de contabilidad	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Servicios públicos	\$ 24,000.00	\$ 24,905	\$ 25,851	\$ 26,797	\$ 27,800	\$ 28,839	\$ 29,909	\$ 31,025	\$ 32,181	\$ 33,379
Comunicaciones	\$ 14,400.00	\$ 14,943	\$ 15,511	\$ 16,078	\$ 16,680	\$ 17,303	\$ 17,946	\$ 18,615	\$ 19,309	\$ 20,027
Papelería	\$ 9,000.00	\$ 9,339	\$ 9,694	\$ 10,049	\$ 10,425	\$ 10,814	\$ 11,216	\$ 11,634	\$ 12,068	\$ 12,517
Seguros	\$ 35,000.00	\$ 36,320	\$ 37,700	\$ 39,079	\$ 40,542	\$ 42,056	\$ 43,618	\$ 45,245	\$ 46,930	\$ 48,678
Amortizaciones	\$ 9,738,756.25	\$ 9,738,756	\$ 9,738,756	\$ 9,738,756	\$ 9,738,756	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Total Gastos Administrativos	\$ 9,821,156.25	\$ 9,824,263	\$ 9,827,512	\$ 9,830,760	\$ 9,834,204	\$ 99,013	\$ 102,689	\$ 106,519	\$ 110,488	\$ 114,601
Gastos de Ventas										
Personal										
Personal de ventas	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Personal de atención a clientes	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Personal para difusión y publicidad	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Logística publicitaria	\$ 18,000.00	\$ 18,679	\$ 19,388	\$ 20,098	\$ 20,850	\$ 21,629	\$ 22,432	\$ 23,269	\$ 24,136	\$ 25,034
Total Gastos de Ventas	\$ 18,000.00	\$ 18,679	\$ 19,388	\$ 20,098	\$ 20,850	\$ 21,629	\$ 22,432	\$ 23,269	\$ 24,136	\$ 25,034
Total Gastos	\$ 9,839,156.25	\$ 9,842,941.33	\$ 9,846,900.36	\$ 9,850,858.4	\$ 9,855,054.7	\$ 120,641.65	\$ 125,121	\$ 129,788	\$ 134,623	\$ 139,635

	AÑO 11	AÑO 12	AÑO 13	AÑO 14	AÑO 15	AÑO 16	AÑO 17	AÑO 18	AÑO 19	AÑO 20
Inflación	3.73%	3.72%	3.72%	3.73%	3.72%	3.72%	3.73%	3.72%	3.72%	3.73%
Gastos Administrativos										
Personal	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Administración general	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Personal de servicios de higiene y limpieza	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Personal de contabilidad	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Servicios públicos	\$ 34,623	\$ 35,912	\$ 37,250	\$ 38,638	\$ 40,077	\$ 41,570	\$ 43,118	\$ 44,724	\$ 46,390	\$ 48,118
Comunicaciones	\$ 20,774	\$ 21,547	\$ 22,350	\$ 23,183	\$ 24,046	\$ 24,942	\$ 25,871	\$ 26,835	\$ 27,834	\$ 28,871
Papelería	\$ 12,983	\$ 13,467	\$ 13,969	\$ 14,489	\$ 15,029	\$ 15,589	\$ 16,169	\$ 16,772	\$ 17,396	\$ 18,044
Seguros	\$ 50,491	\$ 52,372	\$ 54,323	\$ 56,346	\$ 58,445	\$ 60,622	\$ 62,881	\$ 65,223	\$ 67,652	\$ 70,173
Amortizaciones	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Total Gastos Administrativos	\$ 118,871	\$ 123,299	\$ 127,891	\$ 132,656	\$ 137,597	\$ 142,723	\$ 148,039	\$ 153,553	\$ 159,273	\$ 165,206
Gastos de Ventas										
Personal										
Personal de ventas	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Personal de atención a clientes	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Personal para difusión y publicidad	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Logística publicitaria	\$ 25,967	\$ 26,934	\$ 27,937	\$ 28,978	\$ 30,058	\$ 31,177	\$ 32,339	\$ 33,543	\$ 34,793	\$ 36,089
Total Gastos de Ventas	\$ 25,967	\$ 26,934	\$ 27,937	\$ 28,978	\$ 30,058	\$ 31,177	\$ 32,339	\$ 33,543	\$ 34,793	\$ 36,089
Total Gastos	\$ 144,838	\$ 150,233	\$ 155,829	\$ 161,634	\$ 167,655	\$ 173,900	\$ 180,378	\$ 187,097	\$ 194,066	\$ 201,295

3.3.7.2 CÁLCULO DE LA TASA DE DESCUENTO

Elegir correctamente la tasa de descuento no suele resultar sencillo. La manera más extendida de calcular esta tasa se conoce como coste promedio ponderado del capital o WACC³⁵ (Weighted Average Cost of Capital) este porcentaje será la tasa de descuento a utilizar en los cálculos del Valor Presente Neto de nuestro proyecto para la DMG.

El WACC es el tipo de tasa de descuento utilizado para descontar al valor presente los flujos de caja libres esperados al valor actual para ser distribuido a los inversores, según la conocida teoría llamada CAMP (Capital Asset Pricing Model, o modelo de fijación del precio de los activos del capital), mediante este modelo de identificación del coste o precio de los pasivos (capital assets), se puede evaluar el coste de cada fuente de financiación, sean fondos propios o fondos ajenos, por ente, el CAMP es directamente aplicable para calcular el coste de los propios fondos. A esto se le suma el coste de la financiación ajena y obtendremos el WACC. Hallado el coste de capital, este porcentaje será la tasa de descuento a utilizar en los cálculos del Valor Presente Neto de nuestro proyecto para la Desaladora Modular Geotérmica (Gomez Caceres & Jurado Madico, 2001).

Las aplicaciones del CAMP permiten predecir que los inversores y financiadores sólo prestan o invierten en función de una prima de riesgo por encima del tipo de interés que obtendrían invirtiendo sus fondos en deuda sin riesgo.

La relación entre riesgo y rendimiento esperado (requerido), es la esencia del modelo de valoración de activos de capital (CAPM) descrita por la Ecuación 39; en este modelo, el rendimiento esperado (requerido) de un título es la tasa exenta de riesgos, para el caso de México se usa la tasa de CETES, más una prima basada en el riesgo sistemática del título (Horne Van, 2010).

$$CAPM = E(R_i) = R_f + [E(R_M) - R_f] \times \beta_i \quad \text{Ecuación 39.}$$

³⁵ El costo promedio ponderado del capital WACC es el rendimiento mínimo que necesita ganar una empresa para satisfacer a la totalidad de sus inversionistas, tenedores de bonos y accionista preferentes (Ross et al., 2014).

El CAMP expresa que el rendimiento esperado de un activo depende de tres cosas (Ross et al., 2014):

1. El valor puro del dinero a través del tiempo. Medido por la tasa libre de riesgo (R_f) es la recompensa por solo esperar el dinero, sin correr riesgo alguno.
2. La recompensa por correr el riesgo sistemático. Medida por la prima de riesgo del mercado, $(E(R_M) - R_f)$, componente que es la recompensa que ofrece el mercado por correr un riesgo sistemático promedio además de esperar.
3. El monto de riesgo sistemático. Medido por β_i , es el riesgo sistemático presente en un activo o portafolio particulares respecto de un activo promedio.

La tasa de descuento a calcular tiene dos factores, el coste de los recursos propios que hemos hallado calculado con el CAMP más la suma del coste de los recursos ajenos. Este será el coste de capital para los fondos que la DMG reciba y la tasa de descuento a usar en los análisis sobre los flujos de fondos del proyecto.

El cálculo de este coste se realiza ponderadamente a través del WACC y consiste en sumar el coste de los recursos propios y el de los recursos ajenos proporcionalmente a su peso en la financiación total del proyecto (Gomez Caceres & Jurado Madico, 2001).

$$WACC (\text{Coste de capital}) = \% \text{ coste recursos propios} + \% \text{ coste recursos ajenos}$$

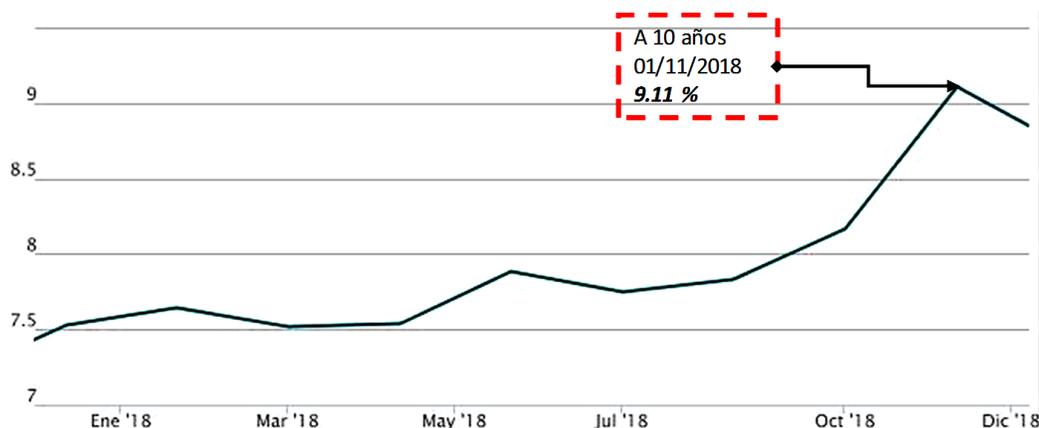
Previamente se definió que el coste de los recursos propios se realiza con el CAMP descrita en la Ecuación 39. El coste de los recursos ajenos será el tipo de interés que el proyecto debe pagar. Sin embargo, a diferencia de lo que ocurre con los fondos propios, en los que la remuneración de los accionistas se hace con el beneficio neto después de impuestos, el interés de los créditos es un gasto fiscal deducible en la cuenta de resultados. Habrá que restar el 30%, 40%, 50% o la tasa que exista del impuesto de sociedades.

La ecuación de este sumando es:

$$\text{Coste de los recursos ajenos} = (\% \text{ de coste o interés del crédito}) \times (1 - \text{Impuestos})$$

Esta tasa WACC anual es la usada para descontar a valor actual o VAN los flujos de caja generados por el proyecto. Si sale positivo, el proyecto es rentable y debe realizarse.

La tasa libre de riesgo (R_f) se toma de referencia de la tasa del bono M a 10 años, que es un bono de deuda gubernamental a una tasa de interés fija cuyo valor es de 9.11%³⁶.



Gráfica 22 Tasa de bono M a 10 años en porcentaje.

Se toma un valor de β_i de 0.77³⁷ que no considera el riesgo por deuda. La prima de riesgo del mercado ($E(R_M) - R_f$), se define considerando la relación entre el mercado de valores mexicanos medido por el Índice de Precios al Consumidor (IPC) y el índice S&P 500³⁸ como indicador del comportamiento del mercado de valores de E.U.A, considerado como un mercado de referencia, tomando un promedio de los últimos 10 años ajustados por la inflación en ambos mercados determinando que en las condiciones a la fecha de corte de los datos, la prima de riesgo para un

³⁶ <http://www.banxico.org.mx/>

³⁷ http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/Betas.html

³⁸ El índice Standar & Poor's 500 también conocido como S&P 500 es uno de los índices bursátiles más importante de Estados Unidos. Al S&P 500 se le considera como el índice más representativo de la situación real del mercado, consultado en: <https://www.investopedia.com/terms/s/sp500.asp>.

inversionista es de 4.33%, a continuación se presenta la metodología usada para calcular esta prima de riesgo del mercado.

IPC USD	S&P 500
México	Estados Unidos de América
Desviación estándar =3.46%	Desviación estándar =2.18%
Desviación relativa =3.46/2.18=1.589	

Teniendo en cuenta la Tabla 33

Tabla 33 rendimientos anuales sobre las acciones³⁹.

Año	Rendimientos anuales en			Valor compuesto de \$ 100		
	S&P 500 (incluye dividendos) ^A	De 3 meses T.Bill ^B	Retorno de 10 años T. Bond ^C	Stocks	T.Bills	T.Bonds
1968	10.81%	5.26%	3.27%	\$ 3,694.23	\$ 206.41	\$ 287.11
2016	11.77%	0.51%	0.69%	\$ 328,742.28	\$ 1,988.00	\$ 7,110.65
2017	21.61%	1.39%	2.80%	\$ 399,768.64	\$ 2,015.63	\$ 7,309.87
2018	-4.23%	2.37%	-0.02%	\$ 382,850.00	\$ 2,063.40	\$ 7,308.65

Media geométrica			
	A	B	C
1968-2017	9.73%	4.71%	6.69%

$$(E(R_M) - R_f)_{USA \ 10 \ años} = C - A = 3.04\%$$

$$(E(R_M) - R_f)_{México \ 10 \ años} = 1.589 * 3.04\% = 4.83\%$$

Inflación promedio	
México	4.21%
Estados Unidos	2.08%

	Geo
$(E(R_M) - R_f)_{hist \ México}$	1.65%
$(E(R_M) - R_f)_{hist \ a \ 10 \ años}$	7.02%
$(E(R_M) - R_f)_{promedio}$	4.33%

³⁹ https://www.jstor.org/stable/4478255?seq=2#metadata_info_tab_contents

Se prosigue a sustituir los valores por medio de la Ecuación 39.

$$E(R_i) = 9.11 + [4.33] \times 0.77 = 12.45\%$$

El coste promedio ponderado del capital para fines de este trabajo no considera un financiamiento externo, por lo que el segundo término se omite.

$$WACC = E(R_i)W_e + E(R_d)W_d \quad \text{Ecuación 40.}$$

Dónde

Consolidado al cierre del año 2018	
Deuda total bruta \$=-	Capital bursátil \$ =25,296,686 USD
D=-/1000000=-	E=25.30
$W_e = E/D + E = 100.00\%$	$W_d = D/D + E = 0.00\%$

El valor de WACC obtenido fue de **12.45%**.

A modo de resumen, a continuación, se presenta el flujo de efectivo para una producción de 10, 000 m³/día considerando todas las variables descritas previamente en este capítulo.

Tabla 34 Desglose de flujo de efectivo durante la vida útil de la DMG en pesos mexicanos.

año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
M3 Vendidos											
		3,467,500	3,467,500	3,467,500	3,467,500	3,467,500	3,467,500	3,467,500	3,467,500	3,467,500	3,467,500
Ingresos	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
		194,384,582	194,384,582	194,384,582	194,384,582	194,384,582	194,384,582	194,384,582	194,384,582	194,384,582	194,384,582
Costos											
Consumo de Energía Eléctrica de la planta	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
		2,864,749	2,972,750	3,085,714	3,198,651	3,318,387	3,442,311	3,570,110	3,703,279	3,841,253	3,984,256
Insumos Químicos	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
		1,668,654	1,731,563	1,797,362	1,863,145	1,932,889	2,005,072	2,079,512	2,157,080	2,237,447	2,320,743
Mano de Obra	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
		1,276,670	1,324,801	1,375,143	1,425,473	1,478,834	1,534,060	1,591,013	1,650,360	1,711,848	1,775,577
oc,mante, seguros	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
		743,935	771,982	801,317	830,645	861,739	893,920	927,108	961,690	997,520	1,034,656
Depreciación	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
		40,415,838	40,415,838	40,415,838	40,415,838	40,415,838	40,415,838	40,415,838	40,415,838	40,415,838	40,415,838
Costos	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
		46,969,847	47,216,933	47,475,375	47,733,754	48,007,688	48,291,201	48,583,581	48,888,248	49,203,906	49,531,070
Utilidad Bruta	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
		147,414,736	147,167,649	146,909,208	146,650,829	146,376,895	146,093,381	145,801,001	145,496,334	145,180,676	144,853,513
Gastos Administrativos											
Gastos de Ventas											
Gastos Adm. Y Ventas	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
		9,839,156	9,842,941	9,846,900	9,850,858	9,855,055	120,642	125,121	129,788	134,623	139,635
Utilidad Operativa	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
		137,575,579	137,324,708	137,062,307	136,799,970	136,521,840	145,972,740	145,675,881	145,366,547	145,046,053	144,713,878
	\$										
		177,991,418									
Financiamiento											
Pago Interés	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Capital											

Utilidad Antes de Impuestos		\$ 137,575,579	\$ 137,324,708	\$ 137,062,307	\$ 136,799,970	\$ 136,521,840	\$ 145,972,740	\$ 145,675,881	\$ 145,366,547	\$ 145,046,053	\$ 144,713,878
PTU (10%)		\$ 13,757,557.93	\$ 13,732,470.81	\$ 13,706,230.74	\$ 13,679,997.03	\$ 13,652,184.00	\$ 14,597,273.98	\$ 14,567,588.07	\$ 14,536,654.67	\$ 14,504,605.29	\$ 14,471,387.78
Utilidad Acumulada											
ISR		\$ 41,272,673.78	\$ 37,070,145.05	\$ 36,998,950.99	\$ 36,928,121.88	\$ 36,852,552.90	\$ 39,696,166.73	\$ 39,323,582.02	\$ 39,239,687.58	\$ 39,152,819.46	\$ 39,062,781.77
Utilidad Neta		\$ 82,545,348	\$ 86,522,092	\$ 86,357,126	\$ 86,191,851	\$ 86,017,103	\$ 91,679,299	\$ 91,784,711	\$ 91,590,204	\$ 91,388,628	\$ 91,179,708
(+)Depreciaciones y Amortizaciones		\$ 50,154,595	\$ 50,154,595	\$ 50,154,595	\$ 50,154,595	\$ 50,154,595	\$ 40,415,838	\$ 40,415,838	\$ 40,415,838	\$ 40,415,838	\$ 40,415,838
(-)Amortizaciones de Capital		\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
(-)Aumento de activos Fijos											
(-)Aumento de Capital de trabajo											
Flujo de Efectivo	-\$488,007,377	\$ 132,699,942	\$ 136,676,687	\$ 136,511,720	\$ 136,346,446	\$ 136,171,698	\$ 132,095,137	\$ 132,200,549	\$ 132,006,043	\$ 131,804,467	\$ 131,595,547
Valor Terminal											
		-\$ 488,007,376.7	\$ 132,699,942	\$ 136,676,687	\$ 136,511,720	\$ 136,346,446	\$ 132,095,137	\$ 132,200,549	\$ 132,006,043	\$ 131,804,467	\$ 131,595,547
VPN por año	- 488,007,377	118,012,621	108,096,066	96,015,889	85,285,405	75,748,749	65,348,131	58,161,730	51,648,248	45,861,645	40,720,999
Flujos de efectivo acumulado		\$ 132,699,942	\$ 269,376,629	\$ 405,888,350	\$ 542,234,796	\$ 678,406,493	\$ 810,501,631	\$ 942,702,180	\$ 1,074,708,223	\$ 1,206,512,689	\$ 1,338,108,236
Meses de recuperación	12	12	12	12	7.227385488	-4.778739179	- 17.29654433	- 29.27318441	-41.33399897	- 53.41556579	- 65.51941891

año	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
M3 Vendidos	3,467,500	3,467,500	3,467,500	3,467,500	3,467,500	3,467,500	3,467,500	3,467,500	3,467,500	3,467,500
Ingresos	\$ 194,384,582									
Costos										
Consumo de Energía Eléctrica de la planta	\$ 4,132,718	\$ 4,286,658	\$ 4,446,321	\$ 4,611,958	\$ 4,783,751	\$ 4,961,943	\$ 5,146,778	\$ 5,338,495	\$ 5,537,353	\$ 5,743,620
Insumos Químicos	\$ 2,407,219	\$ 2,496,886	\$ 2,589,886	\$ 2,686,366	\$ 2,786,432	\$ 2,890,225	\$ 2,997,887	\$ 3,109,558	\$ 3,225,389	\$ 3,345,535
Mano de Obra	\$ 1,841,739	\$ 1,910,342	\$ 1,981,495	\$ 2,055,311	\$ 2,131,870	\$ 2,211,282	\$ 2,293,653	\$ 2,379,091	\$ 2,467,712	\$ 2,559,635
oc,mante, seguros	\$ 1,073,209	\$ 1,113,185	\$ 1,154,648	\$ 1,197,661	\$ 1,242,274	\$ 1,288,548	\$ 1,336,547	\$ 1,386,333	\$ 1,437,974	\$ 1,491,538
Depreciación	\$ 3,408,565									
Costos	\$ 12,863,449	\$ 13,215,636	\$ 13,580,915	\$ 13,959,862	\$ 14,352,891	\$ 14,760,562	\$ 15,183,430	\$ 15,622,041	\$ 16,076,993	\$ 16,548,893
Utilidad Bruta	\$ 181,521,133	\$ 181,168,947	\$ 180,803,668	\$ 180,424,721	\$ 180,031,691	\$ 179,624,020	\$ 179,201,153	\$ 178,762,541	\$ 178,307,590	\$ 177,835,689
Gastos Administrativos										
Gastos de Ventas										
Gastos Adm. Y Ventas	\$ 144,838	\$ 150,233	\$ 155,829	\$ 161,634	\$ 167,655	\$ 173,900	\$ 180,378	\$ 187,097	\$ 194,066	\$ 201,295
Utilidad Operativa	\$ 181,376,295	\$ 181,018,713	\$ 180,647,839	\$ 180,263,087	\$ 179,864,036	\$ 179,450,121	\$ 179,020,775	\$ 178,575,444	\$ 178,113,524	\$ 177,634,394

Financiamiento										
Pago Interés	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Capital										
Utilidad Antes de Impuestos	\$ 181,376,295	\$ 181,018,713	\$ 180,647,839	\$ 180,263,087	\$ 179,864,036	\$ 179,450,121	\$ 179,020,775	\$ 178,575,444	\$ 178,113,524	\$ 177,634,394
PTU (10%)	\$ 18,137,629.50	\$ 18,101,871.33	\$ 18,064,783.87	\$ 18,026,308.70	\$ 17,986,403.65	\$ 17,945,012.06	\$ 17,902,077.50	\$ 17,857,544.44	\$ 17,811,352.36	\$ 17,763,439.45
Utilidad Acumulada										
ISR	\$ 50,071,472.18	\$ 48,864,325.15	\$ 48,763,790.21	\$ 48,659,490.94	\$ 48,551,318.33	\$ 48,439,115.09	\$ 48,322,728.87	\$ 48,202,010.06	\$ 48,076,793.76	\$ 47,946,912.64
Utilidad Neta	\$ 113,167,193	\$ 114,052,517	\$ 113,819,265	\$ 113,577,287	\$ 113,326,314	\$ 113,065,993	\$ 112,795,969	\$ 112,515,890	\$ 112,225,378	\$ 111,924,042
(+)Depreciaciones y Amortizaciones	\$ 3,408,565									
(-)Amortizaciones de Capital	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
(-)Aumento de activos Fijos										
(-)Aumento de Capital de trabajo										
Flujo de Efectivo	\$ 116,575,758	\$ 117,461,082	\$ 117,227,829	\$ 116,985,852	\$ 116,734,879	\$ 116,474,558	\$ 116,204,533	\$ 115,924,455	\$ 115,633,942	\$ 115,332,607
Valor Terminal	\$ 116,575,758	\$ 117,461,082	\$ 117,227,829	\$ 116,985,852	\$ 116,734,879	\$ 116,474,558	\$ 116,204,533	\$ 115,924,455	\$ 115,633,942	\$ 115,332,607.10
VPN por año	32,080,653	28,746,612	25,514,151	22,643,391	20,094,004	17,830,135	15,819,923	14,035,053	12,450,364	11,043,496
Flujos de efectivo acumulado	\$ 1,454,683,994	\$ 1,572,145,076	\$ 1,689,372,905	\$ 1,806,358,757	\$ 1,923,093,636	\$ 2,039,568,194	\$ 2,155,772,728	\$ 2,271,697,182	\$ 2,387,331,124	\$ 2,502,663,732
Meses de recuperación	-87.50713256	-98.75713093	-110.9775082	-123.2318788	-135.5226191	-147.8523326	-160.223782	-172.6398825	-185.1037616	-197.6187441

3.3.7.3 IMPUESTO SOBRE LA RENTA

El enfoque del proyecto va encaminado a la venta de un servicio (agua potable), por lo que, la planta desaladora se ve obligada a pagar un porcentaje de ISR, el cual es un impuesto directo sobre las ganancias obtenidas en el ejercicio, siendo las ganancias entre los ingresos y las deducciones autorizadas, como se mencionó previamente, esta se considera como el 30% de las utilidades antes de impuesto, para la producción evaluada se obtuvo un valor de **\$137,575,579 MXN**, el pago del Impuesto Sobre la Renta durante la vida útil de la DMG, es presentada por la Tabla 35.

Se consideró un 10%⁴⁰ de reparto de utilidades (PTU) para fines del ejercicio.

Tabla 35 Desglose del ISR a lo largo de la vida útil de la DMG.

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3
Utilidad antes de impuestos	\$ -	\$ 137,575,579.28	\$ 137,324,708.08	\$ 137,062,307.45
%PTU	10%	10%	10%	10%
PTU	\$ -	\$ 13,757,557.93	\$ 13,732,470.81	\$ 13,706,230.74
Utilidad antes de impuestos y sin PTU	\$ -	\$ 137,575,579.28	\$ 123,567,150.15	\$ 123,329,836.64
utilidad acumulada	\$ -	\$ 137,575,579.28	\$ 261,142,729.43	\$ 384,472,566.07
		1	1	1
Pago de ISR		\$ 41,272,673.78	\$ 37,070,145.05	\$ 36,998,950.99

	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7
Utilidad antes de impuestos	\$ 136,799,970.35	\$ 136,521,840.03	\$ 145,972,739.78	\$ 145,675,880.71
%PTU	10%	10%	10%	10%
PTU	\$ 13,679,997.03	\$ 13,652,184.00	\$ 14,597,273.98	\$ 14,567,588.07
Utilidad antes de impuestos y sin PTU	\$ 123,093,739.60	\$ 122,841,842.99	\$ 132,320,555.77	\$ 131,078,606.74
utilidad acumulada	\$ 507,566,305.67	\$ 630,408,148.67	\$ 762,728,704.44	\$ 893,807,311.18
	1	1	1	1
Pago de ISR	\$ 36,928,121.88	\$ 36,852,552.90	\$ 39,696,166.73	\$ 39,323,582.02

⁴⁰ <https://www.miskuentas.com/noticias/laboral/ptu-reparto-de-utilidades/?dist=blogmk>

	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11
Utilidad antes de impuestos	\$ 145,366,546.67	\$ 145,046,052.87	\$ 144,713,877.85	\$ 181,376,295.05
%PTU	10%	10%	10%	10%
PTU	\$ 14,536,654.67	\$ 14,504,605.29	\$ 14,471,387.78	\$ 18,137,629.50
Utilidad antes de impuestos y sin PTU	\$ 130,798,958.60	\$ 130,509,398.20	\$ 130,209,272.56	\$ 166,904,907.26
utilidad acumulada	\$1,024,606,269. 78	\$ 1,155,115,667.98	\$ 1,285,324,940.54	\$ 1,452,229,847.8 0
	1	1	1	1
Pago de ISR	\$ 39,239,687.58	\$ 39,152,819.46	\$ 39,062,781.77	\$ 50,071,472.18

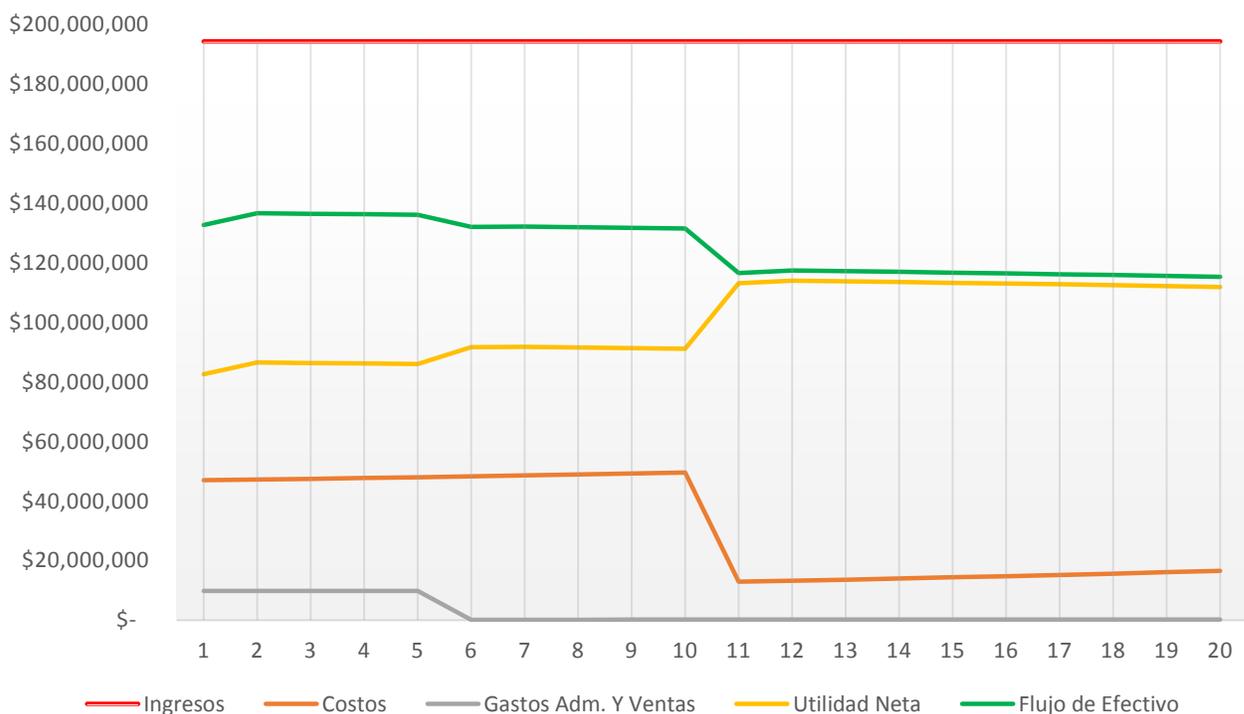
	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15
Utilidad antes de impuestos	\$ 181,018,713.35	\$ 180,647,838.69	\$ 180,263,087.00	\$ 179,864,036.48
%PTU	10%	10%	10%	10%
PTU	\$ 18,101,871.33	\$ 18,064,783.87	\$ 18,026,308.70	\$ 17,986,403.65
Utilidad antes de impuestos y sin PTU	\$ 162,881,083.84	\$ 162,545,967.35	\$ 162,198,303.13	\$ 161,837,727.78
utilidad acumulada	\$ 1,615,110,931.65	\$ 1,777,656,899.00	\$ 1,939,855,202.13	\$ 2,101,692,929.91
	1	1	1	1
Pago de ISR	\$ 48,864,325.15	\$ 48,763,790.21	\$ 48,659,490.94	\$ 48,551,318.33

	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19
Utilidad antes de impuestos	\$ 179,450,120.61	\$ 179,020,774.97	\$ 178,575,444.35	\$ 178,113,523.63
%PTU	10%	10%	10%	10%
PTU	\$ 17,945,012.06	\$ 17,902,077.50	\$ 17,857,544.44	\$ 17,811,352.36
Utilidad antes de impuestos y sin PTU	\$ 161,463,716.96	\$ 161,075,762.91	\$ 160,673,366.86	\$ 160,255,979.19
utilidad acumulada	\$ 2,263,156,646.87	\$ 2,424,232,409.78	\$ 2,584,905,776.64	\$ 2,745,161,755.83
	1	1	1	1
Pago de ISR	\$ 48,439,115.09	\$ 48,322,728.87	\$ 48,202,010.06	\$ 48,076,793.96

	Año 20	Año	Año	Año
Utilidad antes de impuestos	\$ 177,634,394.50	\$ -	\$ -	\$ -
%PTU	10%	\$ --	\$ --	\$ --
PTU	\$ 17,763,439.45	\$ -	\$ -	\$ -
Utilidad antes de impuestos y sin PTU	\$ 159,823,042.14	\$ -	\$ -	\$ -
utilidad acumulada	\$ 2,904,984,797.97	\$ -	\$ -	\$ -
		1		
Pago de ISR	\$ 47,946,912.64	\$ -	\$ -	\$ -

La tendencia de los flujos de efectivo se puede apreciar con más detalle en la Gráfica 23, a partir del año 10 hay una disminución en los costos como efecto de la depreciación total de las inversiones fijas y por ende durante ese mismo periodo la utilidad neta tiende a aumentar, cabe destacar que del año 11 en adelante tanto las utilidades netas como los flujos de efectivos tienden a coincidir como efecto de la depreciación de los equipos.

Gráfica 23 Flujo de efectivo a 20 años.



3.3.8 EVALUACIÓN FINANCIERA E INDICADORES ECONÓMICOS

Para traer los flujos de efectivo de cada año de evaluación a valor presente; se tomó el costo promedio ponderado de capital (WACC) calculado en la sección 3.3.7.3 con un valor de 12.45%.

$$\begin{aligned}
 VPN &= -\$488,007,377 + \frac{132,699,942}{(1 + 0.1169)^1} + \frac{136,676,687}{(1 + 0.1169)^2} + \dots + \frac{115,332,607}{(1 + 0.1169)^{20}} \\
 &= \$ 457, 149, 889MXN
 \end{aligned}$$

De acuerdo a la Ecuación 21

$$\sum_{t=1}^n \frac{Y_t - E_t}{(1 + r)^t} - I_0 = 0$$

Proseguiremos a calcular la TIR, primero debemos igualar el VPN a cero (igualando el total de los flujos de caja a cero) y reordenando se obtiene lo siguiente:

$$VPN = -\$488,007,377 + \frac{132,699,942}{1 + r} + \frac{136,676,687}{(1 + r)^2} + \dots + \frac{115,332,607}{(1 + r)^{20}}$$

Despejando la tasa interna de retorno (r), obtenemos un valor de **27.04%**.

