



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
ENERGIA – PROCESOS Y USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA

PROPUESTA DE UN CENTRO DE RECURSOS GEOTERMICOS

MODALIDAD DE GRADUACIÓN: TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
GERARDO RAMOS MERCADO

TUTOR PRINCIPAL
DR. HÉCTOR MIGUEL AVIÑA JIMÉNEZ INSTITUTO DE INGENIERÍA
CIUDAD DE MÉXICO, DICIEMBRE, 2021



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: Dr. Best y Brown Roberto

Secretario: Dr. León de los Santos Gabriel

1 er. Vocal: Dr. Aviña Jiménez Héctor Miguel

2 do. Vocal: M. en I. Clemente Reyes Abel

3 er. Vocal: M. en I. Sánchez Cifuentes Augusto

Lugar donde se realizó la tesis: INSTITUTO DE INGENIERIA, CIUDAD UNIVERSITARIA

TUTOR DE TESIS: HÉCTOR MIGUEL AVIÑA JIMÉNEZ

FIRMA

A mi familia

Cada decisión que se ha tomado me ha traído esta noche de invierno a escribir estas palabras, no podría sentirme más orgulloso de la familia tan privilegiada en la que nací, gracias por enseñarme a vivir con fuerza, pasión y dedicación. Por ustedes y para ustedes soy todo.

A mi universidad

El lugar que me ha dado tanto, desde la preparatoria, la licenciatura y hoy el posgrado, aquí encontré amor, conocimiento, sabiduría y mil regalos más, cada día que despierto me esfuerzo para estar a la altura de lo que simboliza y representa ser parte de esta extraordinaria comunidad.

A mi país

Realicé este trabajo con el objetivo de contribuir al menos un poco a mejorar la calidad de vida de las personas en esta nación, tan rica, pero incomprendida. La tierra que nos ha visto nacer, necesita de nosotros para crecer. Trabajemos juntos por el desarrollo de nuestra comunidad.

El fin de su existencia era vivir poéticamente, y él había sabido encontrar, con un sentido muy agudo, lo que en la vida hay de interesante, y había podido describir sus sensaciones, lo mismo que si fuera obra de imaginación de un poeta....

S. Kierkegaard

Die Forelle

In einem Bächlein helle,
Da schoß in froher Eil
Die launische Forelle
Vorüber wie ein Pfeil.
Ich stand an dem Gestade
Und sah in süßer Ruh
Des muntern Fischleins Bade
Im klaren Bächlein zu.

Ein Fischer mit der Rute
Wohl an dem Ufer stand,
Und sah's mit kaltem Blute,
Wie sich das Fischlein wand.
So lang dem Wasser Helle,
So dacht ich, nicht gebricht,
So fängt er die Forelle
Mit seiner Angel nicht.

Doch endlich ward dem Diebe
Die Zeit zu lang. Er macht
Das Bächlein tückisch trübe,
Und eh ich es gedacht,
So zuckte seine Rute,
Das Fischlein zappelt dran,
Und ich mit regem Blute
Sah die Betrogene an.

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), a la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), al Instituto de Ingeniería (IINGEN) y al grupo iiDEA, por su apoyo en la realización de esta tesis, cada una de estas instituciones en conjunto con sus extraordinarios colaboradores me apoyaron día a día con los recursos necesarios para el desarrollo de este trabajo de investigación, sin ellas todo esto no hubiera sido posible.

RESUMEN

La energía geotérmica es considerada una fuente renovable de energía que ha tenido una evolución estable y prolongada a lo largo de la historia de la humanidad, el ser humano ha coexistido con ella desde el inicio de las civilizaciones y ha tomado ventaja de sus todas bondades, desde los baños Olsen en Japón hasta las grandes centrales de ciclo binarios en Islandia, la energía geotermia ha tenido un papel importante en el desarrollo de las naciones y ha manteniendo ese ímpetu hasta hoy en día alrededor del mundo, a pesar de esta ventajosa situación global, en México el desarrollo de la industria geotérmica se ha visto estancado.

En el presente trabajo, a partir de un marco teórico sólido se busca determinar las aplicaciones directas de los recursos geotérmicos con mayor impacto económico y social en una comunidad aledaña a una manifestación geotérmica en México y con ello realizar la propuesta técnico-económica de un sistema que integre cada una de las aplicaciones seleccionadas. Finalmente, tomando como base esta propuesta y considerando indicadores económicos de proyectos en ingeniería se busca estimar la pre-viabilidad económica del sistema y compararla contra los proyectos convencionales de aprovechamiento de la energía geotérmica en este caso un sistema de generación de energía eléctrica conducido por vapor geotérmico.

Para alcanzar los objetivos mencionados anteriormente se han generado 5 capítulos que serán descritos de manera breve a continuación.

Capítulo 1 Marco teórico: Durante este capítulo se da un panorama general de lo que es la energía geotérmica, la capacidad alrededor del mundo y el desarrollo tecnológico a través de los centros de recursos geotérmicos y 4 usos directos, la refrigeración por absorción, secado y deshidratación de alimentos, acuacultura y usos para el ocio y recreación.

Capítulo 2 Estimación de la demanda, a lo largo de este capítulo se da un panorama particular de la situación de Mesillas, una localidad ubicada a escasos kilómetros de numerosas manifestaciones geotérmicas con potencial uso de aplicaciones directas en el estado de Nayarit, México. Adicionalmente, se realiza la selección de las aplicaciones y se estima la capacidad necesaria para generar un impacto positivo en la localidad y aumentar las probabilidades del éxito comercial del sistema.