La Tabla 36 resume los indicadores económicos obtenidos para una producción de 10,000 m³/día discutidos en la sección 3.1.

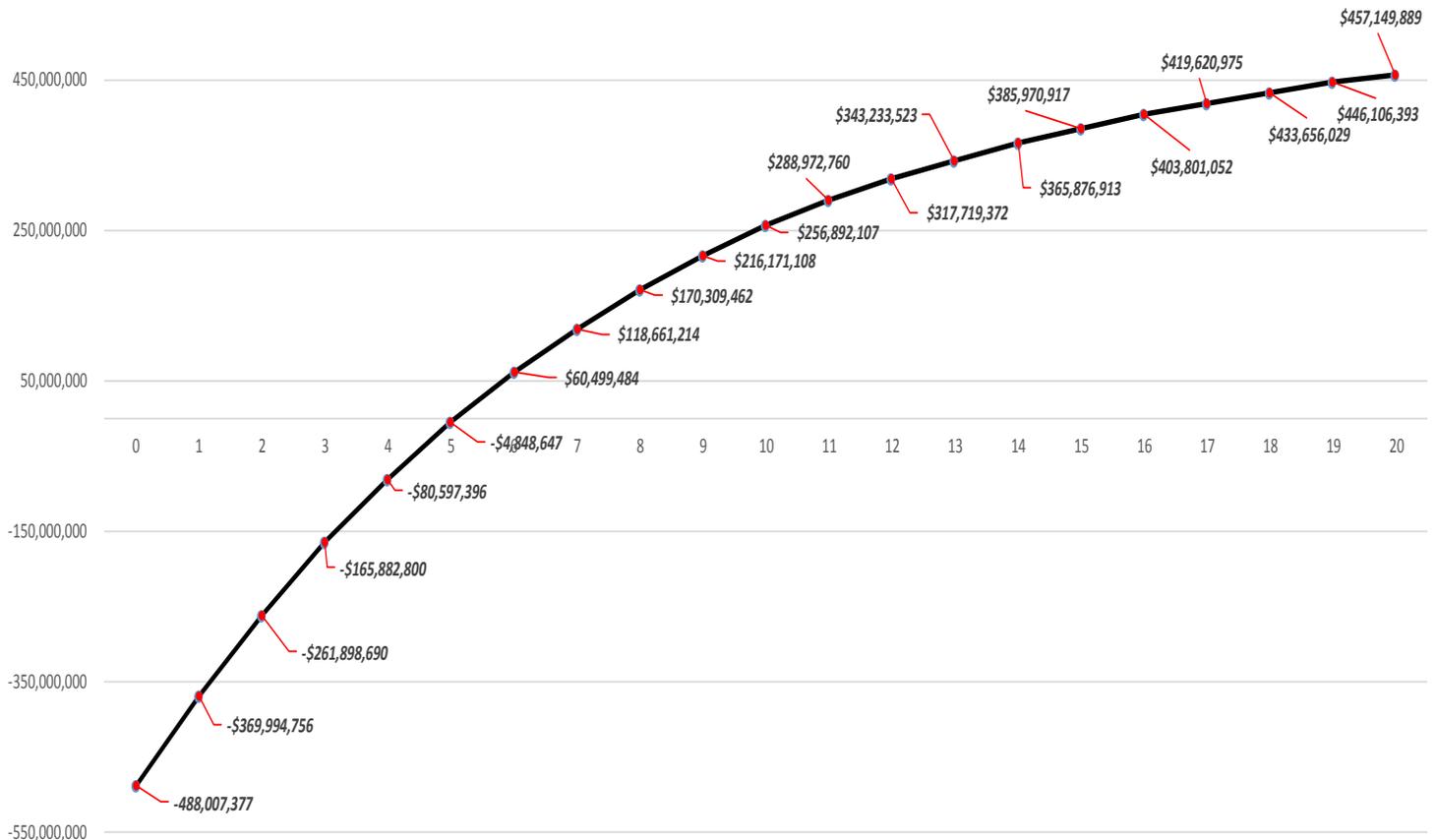
Tabla 36 Indicadores de rentabilidad para la planta DMG.

<i>TIR</i>	27.04%
<i>WACC</i>	12.45%
<i>VPN, \$ MXN</i>	\$ 457,149,889
<i>Tiempo de Retorno (años)</i>	3
<i>Relación beneficio-costos</i>	5.13
<i>ROI</i>	20.653%

De la Tabla 36 los flujos de efectivo traídos a valor presente al año cero en que se realiza la inversión, considerando el valor del dinero en el tiempo; superan el valor de la inversión en **\$ 457, 149,889 MXN** y de acuerdo a los criterios establecidos en la sección 3.1.1, los flujos de efectivos cubrirán los costos totales para su entrada en operación y la inversión, y quedará un excedente.

La TIR al superar el WACC con un valor de **27.04%** presenta una rentabilidad mayor al costo de oportunidad. En el horizonte de inversión establecido se identifica que el proyecto podría generar **5.13** veces el valor invertido al cabo de los 20 años de operación evaluados y el tiempo de recuperación de la inversión es de **3 años**.

Gráfica 24 Valor presente neto a lo largo de la vida útil de la DMG para una capacidad de 10,000 m³/día.



Dado que los resultados obtenidos son favorables, la puesta en marcha del proyecto es viable. Como podemos apreciar, la gráfica 24 muestra el comportamiento del valor presente para cada año, considerando el valor terminal de 20.

3.3.8.1 UNIDADES MÍNIMAS MENSUALES.

Considerando un volumen promedio mensual de 288,958 m³, el punto de equilibrio mensual en m³ se identifica en **64,996 unidades**, cantidad mínima mensual que se debe vender para cubrir los costos fijos que implica la operación del negocio e iniciar la generación de utilidades, lo que representa que se debe obtener un mínimo de ingreso mensual de **\$3, 643,612 MXN pesos** para ser rentable, Tabla 37.

Tabla 37 Resumen de flujos de efectivos mensuales.

Ingresos, Costos y Gastos		Punto de Equilibrio	
M3 promedio mensual	288,958	Punto de Equilibrio en m³ Mensuales	64,996
Precio de Venta	\$ 56.06	Anual(m³)	779,952
Costos Variables		Punto de Equilibrio en Valores Mensuales	\$ 3,643,612
Costo de Energía por M3	\$ 0.83	Anual	\$ 21,861,674
Costo Insumos por M3	\$ 0.48		
Total Costos Variables	\$ 1.31		
Costos y Gastos Fijos			
Costo de Mano de obra operativa	\$ 106,389		
Costos Indirectos de Operación	\$ 3,443,881		
Gastos administrativos	\$ 6,867		
Gastos de Ventas	\$ 1,500		
Total Costos y Gastos Fijos	\$ 3,558,637		

3.4 RESULTADOS GENERALES DEL ANÁLISIS ECONÓMICO.

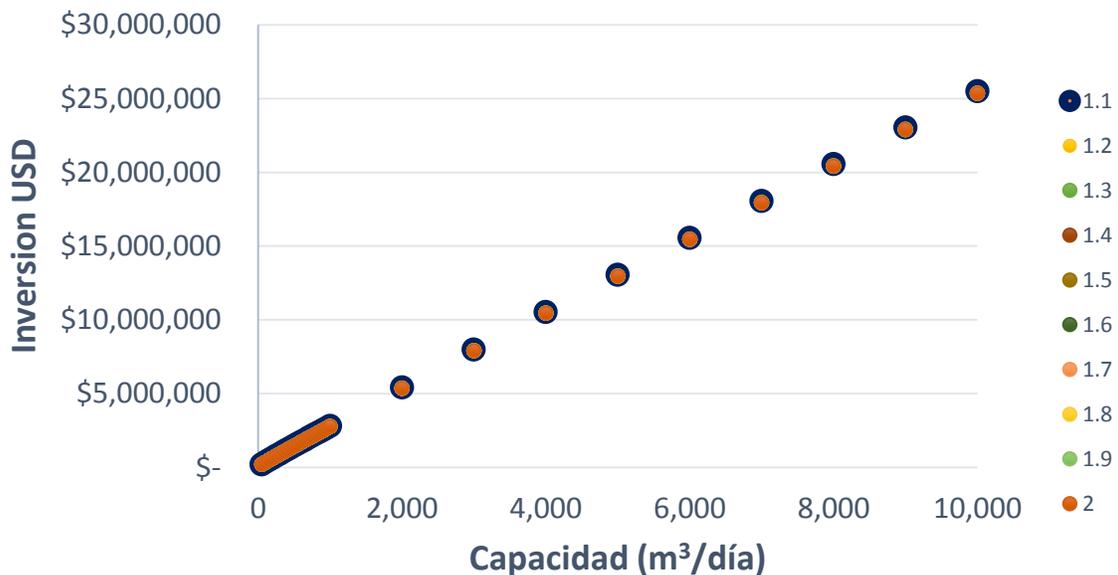
A continuación, se presentan las conclusiones más sobresalientes de los resultados obtenidos en el análisis económico (ver anexo VIII) a lo largo de la vida útil de la planta, teniendo en consideración que las variables manipuladas fueron el factor de concentración, el cual se varió desde 1.1 hasta 2; y la producción de agua desalada en los rangos de 50 a 10,000 m³/día, como se describió en la sección 2.5.2. Todas las comparaciones van referidas en función de la capacidad, de acuerdo a la siguiente numeración: I) Inversión, II) Costo de agua desalada, III) TIR, IV) VPN, V) B/C, VI) ROI, VII) Tiempo de retorno, VIII) punto de equilibrio en m³ mensuales y punto de equilibrio en valores mensuales MXN.

I. Inversión

La inversión inicial requerida para la desaladora modular geotérmica es directamente proporcional a la capacidad, la regresión obtenida para cada factor de concentración, siendo de interés la ordenada; muestra que a medida que el factor de concentración aumenta la inversión disminuye con respecto a una capacidad dada, como se logra apreciar en la Gráfica 25.

Factor de concentración	Regresión obtenida
1.1	$I_0(USD) = 2546.4 D_t + 204796$
1.2	$I_0(USD) = 2538.1 D_t + 197666$
1.3	$I_0(USD) = 2535.3 D_t + 195303$
1.4	$I_0(USD) = 2533.9 D_t + 194182$
1.5	$I_0(USD) = 2533.1 D_t + 193414$
1.6	$I_0(USD) = 2532.6 D_t + 192942$
1.7	$I_0(USD) = 2532.2 D_t + 192605$
1.8	$I_0(USD) = 2531.9 D_t + 192353$
1.9	$I_0(USD) = 2531.7 D_t + 192156$
2.0	$I_0(USD) = 2531.5 D_t + 191999$

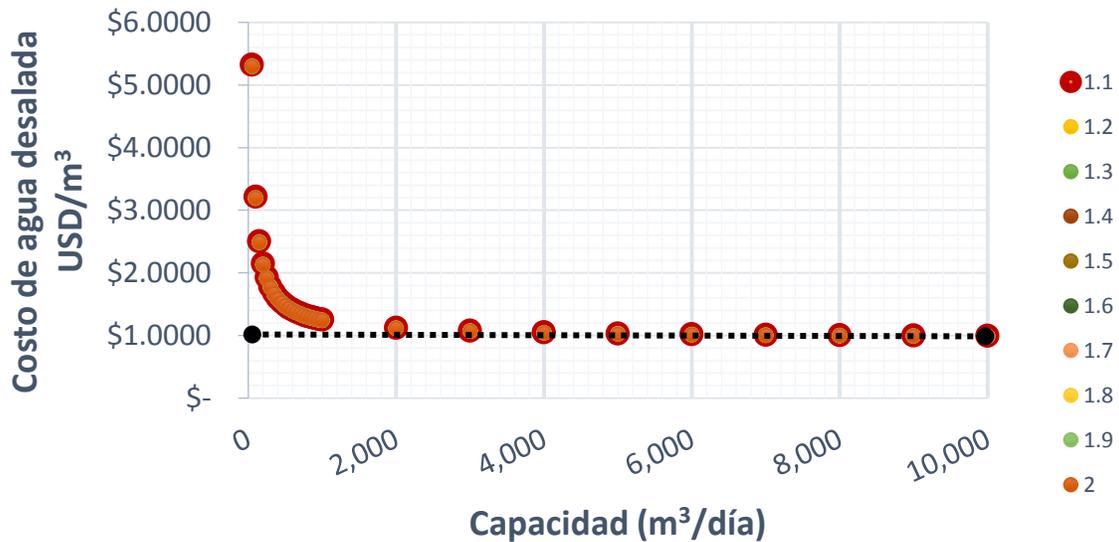
Gráfica 25 Inversión inicial requerida en función de la capacidad.



II. Costo de agua desalada

El costo de agua desalada es inversamente proporcional a la capacidad, para producir una capacidad de 50 m³/día el costo de agua desalada es aproximadamente \$5.3 USD/m³, el costo para producir una capacidad de 3,000 m³/día es la misma que producir 10,000 m³/día, el cual tiene un costo de aproximadamente \$ 1 USD/m³, por otro lado, en los rangos de 100-1,000 m³/día hay una disminución paulatina en el costo, tal como se puede observar en la Gráfica 26.

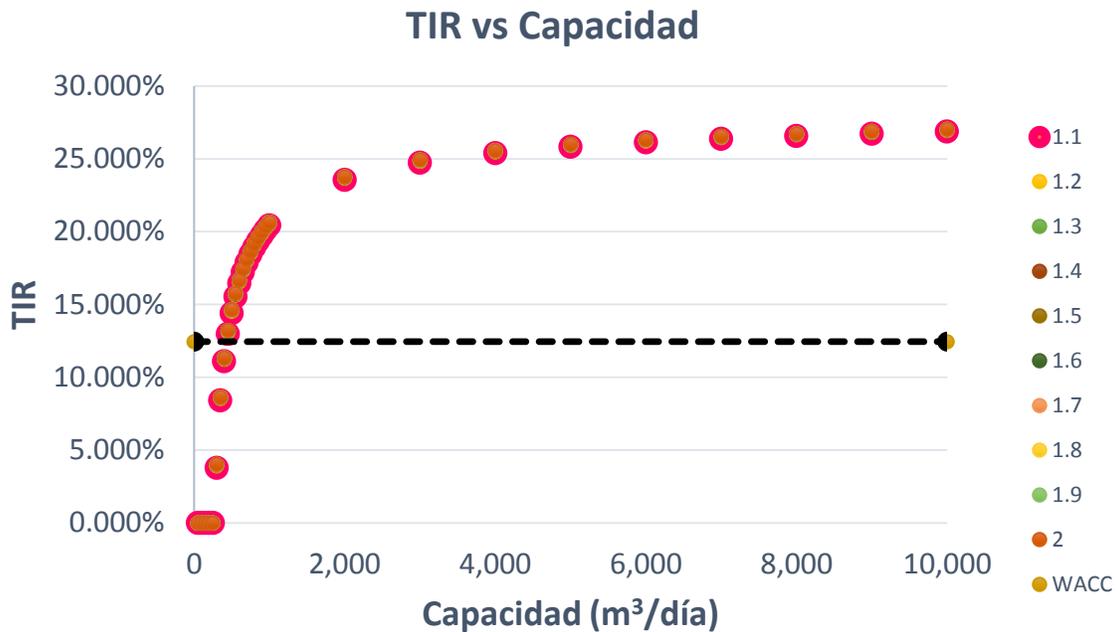
Gráfica 26 Costo de agua desalada en función de la capacidad.



III. Tasa Interna de Retorno (TIR)

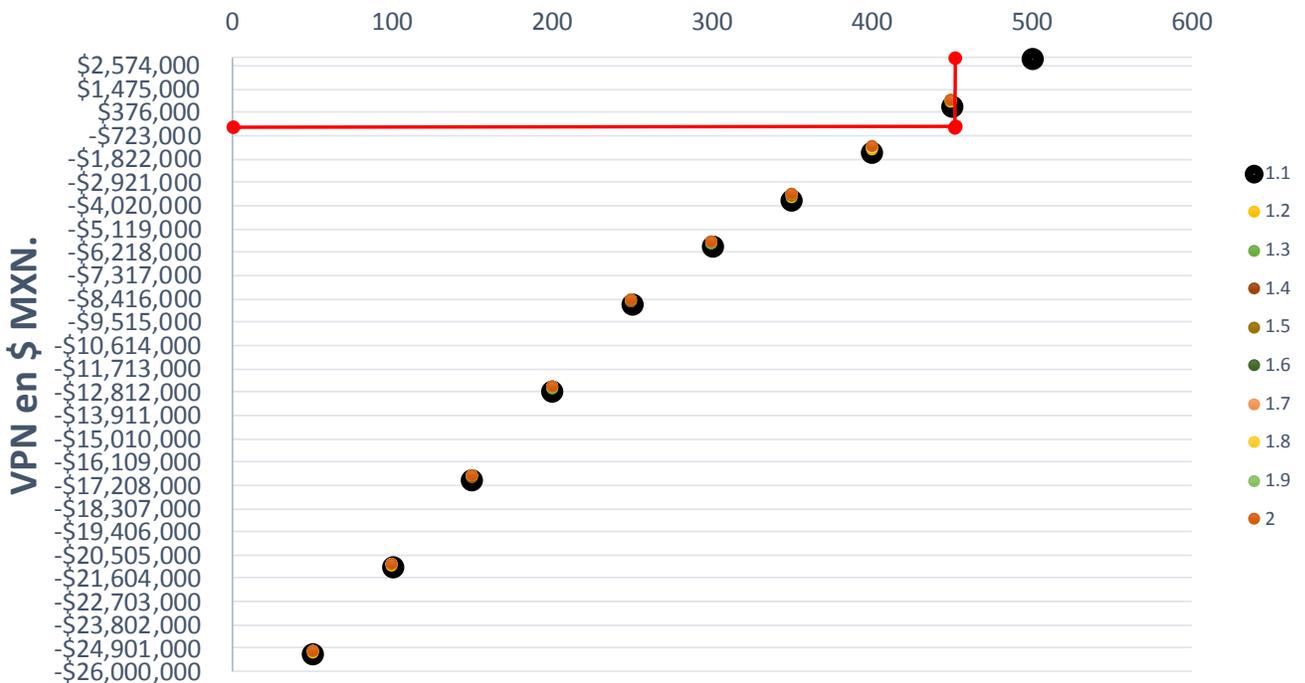
La rentabilidad del proyecto se da cuando la WACC supera a la TIR, como se discutió en la sección 3.3.7.2, esta tiene que ser mayor a **12.45%**, en primera instancia capacidades por debajo de 400 m³/día no es viable ejecutar el proyecto, dado que la rentabilidad del proyecto es inferior al costo de oportunidad de la inversión, la TIR crece de forma exponencial con la capacidad, dado a la restricción de la ecuación usada en este capítulo para calcular la inversión inicial del proyecto, para una capacidad de 10,000 m³/día se obtiene una tasa interna de retorno de 27.04%, a medida que aumenta el factor de concentración a una capacidad dada; este indicador económico tiende a aumentar a razón de 0.999. La Gráfica 27 muestra el comportamiento de la TIR en función de la capacidad.

Gráfica 27 Efecto de la tasa interna de retorno en función de la capacidad.



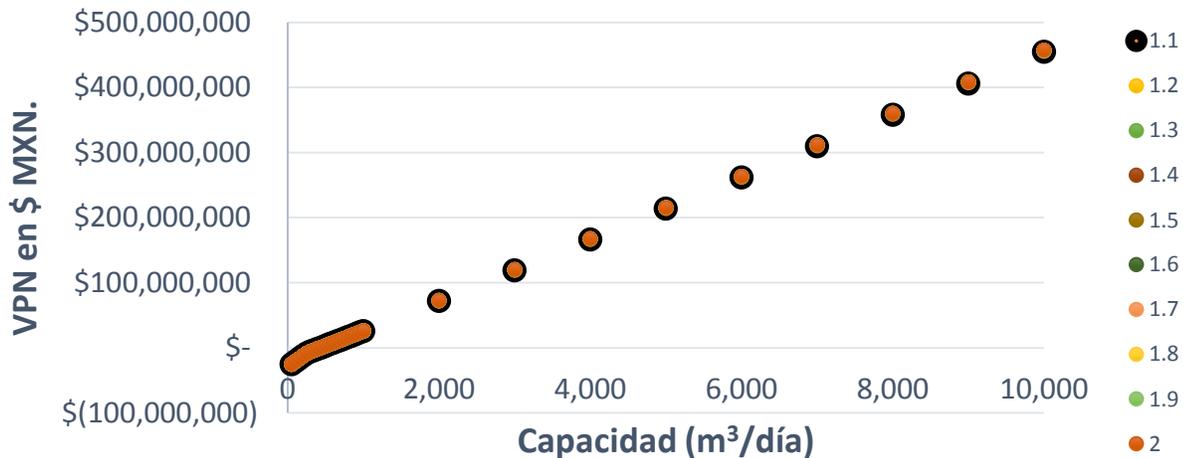
IV. Valor Presente Neto (VPN).

En la sección valor 3.1.1 se dijo que al tener un valor presente neto mayor a cero, los flujos de efectivos cubrirán los costos totales y la inversión, y quedará un excedente, esta premisa se cumple cuando la capacidad está por arriba de los 450 m³/día.



El VPN tiene el mismo comportamiento que la gráfica de inversión en función de la capacidad de acuerdo a la Gráfica 28.

Gráfica 28 Comportamiento del VPN a lo largo de la vida útil de la DMG, como una función de la capacidad.



V. Relación Beneficio-Costo B/C.

En el horizonte de inversión establecido y con una capacidad de 450 m³/día se identifica que el proyecto podría generar 2.39 veces el valor invertido al cabo de los 20 años de operación evaluados, la relación costo/beneficio a partir de 6,000 m³/día llega a un punto tangencial, en el que la relación se mantiene constante y el incremento de este beneficio es insignificante. De la Gráfica 29 podemos apreciar un crecimiento paulatino entre los rangos de 250-1,000 m³/día.

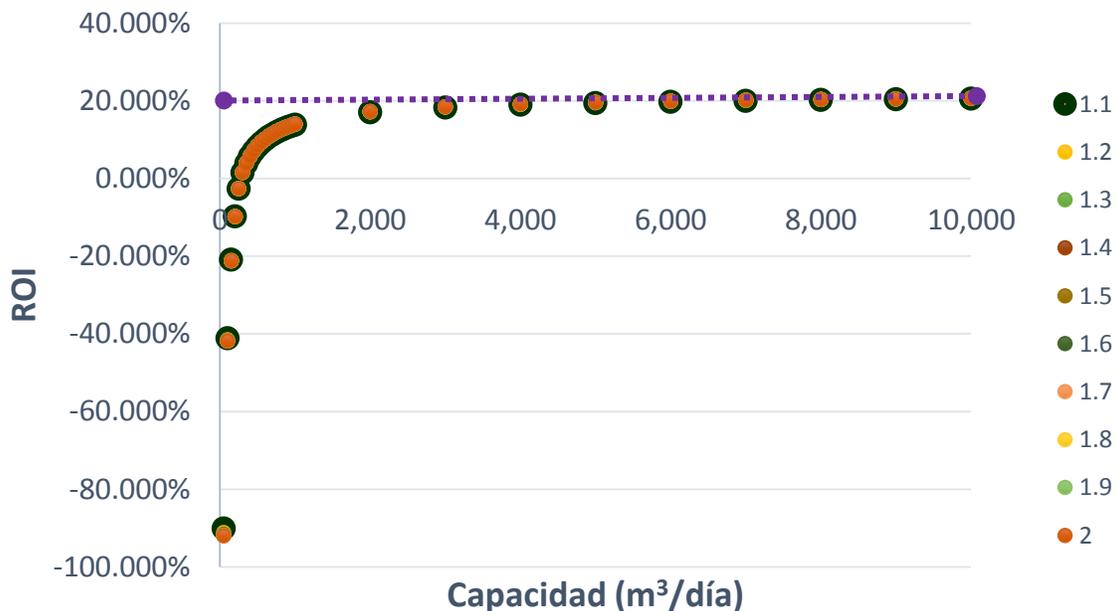
Gráfica 29 Crecimiento de la relación B/C



VI. Rendimiento de la inversión (ROI)

Como se aprecia en la Gráfica 30, el crecimiento paulatino se da entre los rangos de 300-2000 m³/día, el rendimiento de la inversión permanece constante a partir de una producción de 5,000 m³/día, alcanzándose un valor de ROI de 20%. De acuerdo al comportamiento de este indicador, si se produce una capacidad por debajo de los 300 m³/día el proyecto no es rentable.

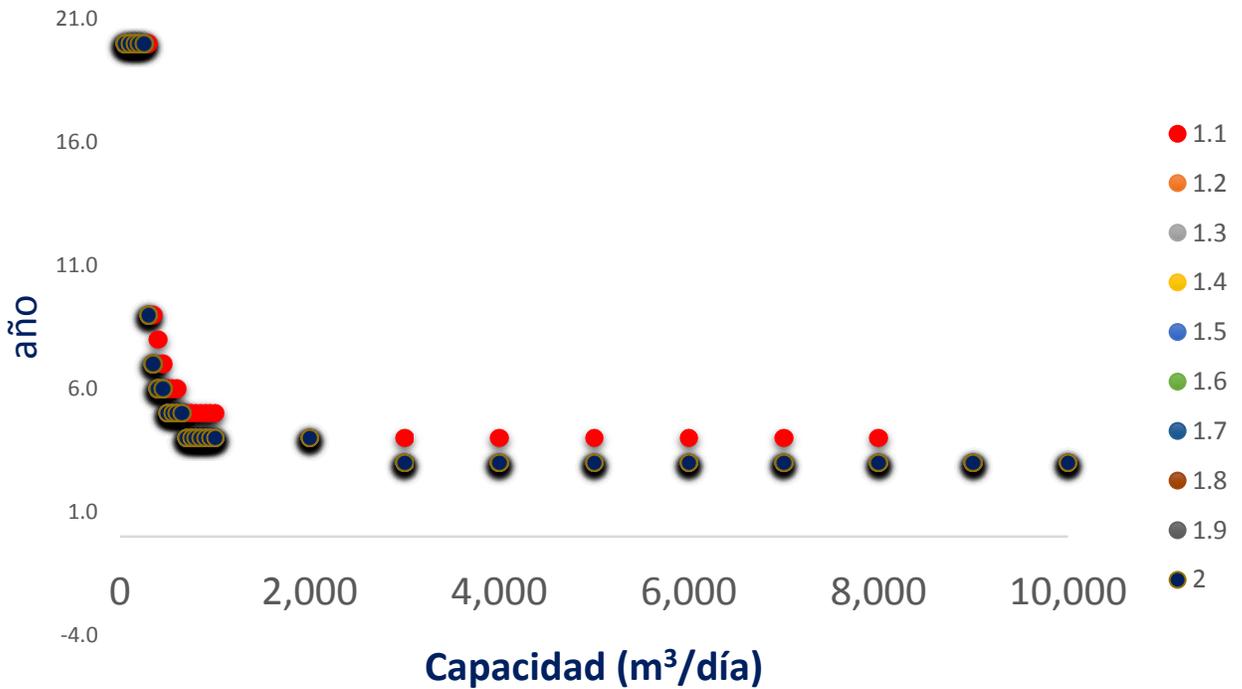
Gráfica 30 Rendimiento de la inversión en función de la capacidad.



VII. Tiempo de retorno

El tiempo de recuperación de la inversión para producir una capacidad entre los rangos de 50-250 m³/día es de 20 años, el cual hablando económicamente no es viable tener tiempos de retornos muy altos, usualmente se considera un valor razonable de 4 años para una planta desaladora, como se puede apreciar en la Gráfica 31; el tiempo de retorno para producir una capacidad de 3,000 m³/día es la misma que producir 10,000 m³/día, recuperando la inversión en un lazo de 3 años, del mismo gráfico podemos notar que con una capacidad de 3,000 m³/día y un FC de 1.1; la inversión se recupera en 4 años, con esa misma capacidad a un FC de 1.2 el tiempo de recuperación de la inversión resulta ser de 3 años.

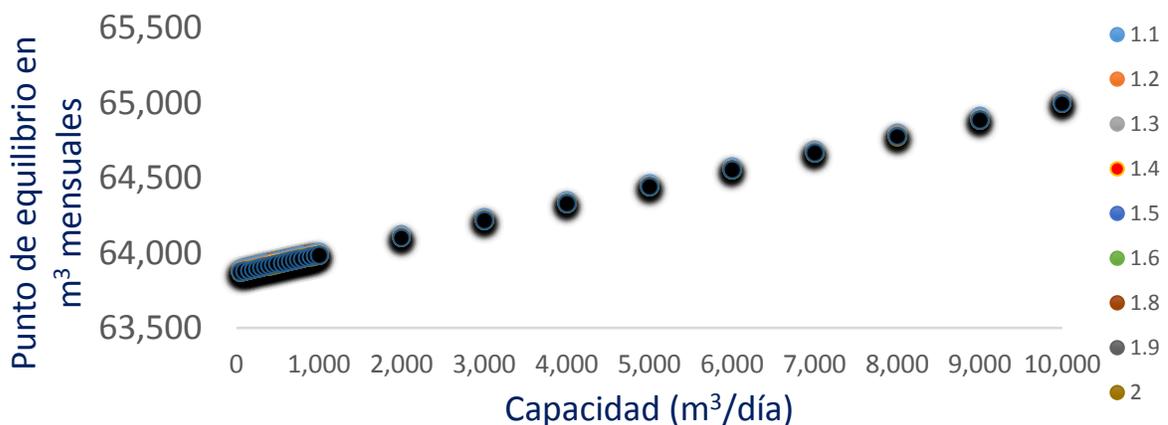
Gráfica 31 Tiempo de recuperación de la inversión en función de la capacidad.



VIII. Punto de equilibrio en m³ mensuales.

A medida que aumenta la capacidad y el factor de concentración, las unidades en el punto de equilibrio que se deben producir tienden a disminuir, para una capacidad de producción de 450 m³/día y un FC de 1.5, se requieren producir como mínimo 63,922 m³ de agua al mes para que el proyecto de la DMG sea rentable e iniciar la generación de utilidades, lo que representa que se debe obtener un mínimo de ingreso mensual de **\$3, 643,612 MXN pesos**, Gráfica 33.

Gráfica 32 Unidades mínimas mensuales en el punto de equilibrio VS capacidad.



Gráfica 33 Valores mensuales en \$ MXN VS capacidad.



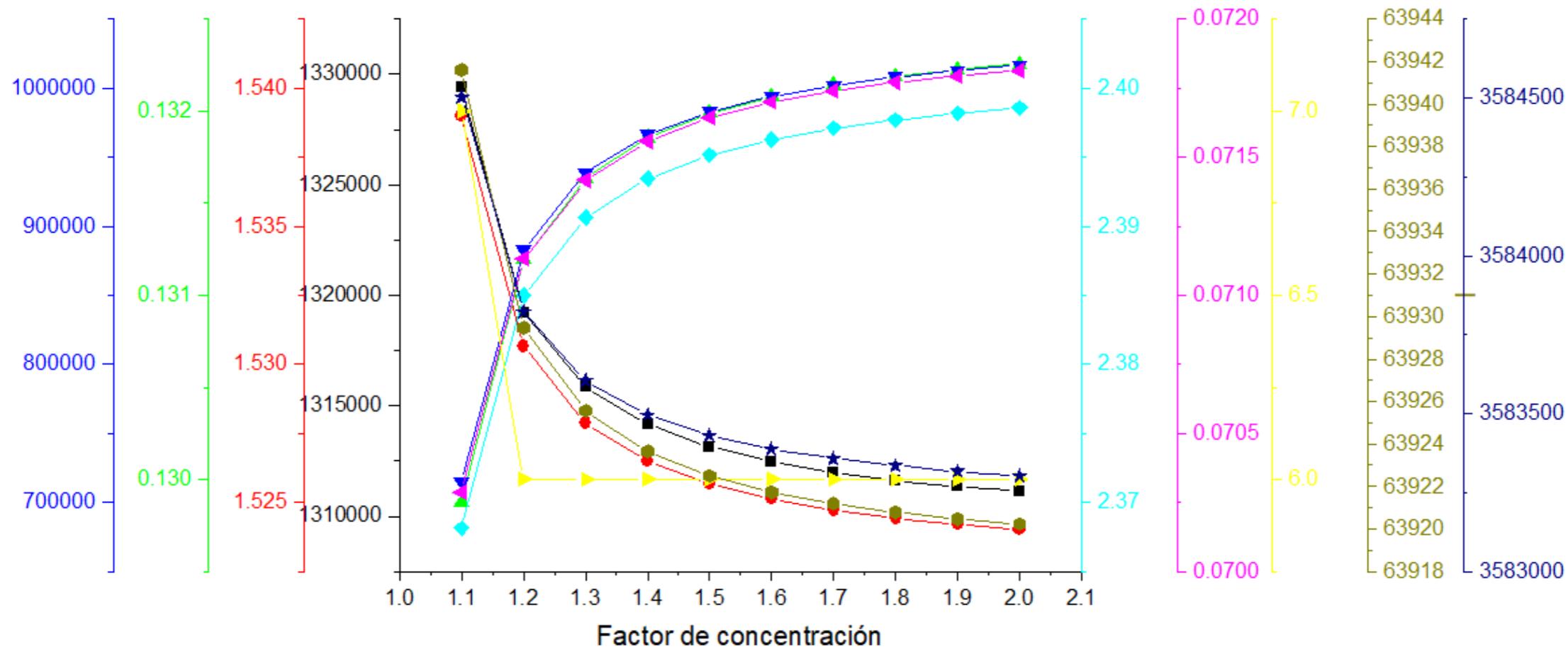
A través de los indicadores económicos evaluados se puede concluir que en las condiciones planteadas el proyecto es económicamente viable a partir de una capacidad de 450 m³/día, como se muestra en la Tabla 38.

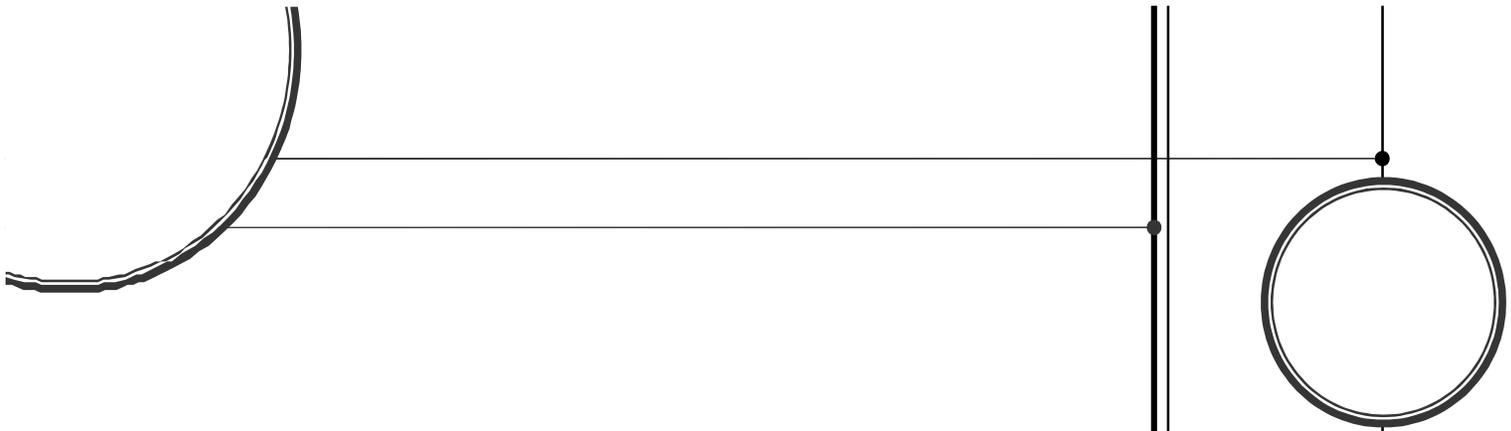
Tabla 38 Parámetros obtenidos para una capacidad rentable de 450 m³/día.

FC	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
Inversión inicial en USD	\$ 1,329,438	\$ 1,319,235	\$ 1,315,851	\$ 1,314,161	\$ 1,313,147	\$ 1,312,471	\$ 1,311,989	\$ 1,311,627	\$ 1,311,345	\$ 1,311,120
Costo de agua desalada USD/m ³	\$ 1.539	\$ 1.531	\$ 1.528	\$ 1.526	\$ 1.526	\$ 1.525	\$ 1.525	\$ 1.524	\$ 1.524	\$ 1.524
TIR	12.988%	13.119%	13.164%	13.186%	13.199%	13.208%	13.214%	13.219%	13.222%	13.225%
VPN en \$ MXN	\$ 714,447	\$ 882,773	\$ 938,500	\$ 966,317	\$ 982,993	\$ 994,106	\$ 1,002,041	\$ 1,007,992	\$ 1,012,618	\$ 1,016,320
Relación Beneficio-Costo	2.368	2.385	2.391	2.393	2.395	2.396	2.397	2.398	2.398	2.399
Rentabilidad del proyecto	7.03%	7.11%	7.14%	7.16%	7.16%	7.17%	7.17%	7.18%	7.18%	7.18%
Periodo de recuperación de la inversión en años	7.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
Punto de equilibrio en m ³ mensuales	63,942	63,929	63,926	63,924	63,922	63,922	63,921	63,921	63,920	63,920
Punto de equilibrio en valores mensuales en \$MXN	\$ 3,584,501.93	\$ 3,583,822.05	\$ 3,583,603.27	\$ 3,583,495.30	\$ 3,583,430.96	\$ 3,583,388.25	\$ 3,583,357.83	\$ 3,583,335.06	\$ 3,583,317.38	\$ 3,583,303.26

Para una mayor claridad de los datos, consultar la siguiente gráfica.

- Inversión inicial en USD
- Costo de agua desalada en USD/m³
- ▲— TIR
- ▼— VPN en \$MXN
- ◆— Relación C/B
- ◀— Rentabilidad del proyecto
- ▶— Periodo de recuperación de la inversión
- Punto de equilibrio en m³ mensuales
- ★— Punto de equilibrio en valores mensuales \$MXN





4. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

El objetivo de este último capítulo es llevar a cabo un análisis de sensibilidad, se analizará el efecto de variar la tarifa industrial de agua y el costo de energía eléctrica para 3 escenarios propuestos en la República Mexicana; teniendo como base la producción rentable de 450 m³/día obtenido del análisis económico, se pretende encontrar otra capacidad de producción rentable con el fin de maximizar los ingresos, la TIR y la VPN, minimizando el tiempo de recuperación de la inversión.

4

4.1 INTRODUCCIÓN.

La sensibilidad de una propuesta individual debe hacerse con respecto al parámetro más incierto. Por ejemplo, es posible que en la evaluación de una propuesta se tenga mucha incertidumbre con respecto al precio unitario de venta de los productos o servicios que se pretenden comercializar. En estos casos, es muy conveniente determinar qué tan sensible es la TIR o el VPN a cambios en las estimaciones del precio unitario de venta, es decir, para este tipo de situaciones es muy recomendable determinar el precio unitario de venta a partir del cual la propuesta sería económicamente atractiva (Coss Bu, 1986).

4.2 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Para fines de este trabajo se consideraron como variable de interés el precio por m³ de agua y el costo de energía eléctrica para diferentes regiones de la república mexicana, cabe destacar que la evaluación va referida en relación a la capacidad rentable de 450 m³/día, de acuerdo a las consideraciones establecidas en el capítulo 3, se analiza el impacto de poner en marcha la Desaladora Modular Geotérmica en diferentes regiones del país.

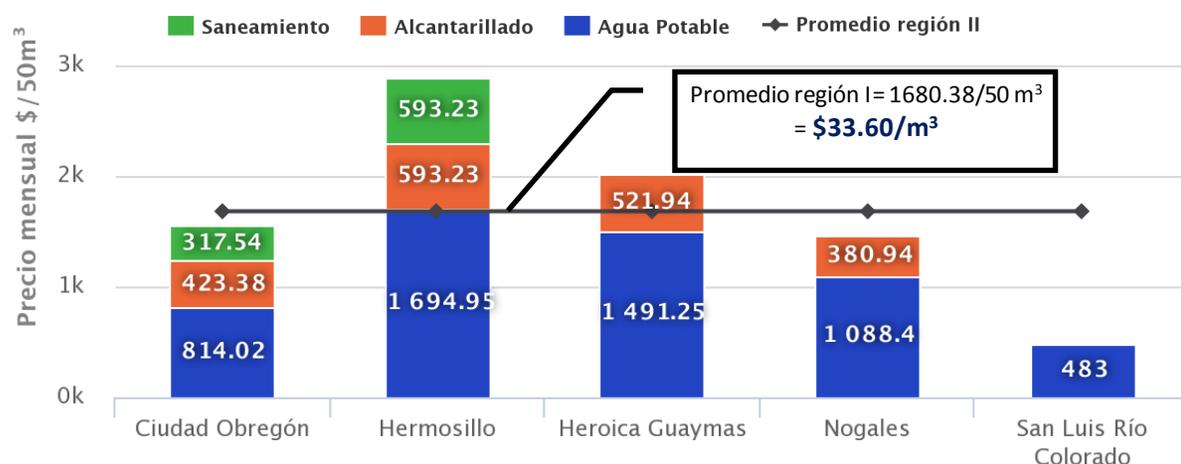
Tabla 39 Costo promedio de agua para uso industrial y de energía eléctrica para diferentes regiones.

REGION	Tarifa promedio para uso industrial \$/m ³	Tarifa de energía eléctrica \$/KWh	REGION	Tarifa promedio para uso industrial \$/m ³	Tarifa de energía eléctrica \$/KWh
REGION I	56.059	0.924	REGION VIII	38.6346	1.563
REGION II	33.6076	1.157	REGION IX	34.252	
REGION III	23.5614		REGION X	26.3878	
REGION IV	26.5768		REGION XI	18.9926	
REGION V	27.3532		REGION XII	13.6972	
REGION VI	30.4362		REGION XIII	48.617	1.064
REGION VII	36.7316				

De la tabla 39, la región I fue evaluada previamente, para objeto de estudio de este análisis de sensibilidad; solo se tomaron en cuenta aquellas regiones con la tarifa de agua más alta y en aquella dónde exista recurso geotérmico de baja entalpía, de los cuales se presentan a continuación.

4.2.1 PRIMER ESCENARIO, REGIÓN II NOROESTE

El primer análisis de sensibilidad que se lleva a cabo contemplan las ciudades de: Ciudad Obregón, Hermosillo, Heroica Guaymas, Nogales y San Luis Río Colorado, con una tarifa de agua para uso industrial de \$33.60 MXN /m³; como se muestra en la Gráfica 34 y un costo de energía eléctrica de 1.1571 \$ MXN/kWh, (Los datos fueron obtenidos del Sistema de Información de Tarifas de agua potable⁴¹).



Gráfica 34 Tarifa de agua uso industrial, región II.

De acuerdo al procedimiento establecido en el capítulo 3 de la presente tesis, la Tabla 40 resume el efecto de los indicadores económicos al variar las variables mencionadas.

Tabla 40 Indicadores económicos para una producción de 450 m³/día en la región II.

FC	1.1	1.2	1.3
Inversión inicial en USD	\$ 1,335,626	\$ 1,325,350	\$ 1,321,942
Costo de agua desalada USD/m ³	\$ 1.550	\$ 1.542	\$ 1.539
TIR	# ¡NUM!	# ¡NUM!	# ¡NUM!
VPN en \$ MXN	-\$ 17,479,819	-\$ 17,261,715	-\$ 17,189,570
Relación Beneficio-Costo	0.418	0.424	0.425
Rentabilidad del proyecto	-2.70%	-2.67%	-2.66%
Periodo de recuperación de la inversión en años	7.00	20.00	20.00
Punto de equilibrio en m ³ mensuales	109,129	109,086	109,072
Punto de equilibrio en valores mensuales en \$MXN	\$ 3,667,569.18	\$ 3,666,112.12	\$ 3,665,643.70

⁴¹ <http://187.189.183.90/usoidustrial.php>

FC	1.4	1.5	1.6
Inversión inicial en USD	\$ 1,320,240	\$ 1,319,220	\$ 1,318,539
Costo de agua desalada USD/m ³	\$ 1.537	\$ 1.537	\$ 1.536
TIR	# ¡NUM!	# ¡NUM!	# ¡NUM!
VPN en \$ MXN	-\$ 17,153,572	-\$ 17,131,993	-\$ 17,117,616
Relación Beneficio-Costo	0.426	0.427	0.427
Rentabilidad del proyecto	-2.66%	-2.65%	-2.65%
Periodo de recuperación de la inversión en años	20.00	20.00	20.00
Punto de equilibrio en m ³ mensuales	109,065	109,061	109,058
Punto de equilibrio en valores mensuales en \$MXN	\$ 3,665,412.58	\$ 3,665,274.89	\$ 3,665,183.50

FC	1.7	1.8	1.9
Inversión inicial en USD	\$ 1,318,054	\$ 1,317,689	\$ 1,317,406
Costo de agua desalada USD/m ³	\$ 1.536	\$ 1.535	\$ 1.535
TIR	# ¡NUM!	# ¡NUM!	# ¡NUM!
VPN en \$ MXN	-\$ 17,107,349	-\$ 17,099,651	-\$ 17,093,666
Relación Beneficio-Costo	0.428	0.428	0.428
Rentabilidad del proyecto	-2.65%	-2.65%	-2.65%
Periodo de recuperación de la inversión en años	20.00	20.00	20.00
Punto de equilibrio en m ³ mensuales	109,056	109,055	109,054
Punto de equilibrio en valores mensuales en \$MXN	\$ 3,665,118.41	\$ 3,665,069.71	\$ 3,665,031.89

FC	2		
Inversión inicial en USD	\$ 1,317,179	-----	-----
Costo de agua desalada USD/m ³	\$ 1.535	-----	-----
TIR	# ¡NUM!	-----	-----
VPN en \$ MXN	-\$ 17,088,877	-----	-----
Relación Beneficio-Costo	0.428	-----	-----
Rentabilidad del proyecto	-2.65%	-----	-----
Periodo de recuperación de la inversión en años	20.00	-----	-----
Punto de equilibrio en m ³ mensuales	109,053	-----	-----
Punto de equilibrio en valores mensuales en \$MXN	\$ 3,665,001.67	-----	-----

4.2.2 SEGUNDO ESCENARIO, REGIÓN VIII LERMA SANTIAGO PACIFICO

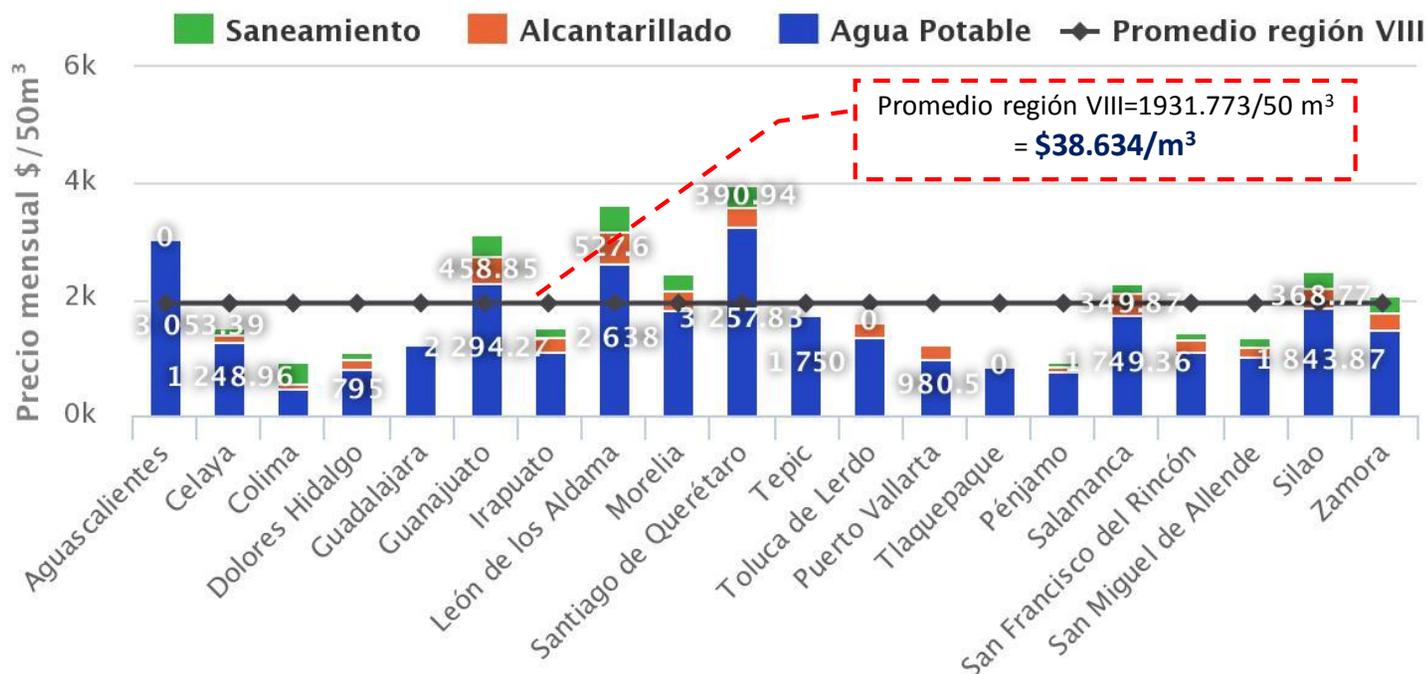
Se toma una tarifa promedio de energía eléctrica con las ciudades que conforman la región VIII, de acuerdo a la Tabla 41⁴².

Tabla 41 Tarifa de energía eléctrica para las diferentes ciudades que conforman la región VIII.

Ciudad	Costo de energía eléctrica \$/kWh
AGUASCALIENTES	1.578
CELAYA	1.578
COLIMA	1.523
DOLORES HIDALGO	1.578
GUADALAJARA	1.559
IRAPUATO	1.578
LEON DE LOS ALDAMA	1.578
MORELIA	1.523
SANTIAGO DE QUERE	1.578
TEPIC	1.523
TOLUCA DE LERDO	1.595
PUERTO VALLARTA	1.559
TLAQUEPAQUE	1.559
PENJAMO	1.550
SALAMANCA	1.578
SAN FRANCISCO DEL RINCON	1.578
SAN MIGUEL ALLENDE	1.578
SILAO	1.578
ZAMORA	1.523
PROMEDIO	1.563

La tarifa promedio de agua para uso industrial fue de \$38.63 MXN /m³; como se muestra en la Gráfica 35.

⁴² Consultado en: <https://www.cfe.mx/Pages/Index.aspx>



Gráfica 35 Tarifa de agua uso industrial, región VIII.

Con el costo de energía eléctrica y el costo promedio de la tarifa de agua para uso industrial, se prosiguen a calcular los indicadores económicos, los cuales se resumen en la Tabla 42.

Tabla 42 Indicadores económicos para una producción de 450 m³/día en la región VIII.

FC	1.1	1.2	1.3
Inversión inicial en USD	\$ 1,346,408	\$ 1,336,004	\$ 1,330,833
Costo de agua desalada USD/m³	\$ 1.569	\$ 1.561	\$ 1.556
TIR	-1.168%	-0.836%	-0.782%
VPN en \$ MXN	-\$ 12,711,341	-\$ 12,467,541	-\$ 12,376,315
Relación Beneficio-Costo	0.934	0.951	0.954
Rentabilidad del proyecto	-0.08%	0.01%	0.02%
Periodo de recuperación de la inversión en años	7.00	20.00	20.00
Punto de equilibrio en m³ mensuales	95,292	95,248	95,226
Punto de equilibrio en valores mensuales en \$MXN	\$ 3,681,577.58	\$ 3,679,857.44	\$ 3,679,031.75

FC	1.4	1.5	1.6
Inversión inicial en USD	\$ 1,330,833	\$ 1,329,800	\$ 1,329,112
Costo de agua desalada USD/m³	\$ 1.556	\$ 1.555	\$ 1.555
TIR	-0.782%	-0.772%	-0.765%
VPN en \$ MXN	-\$ 12,376,315	-\$ 12,358,119	-\$ 12,345,997
Relación Beneficio-Costo	0.954	0.955	0.955
Rentabilidad del proyecto	0.02%	0.02%	0.03%

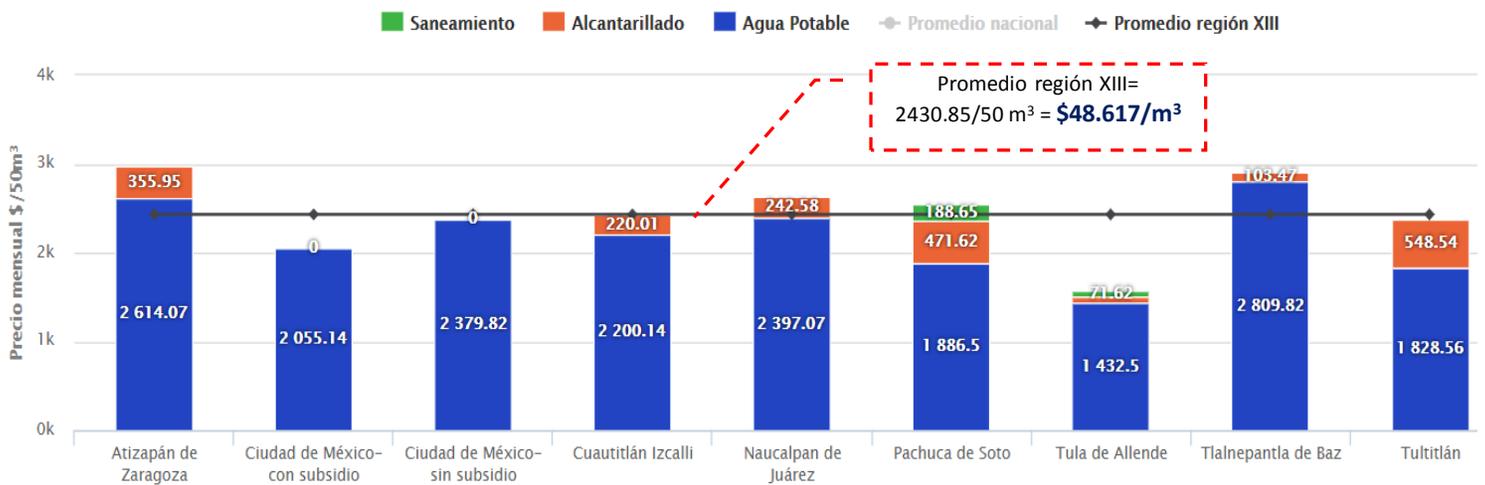
Periodo de recuperación de la inversión en años	20.00	20.00	20.00
Punto de equilibrio en m ³ mensuales	95,226	95,222	95,219
Punto de equilibrio en valores mensuales en \$MXN	\$ 3,679,031.75	\$ 3,678,869.24	\$ 3,678,761.38

FC	1.7	1.8	1.9
Inversión inicial en USD	\$ 1,328,620	\$ 1,328,251	\$ 1,327,964
Costo de agua desalada USD/m ³	\$ 1.554	\$ 1.554	\$ 1.554
TIR	-0.760%	-0.756%	-0.753%
VPN en \$ MXN	-\$ 12,337,342	-\$ 12,330,852	-\$ 12,325,806
Relación Beneficio-Costo	0.956	0.956	0.956
Rentabilidad del proyecto	0.03%	0.03%	0.03%
Periodo de recuperación de la inversión en años	20.00	20.00	20.00
Punto de equilibrio en m ³ mensuales	95,217	95,216	95,215
Punto de equilibrio en valores mensuales en \$MXN	\$ 3,678,684.57	\$ 3,678,627.08	\$ 3,678,582.45

FC	2	
Inversión inicial en USD	\$ 1,327,697	-----
Costo de agua desalada USD/m ³	\$ 1.554	-----
TIR	-0.750%	-----
VPN en \$ MXN	-\$ 12,321,156	-----
Relación Beneficio-Costo	0.956	-----
Rentabilidad del proyecto	0.03%	-----
Periodo de recuperación de la inversión en años	20.00	-----
Punto de equilibrio en m ³ mensuales	95,214	-----
Punto de equilibrio en valores mensuales en \$MXN	\$ 3,678,546.69	-----

4.2.3 TERCER ESCENARIO, REGIÓN XIII AGUAS DEL VALLE DE MÉXICO

Finalmente, se realiza el análisis de sensibilidad para la región XIII, las cuales contemplan las siguientes ciudades: Atizapán de Zaragoza, Ciudad de México (con y sin subsidio), Cuautitlán Izcalli, Naucalpan de Juárez, Pachuca de Soto, Tula de Allende, Tlalnepantla de Baz y Tultitlán, con una tarifa promedio de agua para uso industrial de \$48.617 MXN/m³ (Gráfica 36) y un costo de energía eléctrica de \$ 1.064 MXN/kWh.



Gráfica 36 Tarifa de agua uso industrial, región XIII.

Posteriormente se realizan los cálculos para este último análisis de sensibilidad; la Tabla 43 resume los diferentes indicadores económicos obtenidos para la región XIII.

Tabla 43 Indicadores económicos obtenidos para una producción de 450 m³/día en la región XIII.

FC	1.1	1.2	1.3
Inversión inicial en USD	\$ 1,333,152	\$ 1,322,904	\$ 1,319,506
Costo de agua desalada USD/m³	\$ 1.546	\$ 1.537	\$ 1.534
TIR	8.529%	8.646%	8.685%
VPN en \$ MXN	-\$ 4,755,928	-\$ 4,585,396	-\$ 4,528,959
Relación Beneficio-Costo	1.779	1.791	1.795
Rentabilidad del proyecto	4.09%	4.16%	4.18%
Periodo de recuperación de la inversión en años	7.00	7.00	7.00
Punto de equilibrio en m³ mensuales	74,204	74,185	74,179
Punto de equilibrio en valores mensuales en \$MXN	\$ 3,607,562.93	\$ 3,606,657.30	\$ 3,606,365.99

FC	1.4	1.5	1.6
Inversión inicial en USD	\$ 1,317,809	\$ 1,316,791	\$ 1,316,113
Costo de agua desalada USD/m³	\$ 1.533	\$ 1.532	\$ 1.532
TIR	8.704%	8.716%	8.724%
VPN en \$ MXN	-\$ 4,500,794	-\$ 4,483,909	-\$ 4,472,658
Relación Beneficio-Costo	1.797	1.799	1.799
Rentabilidad del proyecto	4.19%	4.20%	4.20%
Periodo de recuperación de la inversión en años	7.00	7.00	7.00
Punto de equilibrio en m³ mensuales	74,176	74,174	74,173
Punto de equilibrio en valores mensuales en \$MXN	\$ 3,606,222.24	\$ 3,606,136.59	\$ 3,606,079.73

FC	1.7	1.8	1.9
Inversión inicial en USD	\$ 1,315,628	\$ 1,315,265	\$ 1,314,982
Costo de agua desalada USD/m ³	\$ 1.531	\$ 1.531	\$ 1.531
TIR	8.729%	8.733%	8.737%
VPN en \$ MXN	-\$ 4,464,624	-\$ 4,458,599	-\$ 4,453,916
Relación Beneficio-Costo	1.800	1.801	1.801
Rentabilidad del proyecto	4.20%	4.20%	4.21%
Periodo de recuperación de la inversión en años	7.00	7.00	7.00
Punto de equilibrio en m ³ mensuales	74,172	74,172	74,171
Punto de equilibrio en valores mensuales en \$MXN	\$ 3,606,039.24	\$ 3,606,008.94	\$ 3,605,985.40

FC	2
Inversión inicial en USD	\$ 1,314,756
Costo de agua desalada USD/m ³	\$ 1.530
TIR	8.739%
VPN en \$ MXN	-\$ 4,450,168
Relación Beneficio-Costo	1.801
Rentabilidad del proyecto	4.21%
Periodo de recuperación de la inversión en años	7.00
Punto de equilibrio en m ³ mensuales	74,171
Punto de equilibrio en valores mensuales en \$MXN	\$ 3,605,966.60

4.2.4 CONCLUSIÓN OBTENIDA PARA LOS 3 ESCENARIOS PROPUESTOS

Con los resultados obtenidos para los 3 diferentes escenarios propuestos con la capacidad rentable de 450 m³/día, se llega a la siguiente conclusión, no es viable ejecutar el proyecto en las regiones: II, VIII y XIII, debido que los flujos de efectivos no logran cubrir los costos totales para su entrada en operación y la inversión, por otro lado, la TIR que se obtienen para los diferentes escenarios están por debajo de la tasa de descuento, la cual como se mencionó en la sección 3.3.7.2 esta debe ser mayor a 12.45%.

4.3 CAPACIDAD RENTABLE PARA LOS 3 ESCENARIOS PROPUESTOS.

Con la capacidad que se está evaluando no hay rentabilidad en el proyecto, aunado a esto, se evaluó un último análisis de sensibilidad con el fin de determinar una capacidad rentable para los 3 diferentes escenarios propuestos, las restricciones fueron las siguiente: Una $TIR \geq WACC$ y un valor de $VPN \geq 0$, la Tabla 44 muestra la capacidad en que si es posible poner en marcha la desaladora con las regiones propuestas comparándola con los resultados obtenidos para la región I.

Tabla 44 Capacidad rentable para las regiones propuestas.

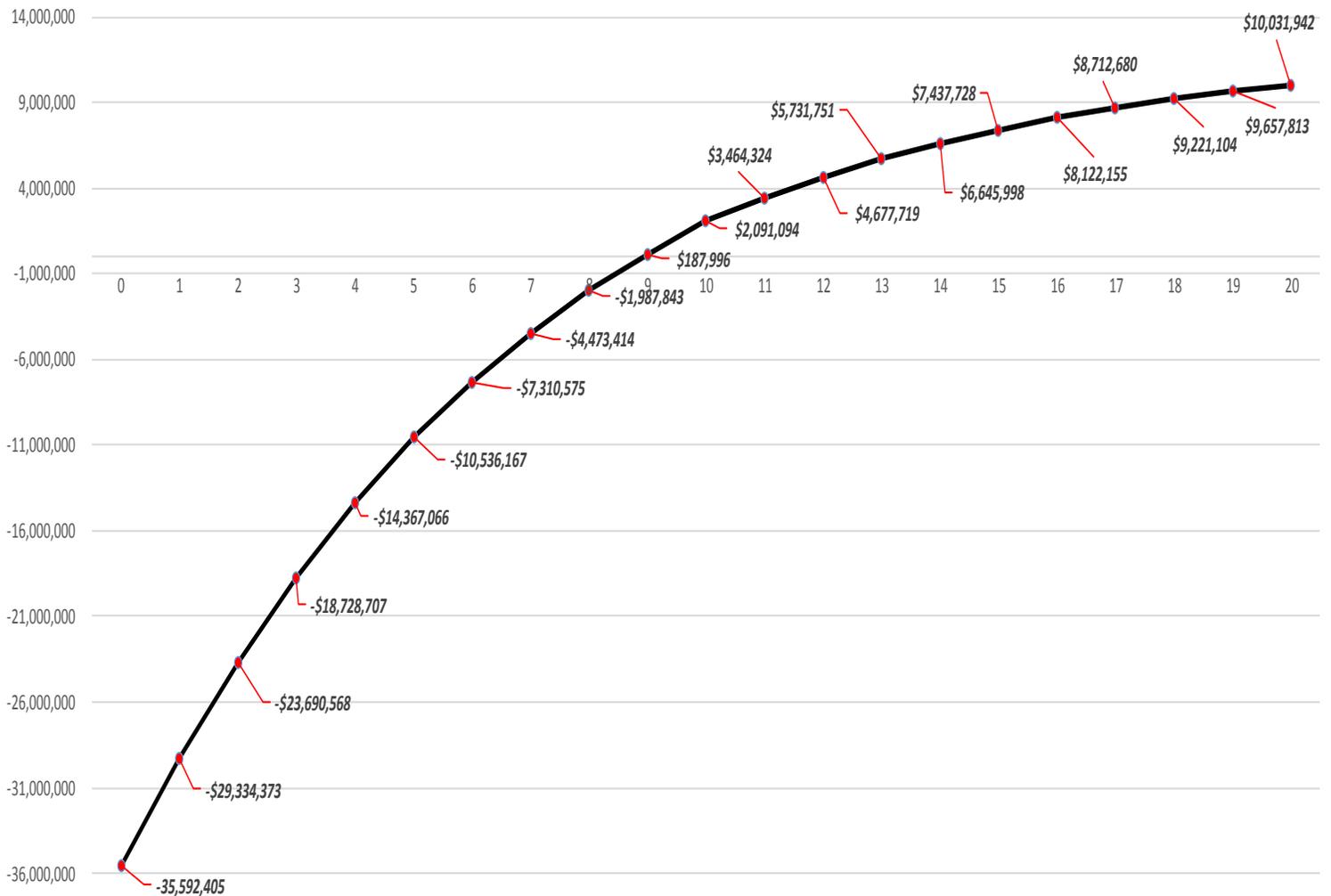
	REGION I	REGION II	REGION VIII	REGION XIII
Venta de agua \$ MXN /m ³	56.06	33.61	38.63	48.62
Costo de energía eléctrica \$ MXN /kWh	0.924	1.16	1.56	1.06
Inversión inicial en USD	\$ 1,313,147	\$ 5,421,687	\$ 3,609,690	\$ 1,873,628
Costo de agua desalada USD/m ³	\$ 1.526	\$ 1.137	\$ 1.227	\$ 1.389
TIR	13.199%	12.448%	12.913%	13.387%
VPN en \$ MXN	\$ 982,993	\$ 15,341	\$ 1,785,723	\$ 1,816,220
Relación Beneficio-Costo	2.395	2.488	2.521	2.505
Rentabilidad del proyecto	7.16%	7.49%	7.70%	7.67%
Periodo de recuperación de la inversión en años	6.00	6.00	6.00	6.00
Punto de equilibrio en m3 mensuales	63,922	109,441	95,443	74,232
Punto de equilibrio en valores mensuales en \$MXN	\$ 3,583,430.96	\$ 3,678,060.31	\$ 3,687,410.85	\$ 3,608,927.92
Producción rentable (m ³ /día)	450	2,000	1,300	650

De acuerdo a la Tabla 44, a primera vista podemos decir que la región XIII puede ser considerada como la mejor opción para poner en marcha la desaladora modular geotérmica debido a que la producción que se obtiene es de 650 m³/día con una TIR atractiva de 13.387%, sin embargo, la inversión requerida es muy alta comparándola con la región I (mejor propuesta para poner en marcha la planta desaladora). Tomando en cuenta estas consideraciones, se comparan los indicadores económicos para la región I, de acuerdo a los resultados obtenidos y que son presentados en el anexo VIII para una capacidad de 650 m³/día.