Capítulo 3 Propuesta del centro de recursos geotérmicos, la generación de la propuesta técnica se genera en el presente capítulo, donde tomando como base las buenas prácticas para desarrollo de proyectos se genera la ingeniería básica y de detalle para un centro de recursos geotérmicos el cual se constituye de un sistema de refrigeración por absorción, un sistema de secado de café, un sistema acuícola, la generación de agua caliente de servicios y el uso de del agua geotérmica para el ocio y la recreación.

Capítulo 4 Evaluación del proyecto, el penúltimo capítulo consiste en la evaluación del proyecto. Considerando la capacidad del sistema en conjunto con la ingeniería que se desarrolla previamente en el capítulo inmediato anterior se estima la inversión inicial, los ingresos y

egresos del sistema, sentando las bases y aportando toda la información necesaria para el análisis del proyecto en el siguiente capítulo.

Capítulo 5 Análisis de datos y conclusiones, para finalizar, se realiza el análisis de los datos generados durante todo el documento y se expresan las conclusiones producto de los análisis, la información generada y recolectada durante toda la jornada.

Adicionalmente, y adjunto a este trabajo se podrán encontrar en la sección de anexos una cantidad importante de documentos de ingeniería, memorias de cálculo, hojas de datos de los equipos y la información de soporte que apoya el desarrollo de la presente tesis de grado.

Las conclusiones permiten tener bases sólidas para expresar la situación de la industria geotérmica en México y dar una propuesta para el cambio del paradigma con el que se han manejado las inversiones dirigidas hacia los recursos geotérmicos durante las últimas décadas, este cambio de visión implica el uso y el desarrollo tecnología de las aplicaciones directas con el objetivo promover el desarrollo económico, tecnológico y social en comunidades adyacentes estas fuentes de energía.

ÍNDICE

1	CAPÍTULO 1 MARCO TEÓRICO	18
1.1	Geotermia.....	18
1.2	Manifestaciones hidrotermales	19
1.2.1	Aguas termales ▪ Hot Springs.....	20
1.2.2	Alberca caliente ▪ Warm pool.....	21
1.2.3	Géiser ▪ Geyser	21
1.2.4	Tierra humeante ▪ Steaming ground.....	21
1.2.5	Suelo caliente ▪ Warm ground.....	21
1.2.6	Ventila de vapor ▪ Steam vent	21
1.2.7	Volcán de lodo o alberca de lodo ▪ Mud volcano.....	21
1.2.8	Chorro perpetuo ▪ Perpetual Spouter	21
1.2.9	Lago hidrotermal ▪ Hydrothermal Lake	22
1.2.10	Lago volcánico ▪ Volcanic Lake.....	22
1.2.11	Erupción hidrotermal ▪ Hydrothermal Eruption	22
1.3	Definición y clasificación de los recursos geotérmicos.....	22
1.4	Usos directos.....	23
1.5	Usos directos en el mundo	24
1.6	Concepto Centro de recursos geotérmicos (CRG).....	26
1.7	Pobreza energética en México	27
1.8	Geotermia y usos directos en México.....	28
1.9	Refrigeración	30
1.9.1	Aspectos generales de la refrigeración	31
1.9.2	Refrigeración en México	31
1.9.3	Sistemas de refrigeración por compresión de vapor.....	32
1.9.4	Sistemas de refrigeración por absorción.....	35
1.9.5	Descripción del ciclo de refrigeración por absorción de una etapa.....	36
1.9.6	Comparación de los sistemas de refrigeración por absorción y compresión mecánica.....	37
1.9.7	Sistemas de refrigeración por absorción conducidos con geotermia.....	39
1.10	Secado y deshidratación de alimentos.....	41
1.10.1	Agua en los alimentos	42

1.10.2	Aspectos generales del secado y deshidratación de alimentos	42
1.10.3	Deshidratación en México	42
1.10.4	Sistemas de deshidratación.....	43
1.10.5	Deshidratador de bandejas o armario	44
1.10.6	Deshidratación con geotermia	44
1.11	Acuacultura	44
1.11.1	Aspectos generales de la acuacultura	45
1.11.2	Acuacultura en México.....	46
1.11.3	Sistemas de acuacultura.....	47
1.11.4	Sistemas de acuacultura con tanque	47
1.11.5	Conservación	48
1.11.6	Acuacultura con geotermia.....	49
1.12	Uso de los recursos geotérmicos para la salud, la recreación y el bienestar	51
1.12.1	Aspectos generales del uso de las aguas termales minerales para la recreación, salud y bienestar.	53
1.12.2	Recreación salud y bienestar en México	55
1.12.3	Clasificación de las aguas termales minerales para su uso en recreación salud y bienestar.....	55
1.12.4	Casos de éxito e investigaciones recientes sobre los usos de los recursos geotérmicos para la salud, la recreación y el bienestar.....	57
1.12.5	Investigaciones recientes sobre los usos medicinales de la balneología.	58
2	CAPITULO 2 ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA DEL CRG.....	60
2.1	El Molote, Nayarit	60
2.2	Población	61
2.3	Actividades de interés en el ejido “Paso de Mesillas”	62
2.4	Principales preocupaciones de los habitantes	62
2.5	Selección de las aplicaciones.....	63
2.6	Estimación de capacidad del CRG.....	64
2.7	Estimación de la capacidad para recreación y bienestar	66
2.7.1	Visitantes esperados	68
2.7.2	Cálculo de la demanda de agua para albercas	69
2.8	Estimación para agua caliente de servicios.....	70
2.9	Estimación de capacidad para el proceso de acuacultura	72