Los flujos de efectivo traídos a valor presente al año cero en que se realiza la inversión, considerando el valor del dinero en el tiempo; superan el valor de la inversión en **\$10,031,941** millones de pesos mexicanos y de acuerdo a los criterios establecidos en la sección 3.1.1, los flujos de efectivos cubrirán los costos totales para su entrada en operación y la inversión, y quedará un excedente. La TIR al superar el WACC con un valor de **17.44%** presenta una rentabilidad mayor al costo de oportunidad. En el horizonte de inversión establecido se identifica que el proyecto podría generar **3.14** veces el valor invertido al cabo de los 20 años de operación evaluados y el tiempo de recuperación de la inversión es de **5 años**, dado que los

resultados obtenidos son favorables, la puesta en marcha del proyecto en la región I es viable. La Gráfica 37 se muestra el comportamiento del valor presente para cada año, considerando el valor terminal de 20.

Gráfica 37 Valor presente neto a lo largo de la vida útil de la DMG para una capacidad de 650 m³/día.



Considerando un volumen promedio mensual de 288,958 m³, el punto de equilibrio mensual en m³ se identifica en **63,946 unidades**, cantidad mínima mensual que se debe vender para cubrir los costos fijos que implica la operación del negocio e iniciar la generación de utilidades, lo que representa que se debe obtener un mínimo de ingreso mensual de **\$3, 584,775 MXN** para ser rentable.

I. CONCLUSIONES GENERALES

Las tecnologías de desalinización están desempeñando un papel cada vez más importante para contrarrestar el déficit de agua en lugares donde no tienen acceso al agua potable, en las últimas décadas, la capacidad global de desalinización acumulada aumentó de 95,7 millones de metros cúbicos por día (m^3 / d) a mediados de 2016 a 99,8 millones de m^3 / d a mediados de 2017, lo que representa un aumento de 4,06 millones de m^3 / d .

El acoplamiento de la DMG con energía geotérmica en la zona de Baja California para estudio de este análisis económico; resultó ser factible para esta planta desaladora, debido a la tarifa de energía eléctrica y agua para uso industrial utilizado; por otro lado, lo bondadoso de Baja California es su ubicación geográfica, ya que cuenta con acceso al mar, además, se ha identificado como una zona con disponibilidad de efluentes geotérmicos de baja entalpía por la alta incidencia de fallas geológicas.

A diferencia de otras fuentes de energías renovables, se puede confiar en las fuentes geotérmicas debido a que posee un factor de capacidad muy alto aproximadamente 0.95 (es decir, un 95% de horas/año de funcionamiento a plena carga. En otras palabras, se puede acceder a él las 24 horas al día, los 365 días del año para satisfacer las necesidades del proceso.

En la etapa de análisis técnico del proceso, la recuperación máxima respecto al agua de alimentación fue de 44% para un factor de concentración de 2.

Para la validación de los resultados obtenidos en la hoja de cálculo en Excel, se usó el programa Aspen Plus V10; los cuales arrojaron resultados casi idénticos, la diferencia radica en el nivel de complejidad, consideraciones y el paquete termodinámico que usa el programa para modelar la planta desaladora modular geotérmica.

Para el análisis económico se tomó una correlación en función de la capacidad con los datos disponibles en el inventario de plantas desaladoras de GWI (Global Water

Intelligence) para calcular la inversión inicial requerida para la planta desaladora. Ciertos elementos como la perforación del pozo, permisos, costo del terreno, etc., fueron ignorados para el análisis económico.

Con las condiciones establecidas en el capítulo 3 de la presente tesis, la planta desaladora es económicamente rentable al tener una producción de 450 m³/día, obteniéndose una tasa interna de retorno de 13% por arriba de la tasa de descuento, el tiempo de recuperación de la inversión es de 6 años con una rentabilidad de 7%, sin embargo, al tener una producción de 3,000 m³/día el tiempo de recuperación de la inversión se reduce a la mitad con una TIR de 24% y una rentabilidad de 18%.

El costo de agua desalada por metro cúbico para la capacidad seleccionada está en el orden de \$1.5390 USD para un factor de concentración de 1.1 y \$ 1.5240 USD para un factor de concentración de 2. El precio se reduce a \$ 1 USD/m³ al tener una producción de 3,000 m³/día.

El análisis de sensibilidad realizado mostró que la tarifa de agua y el costo de energía eléctrica tienen un gran efecto en la rentabilidad del proyecto, siendo el mejor de los casos para la zona de Baja California.

A futuro se pretende acoplar la Desaladora Modular Geotérmica con diferentes fuentes de energías renovables, entre las cuales podemos mencionar: biomasa, energía solar, biocombustibles, etc., con el fin de seleccionar una producción rentable, comparando los diferentes indicadores económicos de interés usados en este trabajo.

II. REFERENCIAS

- Abdelkareem, M. A., El Haj Assad, M., Sayed, E. T., & Soudan, B. (2018). Recent progress in the use of renewable energy sources to power water desalination plants. *Desalination*, 435(September 2017), 97–113.
<https://doi.org/10.1016/j.desal.2017.11.018>
- Agua, E. D. E. L. (2016). México 2016.
- Aguilar Rodríguez, E. (2007). *Diseño de procesos en ingeniería química*. México : Instituto Politécnico Nacional : Instituto Mexicano del Petroleo, 2007.
Recuperado de
<http://pbidi.unam.mx:8080/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat02025a&AN=lib.MX001001962155&lang=es&site=eds-live>
- Al-Karaghoul, A., Renne, D., & Kazmerski, L. L. (2009). Solar and wind opportunities for water desalination in the Arab regions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(9), 2397–2407.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.05.007>
- Al-Mutaz, I. S., & Al-Namlah, A. M. (2004). Characteristics of dual purpose MSF desalination plants. *Desalination*, 166(1–3), 287–294.
<https://doi.org/10.1016/j.desal.2004.06.083>
- Al-Nory, M. T., Brodsky, A., Bozkaya, B., & Graves, S. C. (2014). Desalination supply chain decision analysis and optimization. *Desalination*, 347, 144–157.
<https://doi.org/10.1016/j.desal.2014.05.037>
- Alberto, J. (2012). T e s i s.
- Ali, A., Tufa, R. A., Macedonio, F., Curcio, E., & Drioli, E. (2018). Membrane technology in renewable-energy-driven desalination. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81(April 2017), 1–21.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.07.047>
- Alkaisi, A., Mossad, R., & Sharifian-Barforoush, A. (2017). A Review of the Water Desalination Systems Integrated with Renewable Energy. *Energy Procedia*,

110(December 2016), 268–274. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.138>

Andrienne, J., & Alardin, F. (2003). Thermal and membrane processes economics: Optimized selection for seawater desalination. *Desalination*, 153(1–3), 305–311. [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(02\)01128-1](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(02)01128-1)

Arnold, T. H., & Chilton, C. H. (1963). New Index Shows Plant Cost Trends. *Chemical Engineering*, (February), 143–170.

Banat, F. (2007). Economic and technical assessment of desalination technologies. *IWA Conference-New Technologies for Water and ...*
Recuperado de <http://www.desline.com/Geneva/Banat.pdf>

Barbier, E. (2002). Enrico Barbier-Geothermics-2002.pdf, 6, 3–65.

Buros, O. K. (2000). The ABCs of Desalting. *International Desalination Association, Topsfield, Mass*, (2), 1–32.
<https://doi.org/10.1097/01.ASW.0000363526.70383.c2>

Carranza, Y. C. (2018). Estado de la Energía Geotérmica en México. Recuperado de http://geoop.dk/wp-content/uploads/2018/02/ThinkGeoEnergy_AlexanderRichter.pdf

Castro, F. G. (2002). El estudio financiero y la evaluación de proyectos en ingeniería. *Ingeniería e Investigación, Vol 0, Iss 50, Pp 19-29 (2002)*, (50), 19.
Recuperado de <http://pbidi.unam.mx:8080/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsdoj&AN=edsdoj.69ecf321bd3944b7ae2cb8cf61d2c725&lang=es&site=eds-live>

Center, G. A. (2005). Concentrating Solar Power for Seawater Desalination. *Desalination*. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.01.030>

Chamorro, C. R., Mondéjar, M. E., Ramos, R., Segovia, J. J., Martín, M. C., & Villamañán, M. A. (2012). World geothermal power production status: Energy, environmental and economic study of high enthalpy technologies. *Energy*, 42(1), 10–18. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.06.005>

- Cifuentes, L., García, T., & Frias, M. (1986). *El océano y sus recursos. ii. las ciencias del mar: oceanografía geológica y oceanografía química. Las ciencias del Mar: Oceanografía geológica y Oceanografía Química*. Recuperado de <http://www.bio-nica.info/biblioteca/Cifuentes1997b.pdf>
- Clayton, R. (2015). A review of Current Knowledge : Desalination for Water Supply. *Foundation for Water Research: Marlow, UK, 44*(February 2006).
- Coldwell, P. J., Beltrán Rodríguez, L., Ricardo, A., Quiroga, F., Reyes, F. Z., Brasdefer, G., ... Fernández, R. (2018). Reporte de Avance de Energías Limpias Primer Semestre 2018 Secretaría de Energía: Elaboración y Revisión. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/418391/RAEL_Primer_Semestre_2018.pdf
- Coss Bu, R. (1986). *Análisis y evaluación de proyectos de inversión*. México : Limusa, 1986. Recuperado de <http://pbidi.unam.mx:8080/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat02025a&AN=lib.MX001000404646&lang=es&site=eds-live>
- Darwish, M. A., & El-Dessouky, H. (1996). The heat recovery thermal vapour-compression desalting system: A comparison with other thermal desalination processes. *Applied Thermal Engineering, 16*(6), 523–537. [https://doi.org/10.1016/1359-4311\(95\)00034-8](https://doi.org/10.1016/1359-4311(95)00034-8)
- El-Dessouky and Hisham M. Ettouney. (2002). Fundamentals Of Salt Water Desalination, 671. Recuperado de <http://www.bio-nica.info/biblioteca/Cifuentes1997b.pdf>
- Eltawil, M. A., Zhengming, Z., & Yuan, L. (2009). A review of renewable energy technologies integrated with desalination systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13*(9), 2245–2262. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.06.011>
- Ettouney, H. M., El-Dessouky, H. T., Faibish, R. S., & Gowin, P. J. (2002). Evaluating the economics of desalination. *Chemical Engineering Progress*,

98(12), 32–39. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.02.032>

- Evans, A., Strezov, V., & Evans, T. J. (2009). Assessment of sustainability indicators for renewable energy technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(5), 1082–1088. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.03.008>
- Felipe, C. (1962). EL IMPACTO SOCIAL Y ECONÓMICO DE LA DESALACIÓN DE AGUA DE MAR Felipe C. *Instituto de Investigaciones Jurídicas de la UNAM*, 1, 103–123. Recuperado de <http://www.desware.net>
- Fernández Espinoza, S. (2010). *Los proyectos de inversión : evaluación financiera*. San José, Costa Rica : Editorial Tecnológica de Costa Rica, 2010. Recuperado de <http://pbidi.unam.mx:8080/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat02025a&AN=lib.MX001001578586&lang=es&site=eds-live>
- Gabriel, K. J., Linke, P., & El-Halwagi, M. M. (2015). Optimization of multi-effect distillation process using a linear enthalpy model. *Desalination*, 365, 261–276. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2015.03.011>
- Ghaffour, N., Missimer, T. M., & Amy, G. L. (2013). Technical review and evaluation of the economics of water desalination: Current and future challenges for better water supply sustainability. *Desalination*, 309(2013), 197–207. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2012.10.015>
- Goldstein, B., Hiriart, G., Gutierrez-negrin, L., Tester, J., Bertani, R., Bromley, C., ... Mongillo, M. (2011). Great Expectations for Geothermal to 2100 – Messages for Now Realized Realizable Competitive Prospective Possible someday Supplies Path to Deployment in Markets Uneconomic Usable in Future, 35.
- Gomez Caceres, D., & Jurado Madico, J. (2001). *Project finance : financiacion global de proyectos*. Madrid : ESIC, 2001. Recuperado de <http://pbidi.unam.mx:8080/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat02025a&AN=lib.MX001000938395&lang=es&site=eds-live>

- Goosen, M., Mahmoudi, H., & Ghaffour, N. (2010). Water Desalination using geothermal energy. *Energies*, 3(8), 1423–1442.
<https://doi.org/10.3390/en3081423>
- Gourbesville, P. (2008). Challenges for integrated water resources management. *Physics and Chemistry of the Earth*, 33(5), 284–289.
<https://doi.org/10.1016/j.pce.2008.02.002>
- Grupo iiDEA. (2012). Participación del instituto de ingeniería.
- Gude, V. G. (2011). Energy consumption and recovery in reverse osmosis. *Desalination and Water Treatment*, 36(1–3), 239–260.
<https://doi.org/10.5004/dwt.2011.2534>
- Gude, V. G. (2015a). Energy storage for desalination processes powered by renewable energy and waste heat sources. *Applied Energy*, 137, 877–898.
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.06.061>
- Gude, V. G. (2015b). Low temperature proces to recover impaired waters. *Applied Energy*, 137, 877–898. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.06.061>
- Gude, V. G., & Nirmalakhandan, N. (2010). Sustainable desalination using solar energy. *Energy Conversion and Management*, 51(11), 2245–2251.
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2010.03.019>
- Gude, V. G., Nirmalakhandan, N., & Deng, S. (2010). Renewable and sustainable approaches for desalination. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(9), 2641–2654. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.06.008>
- Gude, V. G., Nirmalakhandan, N., & Deng, S. (2011). Desalination using solar energy: Towards sustainability. *Energy*, 36(1), 78–85.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.11.008>
- Hamed, O., & Mustafa, G. (2001). Prospects of improving energy consumption of the multi-stage flash distillation process. *Proceedings of the ...*, (May), 1–14.
- Haslego, C., & Polley, G. (2002). D e s i g n i n g, (September).

- Hisham M Ettouney, H. T. E.-D. (2002). Evaluating the economics of desalination. *Chemical Engineering Progress*, 98(12), 32–39.
<https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.02.032>
- Horne Van, G. O. (2010). *Fundamentos de administración financiera*. Naucalpan de Juárez, Estado de México : Prentice Hall, [2010].
- Huttner, K. R. (2013). Overview of existing water and energy policies in the MENA region and potential policy approaches to overcome the existing barriers to desalination using renewable energies. *Desalination and Water Treatment*, 51(1–3), 87–94. <https://doi.org/10.1080/19443994.2012.704741>
- IDA. (2017). IDA Desalination Yearbook 2016 – 2017.
- Ihm, S., Al-Najdi, O. Y., Hamed, O. A., Jun, G., & Chung, H. (2016). Energy cost comparison between MSF, MED and SWRO: Case studies for dual purpose plants. *Desalination*, 397, 116–125.
<https://doi.org/10.1016/j.desal.2016.06.029>
- INEGI. (2017). *Anuario estadístico y geográfico de los Estados Unidos Mexicanos 2016*.
- Isaka, M. (2012). Water Desalination Using Renewable Energy. *Irena - Iea-Etsap*, (March), 24.
https://doi.org/http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/Water_Desalination_Using_Renewable_Energy_-_Technology_Brief.pdf
- Jiménez Cisneros, B. E. (2001). *La contaminación ambiental en México : causas, efectos y tecnología apropiada*. México : Limusa, 2001. Recuperado de <http://pbidi.unam.mx:8080/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat02025a&AN=lib.MX001000902993&lang=es&site=eds-live>
- Justice, J., & Officer, C. (s/f). Opportunities for U . S . Exporters in the Mexican Water Industry.
- Juytglar, L., Miranda Barreras, A. L., & Villarubia, M. (2011). *Manual de calefacción*. Barcelona : Marcombo, 2011. Recuperado de

<http://pbidi.unam.mx:8080/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat02025a&AN=lib.MX001001645597&lang=es&site=eds-live>

Khawaji, A. D., & Wie, J. M. (1994). Potabilization of desalinated water at Madinat Yanbu Al-Sinaiyah. *Desalination*, *98*(1–3), 135–146.

[https://doi.org/10.1016/0011-9164\(94\)00138-3](https://doi.org/10.1016/0011-9164(94)00138-3)

Kiaghadi, A., Sobel, R. S., & Rifai, H. S. (2017). Modeling geothermal energy efficiency from abandoned oil and gas wells to desalinate produced water.

Desalination, *414*, 51–62. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2017.03.024>

Kreith, F., Bohn, M., Manglik, R. M., & Cárdenas, L. (2012). *Principios de transferencia de calor*. México, D.F.: Cengage Learning, [2012]. Recuperado de

<http://pbidi.unam.mx:8080/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat02025a&AN=lib.MX001001673733&lang=es&site=eds-live>

Lattemann, S., Kennedy, M. D., Schippers, J. C., & Amy, G. (2010). Chapter 2 Global Desalination Situation. *Sustainability Science and Engineering*, *2*(C), 7–39. [https://doi.org/10.1016/S1871-2711\(09\)00202-5](https://doi.org/10.1016/S1871-2711(09)00202-5)

Loutatidou, S., & Arafat, H. A. (2015). Techno-economic analysis of MED and RO desalination powered by low-enthalpy geothermal energy. *Desalination*, *365*, 277–292. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2015.03.010>

Lund, J. W., & Boyd, T. L. (2016). Direct utilization of geothermal energy 2015 worldwide review. *Geothermics*, *60*(April), 66–93.

<https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2015.11.004>

Mahmoudi, H., Spahis, N., Goosen, M. F., Ghaffour, N., Drouiche, N., & Ouagued, A. (2010). Application of geothermal energy for heating and fresh water production in a brackish water greenhouse desalination unit: A case study from Algeria. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *14*(1), 512–517.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.07.038>

Mathioulakis, E., Belessiotis, V., & Delyannis, E. (2007). Desalination by using

- alternative energy: Review and state-of-the-art. *Desalination*, 203(1–3), 346–365. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2006.03.531>
- Michael, E., Marcel, P., & Charlotte, W. (2010). Roadmap for the Development of Desalination Powered by Renewable Energy, 1–79. Recuperado de http://www.prodes-project.org/fileadmin/Files/ProDes_Road_map_on_line_version.pdf
- Nassir Sapag Chain. (2007). *Preparación y evaluación de proyectos. [recurso electrónico]*. México : McGraw-Hill Interamericana, c2007. Recuperado de <http://pbidi.unam.mx:8080/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat02025a&AN=lib.MX001001237986&lang=es&site=eds-live>
- Nations, U. (2001). Economic and Social Commission for Western Asia: Water Desalination Technologies in the ESCWA member Countries. *English*, 1–193.
- OECD. (2012). *OECD Environmental Outlook to 2050: The Consequences of Inaction. Outlook*. <https://doi.org/10.1787/9789264122246-en>
- Papapetrou, M., Cipollina, A., La Commare, U., Micale, G., Zaragoza, G., & Kosmadakis, G. (2017a). Assessment of methodologies and data used to calculate desalination costs. *Desalination*, 419(May), 8–19. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2017.05.038>
- Park, M. H., Shin, H. S., & Kim, B. D. (1997). An economic analysis of desalination for potential application in Korea. *Desalination*, 114(3), 209–221. [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(98\)00013-7](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(98)00013-7)
- Parkin, Michael, L. O., & Romero Solis, C. (2015). *Macroeconomía : versión para Latinoamérica*. México : Pearson Educación de México, 2015. Recuperado de <http://pbidi.unam.mx:8080/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat02025a&AN=lib.MX001001787924&lang=es&site=eds-live>
- Pena, X. A., & Cruz López, M. (2005). *Gran diccionario século21 da lingua galega*. [España] : Galaxia : Cumio, c2005. Recuperado de <http://pbidi.unam.mx:8080/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?di>

rect=true&db=cat02025a&AN=lib.MX001001155255&lang=es&site=eds-live

Phn, A. A. L., & Del, A. R. (2001). La Desalación Como.

PNUMA. (2007). *Medio Ambiente Para El Desarrollo*.

Ponce Fernández, N. E., González Enríquez, R., & Dévora Isiordia, G. E. (2012).

Técnicas Para Desalinizar Agua De Mar Y Su Desarrollo En México. *Ra*

Ximhai, 8, 57–68. Recuperado de

<http://www.redalyc.org/comocitar.oa?id=46123333006>

Pous, J., & Jutglar, L. (2004). *Energía geotérmica*. Barcelona : CEAC, c2004.

Recuperado de

[http://pbidi.unam.mx:8080/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?di](http://pbidi.unam.mx:8080/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat02025a&AN=lib.MX001001051047&lang=es&site=eds-live)

[rect=true&db=cat02025a&AN=lib.MX001001051047&lang=es&site=eds-live](http://pbidi.unam.mx:8080/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat02025a&AN=lib.MX001001051047&lang=es&site=eds-live)

Rahimi, B., May, J., Regenauer-Lieb, K., & Chua, H. T. (2015). Thermo-economic analysis of two novel low grade sensible heat driven desalination processes.

Desalination, 365, 316–328. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2015.03.008>

Reforman, A. Y., Disposiciones, D., Ley, D. E. L. A., & Nacionales, D. E. A. (2014).

Ley de Energía Geotérmica Capítulo I Disposiciones Generales, 1–22.

Richter, A. (2018). Geothermal Energy in Europe and the Rest of the World.

Recuperado de [http://geoop.dk/wp-](http://geoop.dk/wp-content/uploads/2018/02/ThinkGeoEnergy_AlexanderRichter.pdf)

[content/uploads/2018/02/ThinkGeoEnergy_AlexanderRichter.pdf](http://geoop.dk/wp-content/uploads/2018/02/ThinkGeoEnergy_AlexanderRichter.pdf)

Ross, S. A., Westerfield, R. W., Jordan, B. D., Gómez Mont Araiza, J., Meza

Staines, G., Mont Hernández, M., & Carril Villarreal, M. del P. (2014).

Fundamentos de finanzas corporativas. México D.F. : McGraw-Hill

Interamericana, [2014].

Sanner, B. (2006). Geothermal energy opportunities for desert regions. *Global*

Conference on Renewable Energy Approaches for DEsert Regions

[GCREADER], (September).

Seamonds, A. (2017). GLOBAL DESALINATION MARKET CONTINUES TO

GROW, ADDING 4.2 MILLION CUBIC METERS PER DAY IN CONTRACTED CAPACITY International Desalination Association and Global Water Intelligence Release New Data in 30 th Worldwide Desalting Inventory.

SEMARNAT. (2015). Contexto Mundial de los recursos hídricos.

SEMARNAT. (2017). NUMERAGUA MÉXICO 2017, (c), 1–4.
<https://doi.org/10.15713/ins.mmj.3>

SENER. (2018a). programa de desarrollo del sistema eléctrico nacional, 302.

SENER. (2018b). PROSPECTIVA DE ENERGÍAS RENOVABLES 2018-2032.

Sommariva, C., Pincioli, D., Tolle, E., & Adinolfi, R. (1999). Optimization of material selection for evaporative desalination plants in order to achieve the highest cost-benefit ratio. *Desalination*, 124(1–3), 99–103.
[https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(99\)00093-4](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(99)00093-4)

Soto, R., & Marina, L. (2016). No Title, 2016–2018.

Stober, I., & Bucher, K. (2013). *Geothermal energy : from theoretical models to exploration and development*. Berlin : Springer, [2013]. Recuperado de <http://pbidi.unam.mx:8080/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat02025a&AN=lib.MX001001650361&lang=es&site=eds-live>

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. (2006). Energy Demands on Water Resources Report To Congress on the Interdependency of Energy and Water. *Power*, 1–80. Recuperado de <http://www.sandia.gov/energy-water/docs/121-RptToCongress-EWwEIAcomments-FINAL.pdf>

van der Vegt, H., Iliev, I., Tannock, Q., & Helm, S. (2011). Desalination Technologies and the Use of Alternative Energies for Desalination. *Patent Landscape Report on Desalination Technologies and the Use of Alternative Energies for Desalination*, (November), 92.

Vatavuk, W. M. (2002). Updating the CE plant cost index. *Chemical Engineering*, 109(1), 62–70. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1108/17506200710779521>

- Velez-Pareja, I. (2009). Decisiones bajo incertidumbre. *PROYECCIONES FINANCIERAS Y VALORACION*. MASTER CONSULTORES. Recuperado de <http://pbidi.unam.mx:8080/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsrep&AN=edsrep.p.col.000463.005682&lang=es&site=eds-live>
- VOUTCHKOV, N. (2012). *Desalination engineering: planning and design* (McGraw Hill).
- Wade, N. M. (2001). Distillation of plant development and cost update. *Desalination*, 136(1–3), 3–12. [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(01\)00159-X](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(01)00159-X)
- Water Desalination Report. (1970), VI(11), 1–4. <https://doi.org/https://www.desalination.com/articles/rosarito-gateway-to-future-large-scale-dual-plants>
- Watson, I. C., Morin, O. J., & Henthorne, L. (2003). Desalting Handbook for Planners. *Journal of pain palliative care pharmacotherapy*, 72(4), 1–310. <https://doi.org/10.3109/15360288.2011.620691>
- Wittholz, M. K., O'Neill, B. K., Colby, C. B., & Lewis, D. (2008). Estimating the cost of desalination plants using a cost database. *Desalination*, 229(1–3), 10–20. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.07.023>
- Zárate, E. F. R. (2016). Diseño y análisis térmico-Hidráulico de una desaladora modular geotérmica de baja entalpía.
- Zou, Q., & Liu, X. (2016). Economic effects analysis of seawater desalination in China with input-output technology. *Desalination*, 380, 18–28. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2015.11.010>
- Zugarramurdi, A., Parin, M. A., & Lupin, H. M. (1998). *Ingeniería económica aplicada a la industria pesquera*. Roma : FAO, c1998. Recuperado de <http://pbidi.unam.mx:8080/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat02025a&AN=lib.MX001000886634&lang=es&site=eds-live>

III. ACTUALIZACIÓN DE COSTOS DE EQUIPOS

Los precios de las clases de los equipos utilizados para la DMG (Desaladora Modular Geotérmica) se han adoptado en forma de una expresión algebraica. Los precios se dan en términos de las características clave apropiadas del equipo, como pies cuadrados, gpm, lb/hr, etc.

Índices de costos

El valor del dinero cambiará debido a la inflación⁴³ y a la deflación⁴⁴. Por ello, los datos sólo pueden ser exactos en el momento en que se obtienen y pronto pueden ser inadecuados. Los datos de costos de equipo y proyectos en el pasado se pueden convertir al valor presente mediante un índice de costos. Para encontrar el costo presente de un artículo (nC_n) se multiplica su costo histórico (C_m) por la relación del índice de costos presente (I_n) dividido entre el índice de costo aplicable en la fecha original (I_m) mediante la siguiente ecuación (Castro, 2002):

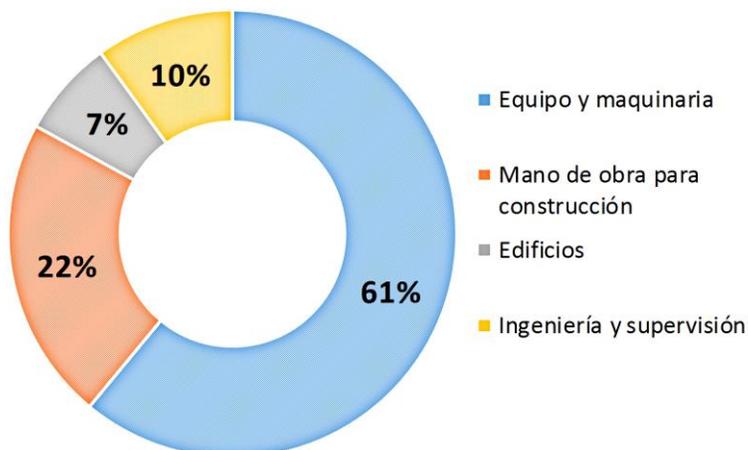
$$C_n = C_m \left(\frac{I_n}{I_m} \right)$$

En la literatura técnica se encuentran varios índices de costos, los utilizados en evaluación de proyectos son los de Marshall y Swift, Chemical Engineering para plantas, Nelson-Farrar para refinerías.

Para este trabajo, los precios de los equipos fueron actualizados utilizando el Índice de costos de planta de ingeniería Química, La revista Chemical Engineering es la encargada de publicar este Índice. El cálculo de este índice se basa en cuatro rubros con las siguientes proporciones (Vatavuk, 2002), (Arnold & Chilton, 1963):

⁴³ Es un proceso en el cual el nivel general de precios aumenta y el dinero pierde su valor (Parkin, Michael & Romero Solis, 2015)

⁴⁴ Descenso del nivel del dinero debido a una fase de depresión económica (Pena & Cruz López, 2005).



Gráfica 38 Proporción del índice de costo de planta de ingeniería Química.

Este índice toma como base el periodo 1957-1959. La Tabla 45 muestra la evolución histórica del índice.

La aplicación del Índice de costo de Ingeniería Química compuesto (índice total del CECI) para estimar los costos de equipos de un periodo de tiempo a otro ha sido el método estándar para aumentar proporcionalmente los costos.

El material de construcción es un factor importante en el precio de los equipos, por lo que se dan multiplicadores de los precios relativos al acero al carbono en otros materiales estándar.

Tabla 45 Valores de índice de construcción de plantas Chemical Engineering (Aguilar Rodríguez, 2007)⁴⁵.

<i>Año</i>	<i>Índice</i>	<i>Año</i>	<i>Índice</i>	<i>Año</i>	<i>Índice</i>	<i>Año</i>	<i>Índice</i>
1963	102.4	1977	204.1	1991	361.3	2005	468.2
1964	103.3	1978	218.8	1992	358.2	2006	499.6
1965	104.2	1979	238.7	1993	359.2	2007	525.4
1966	107.2	1980	261.2	1994	368.1	2008	575.4
1967	109.7	1981	297	1995	381.1	2009	521.9
1968	113.7	1982	314	1996	381.7	2010	550.8
1969	119	1983	317	1997	386.5	2011	585.7

⁴⁵ <https://www.chemengonline.com/issues/>

1970	125.7	1984	322.7	1998	389.5	2012	584.6
1971	132.3	1985	325.3	1999	390.6	2013	567.3
1972	137.2	1986	318.4	2000	394.1	2014	576.1
1973	144.1	1987	323.8	2001	396.8	2015	556.8
1974	165.4	1988	342.5	2002	395.6	2016	541.7
1975	182.4	1989	355.4	2003	402	2017	567.5
1976	192.1	1990	357.6	2004	444.2	2018	576.4

IV. CORRELACIONES USADAS PARA LA DESALADORA MODULAR GEOTÉRMICA.

En este apartado se presentan las ecuaciones utilizadas para evaluar las propiedades del agua de mar, mismas que fueron de vital importancia en la etapa de simulación, las ecuaciones fueron tomadas del libro [Fundamentals of Salt Water Desalination/Hismam T. El-Dessouky, Hisman M.Ettouney, 1999].

- **Densidad de agua de mar**

$$\rho = 10^3(A_1F_1 + A_2F_2 + A_3F_3 + A_4F_4) \quad \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

Dónde

$$\begin{aligned} B &= ((2)(X)/1000 - 150)/150 \\ G_1 &= 0.5 \\ G_2 &= B \\ G_3 &= 2B^2 - 1 \\ A_1 &= 4.032219G_1 + 0.115313G_2 + 3.26x10^{-4}G_3 \\ A_2 &= -0.108199G_1 + 1.571x10^{-3}G_2 - 4.23x10^{-4}G_3 \\ A_3 &= -0.012247G_1 + 1.74x10^{-3}G_2 - 9x10^{-6}G_3 \\ A_4 &= 6.92x10^{-4}G_1 - 8.7x10^{-5}G_2 - 5.3x10^{-5}G_3 \\ A &= ((2)(T) - 200)/160 \\ F_1 &= 0.5, F_2 = A, F_3 = 2A^2 - 1, F_4 = 4A^3 - 3A \end{aligned}$$

X es la concentración en ppm de agua de mar, T es la temperatura de agua de mar en °C. La correlación es válida en los rangos: $0 \leq X \leq 160,000$ ppm y $10 \leq T \leq 180^\circ C$

- **Calor específico a presión constante**

$$C_p = (A + BT + CT^2 + DT^3)x 10^{-3} \quad \left[\frac{kJ}{kg \text{ } ^\circ C} \right]$$

Dónde

$$\begin{aligned} A &= 4206.8 - 6.6197s + 1.2288 x10^{-2}s^2 \\ B &= -1.1262 + 5.4178 x10^{-2}s - 2.2719x10^{-4}s^2 \\ C &= 1.2026x10^{-2} - 5.3566x10^{-4}s + 1.8906x10^{-6}s^2 \\ D &= 6.8777 x10^{-7} + 1.517 x10^{-6}s - 4.4268x10^{-9}s^2 \end{aligned}$$

T es la temperatura de agua de mar [°C] y S es la salinidad de agua de mar en [gm/kg]. La correlación es válida en los rangos: $20,000 \leq X \leq 160,000$ ppm y $20 \leq T \leq 180^\circ C$.

- **Viscosidad de agua de mar**

$$\mu = (\mu_w)(\mu_R) \times 10^{-3} \quad \left[\frac{kg}{m \cdot s} \right]$$

Dónde

$$\ln \mu_w = -3.79418 + \frac{604.129}{(139.18 + T)}$$

$$\mu_R = 1 + As + Bs^2$$

$$A = 1.474 \times 10^{-3} + 1.5 \times 10^{-5}T - 3.927 \times 10^{-8}T^2$$

$$B = 1.0734 \times 10^{-5} - 8.5 \times 10^{-8}T + 2.23 \times 10^{-10}T^2$$

T es la temperatura de agua de mar [°C] y s es la salinidad de agua de mar en [gm/kg]. La correlación es válida en los rangos: $0 \leq s \leq 130$ gm/kg y $10 \leq T \leq 180$ °C.

- **Conductividad térmica de agua de mar**

$$\log_{10}(k) = \log_{10}(240 + 0.002s) + 0.434 \left(2.3 - \frac{343.5 + 0.037s}{T + 273.15} \right) \left(1 + \frac{T + 273.15}{647.3 + 0.03s} \right)^{1/3} \quad \left[\frac{kg}{m \cdot s} \right]$$

Dónde

k es la conductividad térmica $W/m^{\circ}C$, T es la temperatura de agua de mar [°C] y s es la salinidad de agua de mar en [gm/kg]. La correlación es válida en los rangos: $0 \leq s \leq 160$ gm/kg y $20 \leq T \leq 180$ °C.

- **Entalpía del líquido saturado (agua)**

La correlación para la entalpía del líquido saturado de agua es dada por:

$$H = -0.033635409 + 4.207557011T - 6.200339 \times 10^{-4}T^2 + 4.459374 \times 10^{-6}T^3$$

En esta ecuación, T es la temperatura de saturación en °C y H es la entalpía en kJ/Kg.

- **Entalpía del vapor saturado (agua)**

La correlación para la entalpía del vapor saturado de agua es dada por:

$$H = 2501.689845 + 1.806916015T + 5.087717 \times 10^{-4}T^2 - 1.1221 \times 10^{-5}T^3$$

En esta ecuación, T es la temperatura de saturación en °C y H es la entalpía en kJ/Kg.

- **Calor latente de evaporación de agua de mar**

$$\lambda = 2501.897149 - 2.407064037T + 1.192217 \times 10^{-3}T^2 - 1.5863 \times 10^{-5}T^3$$

Dónde T es la temperatura de saturación en °C y λ es el calor latente kJ/kg

- **Entropía del líquido saturado (agua)**

$$S = -0.00057846 + 0.015297489T - 2.63129 \times 10^{-5} T^2 + 4.11959 \times 10^{-8} T^3$$

Dónde T es la temperatura de saturación en °C y S es la entropía del líquido saturado en kJ/kg°C.

- **Entropía del vapor saturado (agua)**

$$S = 9.149505306 - 2.581012 \times 10^{-2} T + 9.625687 \times 10^{-5} T^2 - 1.786615 \times 10^{-7} T^3$$

Dónde T es la temperatura de saturación en °C y S es la entropía del vapor saturado en kJ/kg°C.

- **Presión de vapor saturado (agua)**

$$\ln(P/P_c) = \left(\frac{T_c}{T + 273.15} - 1 \right) \sum_{i=1}^8 f_i (0.01(T + 273.15 - 338.15))^{(i-1)}$$

Dónde $T_c = 647.286$ K y $P_c = 22080$ kPa y el valor de f_i son dados a continuación:

f_1	f_2	f_3	f_4
-7.419242	0.29721	-0.1155286	0.008685635
f_5	f_6	f_7	f_8
0.001094098	-0.00439993	0.002520658	-0.000521868

Dónde P es la presión en kPa y T en °C.

- **Temperatura de saturación del vapor de agua**

$$T = \left(42.6776 - \frac{3892.7}{(\ln(P/1000) - 9.48654)} \right) - 273.15$$

Dónde P es la presión en kPa y T en °C.

- **Tensión superficial del líquido saturado (agua)**

$$\sigma = 7.5798 \times 10^{-2} - 1.4691 \times 10^{-4} T - 2.2173 \times 10^{-7} T^2$$

Dónde σ es la tensión superficial en N/m y T en °C.

V. DIFERENCIA DE TEMPERATURA MEDIA LOGARÍTMICA

Las temperaturas de los fluidos en un intercambiador de calor en general no son constantes, sino que varían de un punto a otro conforme el calor circula del fluido más caliente al más frío. Por tanto, incluso para una resistencia térmica constante la tasa de flujo de calor variará a lo largo de la trayectoria de los intercambiadores debido a que su valor depende de la diferencia de temperatura entre el fluido caliente y el frío en esa sección (Kreith, Bohn, Manglik, & Cárdenas, 2012).

Para determinar la tasa de transferencia de calor se usa la siguiente ecuación:

$$dq = U dA \Delta T \quad \text{Ecuación 41.}$$

Un balance de energía sobre el área diferencial dA , considerando que el coeficiente de transferencia global de calor U es constante, ignorando la energía cinética y tomando en cuenta que la coraza del intercambiador de calor está perfectamente aislada, se puede integrar con facilidad de manera analítica, el resultado es el siguiente:

$$dq = -\dot{m}_h c_{ph} dT_h = \pm \dot{m}_c c_{pc} dT_c = U dA (T_h - T_c) \quad \text{Ecuación 42.}$$

Dónde

\dot{m}	Flujo másico	kg/s
c_p	Calor específico a temperatura constante	$J/kg K$
T	Temperatura promedio de la masa del fluido	K

Los subíndices h y c se refieren a los fluidos caliente y frío

El signo más en el tercer término se aplica a flujo paralelo y el signo menos a contraflujo. Considerando que los calores específicos de los fluidos no varían con la temperatura, se puede escribir el balance de calor de la entrada hasta una sección transversal arbitraria en el intercambiador:

$$-C_h (T_h - T_{h, entrada}) = C_c (T_c - T_{c, entrada}) \quad \text{Ecuación 43.}$$

Dónde

$C_h \equiv$	$\dot{m}_h c_{ph}$, tasa de capacidad térmica del fluido más caliente, W/K
$C_c \equiv$	$\dot{m}_c c_{pc}$, tasa de capacidad térmica del fluido más frío, W/K

Despejando T_h en la Ecuación 43 da

$$T_h = T_{h,entrada} - \frac{C_c}{C_h}(T_c - T_{c,entrada}) \quad \text{Ecuación 44.}$$

De donde se obtiene

$$T_h - T_c = -\left(1 + \frac{C_c}{C_h}\right)T_c + \frac{C_c}{C_h}T_{c,entrada} + T_{h,entrada} \quad \text{Ecuación 45.}$$

Sustituyendo el valor de $T_h - T_c$ en la Ecuación 45 se obtiene, después de reordenarla,

$$\frac{dT_c}{-[1 + (C_c/C_h)]T_c + (C_c/C_h)T_{c,entrada} + T_{h,entrada}} = \frac{UdA}{C_c} \quad \text{Ecuación 46.}$$

Integrando la Ecuación 46 sobre toda la longitud del intercambiador de calor (es decir, de $A=0$ a $A=A_{total}$) se obtiene

$$\text{Ln} \left\{ \frac{-[1 + (C_c/C_h)]T_{c,salida} + [1 + (C_c/C_h)]T_{c,entrada} + T_{h,entrada}}{-[1 + (C_c/C_h)]T_{c,entrada} + [1 + (C_c/C_h)]T_{c,entrada} + T_{h,entrada}} \right\} = -\left(\frac{1}{C_c} + \frac{1}{C_h}\right)UA$$

Que se puede simplificar a

$$\text{Ln} \left\{ \frac{(1 + C_c/C_h)(T_{c,entrada} - T_{c,salida}) + T_{h,entrada} - T_{c,entrada}}{T_{h,entrada} - T_{c,entrada}} \right\} = -\left(\frac{1}{C_c} + \frac{1}{C_h}\right)UA \quad \text{Ecuación 47.}$$

De la Ecuación 43 se obtiene

$$\frac{C_c}{C_h} = \frac{T_{h,salida} - T_{h,entrada}}{T_{c,salida} - T_{c,entrada}} \quad \text{Ecuación 48.}$$

Que se puede utilizar para eliminar las tasas de capacidad térmica en la Ecuación 47. Después de reordenarla se obtiene

$$\text{Ln} \left(\frac{T_{h,salida} - T_{c,entrada}}{T_{h,entrada} - T_{c,entrada}} \right) = [(T_{h,salida} - T_{c,entrada}) - (T_{h,entrada} - T_{c,entrada})] \frac{UA}{q} \quad \text{Ecuación 49.}$$

Puesto que

$$q = C_c(T_{c,salida} - T_{c,entrada}) = C_h(T_{h,entrada} - T_{h,salida}) \quad \text{Ecuación 50.}$$

Igualando $T_h - T_c = \Delta T$, la Ecuación 49 puede escribirse como

$$q = UA \frac{\Delta T_a - \Delta T_b}{\ln(\Delta T_a / \Delta T_b)} \quad \text{Ecuación 51.}$$

Donde los subíndices, a y b se refieren a los extremos respectivos del intercambiador de calor y ΔT_a es la diferencia de temperatura entre las corrientes del fluido caliente y frío en la entrada, en tanto que ΔT_b es la diferencia de temperatura en el extremo de salida como se muestra en las figuras 41 y 42.

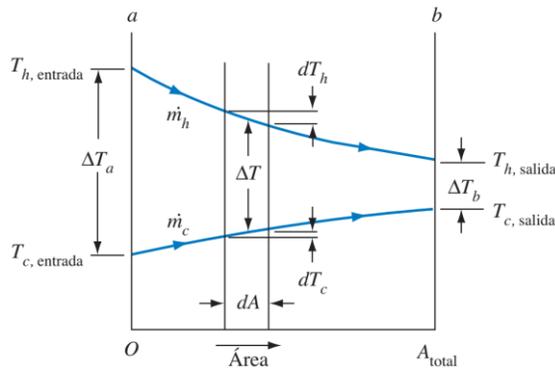


Figura 41 Distribución de temperatura en un intercambiador de calor de flujo paralelo de un paso.

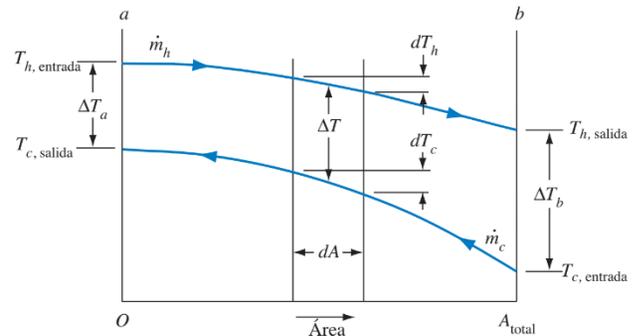


Figura 42 Temperatura en un intercambiador de calor de flujo transversal de un paso.

En la práctica, es conveniente utilizar una diferencia de temperatura promedio efectiva $\overline{\Delta T}$ para todo el intercambiador de calor, definida por

$$q = UA\overline{\Delta T} \quad \text{Ecuación 52.}$$

La diferencia de temperatura promedio, $\overline{\Delta T}$ se denomina diferencia de temperatura media logarítmica, que con frecuencia se designa como LMTD. Esta diferencia también se aplica cuando la temperatura de uno de los fluidos es constante $\dot{m}_h c_{ph} = \dot{m}_c c_{pc}$.

VI. CONAGUA SISTEMA NACIONAL DE TARIFA

año	Estado	Municipio	Clasificación Usuario	SubClasificación Usuario	Consumo (m³)	Tarifa AP/m³	Tarifa Alc/m³	Tarifa San/m³	Tarifa Total/m³	Tarifa Agua Potable	Tarifa Alcantarillado	Tarifa Saneamiento	Tarifa Total
2018	Guanajuato	León	Doméstico	Sin sub-clasificación	30	29.22	0	0	29.22	876.61	0	0	876.61
2018	Michoacán	Morelia	Doméstico	Residencial	30	20.28	3.55	3.55	27.37	608.3	106.45	106.45	821.21
2018	Veracruz	Xalapa	Doméstico	Residencial	30	14.03	5.61	6.17	25.81	420.85	168.34	185.2	774.39
2018	México	Naucalpan de Juárez	Doméstico	Residencial Alto	30	22.93	2.41	0	25.34	688.03	72.24	0	760.27
2018	México	Atizapán de Zaragoza	Doméstico	Residencial Alto	30	22.19	2.66	0	24.85	665.69	79.88	0	745.57
2018	Baja California	Tijuana	Doméstico	Popular	30	24.57	0	0	24.57	736.97	0	0	736.97
2018	Aguascalientes	Aguascalientes	Doméstico	C	30	23.9	0	0	23.9	717.13	0	0	717.13
2018	Ciudad de México	Ciudad de México	Doméstico	Zona Alta	30	23.48	0	0	23.48	704.33	0	0	704.33
2018	Quintana Roo	Othón P. Blanco	Doméstico	Sin sub-clasificación	30	15.74	5.51	0.79	22.03	472.06	165.22	23.6	660.88
2018	Quintana Roo	Solidaridad	Doméstico	Sin sub-clasificación	30	15.74	5.51	0.79	22.03	472.06	165.22	23.6	660.88
2018	San Luis Potosí	San Luis Potosí	Doméstico	Sin sub-clasificación	30	15	2.25	3	20.25	450	67.5	90	607.5
2018	Baja California	Ensenada	Doméstico	Popular	30	19.47	0	0	19.47	583.96	0	0	583.96
2018	Guerrero	Acapulco de Juárez	Doméstico	Residencial 2	30	14.96	2.99	0.6	18.55	448.88	89.78	17.96	556.61
2018	Nuevo León	Monterrey	Doméstico	Sin sub-clasificación	30	13.85	3.46	0	17.31	415.37	103.84	0	519.21
2018	Sonora	Hermosillo	Doméstico	Popular	30	9.84	3.45	3.45	16.73	295.31	103.36	103.36	502.03
2018	México	Toluca	Doméstico	Popular	30	12.99	2.6	0	15.59	389.72	77.94	0	467.66
2018	Chihuahua	Juárez	Doméstico	Sin sub-clasificación	30	15.5	0	0	15.5	465	0	0	465
2018	Jalisco	Guadalajara	Doméstico	Sin sub-clasificación	30	15.26	0	0	15.26	457.9	0	0	457.9
2018	Baja California Sur	La Paz	Doméstico	Sin sub-clasificación	30	8.98	2.69	2.69	14.36	269.4	80.7	80.7	430.8
2018	Colima	Colima	Doméstico	Residencial Medio	30	6.46	1.61	6.19	14.26	193.68	48.37	185.63	427.68
2018	Chihuahua	Delicias	Doméstico	Sin sub-clasificación	30	14.1	0	0	14.1	422.96	0	0	422.96
2018	Coahuila	Torreón	Doméstico	Popular	30	10.88	2.71	0	13.59	326.4	81.3	0	407.7
2018	Durango	Gómez Palacio	Doméstico	Residencial	30	11.45	0	1.13	12.58	343.5	0	34.01	377.51
2018	Sinaloa	Culiacán	Doméstico	Popular	30	7.34	1.47	2.2	11.01	220.29	44.06	66.09	330.44
2018	Tlaxcala	Tlaxcala	Doméstico	Sin sub-clasificación	30	8.95	1.34	0	10.3	268.57	40.28	0	308.85
2018	Querétaro	San Juan del Rio	Doméstico	Sin sub-clasificación	30	7.28	0.36	2.33	9.98	218.51	10.93	69.92	299.36
2018	Oaxaca	Oaxaca de Juárez	Doméstico	Clase 3	30	7.98	0	0.8	8.78	239.43	0	23.94	263.37
2018	Hidalgo	Tula de allende	Doméstico	Sin sub-clasificación	30	7.17	0.36	0.36	7.89	215.07	10.75	10.75	236.58
2018	Baja California	Mexicali	Doméstico	Popular	30	6.3	0	0	6.3	189.13	0	0	189.13
2018	Yucatán	Mérida	Doméstico	Zona 1	30	3.9	0	0	3.9	117	0	0	117
2018	Campeche	Campeche	Doméstico	Popular	30	0	0	0	0	0	0	0	0

VII. RESULTADOS OBTENIDOS DE LA DMG

Flujo de agua geotérmica [kg/s]	Flujo de agua de mar c/cámara [kg/s]	FC por cada efecto			exceso [kg/s]	Flujo de agua de mar (kg/s)	PARÁMETROS DE RENDIMIENTO						potencia de bombeo [W]	
		1	2	3			producto [m ³ /día]	Salmuera de deshecho [m ³ /día]	% recuperación	(Energía de evaporación [kW])	Consumo térmico (MJ/m ³)	Energía térmica para eyección [kJ/kgproduc]		Rendimiento energético eléctrico [kWh/m ³]
7.05	2.55	1.10	1.09	1.09	2.72	10.37	50.00	610.02	7.72	1105.26	1718.90	6.58	0.91	1095.49
14.10	5.09	1.10	1.09	1.09	5.45	20.73	100.00	1220.02	7.72	2210.51	1718.89	6.58	0.91	2190.97
21.15	7.64	1.10	1.09	1.09	8.17	31.10	150.00	1830.03	7.72	3315.77	1718.89	6.58	0.91	3286.46
28.19	10.19	1.10	1.09	1.09	10.90	41.46	200.00	2440.05	7.72	4421.02	1718.89	6.58	0.91	4381.95
35.24	12.74	1.10	1.09	1.09	13.62	51.83	250.00	3050.05	7.72	5526.27	1718.89	6.58	0.91	5477.43
42.29	15.28	1.10	1.09	1.09	16.35	62.20	300.00	3660.05	7.72	6631.52	1718.89	6.58	0.91	6572.92
49.34	17.83	1.10	1.09	1.09	19.07	72.56	350.00	4270.07	7.72	7736.78	1718.89	6.58	0.91	7668.40
56.39	20.38	1.10	1.09	1.09	21.80	82.93	400.00	4880.07	7.72	8842.03	1718.89	6.58	0.91	8763.89
63.44	22.92	1.10	1.09	1.09	24.52	93.29	450.00	5490.08	7.72	9947.29	1718.89	6.58	0.91	9859.38
70.48	25.47	1.10	1.09	1.09	27.25	103.66	500.00	6100.08	7.72	11052.53	1718.89	6.58	0.91	10954.86
77.53	28.02	1.10	1.09	1.09	29.97	114.03	550.00	6710.09	7.72	12157.79	1718.89	6.58	0.91	12050.35
84.58	30.57	1.10	1.09	1.09	32.70	124.39	600.00	7320.12	7.72	13263.06	1718.89	6.58	0.91	13145.84
91.63	33.11	1.10	1.09	1.09	35.42	134.76	650.00	7930.11	7.72	14368.30	1718.89	6.58	0.91	14241.32
98.68	35.66	1.10	1.09	1.09	38.15	145.12	700.00	8540.14	7.72	15473.57	1718.89	6.58	0.91	15336.81
105.73	38.21	1.10	1.09	1.09	40.87	155.49	750.00	9150.10	7.72	16578.79	1718.89	6.58	0.91	16432.29
112.78	40.75	1.10	1.09	1.09	43.60	165.86	800.00	9760.17	7.72	17684.08	1718.89	6.58	0.91	17527.78
119.82	43.30	1.10	1.09	1.09	46.32	176.22	850.00	10370.12	7.72	18789.30	1718.89	6.58	0.91	18623.26
126.87	45.85	1.10	1.09	1.09	49.05	186.59	900.00	10980.13	7.72	19894.55	1718.89	6.58	0.91	19718.75
133.92	48.39	1.10	1.09	1.09	51.77	196.95	950.00	11590.12	7.72	20999.80	1718.89	6.58	0.91	20814.23
140.97	50.94	1.10	1.09	1.09	54.49	207.32	1000.00	12200.15	7.72	22105.07	1718.89	6.58	0.91	21909.72
281.94	101.88	1.10	1.09	1.09	108.99	414.64	2000.00	24400.35	7.72	44210.17	1718.89	6.58	0.91	43819.46
422.91	152.83	1.10	1.09	1.09	163.49	621.96	3000.00	36600.35	7.72	66315.15	1718.89	6.58	0.91	65729.15
563.88	203.77	1.10	1.09	1.09	217.98	829.28	4000.00	48800.79	7.72	88420.39	1718.89	6.58	0.91	87638.92
704.85	254.71	1.10	1.09	1.09	272.47	1036.60	5000.00	61000.66	7.72	110525.28	1718.89	6.58	0.91	109548.59
845.82	305.65	1.10	1.09	1.09	326.96	1243.92	6000.00	73201.83	7.72	132630.86	1718.90	6.58	0.91	131458.35
986.79	356.59	1.10	1.09	1.09	381.47	1451.24	7000.00	85400.79	7.72	154735.33	1718.89	6.58	0.91	153368.02
1127.76	407.53	1.10	1.09	1.09	435.96	1658.56	8000.00	97600.96	7.72	176840.42	1718.89	6.58	0.91	175277.76
1268.73	458.48	1.10	1.09	1.09	490.45	1865.88	9000.00	109801.13	7.72	198945.50	1718.89	6.58	0.91	197187.48
1409.70	509.42	1.10	1.09	1.09	544.95	2073.20	10000.00	122001.30	7.72	221050.56	1718.89	6.58	0.91	219097.18

Flujo de agua geotérmica [kg/s]	Flujo de agua de mar c/cámara [kg/s]	FC por cada efecto			exceso [kg/s]	Flujo de agua de mar (kg/s)	PARÁMETROS DE RENDIMIENTO						potencia de bombeo [W]	
		1	2	3			producto [m³/día]	Salmuera de deshecho [m³/día]	% recuperación	(Energía de evaporación [kW])	Consumo térmico (MJ/m³)	Energía térmica para eyección [kJ/kgproduc]		Rendimiento energético eléctrico [kWh/m³]
6.06	1.35	1.20	1.19	1.19	6.17	10.23	50.00	297.04	14.54	950.21	1477.76	6.58	0.90	1082.50
12.12	2.70	1.20	1.19	1.19	12.34	20.45	100.00	594.08	14.54	1900.42	1477.76	6.58	0.90	2165.00
18.18	4.06	1.20	1.19	1.19	18.51	30.68	150.00	891.11	14.54	2850.62	1477.76	6.58	0.90	3247.50
24.24	5.41	1.20	1.19	1.19	24.68	40.90	200.00	1188.15	14.54	3800.83	1477.76	6.58	0.90	4329.99
30.30	6.76	1.20	1.19	1.19	30.85	51.13	250.00	1485.19	14.54	4751.04	1477.76	6.58	0.90	5412.49
36.36	8.11	1.20	1.19	1.19	37.02	61.35	300.00	1782.23	14.54	5701.25	1477.76	6.58	0.90	6494.99
42.42	9.46	1.20	1.19	1.19	43.19	71.58	350.00	2079.27	14.54	6651.45	1477.76	6.58	0.90	7577.49
48.48	10.82	1.20	1.19	1.19	49.36	81.80	400.00	2376.30	14.54	7601.66	1477.76	6.58	0.90	8659.99
54.54	12.17	1.20	1.19	1.19	55.53	92.03	450.00	2673.34	14.54	8551.86	1477.76	6.58	0.90	9742.49
60.60	13.52	1.20	1.19	1.19	61.70	102.26	500.00	2970.37	14.54	9502.07	1477.76	6.58	0.90	10824.98
66.66	14.87	1.20	1.19	1.19	67.87	112.48	550.00	3267.41	14.54	10452.28	1477.76	6.58	0.90	11907.48
72.72	16.22	1.20	1.19	1.19	74.04	122.71	600.00	3564.45	14.54	11402.49	1477.76	6.58	0.90	12989.98
78.78	17.58	1.20	1.19	1.19	80.21	132.93	650.00	3861.49	14.54	12352.69	1477.76	6.58	0.90	14072.48
84.84	18.93	1.20	1.19	1.19	86.38	143.16	700.00	4158.52	14.54	13302.90	1477.76	6.58	0.90	15154.98
90.90	20.28	1.20	1.19	1.19	92.55	153.38	750.00	4455.56	14.54	14253.11	1477.76	6.58	0.90	16237.48
96.96	21.63	1.20	1.19	1.19	98.72	163.61	800.00	4752.60	14.54	15203.31	1477.76	6.58	0.90	17319.98
103.02	22.98	1.20	1.19	1.19	104.89	173.83	850.00	5049.64	14.54	16153.52	1477.76	6.58	0.90	18402.48
109.08	24.33	1.20	1.19	1.19	111.06	184.06	900.00	5346.67	14.54	17103.73	1477.76	6.58	0.90	19484.97
115.13	25.69	1.20	1.19	1.19	117.23	194.29	950.00	5643.72	14.54	18053.94	1477.76	6.58	0.90	20567.47
121.19	27.04	1.20	1.19	1.19	123.40	204.51	1000.00	5940.75	14.54	19004.14	1477.76	6.58	0.90	21649.97
242.39	54.08	1.20	1.19	1.19	246.79	409.02	2000.00	11881.53	14.54	38008.31	1477.76	6.58	0.90	43299.96
363.58	81.12	1.20	1.19	1.19	370.19	613.54	3000.00	17822.26	14.54	57012.43	1477.76	6.58	0.90	64949.91
484.78	108.15	1.20	1.19	1.19	493.58	818.05	4000.00	23763.05	14.54	76016.61	1477.76	6.58	0.90	86599.90
605.97	135.19	1.20	1.19	1.19	616.98	1022.56	5000.00	29703.75	14.54	95020.71	1477.76	6.58	0.90	108249.84
727.17	162.23	1.20	1.19	1.19	740.38	1227.07	6000.00	35644.42	14.54	114024.81	1477.76	6.58	0.90	129899.81
848.36	189.27	1.20	1.19	1.19	863.78	1431.58	7000.00	41585.18	14.54	133028.97	1477.76	6.58	0.90	151549.80
969.56	216.31	1.20	1.19	1.19	987.17	1636.09	8000.00	47525.95	14.54	152033.12	1477.76	6.58	0.90	173199.77
1090.75	243.35	1.20	1.19	1.19	1110.57	1840.61	9000.00	53466.72	14.54	171037.27	1477.76	6.58	0.90	194849.74
1211.94	270.38	1.20	1.19	1.19	1233.96	2045.12	10000.00	59407.47	14.54	190041.40	1477.76	6.58	0.90	216499.69

Flujo de agua geotérmica [kg/s]	Flujo de agua de mar c/cámara [kg/s]	FC por cada efecto			exceso [kg/s]	Flujo de agua de mar (kg/s)	PARÁMETROS DE RENDIMIENTO							potencia de bombeo [W]
		1	2	3			producto [m³/día]	Salmuera de deshecho [m³/día]	% recuperación	(Energía de evaporación [kW])	Consumo térmico (MJ/m³)	Energía térmica para eyección [kJ/kgproduc]	Rendimiento energético eléctrico [kWh/m³]	
5.74	0.97	1.30	1.29	1.29	7.28	10.18	50.00	196.42	20.31	900.36	1400.25	6.58	0.90	1078.32
11.48	1.94	1.30	1.29	1.29	14.55	20.36	100.00	392.85	20.31	1800.73	1400.25	6.58	0.90	2156.65
17.23	2.90	1.30	1.29	1.29	21.83	30.54	150.00	589.28	20.31	2701.09	1400.25	6.58	0.90	3234.97
22.97	3.87	1.30	1.29	1.29	29.11	40.72	200.00	785.70	20.31	3601.45	1400.25	6.58	0.90	4313.29
28.71	4.84	1.30	1.29	1.29	36.39	50.90	250.00	982.13	20.31	4501.82	1400.25	6.58	0.90	5391.62
34.45	5.81	1.30	1.29	1.29	43.66	61.08	300.00	1178.55	20.31	5402.18	1400.25	6.58	0.90	6469.94
40.19	6.77	1.30	1.29	1.29	50.94	71.26	350.00	1374.98	20.31	6302.55	1400.25	6.58	0.90	7548.26
45.93	7.74	1.30	1.29	1.29	58.22	81.44	400.00	1571.41	20.31	7202.92	1400.25	6.58	0.90	8626.59
51.68	8.71	1.30	1.29	1.29	65.50	91.62	450.00	1767.83	20.31	8103.27	1400.25	6.58	0.90	9704.91
57.42	9.68	1.30	1.29	1.29	72.77	101.80	500.00	1964.26	20.31	9003.64	1400.25	6.58	0.90	10783.23
63.16	10.64	1.30	1.29	1.29	80.05	111.98	550.00	2160.68	20.31	9904.00	1400.25	6.58	0.90	11861.56
68.90	11.61	1.30	1.29	1.29	87.33	122.17	600.00	2357.11	20.31	10804.37	1400.25	6.58	0.90	12939.88
74.64	12.58	1.30	1.29	1.29	94.61	132.35	650.00	2553.53	20.31	11704.73	1400.25	6.58	0.90	14018.20
80.39	13.55	1.30	1.29	1.29	101.88	142.53	700.00	2749.96	20.31	12605.09	1400.25	6.58	0.90	15096.53
86.13	14.52	1.30	1.29	1.29	109.16	152.71	750.00	2946.38	20.31	13505.45	1400.25	6.58	0.90	16174.85
91.87	15.48	1.30	1.29	1.29	116.44	162.89	800.00	3142.81	20.31	14405.82	1400.25	6.58	0.90	17253.17
97.61	16.45	1.30	1.29	1.29	123.71	173.07	850.00	3339.23	20.31	15306.18	1400.25	6.58	0.90	18331.50
103.35	17.42	1.30	1.29	1.29	130.99	183.25	900.00	3535.66	20.31	16206.54	1400.25	6.58	0.90	19409.82
109.10	18.39	1.30	1.29	1.29	138.27	193.43	950.00	3732.08	20.31	17106.91	1400.25	6.58	0.90	20488.14
114.84	19.35	1.30	1.29	1.29	145.55	203.61	1000.00	3928.51	20.31	18007.27	1400.25	6.58	0.90	21566.47
229.67	38.71	1.30	1.29	1.29	291.09	407.22	2000.00	7857.03	20.31	36014.55	1400.25	6.58	0.90	43132.93
344.51	58.06	1.30	1.29	1.29	436.64	610.83	3000.00	11785.53	20.31	54021.82	1400.25	6.58	0.90	64699.40
459.35	77.42	1.30	1.29	1.29	582.19	814.44	4000.00	15714.04	20.31	72029.09	1400.25	6.58	0.90	86265.86
574.19	96.77	1.30	1.29	1.29	727.73	1018.04	5000.00	19642.54	20.31	90036.36	1400.25	6.58	0.90	107832.33
689.02	116.12	1.30	1.29	1.29	873.28	1221.65	6000.00	23571.07	20.31	108043.64	1400.25	6.58	0.90	129398.80
803.86	135.48	1.30	1.29	1.29	1018.82	1425.26	7000.00	27499.61	20.31	126050.93	1400.25	6.58	0.90	150965.26
918.70	154.83	1.30	1.29	1.29	1164.37	1628.87	8000.00	31428.07	20.31	144058.17	1400.25	6.58	0.90	172531.73
1033.53	174.19	1.30	1.29	1.29	1309.92	1832.48	9000.00	35356.60	20.31	162065.47	1400.25	6.58	0.90	194098.22
1148.37	193.54	1.30	1.29	1.29	1455.46	2036.09	10000.00	39285.07	20.31	180072.71	1400.25	6.58	0.90	215664.66