2.10	Estimación de la capacidad para el sistema de secado de café	74
2.10.1	Cultivo de café en el ejido de paso de Mesillas, Nayarit.....	75
2.11	Estimación de la capacidad para refrigeración.....	76
2.11.1	Actividades dentro del desarrollo de un sistema de refrigeración.....	76
2.11.2	Alcance del sistema de refrigeración.....	77
2.12	Criterios de diseño y parámetros ambientales.....	77
2.13	Cálculo de la carga de enfriamiento.....	77
2.13.1	Características de la cámara	78
2.13.2	Ganancia de calor a través de las paredes (Q_{PTS})	78
2.13.3	Ganancia de calor por infiltración de aire en la cámara (Q_{ia}).....	80
2.13.4	Ganancia de calor por ingreso de personas (Q_p).....	80
2.13.5	Ganancia de calor debido a Iluminación (Q_I).....	81
2.13.6	Ganancia de calor por los productos (Q_{pro})	81
2.13.7	Calor por embalaje.....	81
2.14	Obtención de la carga total para la refrigeración	82
2.15	Resumen de capacidad del Centro de Recursos Geotérmicos.....	82
3	CAPÍTULO 3 PROPUESTA CENTRO DE RECURSOS GEOTÉRMICOS (CRG) .	83
3.1	Ingeniería conceptual.....	83
3.1.1	Memoria descriptiva.....	83
3.1.2	Diagrama de bloques	86
3.1.3	Balance general del sistema.....	86
3.1.4	Ecuaciones de balance	87
3.1.5	Requerimiento térmico del sistema para bienestar y recreación	87
3.1.6	Requerimiento térmico del sistema de Refrigeración.....	88
3.1.7	Requerimiento térmico secador de café.....	90
3.1.8	Requerimiento térmico para el agua de servicios.....	90
3.1.9	Requerimiento térmico para acuicultura.....	90
3.1.10	Almacenamiento de agua de reposición para acuicultura.....	93
3.1.1	Resumen de requerimientos térmicos del sistema.....	93
3.1.2	Balance de materia y energía.....	93
3.1.3	Diagrama de flujo de proceso.....	94
3.1.4	Filosofía de operación	94

3.2	Ingeniería básica	96
3.2.1	Intercambiadores de calor.....	97
3.2.2	Selección de bomba centrifugas	101
3.2.3	Selección de bomba de recirculación Bomb – 001.....	102
3.2.4	Memoria cálculo de tubería	104
3.2.5	Selección de tanques de reabastecimiento.....	107
3.2.6	Equipos principales Refrigeración.....	109
3.2.7	Equipos Principales Secado de café	112
3.2.8	Equipos principales acuacultura	114
3.2.9	Diagrama de tuberías e instrumentación	115
3.2.10	Instrumentos de control y accesorios.....	115
3.2.11	Simulaciones del proceso	119
3.2.12	Isométricos	119
4	CAPÍTULO 4 EVALUACION DEL PROYECTO	122
4.1	Evaluación de proyectos	122
4.2	Prefactibilidad.....	122
4.1	Ingresos por aplicación	123
4.1.1	Refrigeración	123
4.1.2	Secador	124
4.1.3	Acuacultura.....	124
4.1.4	Agua caliente de servicio.....	125
4.1.5	Recreación	126
4.1.1	Refrigeración	126
4.2	Inversión total	127
4.3	Estimación de inversión para la construcción.....	127
4.4	Estimación de inversión para equipos principales	128
4.5	Estimación de inversión para tubería.....	128
4.1	Estimación de inversión instrumentación	128
4.2	Determinación de costos	128
5	CAPÍTULO 5 ANÁLISIS DE DATOS Y CONCLUSIONES	128
5.1	Financiamiento.....	128
5.2	VPN	129

5.3	TIR	132
5.4	Análisis de resultados	132
5.4.1	Comparación del CRG con un proyecto geotermoeléctrica de 25 MW.	132
5.5	Conclusiones	135
6	BIBLIOGRAFÍA.....	138