Flujo de agua geotérmica [kg/s]	Flujo de agua de mar c/cámara [kg/s]	FC por cada efecto			exceso [kg/s]	Flujo de agua de mar (kg/s)	PARÁMETROS DE RENDIMIENTO							potencia de bombeo [W]
		1	2	3			producto [m³/día]	Salmuera de deshecho [m³/día]	% recuperación	(Energía de evaporación [kW])	Consumo térmico (MJ/m³)	Energía térmica para eyección [kJ/kgproduc]	Rendimiento energético eléctrico [kWh/m³]	
5.59	0.78	1.40	1.38	1.39	7.82	10.16	50.00	146.79	25.26	875.77	1362.00	6.58	0.90	1076.26
11.17	1.56	1.40	1.38	1.39	15.65	20.32	100.00	293.58	25.26	1751.55	1362.00	6.58	0.90	2152.53
16.76	2.33	1.40	1.38	1.39	23.47	30.47	150.00	440.36	25.26	2627.32	1362.00	6.58	0.90	3228.79
22.34	3.11	1.40	1.38	1.39	31.29	40.63	200.00	587.15	25.26	3503.09	1362.00	6.58	0.90	4305.05
27.93	3.89	1.40	1.38	1.39	39.12	50.79	250.00	733.94	25.26	4378.87	1362.00	6.58	0.90	5381.32
33.51	4.67	1.40	1.38	1.39	46.94	60.95	300.00	880.73	25.26	5254.64	1362.00	6.58	0.90	6457.58
39.10	5.45	1.40	1.38	1.39	54.77	71.11	350.00	1027.51	25.26	6130.41	1362.00	6.58	0.90	7533.85
44.68	6.23	1.40	1.38	1.39	62.59	81.27	400.00	1174.30	25.26	7006.18	1362.00	6.58	0.90	8610.11
50.27	7.00	1.40	1.38	1.39	70.41	91.42	450.00	1321.09	25.26	7881.96	1362.00	6.58	0.90	9686.37
55.85	7.78	1.40	1.38	1.39	78.24	101.58	500.00	1467.88	25.26	8757.73	1362.00	6.58	0.90	10762.64
61.44	8.56	1.40	1.38	1.39	86.06	111.74	550.00	1614.66	25.26	9633.50	1362.00	6.58	0.90	11838.90
67.02	9.34	1.40	1.38	1.39	93.88	121.90	600.00	1761.45	25.26	10509.28	1362.00	6.58	0.90	12915.16
72.61	10.12	1.40	1.38	1.39	101.71	132.06	650.00	1908.24	25.26	11385.05	1362.00	6.58	0.90	13991.42
78.19	10.89	1.40	1.38	1.39	109.53	142.21	700.00	2055.02	25.26	12260.82	1362.00	6.58	0.90	15067.69
83.78	11.67	1.40	1.38	1.39	117.36	152.37	750.00	2201.81	25.26	13136.59	1362.00	6.58	0.90	16143.95
89.36	12.45	1.40	1.38	1.39	125.18	162.53	800.00	2348.60	25.26	14012.37	1362.00	6.58	0.90	17220.22
94.95	13.23	1.40	1.38	1.39	133.00	172.69	850.00	2495.39	25.26	14888.14	1362.00	6.58	0.90	18296.48
100.53	14.01	1.40	1.38	1.39	140.83	182.85	900.00	2642.17	25.26	15763.91	1362.00	6.58	0.90	19372.74
106.12	14.78	1.40	1.38	1.39	148.65	193.01	950.00	2788.96	25.26	16639.68	1362.00	6.58	0.90	20449.01
111.70	15.56	1.40	1.38	1.39	156.47	203.16	1000.00	2935.75	25.26	17515.46	1362.00	6.58	0.90	21525.27
223.40	31.13	1.40	1.38	1.39	312.95	406.33	2000.00	5871.52	25.26	35030.94	1362.00	6.58	0.90	43050.56
335.10	46.69	1.40	1.38	1.39	469.42	609.49	3000.00	8807.27	25.26	52546.40	1362.00	6.58	0.90	64575.83
446.80	62.25	1.40	1.38	1.39	625.90	812.65	4000.00	11743.00	25.26	70061.83	1362.00	6.58	0.90	86101.08
558.50	77.81	1.40	1.38	1.39	782.37	1015.82	5000.00	14678.77	25.26	87577.31	1362.00	6.58	0.90	107626.37
670.20	93.38	1.40	1.38	1.39	938.85	1218.98	6000.00	17614.54	25.26	105092.76	1362.00	6.58	0.90	129151.62
781.91	108.94	1.40	1.38	1.39	1095.32	1422.14	7000.00	20550.26	25.26	122608.20	1362.00	6.58	0.90	150676.88
893.61	124.50	1.40	1.38	1.39	1251.80	1625.31	8000.00	23486.03	25.26	140123.68	1362.00	6.58	0.90	172202.17
1005.31	140.07	1.40	1.38	1.39	1408.27	1828.47	9000.00	26421.80	25.26	157639.15	1362.00	6.58	0.90	193727.44
1117.01	155.63	1.40	1.38	1.39	1564.74	2031.63	10000.00	29357.57	25.26	175154.62	1362.00	6.58	0.90	215252.71

Flujo de agua geotérmica [kg/s]	Flujo de agua de mar c/cámara [kg/s]	FC por cada efecto			exceso [kg/s]	Flujo de agua de mar (kg/s)	PARÁMETROS DE RENDIMIENTO						potencia de bombeo [W]	
		1	2	3			producto [m³/día]	Salmuera de deshecho [m³/día]	% recuperación	(Energía de evaporación [kW])	Consumo térmico (MJ/m³)	Energía térmica para eyección [kJ/kgproduc]		Rendimiento energético eléctrico [kWh/m³]
5.49	0.67	1.50	1.48	1.49	8.15	10.14	50.00	117.22	29.55	861.12	1339.22	6.58	0.90	1075.04
10.98	1.33	1.50	1.48	1.49	16.30	20.29	100.00	234.43	29.55	1722.25	1339.22	6.58	0.90	2150.07
16.47	2.00	1.50	1.48	1.49	24.45	30.43	150.00	351.65	29.55	2583.37	1339.22	6.58	0.90	3225.11
21.97	2.66	1.50	1.48	1.49	32.60	40.58	200.00	468.86	29.55	3444.49	1339.22	6.58	0.90	4300.15
27.46	3.33	1.50	1.48	1.49	40.75	50.72	250.00	586.08	29.55	4305.61	1339.22	6.58	0.90	5375.18
32.95	3.99	1.50	1.48	1.49	48.90	60.87	300.00	703.29	29.55	5166.74	1339.22	6.58	0.90	6450.22
38.44	4.66	1.50	1.48	1.49	57.04	71.01	350.00	820.51	29.55	6027.86	1339.22	6.58	0.90	7525.26
43.93	5.32	1.50	1.48	1.49	65.19	81.16	400.00	937.72	29.55	6888.98	1339.22	6.58	0.90	8600.29
49.42	5.99	1.50	1.48	1.49	73.34	91.30	450.00	1054.94	29.55	7750.10	1339.22	6.58	0.90	9675.33
54.92	6.65	1.50	1.48	1.49	81.49	101.45	500.00	1172.15	29.55	8611.23	1339.22	6.58	0.90	10750.36
60.41	7.32	1.50	1.48	1.49	89.64	111.59	550.00	1289.37	29.55	9472.35	1339.22	6.58	0.90	11825.40
65.90	7.98	1.50	1.48	1.49	97.79	121.74	600.00	1406.58	29.55	10333.47	1339.22	6.58	0.90	12900.44
71.39	8.65	1.50	1.48	1.49	105.94	131.88	650.00	1523.80	29.55	11194.60	1339.22	6.58	0.90	13975.47
76.88	9.31	1.50	1.48	1.49	114.09	142.03	700.00	1641.01	29.55	12055.72	1339.22	6.58	0.90	15050.51
82.37	9.98	1.50	1.48	1.49	122.24	152.17	750.00	1758.23	29.55	12916.84	1339.22	6.58	0.90	16125.54
87.87	10.64	1.50	1.48	1.49	130.39	162.32	800.00	1875.44	29.55	13777.96	1339.22	6.58	0.90	17200.58
93.36	11.31	1.50	1.48	1.49	138.54	172.46	850.00	1992.66	29.55	14639.08	1339.22	6.58	0.90	18275.62
98.85	11.97	1.50	1.48	1.49	146.69	182.61	900.00	2109.87	29.55	15500.21	1339.22	6.58	0.90	19350.65
104.34	12.64	1.50	1.48	1.49	154.84	192.75	950.00	2227.09	29.55	16361.33	1339.22	6.58	0.90	20425.69
109.83	13.30	1.50	1.48	1.49	162.98	202.90	1000.00	2344.31	29.55	17222.45	1339.22	6.58	0.90	21500.73
219.66	26.61	1.50	1.48	1.49	325.97	405.80	2000.00	4688.61	29.55	34444.91	1339.22	6.58	0.90	43001.45
329.50	39.91	1.50	1.48	1.49	488.95	608.69	3000.00	7032.91	29.55	51667.36	1339.22	6.58	0.90	64502.18
439.33	53.22	1.50	1.48	1.49	651.94	811.59	4000.00	9377.23	29.55	68889.84	1339.22	6.58	0.90	86002.92
549.16	66.52	1.50	1.48	1.49	814.92	1014.49	5000.00	11721.52	29.55	86112.26	1339.22	6.58	0.90	107503.63
658.99	79.83	1.50	1.48	1.49	977.91	1217.39	6000.00	14065.83	29.55	103334.72	1339.22	6.58	0.90	129004.35
768.83	93.13	1.50	1.48	1.49	1140.89	1420.29	7000.00	16410.12	29.55	120557.17	1339.22	6.58	0.90	150505.08
878.66	106.43	1.50	1.48	1.49	1303.88	1623.18	8000.00	18754.43	29.55	137779.62	1339.22	6.58	0.90	172005.80
988.49	119.74	1.50	1.48	1.49	1466.86	1826.08	9000.00	21098.75	29.55	155002.09	1339.22	6.58	0.90	193506.55
1098.32	133.04	1.50	1.48	1.49	1629.85	2028.98	10000.00	23443.04	29.55	172224.52	1339.22	6.58	0.90	215007.25

Flujo de agua geotérmica [kg/s]	Flujo de agua de mar c/cámara [kg/s]	FC por cada efecto			exceso [kg/s]	Flujo de agua de mar (kg/s)	PARÁMETROS DE RENDIMIENTO							potencia de bombeo [W]
		1	2	3			producto [m³/día]	Salmuera de deshecho [m³/día]	% recuperación	(Energía de evaporación [kW])	Consumo térmico (MJ/m³)	Energía térmica para eyección [kJ/kgproduc]	Rendimiento energético eléctrico [kWh/m³]	
5.43	0.59	1.60	1.57	1.58	8.37	10.14	50.00	97.59	33.30	851.40	1324.10	6.58	0.90	1074.22
10.86	1.18	1.60	1.57	1.58	16.73	20.27	100.00	195.17	33.30	1702.80	1324.10	6.58	0.90	2148.44
16.29	1.77	1.60	1.57	1.58	25.10	30.41	150.00	292.76	33.30	2554.20	1324.10	6.58	0.90	3222.67
21.72	2.36	1.60	1.57	1.58	33.46	40.54	200.00	390.35	33.30	3405.60	1324.10	6.58	0.90	4296.89
27.15	2.95	1.60	1.57	1.58	41.83	50.68	250.00	487.94	33.30	4257.00	1324.10	6.58	0.90	5371.11
32.58	3.54	1.60	1.57	1.58	50.19	60.82	300.00	585.52	33.30	5108.39	1324.10	6.58	0.90	6445.33
38.01	4.13	1.60	1.57	1.58	58.56	70.95	350.00	683.11	33.30	5959.79	1324.10	6.58	0.90	7519.40
43.44	4.72	1.60	1.57	1.58	66.92	81.09	400.00	780.70	33.30	6811.19	1324.10	6.58	0.90	8593.78
48.87	5.31	1.60	1.57	1.58	75.29	91.22	450.00	878.29	33.30	7662.59	1324.10	6.58	0.90	9668.00
54.30	5.90	1.60	1.57	1.58	83.65	101.36	500.00	975.87	33.30	8513.99	1324.10	6.58	0.90	10742.22
59.73	6.49	1.60	1.57	1.58	92.02	111.50	550.00	1073.46	33.30	9365.39	1324.10	6.58	0.90	11816.44
65.16	7.08	1.60	1.57	1.58	100.38	121.63	600.00	1171.05	33.30	10216.79	1324.10	6.58	0.90	12890.66
70.58	7.67	1.60	1.57	1.58	108.75	131.77	650.00	1268.63	33.30	11068.19	1324.10	6.58	0.90	13964.88
76.01	8.26	1.60	1.57	1.58	117.11	141.91	700.00	1366.22	33.30	11919.58	1324.10	6.58	0.90	15039.10
81.44	8.85	1.60	1.57	1.58	125.48	152.04	750.00	1463.81	33.30	12770.98	1324.10	6.58	0.90	16113.33
86.87	9.44	1.60	1.57	1.58	133.84	162.18	800.00	1561.40	33.30	13622.38	1324.10	6.58	0.90	17187.55
92.30	10.03	1.60	1.57	1.58	142.21	172.31	850.00	1658.98	33.30	14473.78	1324.10	6.58	0.90	18261.77
97.73	10.62	1.60	1.57	1.58	150.58	182.45	900.00	1756.57	33.30	15325.18	1324.10	6.58	0.90	19335.99
103.16	11.21	1.60	1.57	1.58	158.94	192.59	950.00	1854.16	33.30	16176.58	1324.10	6.58	0.90	20410.21
108.59	11.81	1.60	1.57	1.58	167.31	202.72	1000.00	1951.74	33.30	17027.98	1324.10	6.58	0.90	21484.44
217.18	23.61	1.60	1.57	1.58	334.61	405.44	2000.00	3903.50	33.30	34055.98	1324.10	6.58	0.90	42968.89
325.78	35.42	1.60	1.57	1.58	501.92	608.17	3000.00	5855.24	33.30	51083.95	1324.10	6.58	0.90	64453.33
434.37	47.22	1.60	1.57	1.58	669.22	810.89	4000.00	7806.97	33.30	68111.91	1324.10	6.58	0.90	85937.74
542.96	59.03	1.60	1.57	1.58	836.53	1013.61	5000.00	9758.74	33.30	85139.91	1324.10	6.58	0.90	107422.20
651.55	70.83	1.60	1.57	1.58	1003.84	1216.33	6000.00	11710.44	33.30	102167.85	1324.10	6.58	0.90	128906.61
760.14	82.64	1.60	1.57	1.58	1171.14	1419.05	7000.00	13662.20	33.30	119195.85	1324.10	6.58	0.90	150391.07
868.74	94.44	1.60	1.57	1.58	1338.45	1621.77	8000.00	15613.94	33.30	136223.81	1324.10	6.58	0.90	171875.48
977.33	106.25	1.60	1.57	1.58	1505.76	1824.50	9000.00	17565.71	33.30	153251.82	1324.10	6.58	0.90	193359.94
1085.92	118.05	1.60	1.57	1.58	1673.06	2027.22	10000.00	19517.38	33.30	170279.74	1324.10	6.58	0.90	214844.35

Flujo de agua geotérmica [kg/s]	Flujo de agua de mar c/cámara [kg/s]	FC por cada efecto			exceso [kg/s]	Flujo de agua de mar (kg/s)	PARÁMETROS DE RENDIMIENTO						potencia de bombeo [W]	
		1	2	3			producto [m³/día]	Salmuera de deshecho [m³/día]	% recuperación	(Energía de evaporación [kW])	Consumo térmico (MJ/m³)	Energía térmica para eyección [kJ/kgproduc]		Rendimiento energético eléctrico [kWh/m³]
5.39	0.54	1.70	1.67	1.68	8.52	10.13	50.00	83.61	36.61	844.47	1313.33	6.58	0.89	1073.64
10.77	1.07	1.70	1.67	1.68	17.04	20.26	100.00	167.22	36.61	1688.95	1313.33	6.58	0.89	2147.29
16.16	1.61	1.70	1.67	1.68	25.56	30.39	150.00	250.83	36.61	2533.42	1313.33	6.58	0.89	3220.93
21.54	2.15	1.70	1.67	1.68	34.08	40.52	200.00	334.44	36.61	3377.90	1313.33	6.58	0.89	4294.57
26.93	2.68	1.70	1.67	1.68	42.60	50.65	250.00	418.05	36.61	4222.37	1313.33	6.58	0.89	5368.21
32.31	3.22	1.70	1.67	1.68	51.12	60.78	300.00	501.66	36.61	5066.85	1313.33	6.58	0.89	6441.85
37.70	3.76	1.70	1.67	1.68	59.63	70.91	350.00	585.27	36.61	5911.32	1313.33	6.58	0.89	7515.49
43.08	4.30	1.70	1.67	1.68	68.15	81.04	400.00	668.88	36.61	6755.79	1313.33	6.58	0.89	8589.13
48.47	4.83	1.70	1.67	1.68	76.67	91.17	450.00	752.49	36.61	7600.27	1313.33	6.58	0.89	9662.78
53.85	5.37	1.70	1.67	1.68	85.19	101.30	500.00	836.10	36.61	8444.74	1313.33	6.58	0.89	10736.42
59.24	5.91	1.70	1.67	1.68	93.71	111.43	550.00	919.70	36.61	9289.22	1313.33	6.58	0.89	11810.06
64.63	6.44	1.70	1.67	1.68	102.23	121.56	600.00	1003.31	36.61	10133.69	1313.33	6.58	0.89	12883.70
70.01	6.98	1.70	1.67	1.68	110.75	131.69	650.00	1086.92	36.61	10978.17	1313.33	6.58	0.89	13957.34
75.40	7.52	1.70	1.67	1.68	119.27	141.82	700.00	1170.53	36.61	11822.64	1313.33	6.58	0.89	15030.98
80.78	8.05	1.70	1.67	1.68	127.79	151.95	750.00	1254.14	36.61	12667.11	1313.33	6.58	0.89	16104.63
86.17	8.59	1.70	1.67	1.68	136.31	162.08	800.00	1337.75	36.61	13511.59	1313.33	6.58	0.89	17178.40
91.55	9.13	1.70	1.67	1.68	144.83	172.21	850.00	1421.36	36.61	14356.06	1313.33	6.58	0.89	18251.91
96.94	9.66	1.70	1.67	1.68	153.35	182.34	900.00	1504.97	36.61	15200.54	1313.33	6.58	0.89	19325.55
102.32	10.20	1.70	1.67	1.68	161.86	192.47	950.00	1588.58	36.61	16045.01	1313.33	6.58	0.89	20399.19
107.71	10.74	1.70	1.67	1.68	170.38	202.60	1000.00	1672.19	36.61	16889.49	1313.33	6.58	0.89	21472.83
215.42	21.48	1.70	1.67	1.68	340.77	405.19	2000.00	3344.38	36.61	33778.97	1313.33	6.58	0.89	42945.67
323.13	32.21	1.70	1.67	1.68	511.15	607.79	3000.00	5016.57	36.61	50668.46	1313.33	6.58	0.89	64418.50
430.84	42.95	1.70	1.67	1.68	681.53	810.39	4000.00	6688.77	36.61	67557.96	1313.33	6.58	0.89	85891.36
538.54	53.69	1.70	1.67	1.68	851.92	1012.98	5000.00	8360.95	36.61	84447.43	1313.33	6.58	0.89	107364.17
646.25	64.43	1.70	1.67	1.68	1022.30	1215.58	6000.00	10033.14	36.61	101336.91	1313.33	6.58	0.89	128837.01
753.96	75.16	1.70	1.67	1.68	1192.68	1418.17	7000.00	11705.34	36.61	118226.42	1313.33	6.58	0.89	150309.86
861.67	85.90	1.70	1.67	1.68	1363.07	1620.77	8000.00	13377.52	36.61	135115.88	1313.33	6.58	0.89	171782.67
969.38	96.64	1.70	1.67	1.68	1533.45	1823.37	9000.00	15049.70	36.61	152005.37	1313.33	6.58	0.89	193255.51
1077.09	107.38	1.70	1.67	1.68	1703.83	2025.96	10000.01	16721.93	36.61	168894.95	1313.33	6.58	0.89	214728.45

Flujo de agua geotérmica [kg/s]	Flujo de agua de mar c/cámara [kg/s]	FC por cada efecto			exceso [kg/s]	Flujo de agua de mar (kg/s)	PARÁMETROS DE RENDIMIENTO						potencia de bombeo [W]	
		1	2	3			producto [m³/día]	Salmuera de deshecho [m³/día]	% recuperación	(Energía de evaporación [kW])	Consumo térmico (MJ/m³)	Energía térmica para eyección [kJ/kgproduc]		Rendimiento energético eléctrico [kWh/m³]
5.35	0.50	1.80	1.77	1.78	8.63	10.13	50.00	73.15	39.56	839.29	1305.27	6.58	0.89	1073.21
10.70	0.99	1.80	1.77	1.78	17.27	20.25	100.00	146.30	39.56	1678.59	1305.27	6.58	0.89	2146.42
16.06	1.49	1.80	1.77	1.78	25.90	30.38	150.00	219.45	39.56	2517.88	1305.27	6.58	0.89	3219.62
21.41	1.99	1.80	1.77	1.78	34.54	40.50	200.00	292.60	39.56	3357.17	1305.27	6.58	0.89	4292.83
26.76	2.48	1.80	1.77	1.78	43.17	50.63	250.00	365.75	39.56	4196.46	1305.27	6.58	0.89	5366.04
32.11	2.98	1.80	1.77	1.78	51.81	60.75	300.00	438.90	39.56	5035.75	1305.27	6.58	0.89	6439.25
37.47	3.48	1.80	1.77	1.78	60.44	70.88	350.00	512.05	39.56	5875.05	1305.27	6.58	0.89	7512.45
42.82	3.98	1.80	1.77	1.78	69.07	81.00	400.00	585.19	39.56	6714.34	1305.27	6.58	0.89	8585.66
48.17	4.47	1.80	1.77	1.78	77.71	91.13	450.00	658.34	39.56	7553.63	1305.27	6.58	0.89	9658.87
53.52	4.97	1.80	1.77	1.78	86.34	101.25	500.00	731.49	39.56	8392.92	1305.27	6.58	0.89	10732.08
58.88	5.47	1.80	1.77	1.78	94.98	111.38	550.00	804.64	39.56	9232.22	1305.27	6.58	0.89	11805.29
64.23	5.96	1.80	1.77	1.78	103.61	121.50	600.00	877.79	39.56	10071.51	1305.27	6.58	0.89	12878.49
69.58	6.46	1.80	1.77	1.78	112.25	131.63	650.00	950.94	39.56	10910.80	1305.27	6.58	0.89	13951.70
74.93	6.96	1.80	1.77	1.78	120.88	141.75	700.00	1024.09	39.56	11750.09	1305.27	6.58	0.89	15024.91
80.29	7.45	1.80	1.77	1.78	129.51	151.88	750.00	1097.24	39.56	12589.38	1305.27	6.58	0.89	16098.11
85.64	7.95	1.80	1.77	1.78	138.15	162.00	800.00	1170.39	39.56	13428.68	1305.27	6.58	0.89	17171.32
90.99	8.45	1.80	1.77	1.78	146.78	172.13	850.00	1243.54	39.56	14267.97	1305.27	6.58	0.89	18244.53
96.34	8.94	1.80	1.77	1.78	155.42	182.25	900.00	1316.69	39.56	15107.26	1305.27	6.58	0.89	19317.74
101.70	9.44	1.80	1.77	1.78	164.05	192.38	950.00	1389.84	39.56	15946.55	1305.27	6.58	0.89	20390.95
107.05	9.94	1.80	1.77	1.78	172.69	202.50	1000.00	1462.98	39.56	16785.78	1305.27	6.58	0.89	21464.07
214.10	19.88	1.80	1.77	1.78	345.37	405.01	2000.00	2925.97	39.56	33571.69	1305.27	6.58	0.89	42928.31
321.14	29.82	1.80	1.77	1.78	518.06	607.51	3000.00	4388.95	39.56	50357.53	1305.27	6.58	0.89	64392.46
428.19	39.76	1.80	1.77	1.78	690.75	810.01	4000.00	5851.95	39.56	67143.40	1305.27	6.58	0.89	85856.63
535.24	49.69	1.80	1.77	1.78	863.43	1012.51	5000.00	7314.93	39.56	83929.22	1305.27	6.58	0.89	107320.76
642.29	59.63	1.80	1.77	1.78	1036.12	1215.02	6000.00	8777.93	39.56	100715.08	1305.27	6.58	0.89	128784.92
749.33	69.57	1.80	1.77	1.78	1208.80	1417.52	7000.00	10240.90	39.56	117500.91	1305.27	6.58	0.89	150249.07
856.38	79.51	1.80	1.77	1.78	1381.49	1620.02	8000.00	11703.88	39.56	134286.76	1305.27	6.58	0.89	171713.22
963.43	89.45	1.80	1.77	1.78	1554.18	1822.52	9000.00	13166.88	39.56	151072.63	1305.27	6.58	0.89	193177.40
1070.48	99.39	1.80	1.77	1.78	1726.86	2025.03	10000.00	14629.88	39.56	167858.46	1305.27	6.58	0.89	214641.53

Flujo de agua geotérmica [kg/s]	Flujo de agua de mar c/cámara [kg/s]	FC por cada efecto			exceso [kg/s]	Flujo de agua de mar (kg/s)	PARÁMETROS DE RENDIMIENTO							potencia de bombeo [W]
		1	2	3			producto [m³/día]	Salmuera de deshecho [m³/día]	% recuperación	(Energía de evaporación [kW])	Consumo térmico (MJ/m³)	Energía térmica para eyección [kJ/kgproduc]	Rendimiento energético eléctrico [kWh/m³]	
5.33	0.47	1.90	1.86	1.88	8.72	10.12	50.00	65.03	42.19	835.27	1299.01	6.58	0.89	1072.87
10.65	0.93	1.90	1.86	1.88	17.45	20.24	100.00	130.05	42.19	1670.54	1299.01	6.58	0.89	2145.74
15.98	1.40	1.90	1.86	1.88	26.17	30.36	150.00	195.08	42.19	2505.81	1299.01	6.58	0.89	3218.61
21.31	1.86	1.90	1.86	1.88	34.89	40.49	200.00	260.11	42.19	3341.07	1299.01	6.58	0.89	4291.48
26.63	2.33	1.90	1.86	1.88	43.62	50.61	250.00	325.14	42.19	4176.34	1299.01	6.58	0.89	5364.35
31.96	2.80	1.90	1.86	1.88	52.34	60.73	300.00	390.16	42.19	5011.61	1299.01	6.58	0.89	6437.22
37.29	3.26	1.90	1.86	1.88	61.07	70.85	350.00	455.19	42.19	5846.88	1299.01	6.58	0.89	7510.10
42.61	3.73	1.90	1.86	1.88	69.79	80.97	400.00	520.22	42.19	6682.15	1299.01	6.58	0.89	8582.97
47.94	4.19	1.90	1.86	1.88	78.51	91.09	450.00	585.24	42.19	7517.42	1299.01	6.58	0.89	9655.84
53.27	4.66	1.90	1.86	1.88	87.24	101.21	500.00	650.27	42.19	8352.69	1299.01	6.58	0.89	10728.71
58.59	5.13	1.90	1.86	1.88	95.96	111.34	550.00	715.30	42.19	9187.95	1299.01	6.58	0.89	11801.58
63.92	5.59	1.90	1.86	1.88	104.68	121.46	600.00	780.33	42.19	10023.22	1299.01	6.58	0.89	12874.45
69.25	6.06	1.90	1.86	1.88	113.41	131.58	650.00	845.35	42.19	10858.49	1299.01	6.58	0.89	13947.32
74.57	6.52	1.90	1.86	1.88	122.13	141.70	700.00	910.38	42.19	11693.76	1299.01	6.58	0.89	15020.19
79.90	6.99	1.90	1.86	1.88	130.86	151.82	750.00	975.41	42.19	12529.03	1299.01	6.58	0.89	16093.06
85.23	7.45	1.90	1.86	1.88	139.58	161.94	800.00	1040.43	42.19	13364.30	1299.01	6.58	0.89	17165.93
90.55	7.92	1.90	1.86	1.88	148.30	172.07	850.00	1105.46	42.19	14199.57	1299.01	6.58	0.89	18238.80
95.88	8.39	1.90	1.86	1.88	157.03	182.19	900.00	1170.49	42.19	15034.84	1299.01	6.58	0.89	19311.67
101.21	8.85	1.90	1.86	1.88	165.75	192.31	950.00	1235.52	42.19	15870.10	1299.01	6.58	0.89	20384.54
106.53	9.32	1.90	1.86	1.88	174.47	202.43	1000.00	1300.54	42.19	16705.37	1299.01	6.58	0.89	21457.41
213.07	18.64	1.90	1.86	1.88	348.95	404.86	2000.00	2601.09	42.19	33410.74	1299.01	6.58	0.89	42914.82
319.60	27.96	1.90	1.86	1.88	523.42	607.29	3000.00	3901.63	42.19	50116.11	1299.01	6.58	0.89	64372.24
426.14	37.27	1.90	1.86	1.88	697.90	809.72	4000.00	5202.18	42.19	66821.50	1299.01	6.58	0.89	85829.67
532.67	46.59	1.90	1.86	1.88	872.37	1012.15	5000.00	6502.73	42.19	83526.93	1299.01	6.58	0.89	107287.15
639.21	55.91	1.90	1.86	1.88	1046.85	1214.58	6000.00	7803.27	42.19	100232.23	1299.01	6.58	0.89	128744.47
745.74	65.23	1.90	1.86	1.88	1221.32	1417.01	7000.00	9103.80	42.19	116937.59	1299.01	6.58	0.89	150201.88
852.28	74.55	1.90	1.86	1.88	1395.79	1619.44	8000.00	10404.35	42.19	133642.96	1299.01	6.58	0.89	171659.30
958.81	83.87	1.90	1.86	1.88	1570.27	1821.87	9000.00	11704.90	42.19	150348.36	1299.01	6.58	0.89	193116.73
1065.35	93.18	1.90	1.86	1.88	1744.74	2024.30	10000.00	13005.43	42.19	167053.71	1299.01	6.58	0.89	214574.12

Flujo de agua geotérmica [kg/s]	Flujo de agua de mar c/cámara [kg/s]	FC por cada efecto			exceso [kg/s]	Flujo de agua de mar (kg/s)	PARÁMETROS DE RENDIMIENTO							potencia de bombeo [W]
		1	2	3			producto [m³/día]	Salmuera de deshecho [m³/día]	% recuperación	(Energía de evaporación [kW])	Consumo térmico (MJ/m³)	Energía térmica para eyección [kJ/kgproduc]	Rendimiento energético eléctrico [kWh/m³]	
5.31	0.44	2.00	1.96	1.97	8.80	10.12	50.00	58.54	44.56	832.05	1294.01	6.58	0.89	1072.60
10.61	0.88	2.00	1.96	1.97	17.59	20.24	100.00	117.08	44.56	1664.11	1294.01	6.58	0.89	2145.20
15.92	1.32	2.00	1.96	1.97	26.39	30.36	150.00	175.61	44.56	2496.16	1294.01	6.58	0.89	3217.81
21.22	1.76	2.00	1.96	1.97	35.18	40.47	200.00	234.15	44.56	3328.22	1294.01	6.58	0.89	4290.41
26.53	2.21	2.00	1.96	1.97	43.98	50.59	250.00	292.69	44.56	4160.27	1294.01	6.58	0.89	5363.01
31.84	2.65	2.00	1.96	1.97	52.77	60.71	300.00	351.23	44.56	4992.32	1294.01	6.58	0.89	6435.61
37.14	3.09	2.00	1.96	1.97	61.57	70.83	350.00	409.77	44.56	5824.38	1294.01	6.58	0.89	7508.21
42.45	3.53	2.00	1.96	1.97	70.36	80.95	400.00	468.30	44.56	6656.43	1294.01	6.58	0.89	8580.81
47.76	3.97	2.00	1.96	1.97	79.16	91.07	450.00	526.84	44.56	7488.48	1294.01	6.58	0.89	9653.41
53.06	4.41	2.00	1.96	1.97	87.95	101.19	500.00	585.38	44.56	8320.54	1294.01	6.58	0.89	10726.01
58.37	4.85	2.00	1.96	1.97	96.75	111.30	550.00	643.92	44.56	9152.59	1294.01	6.58	0.89	11798.61
63.67	5.29	2.00	1.96	1.97	105.54	121.42	600.00	702.46	44.56	9984.65	1294.01	6.58	0.89	12871.22
68.98	5.73	2.00	1.96	1.97	114.34	131.54	650.00	760.99	44.56	10816.70	1294.01	6.58	0.89	13943.82
74.29	6.18	2.00	1.96	1.97	123.13	141.66	700.00	819.53	44.56	11648.75	1294.01	6.58	0.89	15016.42
79.59	6.62	2.00	1.96	1.97	131.93	151.78	750.00	878.07	44.56	12480.81	1294.01	6.58	0.89	16089.02
84.90	7.06	2.00	1.96	1.97	140.72	161.90	800.00	936.61	44.56	13312.86	1294.01	6.58	0.89	17161.62
90.21	7.50	2.00	1.96	1.97	149.52	172.02	850.00	995.15	44.56	14144.92	1294.01	6.58	0.89	18234.22
95.51	7.94	2.00	1.96	1.97	158.31	182.13	900.00	1053.69	44.56	14976.97	1294.01	6.58	0.89	19306.82
100.82	8.38	2.00	1.96	1.97	167.11	192.25	950.00	1112.22	44.56	15809.02	1294.01	6.58	0.89	20379.43
106.12	8.82	2.00	1.96	1.97	175.90	202.37	1000.00	1170.76	44.56	16641.08	1294.01	6.58	0.89	21452.03
212.25	17.65	2.00	1.96	1.97	351.81	404.74	2000.00	2341.52	44.56	33282.15	1294.01	6.58	0.89	42904.05
318.37	26.47	2.00	1.96	1.97	527.71	607.11	3000.00	3512.29	44.56	49923.25	1294.01	6.58	0.89	64356.10
424.50	35.29	2.00	1.96	1.97	703.61	809.49	4000.00	4683.04	44.56	66564.30	1294.01	6.58	0.89	85808.11
530.62	44.11	2.00	1.96	1.97	879.51	1011.86	5000.00	5853.81	44.56	83205.40	1294.01	6.58	0.89	107260.15
636.75	52.94	2.00	1.96	1.97	1055.42	1214.23	6000.00	7024.57	44.56	99846.46	1294.01	6.58	0.89	128712.16
742.87	61.76	2.00	1.96	1.97	1231.32	1416.60	7000.00	8195.33	44.56	116487.53	1294.01	6.58	0.89	150164.18
849.00	70.58	2.00	1.96	1.97	1407.22	1618.97	8000.00	9366.09	44.56	133128.63	1294.01	6.58	0.89	171616.23
955.12	79.41	2.00	1.96	1.97	1583.13	1821.34	9000.00	10536.85	44.56	149769.68	1294.01	6.58	0.89	193068.24
1061.25	88.23	2.00	1.96	1.97	1759.03	2023.71	10000.00	11707.61	44.56	166410.76	1294.01	6.58	0.89	214520.26

VIII. DESGLOSE GENERAL DEL ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA DMG.

Capacidad/FC	INVERSION TOTAL EN USD									
	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
50	\$ 208,687	\$ 206,222	\$ 205,407	\$ 205,001	\$ 204,757	\$ 204,595	\$ 204,479	\$ 204,392	\$ 204,324	\$ 204,270
100	\$ 355,408	\$ 351,609	\$ 350,351	\$ 349,723	\$ 349,347	\$ 349,096	\$ 348,917	\$ 348,782	\$ 348,678	\$ 348,594
150	\$ 498,681	\$ 493,749	\$ 492,115	\$ 491,299	\$ 490,809	\$ 490,483	\$ 490,251	\$ 490,076	\$ 489,940	\$ 489,831
200	\$ 639,895	\$ 633,943	\$ 631,970	\$ 630,985	\$ 630,394	\$ 630,000	\$ 629,719	\$ 629,508	\$ 629,344	\$ 629,213
250	\$ 779,658	\$ 772,762	\$ 770,476	\$ 770,476	\$ 768,650	\$ 768,193	\$ 767,867	\$ 767,623	\$ 767,433	\$ 767,281
300	\$ 918,309	\$ 910,527	\$ 907,946	\$ 906,658	\$ 905,885	\$ 905,370	\$ 905,002	\$ 904,726	\$ 904,511	\$ 904,339
350	\$ 1,056,064	\$ 1,047,440	\$ 1,044,580	\$ 1,043,152	\$ 1,042,295	\$ 1,041,724	\$ 1,041,316	\$ 1,041,011	\$ 1,040,773	\$ 1,040,582
400	\$ 1,193,071	\$ 1,183,642	\$ 1,180,516	\$ 1,178,953	\$ 1,178,016	\$ 1,177,392	\$ 1,176,946	\$ 1,176,612	\$ 1,176,352	\$ 1,176,144
450	\$ 1,329,438	\$ 1,319,235	\$ 1,315,851	\$ 1,314,161	\$ 1,313,147	\$ 1,312,471	\$ 1,311,989	\$ 1,311,627	\$ 1,311,345	\$ 1,311,120
500	\$ 1,465,248	\$ 1,454,297	\$ 1,450,664	\$ 1,448,850	\$ 1,447,762	\$ 1,447,036	\$ 1,446,518	\$ 1,446,130	\$ 1,445,827	\$ 1,445,586
550	\$ 1,600,564	\$ 1,588,888	\$ 1,585,015	\$ 1,583,080	\$ 1,581,920	\$ 1,581,146	\$ 1,580,593	\$ 1,580,179	\$ 1,579,857	\$ 1,579,599
600	\$ 1,735,439	\$ 1,723,057	\$ 1,718,950	\$ 1,716,898	\$ 1,715,668	\$ 1,714,847	\$ 1,714,262	\$ 1,713,822	\$ 1,713,480	\$ 1,713,207
650	\$ 1,869,914	\$ 1,856,845	\$ 1,852,509	\$ 1,850,344	\$ 1,849,045	\$ 1,848,179	\$ 1,847,561	\$ 1,847,097	\$ 1,846,736	\$ 1,846,447
700	\$ 2,004,025	\$ 1,990,285	\$ 1,985,726	\$ 1,983,449	\$ 1,982,084	\$ 1,981,173	\$ 1,980,523	\$ 1,980,035	\$ 1,979,656	\$ 1,979,353
750	\$ 2,137,801	\$ 2,123,404	\$ 2,118,628	\$ 2,116,242	\$ 2,114,811	\$ 2,113,857	\$ 2,113,176	\$ 2,112,665	\$ 2,112,268	\$ 2,111,950
800	\$ 2,271,268	\$ 2,256,228	\$ 2,251,239	\$ 2,248,746	\$ 2,247,251	\$ 2,246,255	\$ 2,245,543	\$ 2,245,009	\$ 2,244,594	\$ 2,244,262
850	\$ 2,404,448	\$ 2,388,778	\$ 2,383,579	\$ 2,380,982	\$ 2,379,424	\$ 2,378,386	\$ 2,377,644	\$ 2,377,088	\$ 2,376,655	\$ 2,376,309
900	\$ 2,537,360	\$ 2,521,071	\$ 2,515,666	\$ 2,512,967	\$ 2,511,347	\$ 2,510,268	\$ 2,509,497	\$ 2,508,919	\$ 2,508,469	\$ 2,508,109
950	\$ 2,670,022	\$ 2,653,124	\$ 2,647,517	\$ 2,644,717	\$ 2,643,037	\$ 2,641,917	\$ 2,641,117	\$ 2,640,517	\$ 2,640,050	\$ 2,639,677
1,000	\$ 2,802,449	\$ 2,784,951	\$ 2,779,146	\$ 2,776,245	\$ 2,774,506	\$ 2,773,346	\$ 2,772,518	\$ 2,771,886	\$ 2,771,414	\$ 2,771,027
2,000	\$ 5,415,499	\$ 5,387,436	\$ 5,378,120	\$ 5,373,470	\$ 5,370,677	\$ 5,368,819	\$ 5,367,487	\$ 5,366,491	\$ 5,365,716	\$ 5,365,096
3,000	\$ 7,985,751	\$ 7,948,713	\$ 7,936,420	\$ 7,930,281	\$ 7,926,595	\$ 7,924,142	\$ 7,922,385	\$ 7,921,069	\$ 7,920,046	\$ 7,919,230
4,000	\$ 10,529,736	\$ 10,484,618	\$ 10,469,641	\$ 10,462,159	\$ 10,457,674	\$ 10,454,680	\$ 10,452,546	\$ 10,450,943	\$ 10,449,697	\$ 10,448,697
5,000	\$ 13,054,852	\$ 13,002,267	\$ 12,984,812	\$ 12,976,095	\$ 12,970,861	\$ 12,967,377	\$ 12,964,883	\$ 12,963,015	\$ 12,961,573	\$ 12,960,403
6,000	\$ 15,565,328	\$ 15,505,723	\$ 15,485,939	\$ 15,476,055	\$ 15,470,126	\$ 15,466,173	\$ 15,463,350	\$ 15,461,232	\$ 15,459,586	\$ 15,458,268
7,000	\$ 18,063,865	\$ 17,997,601	\$ 17,975,602	\$ 17,964,613	\$ 17,958,020	\$ 17,953,628	\$ 17,950,489	\$ 17,948,132	\$ 17,946,301	\$ 17,944,836
8,000	\$ 20,552,354	\$ 20,479,714	\$ 20,455,599	\$ 20,443,555	\$ 20,436,325	\$ 20,431,508	\$ 20,428,067	\$ 20,425,486	\$ 20,423,479	\$ 20,421,876
9,000	\$ 23,032,175	\$ 22,953,403	\$ 22,927,255	\$ 22,914,191	\$ 22,906,354	\$ 22,901,130	\$ 22,897,396	\$ 22,894,600	\$ 22,892,423	\$ 22,890,679
10,000	\$ 25,504,387	\$ 25,419,690	\$ 25,391,575	\$ 25,377,531	\$ 25,369,102	\$ 25,363,485	\$ 25,359,485	\$ 25,356,464	\$ 25,354,123	\$ 25,352,251

Capacidad/FC	COSTO DE AGUA DESALADA EN USD/m ³									
	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
50	\$ 5.3267	\$ 5.3107	\$ 5.3054	\$ 5.3028	\$ 5.3012	\$ 5.3001	\$ 5.2994	\$ 5.2988	\$ 5.2984	\$ 5.2980
100	\$ 3.2197	\$ 3.2067	\$ 3.2024	\$ 3.2002	\$ 3.1989	\$ 3.1981	\$ 3.1975	\$ 3.1970	\$ 3.1967	\$ 3.1964
150	\$ 2.5092	\$ 2.4977	\$ 2.4938	\$ 2.4919	\$ 2.4908	\$ 2.4900	\$ 2.4895	\$ 2.4891	\$ 2.4888	\$ 2.4885
200	\$ 2.1503	\$ 2.1397	\$ 2.1362	\$ 2.1344	\$ 2.1334	\$ 2.1327	\$ 2.1322	\$ 2.1318	\$ 2.1315	\$ 2.1313
250	\$ 1.9328	\$ 1.9229	\$ 1.9196	\$ 1.9196	\$ 1.9170	\$ 1.9164	\$ 1.9159	\$ 1.9155	\$ 1.9153	\$ 1.9151
300	\$ 1.7866	\$ 1.7772	\$ 1.7741	\$ 1.7725	\$ 1.7716	\$ 1.7710	\$ 1.7705	\$ 1.7702	\$ 1.7699	\$ 1.7697
350	\$ 1.6812	\$ 1.6722	\$ 1.6692	\$ 1.6677	\$ 1.6669	\$ 1.6663	\$ 1.6658	\$ 1.6655	\$ 1.6653	\$ 1.6651
400	\$ 1.6015	\$ 1.5929	\$ 1.5900	\$ 1.5886	\$ 1.5877	\$ 1.5871	\$ 1.5867	\$ 1.5864	\$ 1.5862	\$ 1.5860
450	\$ 1.5390	\$ 1.5306	\$ 1.5279	\$ 1.5265	\$ 1.5257	\$ 1.5251	\$ 1.5247	\$ 1.5244	\$ 1.5242	\$ 1.5240
500	\$ 1.4886	\$ 1.4805	\$ 1.4778	\$ 1.4765	\$ 1.4757	\$ 1.4751	\$ 1.4748	\$ 1.4745	\$ 1.4742	\$ 1.4741
550	\$ 1.4471	\$ 1.4392	\$ 1.4366	\$ 1.4353	\$ 1.4345	\$ 1.4340	\$ 1.4336	\$ 1.4333	\$ 1.4331	\$ 1.4329
600	\$ 1.4122	\$ 1.4045	\$ 1.4019	\$ 1.4007	\$ 1.3999	\$ 1.3994	\$ 1.3990	\$ 1.3988	\$ 1.3985	\$ 1.3984
650	\$ 1.3824	\$ 1.3749	\$ 1.3724	\$ 1.3712	\$ 1.3704	\$ 1.3699	\$ 1.3696	\$ 1.3693	\$ 1.3691	\$ 1.3690
700	\$ 1.3568	\$ 1.3494	\$ 1.3470	\$ 1.3458	\$ 1.3450	\$ 1.3445	\$ 1.3442	\$ 1.3439	\$ 1.3437	\$ 1.3436
750	\$ 1.3343	\$ 1.3271	\$ 1.3247	\$ 1.3236	\$ 1.3228	\$ 1.3224	\$ 1.3220	\$ 1.3218	\$ 1.3216	\$ 1.3214
800	\$ 1.3146	\$ 1.3075	\$ 1.3052	\$ 1.3040	\$ 1.3033	\$ 1.3028	\$ 1.3025	\$ 1.3023	\$ 1.3021	\$ 1.3019
850	\$ 1.2971	\$ 1.2901	\$ 1.2878	\$ 1.2866	\$ 1.2860	\$ 1.2855	\$ 1.2852	\$ 1.2849	\$ 1.2847	\$ 1.2846
900	\$ 1.2814	\$ 1.2745	\$ 1.2722	\$ 1.2711	\$ 1.2704	\$ 1.2700	\$ 1.2697	\$ 1.2694	\$ 1.2692	\$ 1.2691
950	\$ 1.2672	\$ 1.2605	\$ 1.2582	\$ 1.2571	\$ 1.2565	\$ 1.2560	\$ 1.2557	\$ 1.2555	\$ 1.2553	\$ 1.2551
1,000	\$ 1.2544	\$ 1.2478	\$ 1.2456	\$ 1.2445	\$ 1.2438	\$ 1.2434	\$ 1.2431	\$ 1.2428	\$ 1.2426	\$ 1.2425
2,000	\$ 1.1264	\$ 1.1209	\$ 1.1191	\$ 1.1182	\$ 1.1177	\$ 1.1173	\$ 1.1171	\$ 1.1169	\$ 1.1167	\$ 1.1166
3,000	\$ 1.0786	\$ 1.0738	\$ 1.0721	\$ 1.0713	\$ 1.0709	\$ 1.0705	\$ 1.0703	\$ 1.0701	\$ 1.0700	\$ 1.0699
4,000	\$ 1.0524	\$ 1.0479	\$ 1.0464	\$ 1.0457	\$ 1.0452	\$ 1.0449	\$ 1.0447	\$ 1.0446	\$ 1.0445	\$ 1.0444
5,000	\$ 1.0354	\$ 1.0311	\$ 1.0297	\$ 1.0290	\$ 1.0286	\$ 1.0283	\$ 1.0281	\$ 1.0280	\$ 1.0279	\$ 1.0278
6,000	\$ 1.0231	\$ 1.0191	\$ 1.0177	\$ 1.0171	\$ 1.0167	\$ 1.0164	\$ 1.0162	\$ 1.0161	\$ 1.0160	\$ 1.0159
7,000	\$ 1.0138	\$ 1.0099	\$ 1.0086	\$ 1.0080	\$ 1.0076	\$ 1.0073	\$ 1.0071	\$ 1.0070	\$ 1.0069	\$ 1.0068
8,000	\$ 1.0063	\$ 1.0026	\$ 1.0013	\$ 1.0007	\$ 1.0003	\$ 1.0001	\$ 0.9999	\$ 0.9998	\$ 0.9997	\$ 0.9996
9,000	\$ 1.0002	\$ 0.9965	\$ 0.9953	\$ 0.9947	\$ 0.9944	\$ 0.9941	\$ 0.9940	\$ 0.9938	\$ 0.9937	\$ 0.9937
10,000	\$ 0.9950	\$ 0.9914	\$ 0.9903	\$ 0.9897	\$ 0.9893	\$ 0.9891	\$ 0.9890	\$ 0.9888	\$ 0.9887	\$ 0.9887

Capacidad/FC	TIR vs Capacidad									
	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
50	#jNUM!	#jNUM!	#jNUM!	#jNUM!	#iNUM!	#iNUM!	#iNUM!	#iNUM!	#iNUM!	#jNUM!
100	#jNUM!	#jNUM!	#jNUM!	#jNUM!	#iNUM!	#jNUM!	#iNUM!	#iNUM!	#iNUM!	#jNUM!
150	#jNUM!	#jNUM!	#jNUM!	#jNUM!	#iNUM!	#jNUM!	#iNUM!	#iNUM!	#iNUM!	#jNUM!
200	#jNUM!	#jNUM!	#jNUM!	#jNUM!	#iNUM!	#jNUM!	#iNUM!	#iNUM!	#iNUM!	#jNUM!
250	#jNUM!	#jNUM!	#jNUM!	#jNUM!	#iNUM!	#jNUM!	#iNUM!	#iNUM!	#iNUM!	#jNUM!
300	3.793%	3.922%	3.965%	3.987%	4.000%	4.009%	4.015%	4.019%	4.023%	4.026%
350	8.424%	8.551%	8.593%	8.614%	8.627%	8.636%	8.642%	8.646%	8.650%	8.653%
400	11.108%	11.238%	11.281%	11.303%	11.316%	11.325%	11.331%	11.336%	11.339%	11.342%
450	12.988%	13.119%	13.164%	13.186%	13.199%	13.208%	13.214%	13.219%	13.222%	13.225%
500	14.409%	14.542%	14.587%	14.609%	14.623%	14.632%	14.638%	14.643%	14.647%	14.650%
550	15.534%	15.669%	15.714%	15.736%	15.750%	15.759%	15.765%	15.770%	15.774%	15.777%
600	16.454%	16.589%	16.634%	16.657%	16.671%	16.680%	16.686%	16.691%	16.695%	16.698%
650	17.223%	17.358%	17.404%	17.426%	17.440%	17.449%	17.456%	17.460%	17.464%	17.467%
700	17.877%	18.013%	18.058%	18.081%	18.095%	18.104%	18.110%	18.115%	18.119%	18.122%
750	18.443%	18.578%	18.624%	18.646%	18.660%	18.669%	18.676%	18.681%	18.684%	18.687%
800	18.937%	19.073%	19.118%	19.140%	19.154%	19.163%	19.170%	19.174%	19.178%	19.181%
850	19.373%	19.509%	19.554%	19.576%	19.590%	19.599%	19.606%	19.610%	19.614%	19.617%
900	19.762%	19.897%	19.942%	19.965%	19.978%	19.987%	19.994%	19.998%	20.002%	20.005%
950	20.111%	20.245%	20.290%	20.313%	20.326%	20.335%	20.342%	20.347%	20.350%	20.353%
1,000	20.426%	20.560%	20.605%	20.627%	20.641%	20.650%	20.656%	20.661%	20.665%	20.668%
2,000	23.556%	23.679%	23.720%	23.741%	23.753%	23.761%	23.767%	23.772%	23.775%	23.778%
3,000	24.734%	24.849%	24.887%	24.906%	24.918%	24.926%	24.931%	24.935%	24.938%	24.941%
4,000	25.391%	25.500%	25.536%	25.554%	25.565%	25.572%	25.577%	25.581%	25.584%	25.586%
5,000	25.825%	25.928%	25.963%	25.980%	25.990%	25.997%	26.002%	26.006%	26.009%	26.011%
6,000	26.139%	26.239%	26.272%	26.289%	26.299%	26.306%	26.310%	26.314%	26.317%	26.319%
7,000	26.382%	26.479%	26.511%	26.527%	26.537%	26.543%	26.548%	26.551%	26.554%	26.556%
8,000	26.578%	26.672%	26.703%	26.719%	26.728%	26.734%	26.739%	26.742%	26.745%	26.747%
9,000	26.741%	26.832%	26.863%	26.878%	26.887%	26.893%	26.897%	26.901%	26.903%	26.905%
10,000	26.879%	26.968%	26.998%	27.013%	27.022%	27.028%	27.032%	27.035%	27.038%	27.040%

Capacidad/FC	VPN vs Capacidad									
	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
50	-\$ 25,127,082	-\$ 25,077,469	-\$ 25,061,077	-\$ 25,052,895	-\$ 25,047,994	-\$ 25,044,729	-\$ 25,042,398	-\$ 25,040,650	-\$ 25,039,291	-\$ 25,038,204
100	-\$ 21,063,820	-\$ 20,986,559	-\$ 20,961,004	-\$ 20,948,259	-\$ 20,940,616	-\$ 20,935,519	-\$ 20,931,880	-\$ 20,929,156	-\$ 20,927,039	-\$ 20,925,343
150	-\$ 16,933,258	-\$ 16,832,281	-\$ 16,798,859	-\$ 16,782,190	-\$ 16,772,195	-\$ 16,765,534	-\$ 16,760,774	-\$ 16,757,212	-\$ 16,754,438	-\$ 16,752,220
200	-\$ 12,762,487	-\$ 12,640,011	-\$ 12,599,476	-\$ 12,579,246	-\$ 12,567,119	-\$ 12,559,033	-\$ 12,553,267	-\$ 12,548,935	-\$ 12,545,574	-\$ 12,542,878
250	-\$ 8,648,001	-\$ 8,525,087	-\$ 8,484,411	-\$ 8,484,411	-\$ 8,451,940	-\$ 8,443,830	-\$ 8,438,043	-\$ 8,433,698	-\$ 8,430,321	-\$ 8,427,623
300	-\$ 5,935,312	-\$ 5,807,436	-\$ 5,765,113	-\$ 5,743,984	-\$ 5,731,318	-\$ 5,722,878	-\$ 5,716,851	-\$ 5,712,332	-\$ 5,708,819	-\$ 5,706,009
350	-\$ 3,722,727	-\$ 3,580,894	-\$ 3,533,945	-\$ 3,510,509	-\$ 3,496,459	-\$ 3,487,096	-\$ 3,480,412	-\$ 3,475,397	-\$ 3,471,498	-\$ 3,468,381
400	-\$ 1,509,099	-\$ 1,353,786	-\$ 1,302,351	-\$ 1,276,701	-\$ 1,261,316	-\$ 1,251,061	-\$ 1,243,741	-\$ 1,238,248	-\$ 1,233,978	-\$ 1,230,562
450	\$ 714,447	\$ 882,773	\$ 938,500	\$ 966,317	\$ 982,993	\$ 994,106	\$ 1,002,041	\$ 1,007,992	\$ 1,012,618	\$ 1,016,320
500	\$ 2,946,643	\$ 3,127,573	\$ 3,187,476	\$ 3,217,374	\$ 3,235,299	\$ 3,247,244	\$ 3,255,775	\$ 3,262,171	\$ 3,267,143	\$ 3,271,125
550	\$ 5,186,496	\$ 5,379,673	\$ 5,443,632	\$ 5,475,554	\$ 5,494,693	\$ 5,507,447	\$ 5,516,553	\$ 5,523,385	\$ 5,528,696	\$ 5,532,943
600	\$ 7,433,203	\$ 7,638,318	\$ 7,706,224	\$ 7,740,120	\$ 7,760,439	\$ 7,773,981	\$ 7,783,654	\$ 7,790,904	\$ 7,796,546	\$ 7,801,057
650	\$ 9,686,103	\$ 9,902,877	\$ 9,974,642	\$ 10,010,463	\$ 10,031,942	\$ 10,046,254	\$ 10,056,472	\$ 10,064,138	\$ 10,070,096	\$ 10,074,864
700	\$ 11,944,655	\$ 12,172,833	\$ 12,248,380	\$ 12,286,084	\$ 12,308,691	\$ 12,323,756	\$ 12,334,514	\$ 12,342,581	\$ 12,348,855	\$ 12,353,876
750	\$ 14,208,395	\$ 14,447,754	\$ 14,527,000	\$ 14,566,553	\$ 14,590,267	\$ 14,606,070	\$ 14,617,355	\$ 14,625,818	\$ 14,632,401	\$ 14,637,663
800	\$ 16,476,932	\$ 16,727,261	\$ 16,810,141	\$ 16,851,504	\$ 16,876,305	\$ 16,892,834	\$ 16,904,634	\$ 16,913,487	\$ 16,920,367	\$ 16,925,875
850	\$ 18,749,922	\$ 19,011,032	\$ 19,097,476	\$ 19,140,620	\$ 19,166,489	\$ 19,183,727	\$ 19,196,038	\$ 19,205,271	\$ 19,212,450	\$ 19,218,192
900	\$ 21,027,056	\$ 21,298,771	\$ 21,388,726	\$ 21,433,624	\$ 21,460,545	\$ 21,478,483	\$ 21,491,293	\$ 21,500,899	\$ 21,508,369	\$ 21,514,345
950	\$ 23,308,085	\$ 23,590,243	\$ 23,683,651	\$ 23,730,272	\$ 23,758,226	\$ 23,776,851	\$ 23,790,156	\$ 23,800,128	\$ 23,807,885	\$ 23,814,090
1,000	\$ 25,592,774	\$ 25,885,210	\$ 25,982,027	\$ 26,030,347	\$ 26,059,320	\$ 26,078,626	\$ 26,092,411	\$ 26,102,565	\$ 26,110,789	\$ 26,117,220
2,000	\$ 71,836,699	\$ 72,312,977	\$ 72,470,567	\$ 72,549,285	\$ 72,596,402	\$ 72,627,877	\$ 72,650,273	\$ 72,667,102	\$ 72,680,189	\$ 72,690,658
3,000	\$ 118,744,266	\$ 119,379,725	\$ 119,589,997	\$ 119,694,973	\$ 119,757,829	\$ 119,799,792	\$ 119,829,675	\$ 119,852,119	\$ 119,869,572	\$ 119,883,580
4,000	\$ 166,059,521	\$ 166,840,194	\$ 167,098,430	\$ 167,227,308	\$ 167,304,611	\$ 167,356,041	\$ 167,392,847	\$ 167,420,410	\$ 167,441,845	\$ 167,458,943
5,000	\$ 213,667,119	\$ 214,583,651	\$ 214,886,812	\$ 215,038,120	\$ 215,128,743	\$ 215,189,205	\$ 215,232,297	\$ 215,264,644	\$ 215,289,995	\$ 215,309,968
6,000	\$ 261,501,942	\$ 262,547,325	\$ 262,893,037	\$ 263,065,519	\$ 263,168,907	\$ 263,237,795	\$ 263,286,983	\$ 263,323,865	\$ 263,352,547	\$ 263,375,489
7,000	\$ 309,521,975	\$ 310,690,685	\$ 311,077,078	\$ 311,269,872	\$ 311,385,430	\$ 311,462,474	\$ 311,517,450	\$ 311,558,625	\$ 311,590,681	\$ 311,616,322
8,000	\$ 357,697,917	\$ 358,985,413	\$ 359,411,048	\$ 359,623,454	\$ 359,750,689	\$ 359,835,494	\$ 359,896,047	\$ 359,941,450	\$ 359,976,757	\$ 360,005,047
9,000	\$ 406,008,231	\$ 407,410,799	\$ 407,874,474	\$ 408,105,774	\$ 408,244,407	\$ 408,336,773	\$ 408,402,677	\$ 408,452,175	\$ 408,490,629	\$ 408,521,339
10,000	\$ 454,436,491	\$ 455,950,912	\$ 456,451,510	\$ 456,701,265	\$ 456,850,880	\$ 456,950,595	\$ 457,022,033	\$ 457,075,172	\$ 457,116,684	\$ 457,149,889

Capacidad/FC	B/C vs Capacidad									
	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
50	-17.2598473	-17.4643852	-17.5331351	-17.5676155	-17.5883609	-17.6022112	-17.6121149	-17.6195481	-17.6253329	-17.629963
100	-7.37340996	-7.45113561	-7.47726416	-7.49038765	-7.4982752	-7.50353553	-7.50729808	-7.51012757	-7.51233313	-7.51409372
150	-3.28682649	-3.31765823	-3.32802038	-3.3332287	-3.33635941	-3.33844982	-3.33994165	-3.34106663	-3.34193986	-3.34263879
200	-1.02750655	-1.0351162	-1.03768525	-1.03897725	-1.03975501	-1.04027284	-1.04064634	-1.04092364	-1.04114269	-1.04131482
250	0.41052147	0.41434405	0.41561028	0.41561028	0.41662234	0.41687486	0.41705408	0.41719039	0.41729554	0.41737856
300	1.24108879	1.25000789	1.25298495	1.25447731	1.25537309	1.25597066	1.25639772	1.25671813	1.25696685	1.25716604
350	1.71674502	1.72925082	1.73343068	1.73552532	1.73678334	1.7376227	1.73822218	1.7386727	1.7390229	1.73930274
400	2.07930385	2.09433121	2.09935845	2.1018738	2.10338576	2.10439509	2.10511593	2.10565737	2.10607839	2.1064153
450	2.36814444	2.38500537	2.39064334	2.39346812	2.39516494	2.39629709	2.39710627	2.39771342	2.39818556	2.39856359
500	2.60410251	2.62232942	2.62842397	2.63147706	2.63331119	2.63453495	2.63540958	2.63606587	2.63657627	2.63698509
550	2.80078819	2.82005207	2.8264928	2.82971928	2.83165747	2.83295068	2.83387478	2.83456846	2.83510805	2.83553966
600	2.96747775	2.98754086	2.99424774	2.9976076	2.99962574	3.00097236	3.00193495	3.00265694	3.00321896	3.00366857
650	3.11071744	3.13140305	3.13831719	3.14178076	3.14386146	3.1452496	3.14624158	3.14698612	3.14756517	3.14802864
700	3.23526291	3.25643714	3.26351423	3.267059	3.26918836	3.27060904	3.27162439	3.27238623	3.27297897	3.27345341
750	3.34465455	3.3662144	3.37341951	3.37702842	3.37919621	3.3806425	3.38167616	3.38245172	3.38305524	3.383538
800	3.44158324	3.46344832	3.47075472	3.4744141	3.4766122	3.47807879	3.47912679	3.47991327	3.48052502	3.4810147
850	3.52813304	3.55023935	3.55762548	3.56132476	3.56354677	3.56502921	3.56608867	3.56688367	3.56750214	3.56799705
900	3.6059421	3.62823871	3.63568778	3.63941846	3.64165933	3.64315428	3.64422268	3.6450243	3.64564798	3.64614705
950	3.67631856	3.69876425	3.70626236	3.71001744	3.71227294	3.71377758	3.71485301	3.71565978	3.71628752	3.71678984
1,000	3.74031843	3.76287936	3.77041544	3.77418937	3.77645613	3.77796835	3.77904901	3.77985497	3.78049072	3.78099553
2,000	4.39365723	4.4159952	4.42344679	4.42717719	4.42941661	4.43091095	4.43197818	4.43277911	4.43340221	4.43390079
3,000	4.64464297	4.66593951	4.67303866	4.67659128	4.67872392	4.68014659	4.68116285	4.68192537	4.68251856	4.68299337
4,000	4.78446227	4.8048368	4.81162487	4.81502102	4.81705984	4.81841943	4.81939102	4.82011981	4.82068674	4.82114025
5,000	4.87640787	4.89601296	4.90254212	4.90580827	4.90776869	4.90907618	4.91001025	4.91071098	4.91125639	4.9116923
6,000	4.94287351	4.96183292	4.9681447	4.97130167	4.97319656	4.9744602	4.97536299	4.9760402	4.97656701	4.97698851
7,000	4.99394963	5.01235693	5.01848339	5.0215474	5.02338636	5.0246127	5.0254888	5.02614595	5.02665716	5.02706618
8,000	5.03490653	5.05283597	5.05880203	5.06178555	5.06357608	5.06477006	5.06562306	5.06626291	5.06676063	5.06715888
9,000	5.06879416	5.08630402	5.09212931	5.09504214	5.09679024	5.09795587	5.09878858	5.09941324	5.09989912	5.10028784
10,000	5.09751179	5.11464896	5.12034922	5.12319934	5.12490972	5.1260502	5.12686505	5.12747605	5.12795143	5.12833177

Capacidad/FC	ROI vs Capacidad									
	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
50	-90.11%	-91.12%	-91.47%	-91.64%	-91.74%	-91.81%	-91.86%	-91.89%	-91.92%	-91.95%
100	-41.17%	-41.55%	-41.68%	-41.75%	-41.79%	-41.81%	-41.83%	-41.85%	-41.86%	-41.86%
150	-20.94%	-21.09%	-21.14%	-21.16%	-21.18%	-21.19%	-21.20%	-21.20%	-21.21%	-21.21%
200	-9.75%	-9.79%	-9.80%	-9.80%	-9.81%	-9.81%	-9.81%	-9.81%	-9.81%	-9.82%
250	-2.63%	-2.61%	-2.60%	-2.60%	-2.60%	-2.59%	-2.59%	-2.59%	-2.59%	-2.59%
300	1.48%	1.52%	1.54%	1.54%	1.55%	1.55%	1.55%	1.56%	1.56%	1.56%
350	3.82%	3.88%	3.90%	3.91%	3.92%	3.93%	3.93%	3.93%	3.93%	3.93%
400	5.61%	5.68%	5.71%	5.72%	5.73%	5.73%	5.74%	5.74%	5.74%	5.74%
450	7.03%	7.11%	7.14%	7.16%	7.16%	7.17%	7.17%	7.18%	7.18%	7.18%
500	8.19%	8.28%	8.31%	8.33%	8.34%	8.34%	8.35%	8.35%	8.35%	8.36%
550	9.16%	9.26%	9.29%	9.31%	9.31%	9.32%	9.33%	9.33%	9.33%	9.33%
600	9.98%	10.08%	10.12%	10.13%	10.14%	10.15%	10.15%	10.16%	10.16%	10.16%
650	10.69%	10.79%	10.83%	10.84%	10.85%	10.86%	10.87%	10.87%	10.87%	10.87%
700	11.30%	11.41%	11.44%	11.46%	11.47%	11.48%	11.48%	11.49%	11.49%	11.49%
750	11.84%	11.95%	11.98%	12.00%	12.01%	12.02%	12.03%	12.03%	12.03%	12.04%
800	12.32%	12.43%	12.46%	12.48%	12.49%	12.50%	12.51%	12.51%	12.51%	12.52%
850	12.75%	12.86%	12.89%	12.91%	12.92%	12.93%	12.94%	12.94%	12.94%	12.94%
900	13.13%	13.24%	13.28%	13.30%	13.31%	13.31%	13.32%	13.32%	13.33%	13.33%
950	13.48%	13.59%	13.63%	13.64%	13.66%	13.66%	13.67%	13.67%	13.68%	13.68%
1,000	13.79%	13.90%	13.94%	13.96%	13.97%	13.98%	13.99%	13.99%	13.99%	13.99%
2,000	17.02%	17.13%	17.16%	17.18%	17.19%	17.20%	17.21%	17.21%	17.21%	17.22%
3,000	18.26%	18.36%	18.40%	18.42%	18.43%	18.43%	18.44%	18.44%	18.44%	18.45%
4,000	18.95%	19.05%	19.08%	19.10%	19.11%	19.12%	19.12%	19.13%	19.13%	19.13%
5,000	19.40%	19.50%	19.53%	19.55%	19.56%	19.57%	19.57%	19.57%	19.58%	19.58%
6,000	19.73%	19.83%	19.86%	19.87%	19.88%	19.89%	19.89%	19.90%	19.90%	19.90%
7,000	19.98%	20.08%	20.11%	20.12%	20.13%	20.14%	20.14%	20.15%	20.15%	20.15%
8,000	20.19%	20.28%	20.31%	20.32%	20.33%	20.34%	20.34%	20.34%	20.35%	20.35%
9,000	20.36%	20.44%	20.47%	20.49%	20.50%	20.50%	20.51%	20.51%	20.51%	20.51%
10,000	20.50%	20.58%	20.61%	20.63%	20.64%	20.641%	20.645%	20.648%	20.651%	20.653%