INDICE DE TABLAS

TABLA 1 CLASIFICACIÓN DE LOS RECURSOS GEOTÉRMICOS (MUFFLER & CATALDI, 1978)...	22
TABLA 2 LÍDERES A NIVEL MUNDIAL EN USOS DIRECTOS DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA SIN CONSIDERAR BOMBAS DE CALOR (LUND & TOTH, 2020)	25
TABLA 3 LÍDERES A NIVEL MUNDIAL EN USOS DIRECTOS DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA CONSIDERANDO BOMBAS DE CALOR (LUND & TOTH, 2020)	25
TABLA 4 CAPACIDAD INSTALADA A NIVEL NACIONAL DE USOS DIRECTOS DEL CALOR GEOTÉRMICO (SECRETARÍA DE ENERGÍA , 2018).....	29
TABLA 5 MODIFICADO COMPARACIÓN ENTRE SISTEMAS DE COMPRESIÓN MECÁNICA Y ABSORCIÓN (SCHÖPFER, 2015)	38
TABLA 6 TIPOS DE SECADORES DIRECTOS MAUPOEY ET AL. (2016)	43
TABLA 7 EMPLEOS A NIVEL MUNDIAL REPORTADOS PARA ACUACULTURA POR REGIÓN (EN MILES) (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2020)....	46
TABLA 8 INSTALACIONES E INGRESO EN LA INDUSTRIA DE LAS AGUAS TERMALES (US\$ MILES DE MILLONES).....	54
TABLA 9 TOP 10 DE LOS MERCADOS DE AGUAS TERMALES	54
TABLA 10 PAÍSES LÍDERES EN LA REGIÓN DE LATINOAMÉRICA EN EL USO DE AGUAS TERMALES 2017 (GLOBAL WELLNESS INSTITUTE, 2020).....	55
TABLA 11 CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS MINEROMEDICINALES (UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE COMPOSTELA, 2017).....	56
TABLA 12 CONDICIONES TRATABLES CON AGUAS MINEROMEDICINALES DE ACUERDO A LA CONCENTRACIÓN MINERAL, MODIFICADO DE (SCHMIEDEL & MATTHIAS, 2017)	57
TABLA 13 LÍMITES PERMISIBLES DE PARÁMETROS FISIQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS, MÉTODO DE DETECCIÓN Y FRECUENCIA MÍNIMA DE MUESTREO DEL AGUA DE ALBERCA	70
TABLA 14 CONSUMO MÍNIMO DE AGUA POR HUÉSPED EN EL SECTOR TURÍSTICO (COMISIÓN NACIONAL PARA EL USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA, 2008)	71
TABLA 15 PERFIL DE DEMANDA ENERGÉTICA PARA AGUA CALIENTE DE SERVICIOS (ELABORACIÓN PROPIA)	72
TABLA 16 ESTIMACIÓN DE CONSUMO DE TILAPIA EN EL CRG (ELABORACIÓN PROPIA)	74
TABLA 17 RESUMEN DE CARGAS PARA EL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN (ELABORACIÓN PROPIA).....	82
TABLA 18 RESUMEN DE CAPACIDAD MÁXIMA POR MES DEL CRG (ELABORACIÓN PROPIA) ..	82
TABLA 19 RESUMEN ECUACIONES DE BALANCE DEL CENTRO DE RECURSOS GEOTÉRMICOS (ELABORACIÓN PROPIA)	87
TABLA 20 CONDICIONES PARA EL USO DE RECURSOS GEOTÉRMICOS PARA EL BIENESTAR Y LA RECREACIÓN (ELABORACIÓN PROPIA)	88
TABLA 21 RESUMEN DE PÉRDIDAS EN LOS ESTANQUES DE ACUACULTURA EN EL EJIDO DE PASO DE MESILLAS.....	92
TABLA 22 RESUMEN DE CARGAS	93
TABLA 23 RESUMEN DEL USO DE AGUA GEOTÉRMICA	94
TABLA 24 TEMPORALIDAD EN PRODUCCIÓN DE CAFÉ Y VISITANTES CON MOTIVO DE RECREACIÓN Y BIENESTAR.....	95

TABLA 25 KG DE TILAPIA DURANTE EL PRIMER AÑO DE PRODUCCIÓN.....	96
TABLA 26 SISTEMA DE UNIDADES UTILIZADO EN LA INGENIERÍA BÁSICA Y DE DETALLE	96
TABLA 27 IDENTIFICACIÓN DE LOS DOCUMENTOS	97
TABLA 28 PROPIEDADES DE LA CORRIENTE GEOTÉRMICA	98
TABLA 29 RESUMEN DE CARGAS DE LOS PROCESOS.....	99
TABLA 30 WFC-SC5TABLA DE ESPECIFICACIONES.....	110
TABLA 31 TABLA DE ESPECIFICACIONES VENTILADOR CMI-760-7	113
TABLA 32 PUNTOS DE MEDICIÓN EN EL PROCESO	115
TABLA 33 INGRESOS ESTIMADOS DEL SECADOR DE CAFÉ (ELABORACIÓN PROPIA).....	124
TABLA 34 INGRESOS ESTIMADOS DEL SISTEMA DE ACUÍCOLA (ELABORACIÓN PROPIA).....	125
TABLA 35 INGRESOS POR OCIO Y RECREACIÓN (ELABORACIÓN PROPIA)	126
TABLA 36 COSTOS PARAMÉTRICOS PARA CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA CRG (NEODATA, 2020).....	127

INDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1 CORTEZA, MANTO Y NÚCLEO DE LA TIERRA Y SECCIÓN DE LA CAPA SUPERIOR (DICKSON & FANELLI , 2004).....	18
ILUSTRACIÓN 2 DIBUJO CONCEPTUAL REPRESENTATIVO DE CELDAS DE CONVECCIÓN (UNIDED STATES GEOLOGICAL SURVEY, 1999)	19
ILUSTRACIÓN 3 SECCIÓN TRANSVERSAL QUE MUESTRA EL PROCESO DE LAS PLACAS TECTÓNICAS (DICKSON & FANELLI , 2004)	19
ILUSTRACIÓN 4 MANIFESTACIONES HIDROTÉRMICAS (UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, 2000).....	20
ILUSTRACIÓN 5 DIAGRAMA DE LINDAL (GUDMUNDSSON & LUND, 1985).....	23
ILUSTRACIÓN 6 CAPACIDAD INSTALADA Y USO ANUAL DE LOS USOS DIRECTOS 1995 -2020 (LUND & TOTH, 2020).....	25
ILUSTRACIÓN 7 SATISFACCIÓN DE NECESIDADES EN EL SECTOR RURAL RESIDENCIAL 2018 (CONACYT, 2020)	28
ILUSTRACIÓN 8 ENERGÍA PRODUCIDA DURANTE 2018 POR TECNOLOGÍA (317,278 GWH) (SECRETARÍA DE ENERGÍA , 2019)	28
ILUSTRACIÓN 9 DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE 2,082 MANIFESTACIONES GEOTÉRMICAS (IGLESIAS, TORRES, MARTINEZ - ESTRELLA, & REYES - PICASO, 2015).....	29
ILUSTRACIÓN 10 REGIONALIZACIÓN POR ESTACIONALIDAD CLIMÁTICA (COMISIÓN NACIONAL PARA EL USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA, 2018)	31
ILUSTRACIÓN 11 DISTRIBUCIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA POR USO FINAL EN EL SECTOR RESIDENCIAL, 2015 (COMISIÓN NACIONAL PARA EL USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA, 2018).....	32
ILUSTRACIÓN 12 DIAGRAMA P-H DE UN CICLO IDEAL DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR (CEGEL & BOLES, 2012)	33
ILUSTRACIÓN 13 REFRIGERADOR COMÚN (CEGEL & BOLES, 2012)	33

ILUSTRACIÓN 14 DIAGRAMA T - S PARA EL CICLO IDEAL DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR (CEGEL & BOLES, 2012).	34
ILUSTRACIÓN 15 DIAGRAMA SIMPLIFICADO DEL CICLO DE REFRIGERACIÓN POR ABSORCIÓN (ELABORACIÓN PROPIA)	36
ILUSTRACIÓN 16 ADAPTACIÓN - DIAGRAMA DEL CICLO DE REFRIGERACIÓN POR ABSORCIÓN DE UNA ETAPA TIPO COGINE (TRANE, 2020)	37
ILUSTRACIÓN 17 PRODUCCIÓN ACUÍCOLA MUNDIAL DE ANIMALES ACUÁTICOS Y ALGAS (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2020)	45
ILUSTRACIÓN 18 PRODUCCIÓN DE ACUICULTURA POR MEDIO DE CULTIVO EN LA REPÚBLICA MEXICANA (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2020)	46
ILUSTRACIÓN 19 MODIFICADO. REPRESENTACIÓN CONCEPTUAL DE LA PARTICIPACIÓN DE LOS RECURSOS GEOTÉRMICOS EN EL TURISMO (ERFURT, 2011)	53
ILUSTRACIÓN 20 PUNTOS DE INTERÉS EN EL MUNICIPIO DE COMPOSTELA, NAYARIT	60
ILUSTRACIÓN 21 TEMPERATURA AMBIENTE EN EL AÑO 2018, MUNICIPIO DE COMPOSTELA, NAYARIT	61
ILUSTRACIÓN 22 PROCESO PARA LA ESTIMACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL SISTEMA CRG (ELABORACIÓN PROPIA)	65
ILUSTRACIÓN 23 LLEGADA DE TURISTAS TOTALES AL ESTADO DE NAYARIT (SECRETARÍA DE TURISMO, 2018)	66
ILUSTRACIÓN 24 INSTALACIONES DE HOSPEDAJE EN NAYARIT (SECRETARÍA DE TURISMO, 2018)	67
ILUSTRACIÓN 25 LLEGADA DE TURISTAS AL ESTADO DE NAYARIT EN EL AÑO 2015 (SECRETARÍA DE TURISMO, 2018)	67
ILUSTRACIÓN 26 TURISTAS ESPERADOS POR MES EN EL CENTRO DE RECURSOS GEOTÉRMICOS CON BASE EN EL COMPORTAMIENTO DE LA LLEGADA DE TURISTAS AL ESTADO DE NAYARIT. (CREACIÓN PROPIA)	68
ILUSTRACIÓN 27 SUMA DE PESO VIVO EN EL AÑO 2014 (COMISIÓN NACIONAL DE ACUACULTURA Y PESCA, 2016)	73
ILUSTRACIÓN 28 CONSUMO DE CAFÉ EN MÉXICO (MILLONES DE SACOS DE 60 KG) (CEDRSSA, 2019)	75
ILUSTRACIÓN 29 PASOS EN EL DESARROLLO Y USO DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE AIRE (WANG, 2000)	76
ILUSTRACIÓN 30 DIAGRAMA DE BLOQUES DE LOS PROCESOS INCLUIDOS EN EL CENTRO DE RECURSOS GEOTÉRMICOS (AZUL: CIRCUITO SEMI-CERRADO DE AGUA POTABLE, ROJO: AGUA GEOTÉRMICA)	86
ILUSTRACIÓN 31 CAPACIDAD DE ENFRIAMIENTO	111
ILUSTRACIÓN 32 EQUIPO DE REFRIGERACIÓN POR ABSORCIÓN	111
ILUSTRACIÓN 33 DIMENSIONES WFC –SC5	111
ILUSTRACIÓN 34 AQUATOWER – 490 A	112
ILUSTRACIÓN 35 ARREGLO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ (GARDUÑO, 2021)	112
ILUSTRACIÓN 36 VENTILADOR CENTRIFUGO S&P CMI-560-7	113