Capacidad/ FC	Tiempo de retorno en años.									
	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
50	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
100	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
150	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
200	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
250	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
300	20.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0
350	9.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
400	8.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
450	7.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
500	6.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
550	6.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
600	6.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
650	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
700	5.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
750	5.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
800	5.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
850	5.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
900	5.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
950	5.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
1,000	5.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
2,000	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
3,000	4.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
4,000	4.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
5,000	4.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
6,000	4.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
7,000	4.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
8,000	4.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
9,000	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
10,000	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0

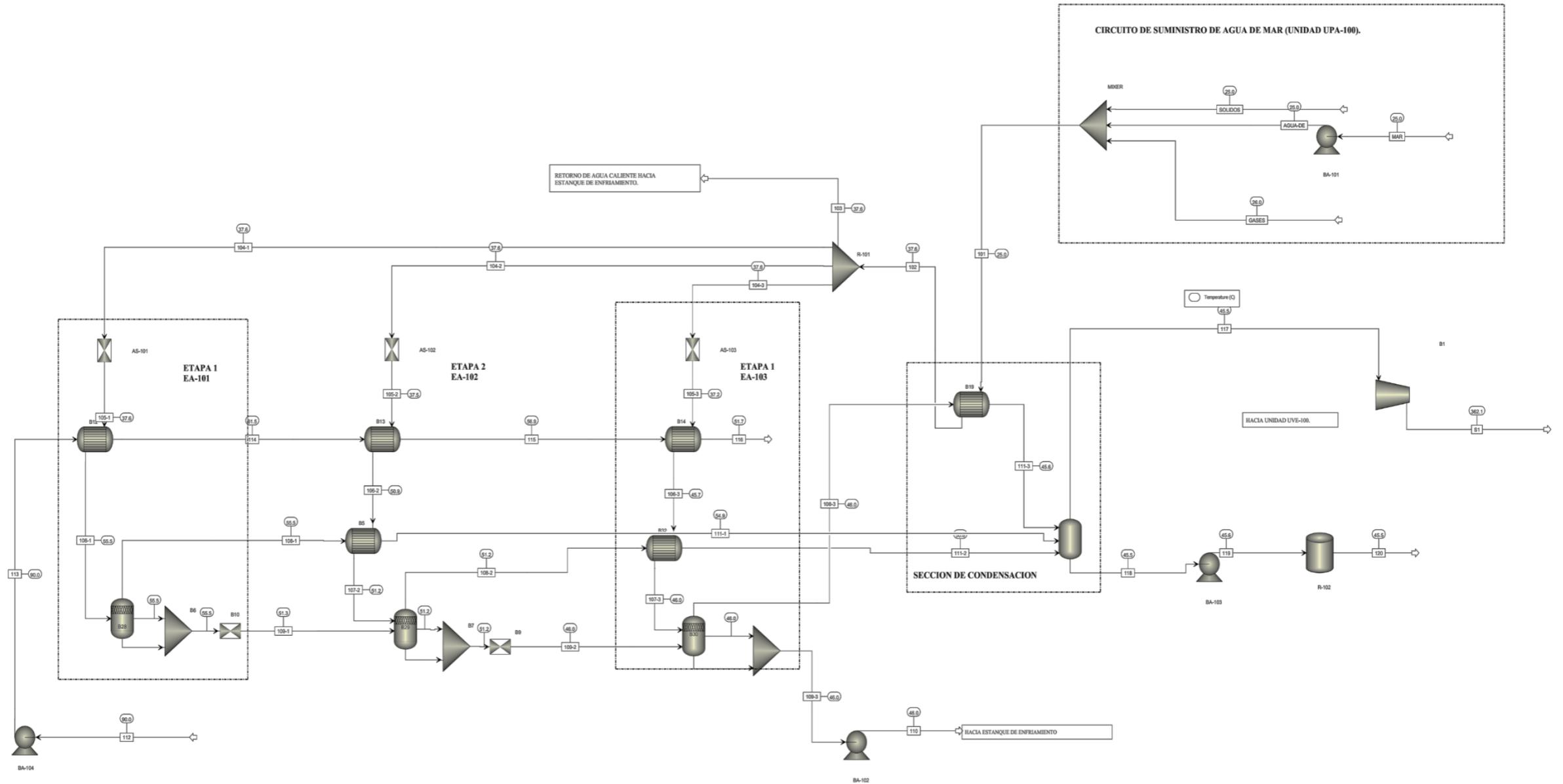
IX. UNIDADES MÍNIMAS EN EL PUNTO DE EQUILIBRIO

Capacidad/ FC	PUNTO DE EQUILIBRIO EN m ³ MENSUALES.									
	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
50	63,891	63,880	63,876	63,874	63,873	63,872	63,872	63,871	63,871	63,871
100	63,898	63,886	63,882	63,880	63,879	63,879	63,878	63,878	63,877	63,877
150	63,904	63,893	63,889	63,887	63,886	63,885	63,884	63,884	63,884	63,883
200	63,911	63,899	63,895	63,893	63,892	63,891	63,891	63,890	63,890	63,890
250	63,917	63,905	63,901	63,901	63,898	63,897	63,897	63,896	63,896	63,896
300	63,923	63,911	63,907	63,905	63,904	63,904	63,903	63,903	63,902	63,902
350	63,929	63,917	63,913	63,912	63,910	63,910	63,909	63,909	63,908	63,908
400	63,935	63,923	63,920	63,918	63,916	63,916	63,915	63,915	63,914	63,914
450	63,942	63,929	63,926	63,924	63,922	63,922	63,921	63,921	63,920	63,920
500	63,948	63,936	63,932	63,930	63,929	63,928	63,927	63,927	63,926	63,926
550	63,954	63,942	63,938	63,936	63,935	63,934	63,933	63,933	63,932	63,932
600	63,960	63,948	63,944	63,942	63,941	63,940	63,939	63,939	63,938	63,938
650	63,966	63,954	63,950	63,948	63,946	63,946	63,945	63,945	63,944	63,944
700	63,972	63,960	63,956	63,954	63,952	63,952	63,951	63,951	63,950	63,950
750	63,978	63,965	63,961	63,960	63,958	63,958	63,957	63,957	63,956	63,956
800	63,984	63,971	63,967	63,965	63,964	63,964	63,963	63,963	63,962	63,962
850	63,990	63,977	63,973	63,971	63,970	63,969	63,969	63,968	63,968	63,968
900	63,996	63,983	63,979	63,977	63,976	63,975	63,975	63,974	63,974	63,974
950	64,002	63,989	63,985	63,983	63,982	63,981	63,981	63,980	63,980	63,980
1,000	64,008	63,995	63,991	63,989	63,988	63,987	63,987	63,986	63,986	63,986
2,000	64,125	64,112	64,107	64,105	64,104	64,103	64,103	64,102	64,102	64,102
3,000	64,240	64,226	64,222	64,220	64,218	64,218	64,217	64,217	64,216	64,216
4,000	64,353	64,340	64,335	64,333	64,332	64,331	64,330	64,330	64,329	64,329
5,000	64,466	64,452	64,448	64,446	64,444	64,443	64,443	64,442	64,442	64,442
6,000	64,579	64,564	64,560	64,557	64,556	64,555	64,554	64,554	64,554	64,553
7,000	64,691	64,676	64,671	64,669	64,667	64,666	64,666	64,665	64,665	64,665
8,000	64,802	64,787	64,782	64,780	64,778	64,777	64,777	64,776	64,776	64,775
9,000	64,913	64,898	64,893	64,890	64,889	64,888	64,887	64,887	64,886	64,886
10,000	65,024	65,008	65,003	65,001	64,999	64,998	64,997	64,997	64,996	64,996

Capacidad/ FC	Volumen anual en m ³ .									
	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
50	766,697	766,556	766,510	766,488	766,475	766,466	766,460	766,455	766,451	766,448
100	766,776	766,634	766,588	766,566	766,552	766,543	766,537	766,532	766,529	766,526
150	766,853	766,710	766,664	766,642	766,628	766,619	766,613	766,608	766,605	766,602
200	766,929	766,786	766,740	766,717	766,703	766,694	766,688	766,683	766,679	766,676
250	767,004	766,860	766,814	766,814	766,778	766,768	766,762	766,757	766,754	766,751
300	767,078	766,934	766,888	766,865	766,851	766,842	766,836	766,831	766,827	766,824
350	767,152	767,008	766,961	766,938	766,924	766,915	766,909	766,904	766,900	766,897
400	767,226	767,081	767,034	767,011	766,997	766,988	766,982	766,977	766,973	766,970
450	767,299	767,154	767,107	767,084	767,070	767,061	767,054	767,049	767,046	767,043
500	767,372	767,226	767,179	767,156	767,142	767,133	767,126	767,122	767,118	767,115
550	767,445	767,298	767,251	767,228	767,214	767,205	767,198	767,194	767,190	767,187
600	767,517	767,370	767,323	767,300	767,286	767,277	767,270	767,265	767,262	767,258
650	767,589	767,442	767,395	767,372	767,358	767,348	767,342	767,337	767,333	767,330
700	767,662	767,514	767,467	767,443	767,429	767,420	767,413	767,408	767,404	767,401
750	767,733	767,586	767,538	767,514	767,500	767,491	767,484	767,480	767,476	767,473
800	767,805	767,657	767,609	767,586	767,572	767,562	767,556	767,551	767,547	767,544
850	767,877	767,728	767,680	767,657	767,642	767,633	767,626	767,622	767,618	767,615
900	767,948	767,799	767,751	767,727	767,713	767,704	767,697	767,692	767,688	767,685
950	768,019	767,870	767,822	767,798	767,784	767,775	767,768	767,763	767,759	767,756
1,000	768,090	767,941	767,893	767,869	767,855	767,845	767,839	767,834	767,830	767,827
2,000	769,494	769,338	769,288	769,264	769,249	769,239	769,232	769,227	769,223	769,219
3,000	770,875	770,714	770,662	770,637	770,621	770,611	770,604	770,599	770,594	770,591
4,000	772,241	772,076	772,023	771,996	771,981	771,970	771,963	771,957	771,953	771,949
5,000	773,598	773,428	773,373	773,346	773,330	773,319	773,312	773,306	773,302	773,298
6,000	774,946	774,773	774,717	774,689	774,672	774,661	774,653	774,648	774,643	774,639
7,000	776,288	776,111	776,054	776,025	776,008	775,997	775,989	775,983	775,978	775,975
8,000	777,625	777,444	777,385	777,356	777,339	777,328	777,319	777,313	777,309	777,305
9,000	778,957	778,773	778,713	778,683	778,666	778,654	778,646	778,639	778,634	778,631
10,000	780,285	780,097	780,036	780,006	779,988	779,976	779,968	779,961	779,956	779,952

Capacidad/ FC	Punto de equilibrio en valores mensuales MXN.									
	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
50	\$ 3,581,689.54	\$ 3,581,029.58	\$ 3,580,817.41	\$ 3,580,712.74	\$ 3,580,650.37	\$ 3,580,608.98	\$ 3,580,579.51	\$ 3,580,557.45	\$ 3,580,540.32	\$ 3,580,526.63
100	\$ 3,582,057.71	\$ 3,581,394.34	\$ 3,581,181.05	\$ 3,581,075.80	\$ 3,581,013.10	\$ 3,580,971.48	\$ 3,580,941.85	\$ 3,580,919.67	\$ 3,580,902.44	\$ 3,580,888.68
150	\$ 3,582,417.24	\$ 3,581,750.96	\$ 3,581,536.70	\$ 3,581,430.98	\$ 3,581,367.99	\$ 3,581,326.17	\$ 3,581,296.40	\$ 3,581,274.11	\$ 3,581,256.81	\$ 3,581,242.99
200	\$ 3,582,771.60	\$ 3,582,102.70	\$ 3,581,887.56	\$ 3,581,781.41	\$ 3,581,718.16	\$ 3,581,676.17	\$ 3,581,646.27	\$ 3,581,623.89	\$ 3,581,606.52	\$ 3,581,592.64
250	\$ 3,583,122.32	\$ 3,582,450.98	\$ 3,582,235.05	\$ 3,582,235.05	\$ 3,582,064.99	\$ 3,582,022.85	\$ 3,581,992.83	\$ 3,581,970.37	\$ 3,581,952.93	\$ 3,581,938.99
300	\$ 3,583,470.24	\$ 3,582,796.63	\$ 3,582,579.93	\$ 3,582,472.99	\$ 3,582,409.27	\$ 3,582,366.97	\$ 3,582,336.85	\$ 3,582,314.31	\$ 3,582,296.80	\$ 3,582,282.81
350	\$ 3,583,815.93	\$ 3,583,140.13	\$ 3,582,922.71	\$ 3,582,815.42	\$ 3,582,751.48	\$ 3,582,709.04	\$ 3,582,678.81	\$ 3,582,656.19	\$ 3,582,638.63	\$ 3,582,624.59
400	\$ 3,584,159.73	\$ 3,583,481.85	\$ 3,583,263.75	\$ 3,583,156.10	\$ 3,583,091.96	\$ 3,583,049.38	\$ 3,583,019.06	\$ 3,582,996.36	\$ 3,582,978.74	\$ 3,582,964.66
450	\$ 3,584,501.93	\$ 3,583,822.05	\$ 3,583,603.27	\$ 3,583,495.30	\$ 3,583,430.96	\$ 3,583,388.25	\$ 3,583,357.83	\$ 3,583,335.06	\$ 3,583,317.38	\$ 3,583,303.26
500	\$ 3,584,842.73	\$ 3,584,160.91	\$ 3,583,941.49	\$ 3,583,833.20	\$ 3,583,768.66	\$ 3,583,725.82	\$ 3,583,695.31	\$ 3,583,672.47	\$ 3,583,654.74	\$ 3,583,640.58
550	\$ 3,585,182.29	\$ 3,584,498.59	\$ 3,584,278.55	\$ 3,584,169.94	\$ 3,584,105.22	\$ 3,584,062.25	\$ 3,584,031.65	\$ 3,584,008.75	\$ 3,583,990.97	\$ 3,583,976.76
600	\$ 3,585,520.75	\$ 3,584,835.21	\$ 3,584,614.56	\$ 3,584,505.65	\$ 3,584,440.75	\$ 3,584,397.66	\$ 3,584,366.98	\$ 3,584,344.01	\$ 3,584,326.17	\$ 3,584,311.93
650	\$ 3,585,858.19	\$ 3,585,170.87	\$ 3,584,949.63	\$ 3,584,840.43	\$ 3,584,775.35	\$ 3,584,732.14	\$ 3,584,701.37	\$ 3,584,678.34	\$ 3,584,660.46	\$ 3,584,646.17
700	\$ 3,586,194.73	\$ 3,585,505.66	\$ 3,585,283.85	\$ 3,585,174.35	\$ 3,585,109.10	\$ 3,585,065.78	\$ 3,585,034.92	\$ 3,585,011.83	\$ 3,584,993.90	\$ 3,584,979.57
750	\$ 3,586,530.42	\$ 3,585,839.65	\$ 3,585,617.27	\$ 3,585,507.49	\$ 3,585,442.07	\$ 3,585,398.63	\$ 3,585,367.70	\$ 3,585,344.55	\$ 3,585,326.57	\$ 3,585,312.20
800	\$ 3,586,865.35	\$ 3,586,172.90	\$ 3,585,949.96	\$ 3,585,839.90	\$ 3,585,774.31	\$ 3,585,730.77	\$ 3,585,699.76	\$ 3,585,676.55	\$ 3,585,658.52	\$ 3,585,644.12
850	\$ 3,587,199.54	\$ 3,586,505.46	\$ 3,586,281.97	\$ 3,586,171.64	\$ 3,586,105.89	\$ 3,586,062.24	\$ 3,586,031.15	\$ 3,586,007.88	\$ 3,585,989.81	\$ 3,585,975.37
900	\$ 3,587,533.07	\$ 3,586,837.37	\$ 3,586,613.35	\$ 3,586,502.76	\$ 3,586,436.84	\$ 3,586,393.08	\$ 3,586,361.92	\$ 3,586,338.59	\$ 3,586,320.48	\$ 3,586,306.00
950	\$ 3,587,865.97	\$ 3,587,168.68	\$ 3,586,944.14	\$ 3,586,833.28	\$ 3,586,767.21	\$ 3,586,723.34	\$ 3,586,692.10	\$ 3,586,668.72	\$ 3,586,650.56	\$ 3,586,636.05
1,000	\$ 3,588,198.28	\$ 3,587,499.43	\$ 3,587,274.36	\$ 3,587,163.25	\$ 3,587,097.02	\$ 3,587,053.05	\$ 3,587,021.74	\$ 3,586,998.27	\$ 3,586,980.10	\$ 3,586,965.55
2,000	\$ 3,594,755.45	\$ 3,594,028.88	\$ 3,593,794.63	\$ 3,593,678.93	\$ 3,593,609.95	\$ 3,593,564.16	\$ 3,593,531.53	\$ 3,593,507.11	\$ 3,593,488.14	\$ 3,593,472.99
3,000	\$ 3,601,205.21	\$ 3,600,454.95	\$ 3,600,212.85	\$ 3,600,093.23	\$ 3,600,021.90	\$ 3,599,974.54	\$ 3,599,940.79	\$ 3,599,915.53	\$ 3,599,895.91	\$ 3,599,880.24
4,000	\$ 3,607,589.06	\$ 3,606,817.36	\$ 3,606,568.15	\$ 3,606,444.98	\$ 3,606,371.54	\$ 3,606,322.75	\$ 3,606,288.00	\$ 3,606,261.98	\$ 3,606,241.77	\$ 3,606,225.62
5,000	\$ 3,613,925.56	\$ 3,613,133.97	\$ 3,612,878.18	\$ 3,612,751.72	\$ 3,612,676.29	\$ 3,612,626.20	\$ 3,612,590.49	\$ 3,612,563.77	\$ 3,612,543.04	\$ 3,612,526.44
6,000	\$ 3,620,225.34	\$ 3,619,414.97	\$ 3,619,152.96	\$ 3,619,023.40	\$ 3,618,946.11	\$ 3,618,894.77	\$ 3,618,858.19	\$ 3,618,830.81	\$ 3,618,809.54	\$ 3,618,792.54
7,000	\$ 3,626,495.12	\$ 3,625,666.92	\$ 3,625,398.99	\$ 3,625,266.47	\$ 3,625,187.41	\$ 3,625,134.90	\$ 3,625,097.48	\$ 3,625,069.45	\$ 3,625,047.69	\$ 3,625,030.30
8,000	\$ 3,632,739.71	\$ 3,631,894.37	\$ 3,631,620.76	\$ 3,631,485.42	\$ 3,631,404.66	\$ 3,631,351.01	\$ 3,631,312.77	\$ 3,631,284.15	\$ 3,631,261.92	\$ 3,631,244.15
9,000	\$ 3,638,962.55	\$ 3,638,100.68	\$ 3,637,821.61	\$ 3,637,683.53	\$ 3,637,601.14	\$ 3,637,546.40	\$ 3,637,507.38	\$ 3,637,478.18	\$ 3,637,455.49	\$ 3,637,437.35
10,000	\$ 3,645,166.29	\$ 3,644,288.43	\$ 3,644,004.06	\$ 3,643,863.34	\$ 3,643,779.36	\$ 3,643,723.56	\$ 3,643,683.82	\$ 3,643,654.02	\$ 3,643,630.89	\$ 3,643,612.40

X. DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO DE LA DMG EN ASPEN PLUS



XI. BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA DE LA UNIDAD DMG

		BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA DE UNIDAD DESALADORA MODULAR																		No DE DOC:	DMG-P-BME-51-0001	REVISIÓN:	0
		BAJO CONDICIONES DE OPERACIÓN NOMINAL.																		UNIDAD:	UDM-100	PLANTA:	DMG
		FLUJO MOLAR DE COMPONENTES																		PÁGINA:	HOJA 1 DE 2	AÑO:	2019
CORRIENTE:																			CORRIENTE:				
DE:	101	102	103	104-1	104-2	104-3	105-1	105-2	105-3	108-1	108-2	108-3	109-1	109-2	109-3	110	111-1	111-2	111-3	DE:	CORRIENTE:		
HACIA:	BA-101	EA-104	R-101	R-101	R-101	R-101	AS-101	AS-102	AS-103	EA-101	EA-102	EA-103	EA-101	EA-102	EA-103	BA-102	EA-102	EA-103	EA-104	HACIA:	CORRIENTE:		
FASES:	Mezcla	Mezcla	Mezcla	Mezcla	Mezcla	Mezcla	Mezcla	Mezcla	Mezcla	Vapor	Vapor	Vapor	Mezcla	Mezcla	Mezcla	Liquid	Mixed	Mixed	Mixed	FASES:	CORRIENTE:		
COMPONENTE	UNIDADES	FLUJO MOLAR DE COMPONENTES																		UNIDADES	COMPONENTE		
H2O	[kmol/ hr]	17631.3000	17631.3000	13579.4000	1350.6100	1350.6100	1350.6100	1350.6100	1350.6100	1350.6100	462.312	476.905	524.572	888.301	1762.01	2588.13	2588.13	462.312	476.905	524.572	[kmol/ hr]	H2O	
NaCl	[kmol/ hr]	130.844000	130.844000	100.7750	10.0231	10.0231	10.0231	10.0231	10.0231	10.0231	3.61097E-24	1.78984E-24	7.93422E-25	10.0231	20.0462	30.0692	30.0692	3.61097E-24	1.78984E-24	7.93422E-25	[kmol/ hr]	NaCl	
MgCl2	[kmol/ hr]	16.73230000	16.73230000	12.8871	1.2818	1.2818	1.2818	1.2818	1.2818	1.2818	6.25992E-79	7.97696E-79	1.15917E-78	1.28175	2.5635	3.84526	3.84526	6.25992E-79	7.97696E-79	1.15917E-78	[kmol/ hr]	MgCl2	
Na2SO4	[kmol/ hr]	8.97244000	8.97244000	6.9105	0.6873	0.6873	0.6873	0.6873	0.6873	0.6873	2.322E-43	6.59097E-44	1.45018E-44	0.687319	1.37464	2.06196	2.06196	2.322E-43	6.59097E-44	1.45018E-44	[kmol/ hr]	Na2SO4	
CaCl2	[kmol/ hr]	3.15795000	3.15795000	2.4322	0.2419	0.2419	0.2419	0.2419	0.2419	0.2419	1.21973E-79	1.54636E-79	2.23516E-79	0.24191	0.483819	0.725729	0.725729	1.21973E-79	1.54636E-79	2.23516E-79	[kmol/ hr]	CaCl2	
KCl	[kmol/ hr]	2.99168000	2.99168000	2.3042	0.2292	0.2292	0.2292	0.2292	0.2292	0.2292	2.43718E-24	1.26667E-24	5.96161E-25	0.229173	0.458346	0.687518	0.687518	2.43718E-24	1.26667E-24	5.96161E-25	[kmol/ hr]	KCl	
NaHCO3	[kmol/ hr]	0.75855300	0.75855300	0.5842	0.0581	0.0581	0.0581	0.0581	0.0581	0.0581	2.83788E-80	3.61629E-80	5.25502E-80	0.0581077	0.116215	0.174323	0.174323	2.83788E-80	3.61629E-80	5.25502E-80	[kmol/ hr]	NaHCO3	
NaBr	[kmol/ hr]	0.29727100	0.29727100	0.2290	0.0228	0.0228	0.0228	0.0228	0.0228	0.0228	2.97086E-24	1.60758E-24	7.96167E-25	0.022772	0.0455439	0.0683159	0.0683159	2.97086E-24	1.60758E-24	7.96167E-25	[kmol/ hr]	NaBr	
N2	[kmol/ hr]	6.64969000	6.64969000	5.1215	0.5094	0.5094	0.5094	0.5094	0.5094	0.5094	0.509239	0.509287	0.509358	0.000149494	0.000250391	0.000280769	0.000280769	0.509239	0.509287	0.509358	[kmol/ hr]	N2	
O2	[kmol/ hr]	3.53265000	3.53265000	2.7208	0.2706	0.2706	0.2706	0.2706	0.2706	0.2706	0.270389	0.270458	0.270562	0.000223407	0.000377803	0.000428655	0.000428655	0.270389	0.270458	0.270562	[kmol/ hr]	O2	
CO2	[kmol/ hr]	0.16624200	0.16624200	0.1280	0.0127	0.0127	0.0127	0.0127	0.0127	0.0127	0.012668	0.0126618	0.0126652	0.000139573	0.000209097	0.000209097	0.000209097	0.012668	0.0126618	0.0126652	[kmol/ hr]	CO2	
Kr-He	[kmol/ hr]	0.04156050	0.04156050	0.0320	0.0032	0.0032	0.0032	0.0032	0.0032	0.0032	0.0031753	0.00317883	0.00318312	8.37226E-06	1.32147E-05	0.000013768	0.000013768	0.0031753	0.00317883	0.00318312	[kmol/ hr]	Kr-He	
FLUJO MOLAR	[kmol/ hr]	17805.4	17805.4000	13713.6000	1363.9500	1363.9500	1363.9500	1363.9500	1363.9500	1363.9500	463.108	477.701	525.368	900.846	1787.1	2625.76	2625.76	463.108	477.701	525.368	[kmol/ hr]	FLUJO MOLAR	
PROPIEDADES		UNIDADES	BALANCE TÉRMICO DE CORRIENTES																		UNIDADES	PROPIEDADES	
FLUJO MÁSCICO	[kg/ s]	91.4235	91.42	70.41	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	2.3201	2.3932	2.6317	4.6832	9.2934	13.6655	13.67	2.32	2.39	2.63	[kg/ s]	FLUJO MÁSCICO	
FLUJO VOLUMÉTRICO	[m3/ hr]	330.05	331.35	255.20	25.38	25.38	25.38	25.38	25.38	25.38	78973.85	98977.98	139262.92	17.08	33.83	49.64	49.63	7101.26	7909.86	35978.13	[m3/ hr]	FLUJO VOLUMÉTRICO	
TEMPERATURA	[°C]	25.04	37.64	37.64	37.64	37.64	37.64	37.64	37.58	37.48	37.23	55.5295	51.2405	46.0050	51.2730	46.0306	46.0050	46.03	54.87	50.56	45.64	[°C]	TEMPERATURA
PRESIÓN	[bar]abs	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	0.16	0.13	0.10	0.1600	0.1300	0.1000	0.1300	0.1000	0.1000	1.20	0.16	0.13	0.10	[bar]abs	PRESIÓN
FRACCIÓN DE GAS	[-]	0.034918	0.034918	0.034918	0.034918	0.034918	0.034918	0.034918	0.034918	0.034918	0.0028	0.0028	0.0025	0.0508	0.0512	0.0522	0.052237	0.002842	0.002756	0.002507	[-]	FRACCIÓN DE GAS	
FRACCIÓN DE LÍQUIDO	[-]	0.96508	0.96508	0.96508	0.96508	0.96508	0.96508	0.96508	0.96508	0.96508	0.9972	0.9972	0.9975	0.9492	0.9488	0.9478	0.94776	0.99716	0.99716	0.99749	[-]	FRACCIÓN DE LÍQUIDO	
SÓLIDOS DISUELTOS	[ppm]	33879.19901	33746.6641	33746.72790	33746.72308	33746.72308	33746.72308	33746.72308	33746.72308	33746.72308	0.0000	0.00000	0.00000	50137.78501	50633.93578	51770.24053	51773.06118	0.00000	0.00000	0.00000	[ppm]	SÓLIDOS DISUELTOS	
ENTALPIA MOLAR	[kCal/ kmol]	-68495.00	-68269.50	-68269.50	-68269.50	-68269.50	-68269.50	-68269.50	-68298.90	-68304.30	-68312.70	-57418.0000	-57455.0000	-57505.1000	-68127.6000	-68207.7000	-68309.9000	-68309.10	-66716.7000	-66895.8000	-65148.3000	[kCal/ kmol]	ENTALPIA MOLAR
ENTALPIA ESPECÍFICA	[kJ/ kg]	-15514.30	-15463.20	-15463.20	-15463.20	-15463.20	-15463.20	-15463.20	-15473.30	-15475.00	-15477.30	-13329.1000	-13338.1000	-13351.1000	-15240.8000	-15254.1000	-15264.9000	-15264.70	-15487.7000	-15529.8000	-15125.6000	[kJ/ kg]	ENTALPIA ESPECÍFICA
ENTALPIA TOTAL	[kW]	-1418370.00	-1413700.00	-1088820.00	-108294.00	-108294.00	-108294.00	-108294.00	-108270.00	-108255.00	-108215.00	-30925.0000	-31920.0000	-35135.8000	-71376.2000	#####	-208602.000	-208599.00	-35933.3000	-37165.0000	-39805.8000	[kW]	ENTALPIA TOTAL
ENTROPÍA MOLAR	[kCal/ kmol°C]	-38.47	-37.72	-37.72	-37.72	-37.72	-37.72	-37.72	-37.72	-37.74	-37.76	-6.1217	-5.8156	-5.4284	-36.5132	-36.7435	-37.0196	-37.00	-34.4328	-34.9390	-29.3909	[kCal/ kmol°C]	ENTROPÍA MOLAR
ENTROPÍA ESPECÍFICA	[kJ/ kg°C]	-8.71	-8.54	-8.54	-8.54	-8.54	-8.54	-8.54	-8.55	-8.55	-1.4211	-1.3501	-1.2603	-1.1684	-1.2174	-1.2726	-1.2726	-1.2726	-1.2726	-1.2726	-1.2726	[kJ/ kg°C]	ENTROPÍA ESPECÍFICA
DENSIDAD MOLAR	[kmol/ m3]	53.95	53.74	53.74	53.74	53.74	53.74	53.74	53.77	53.78	53.79	0.0059	0.0048	0.0038	0.6412	0.4136	52.8997	52.90	0.0652	0.0604	0.0146	[kmol/ m3]	DENSIDAD MOLAR
DENSIDAD	[kg/ m3]	997.19	993.29	993.29	993.29	993.29	993.29	993.29	993.29	993.29	993.29	0.1058	0.0870	0.0680	986.8460	988.8420	991.1170	991.17	1.1762	1.0892	0.2633	[kg/ m3]	DENSIDAD
PESOMOLAR APARENTE	[-]	18.48	18.48	18.48	18.48	18.48	18.48	18.48	18.48	18.48	18.48	18.0356	18.0350	18.0332	18.7153	18.7210	18.7358	18.74	18.0356	18.0350	18.0332	[-]	PESOMOLAR APARENTE

- NOTAS Y COMENTARIOS.**
- Para un mejor análisis y visualización de datos, este documento debe ser revisado junto con el archivo DMG-DP-DFP-0001 en su última revisión.
 - El fluido geotérmico se considera como agua pura durante el balance de materia y energía.
 - El balance de materia y energía es realizado en el caso de operación, para caso de diseño los equipos deberán tener un 10% arriba de los flujos del caso de operación.
 - Para el arranque de planta, se deberá tener una alimentación a las bombas de agua de manera auxiliar.
 - La composición de agua de mar, fue tomada de experimentación, como valores promedio (Ver documento DMG-DM-LPY-55-0001, en su última revisión).
 - La corriente No. 117, es la que alimentará a la unidad UVE-100, aquí se presenta la cantidad neta de gases no condensables.
 - Por parte de ingeniería civil, se debe considerar la construcción de un estanque de enfriamiento para las corrientes 103 y 110 antes de la inserción de la salmuera al lecho marino.
 - La cantidad de gases no condensables considerados en el circuito de suministro de agua de mar, es un 2% del flujo volumétrico del agua de mar.
 - No se reportan las corrientes internas de cada uno de los intercambiadores correspondientes a las etapas 1, 2, 3.
 - Para el diseño de las etapas 1, 2, 3 se deben considerar como parte del equipo evaporador las de las corrientes 105-1, 106-1, 105-2, 106-2, 105-3, 106-3 de manera interna.
 - Para el diseño del condensador se deberán considerar las preparaciones para la recepción de las corrientes 111-1, 111-2 de lado envolvente, así como el subenfriamiento especificado en los documentos DMG-DP-DFP-51-0001 y DMG-DP-FO-51-0001 en su última revisión.
 - Piernas de condensado, serán diseñadas por la disciplina de tuberías con una longitud equivalente al NPSH de las bombas de extracción.
 - El equipo R-101 es un cabezal de distribución, cada una de las corrientes que salgan de él deberán contar con válvulas de control (válvula-actuador) controladas por el flujo de la corriente 119-3.
 - El cabezal de distribución R-101, deberá contar con una válvula de alivio.
 - Todos los equipos que estén bajo una presión de operación nominal por debajo de la atmosférica, deberán ser diseñados para a vacío total (FV @ 150 °C).
 - El diseño de las líneas de tuberías, se realizará considerando convección natural alrededor de ella (velocidad igual a 0 m/s), y de acuerdo a la norma NOM-009-ENER-2014.
 - El contenido total de sólidos disueltos en el agua destilada (producto), es de 16 [ppm] de acuerdo a este documento (corriente 120).