ILUSTRACIÓN 37 CORTE TRANSVERSAL DE LA CÁMARA DE SECADO DE CAFÉ (GARDUÑO, 2021).....	114
ILUSTRACIÓN 38 BLOWER GZLING 1 HP	114
ILUSTRACIÓN 39 TANQUES ACUÍCOLAS DE GEOMEMBRANA	115
ILUSTRACIÓN 40 ISOMÉTRICO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN POR ABSORCIÓN WFC SC5 YAZAKY ENERGY (ELABORACIÓN PROPIA)	119
ILUSTRACIÓN 41 ISOMÉTRICO VISTA LATERAL SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ ADAPTADO DE (GARDUÑO, 2021)	119
ILUSTRACIÓN 42 VISTA DE PLANTA DEL CENTRO DE RECURSOS GEOTÉRMICOS	120
ILUSTRACIÓN 43 VISTA ANGULAR DEL CENTRO DE RECURSOS GEOTÉRMICOS.....	120
ILUSTRACIÓN 44 VISTA ANGULAR DEL SISTEMA DE ACUACULTURA, INTERCAMBIADOR DE CALOR PARA AGUA CALIENTE DE SERVICIOS Y TANQUE DE REABASTECIMIENTO.	121
ILUSTRACIÓN 45 VISTA SUPERIOR SISTEMA DE ACUACULTURA. (ELABORACIÓN PROPIA) ...	121
ILUSTRACIÓN 46 ADAPTADO ESTRUCTURA DEL ANÁLISIS ECONÓMICO (URBINA, 2010).....	123
ILUSTRACIÓN 47 CÁLCULO DE LA TIR	132

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1 PLOT PLAN	146
ANEXO 2 DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO & DTI	147
ANEXO 3 MEMORIA DE CÁLCULO Y TABLA DE BALANCE	148
ANEXO 4 TABLA DE BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA	153
ANEXO 5 TABLA DE RENOVACIÓN DE AIRE EN CÁMARAS DE REFRIGERACIÓN	155
ANEXO 6 DIAGRAMA DE CORROSIÓN LOCALIZADA PARA SS316 & SS304	156
ANEXO 7 DIMENSIONES Y PESOS DE TUBERÍA DE ACERO	157
ANEXO 8 TABLA VALORES DE Y	159
ANEXO 9 GANANCIAS ESTIMADAS DE UNA PLANTA GEOTERMOELÉCTRICA DE 25 MW	162
ANEXO 10 FACTORES PARA EL CÁLCULO DEL PROYECTO DE UNA PLANTA GEOTERMOELÉCTRICA DE 25MW	163
ANEXO 11 VPN CENTRO DE RECURSOS GEOTÉRMICOS	164
ANEXO 12 EQUIPOS PRINCIPALES	165
ANEXO 13 HOJA DE DATOS BOMBA CENTRIFUGA & PLANOS DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR	166
ANEXO 14 SIMULACIÓN DEL PROCESO.....	167
ANEXO 15 ESTIMACIÓN DE INVERSIÓN EN TUBERÍA	168
ANEXO 16 ESTIMACIÓN DE INVERSIÓN EN INSTRUMENTACIÓN	169
ANEXO 17 ESTIMACIÓN DE COSTOS OPERATIVOS	170

OBJETIVO GENERAL

Realizar una propuesta técnica y el análisis de pre – viabilidad económica de un centro de recursos geotérmicos en México.

El sistema propuesto debe ubicarse en una zona con recursos geotérmicos de baja o media entalpía, los cuales puedan ser aprovechados para usos directos. Adicionalmente, los procesos que integren la propuesta deberán estar relacionados con las actividades económicas de la comunidad adyacente, con el objetivo de garantizar la viabilidad social del proyecto.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Revisar el avance tecnológico de los usos directos de la energía geotérmica en México y el mundo.
- Revisar el panorama general para el aprovechamiento de la energía geotérmica a través de usos directos en México.
- Elaborar una propuesta técnica que integre cuatro aplicaciones directas de la energía geotérmica, esta propuesta se debe constituir de la ingeniería conceptual, básica y de detalle.
- Elaborar el análisis de pre-viabilidad económica de la propuesta técnica.
- Estimar la mejora en la viabilidad económica de los proyectos para la generación de energía eléctrica con energía geotérmica, considerando la integración de un sistema de usos directos.

ALCANCE

La propuesta técnica se constituye de los elementos esenciales para el diseño (Ingeniería conceptual), los elementos puntuales de los procesos (Ingeniería de básica) y los elementos específicos (Ingeniería de detalle) de cada proceso para el aprovechamiento de energía geotérmica de manera directa, los equipos considerados son modelos comerciales por lo que tienen un alto grado de confiabilidad en su operación y desempeño.

Los procesos que se desarrollarán son: Refrigeración por absorción, secado de café, acuicultura, agua caliente de servicio y el uso de los recursos geotérmicos para recreación y el bienestar (albercas). De acuerdo con el interés de la comunidad adyacente al sitio.

El alcance de este proyecto no considera las etapas de procura y construcción de los procesos, la cimentación de la obra de toma para la obtención del recurso geotérmico ni tampoco la infraestructura necesaria para el retorno del recurso hídrico al cauce del río, estos temas se propondrán como parte del trabajo a futuro en las secciones posteriores.

1 CAPÍTULO 1 MARCO TEÓRICO

1.1 Geotermia

Las energías renovables, como la energía geotérmica, se definen como aquellas fuentes de energía obtenidas naturalmente a partir de flujos repetitivos y persistentes de energía en un área en particular (Twidell & Weir, 2015). Dentro de esta definición se encuentran otras fuentes de energía igualmente conocidas e importantes pero que no serán mencionadas a fondo en este trabajo tales como el viento, la radiación solar, el movimiento de causas agua, la energía oceánica en todas sus formas y las fuentes bioenergéticas. La energía geotérmica, y en general las energías renovables, han tomado un papel fundamental en los últimos años a causa de las mínimas cantidades de gases de efectos invernadero que se liberan durante su explotación, las finitas reservas de combustibles fósiles disponibles en el mundo y la búsqueda de independencia energética.

La energía geotérmica se refiere a la energía que se traslada desde el interior de la tierra hacia la corteza terrestre a través de los mecanismos de transferencia de calor y que puede o podría ser aprovechada por el ser humano. Una teoría aceptada sobre el origen de esta energía dice que durante el proceso de formación del planeta, este elevó considerablemente su temperatura debido a la fricción que se presentó en el proceso de reorganización de los elementos que constituían en ese momento el planeta, en este punto se generaron las capas concéntricas conocidas como núcleo, manto y corteza (**Ilustración 1**), después del proceso de formación las capas exteriores se fueron enfriando y han actuado desde entonces como aislantes, conteniendo parcialmente la energía en las secciones más profundas.

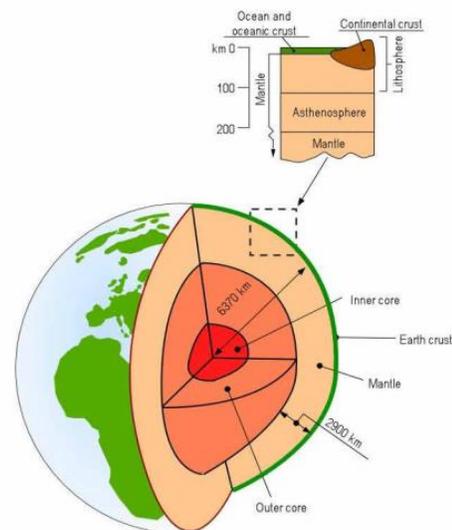


Ilustración 1 Corteza, manto y núcleo de la tierra y sección de la capa superior (Dickson & Fanelli , 2004)

Al interior de la tierra se sigue generado energía debido al decaimiento radioactivo de algunos elementos como el Uranio (U^{238} y U^{235}), Torio (Th^{232}) y Potasio (K^{40}) lo que provocó hace millones de años la generación de celdas de convección en la Astenósfera¹ es decir, movimientos cíclicos de inmensas masas calientes y de relativa baja densidad hacia las capas superiores de la tierra y el traslado de masas frías y más densas hacia el centro, movimientos que son extremadamente lentos (**Ilustración 2**). Debido a lo anterior, la materia proveniente del movimiento en la Astenósfera “empuja” a la litosfera² en sus puntos más débiles rompiéndola y expulsando materia que se convierte en nueva corteza terrestre, estos puntos son llamados cordilleras de expansión o “*spreading ridges*” (**Ilustración 3**), las cuales se ubican en general dentro del mar. La generación de esta nueva corteza está asociada a la

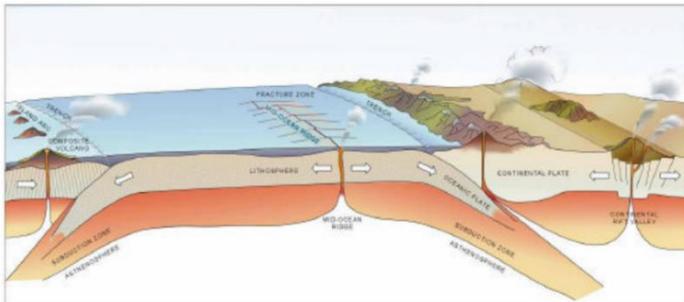


Ilustración 3 Sección transversal que muestra el proceso de las placas tectónicas (Dickson & Fanelli, 2004)

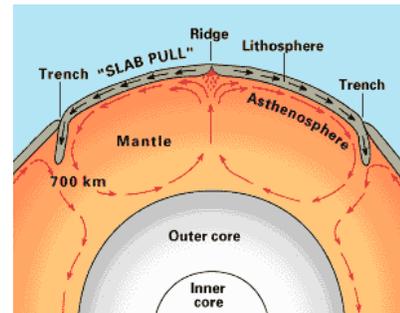


Ilustración 2 Dibujo conceptual representativo de celdas de convección (United States Geological Survey, 1999)

eliminación de la misma en otros sitios llamados zonas de abducción, donde la placa tectónica es “doblada” hacia abajo lo que permite que entre en contacto con el manto, para luego fundirse, es posible que parte de la materia fundida sea expulsada a través de conductos limítrofes lo que permite completar un ciclo de generación y destrucción de corteza, estos espacios de contacto comúnmente cuentan con alta actividad volcánica y sismicidad debido a la presencia de material magmático a menor profundidad y a los movimientos de la corteza, por lo cual es probable que sean sitios adecuados para el desarrollo geotérmico.

1.2 Manifestaciones hidrotermales

Como se mencionó anteriormente, las fuentes geotérmicas más adecuadas para su aprovechamiento están distribuidas de manera irregular alrededor del mundo, a causa de la actividad geológica acontecida en los últimos miles de años, es posible encontrar estas fuentes de energía de diversas formas a las que se les clasifica como manifestaciones termales superficiales, esta categorización incluye los volcanes, geiseres, fumarolas, manantiales termales etc., sin embargo, en este trabajo únicamente describiremos los elementos de la subcategoría llamada manifestaciones hidrotermales (**Ilustración 4**), las cuales implican la descarga de vapor o agua en el sitio.

¹ Astenósfera: Capa de la tierra inmediata inferior a la litósfera, presenta fusión parcial y por tanto propiedades semejantes a las de un fluido.

² Litosfera: Capa en la corteza terrestre que comprende la corteza y parte del manto superior, cuya profundidad alcanza los 100 km (Ledesma, 1996).

A continuación, se enlistarán las manifestaciones hidrotermales más relevantes de acuerdo a Luketina (1995) y se realizará una breve descripción de cada una de ellas. La caracterización adecuada de las manifestaciones hidrotermales ayudará en la selección de los procesos a implementar en cada proyecto ya que la naturaleza de cada manifestación termal facilitará o limitará las posibilidades explotación, de esta manera se podrá identificar de forma adecuada los procesos técnicamente viables disminuyendo el riesgo durante las distintas fases de un proyecto geotérmico.

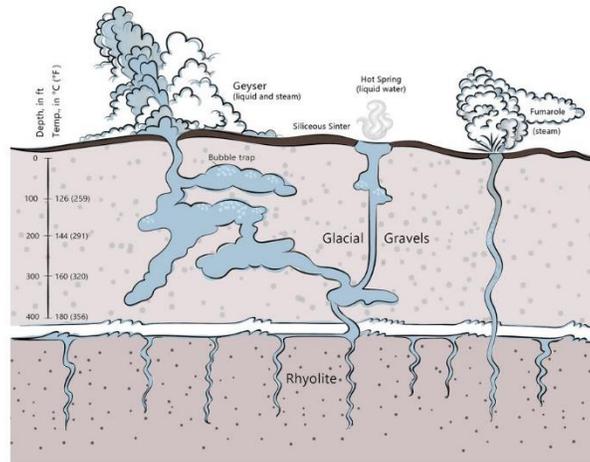


Ilustración 4 Manifestaciones hidrotermales (United States Geological Survey, 2000)

1.2.1 Aguas termales ▪ Hot Springs

Una de las manifestaciones geotérmicas más conocidas son los denominados manantiales termales, estas fuentes de agua y energía han sido usadas por el ser humano desde el inicio de la historia como lugares de recreación o para conducir diversos procesos como la cocción de alimentos y la calefacción, actualmente en algunos de estos sitios se ha comprobado su utilidad como tratamiento auxiliar de diversas enfermedades gracias a su composición mineral (Vargas, 2010).

Los manantiales termales se pueden definir como manifestaciones geotérmicas superficiales cuyo contenido hídrico proviene de una o varias rupturas o brechas en la corteza terrestre, durante su paso por la brecha el agua entra en contacto con rocas a elevada temperatura conduciendo la energía de profundidades someras a la superficie, además de energía, el contacto con las rocas ocasiona el depósito de numerosos minerales a diferentes concentraciones en la corriente, en ocasiones, estos minerales disueltos dificultan el uso de este recurso en diferentes aplicaciones por su incompatibilidad con materiales comerciales, sin embargo como mencionamos anteriormente estos minerales puede tener un efecto positivo en el ser humano.

Un elemento importante por discurrir para que una fuente de agua puede ser considerada termal es que deberá de encontrarse 5° C por encima de la temperatura promedio del lugar donde se encuentra, lo que quiere decir que no hay una temperatura fija a partir de la cual se pueda considerar agua termal.

Finalmente, es importante mencionar que estos puntos geotérmicos no necesariamente están ligados a la actividad volcánica, de hecho, estos pueden estar relacionados con el gradiente geotérmico de la tierra, concepto que está definido como el aumento gradual de la temperatura a medida que se avanza en el interior de la tierra (Ledesma, 1996) por lo que es común encontrar estas manifestaciones termales en numerosas partes del mundo.

1.2.2 Alberca caliente ▪ Warm pool

Esta manifestación no pierde líquido a través de fisuras, el agua vertida en ella es calentada a través de convección.

1.2.3 Géiser ▪ Geysir

Este tipo de manifestaciones hidrotermales fueron nombradas por los islandeses en el siglo XVII como *Geysir*, palabra cuyo origen se encuentra en el verbo *gjosa* que significa arrojar en chorro (Hurwitz & Manga , 2020). Los géiseres se pueden definir como cualquier manantial geotérmico que ocasionalmente haga erupción de manera intermitente o continúa debido a la concentración o cambio de fase de un gas, esta erupción debe ser lo suficientemente fuerte para eyectar, salpicar o lanzar agua en forma líquida o en forma de mezcla líquido-vapor por encima del nivel del mar hacia la atmosfera. (Keam, Pipe , & Luketina , 2005).

1.2.4 Tierra humeante ▪ Steaming ground

Este tipo de manifestación geotérmica se refiere al vapor proveniente de una descarga de agua y que ha sido generado y filtrado en una superficie termal activa.

1.2.5 Suelo caliente ▪ Warm ground

Se refiere a un suelo superficial termalmente activo con pequeñas trazas de vapor.

1.2.6 Ventila de vapor ▪ Steam vent

Una ventila o fumarola son discretos orificios en el suelo los cuales pueden descargar vapor seco o saturado.

1.2.7 Volcán de lodo o alberca de lodo ▪ Mud volcano

Estas formaciones se refieren a la mezcla de agua y minerales en zonas termalmente activas, en estas manifestaciones geotérmicas es frecuente que la mezcla sea calentada por burbujas de vapor provenientes de un punto más profundo, debido a la viscosidad y a la densidad de esta composición, las burbujas ascienden lentamente y al llegar a la superficie revientan liberando diversos tipos de gases a la atmosfera, Cuando la viscosidad de la mezcla es suficientemente alta la explosión de las burbujas puede acumular material en un punto en forma de cono, fenómeno que es llamado volcán de lodo, estas formaciones pueden llegar a medir cerca varios metros de alto y diámetro (Luketina, 1995).

1.2.8 Chorro perpetuo ▪ Perpetual Spouter

Este tipo de manifestación geotérmica eyecta proporciones variadas de agua y vapor de manera violenta y constante sin periodos de relajamiento.

1.2.9 Lago hidrotermal ▪ Hydrothermal Lake

Esta manifestación está formada por un grupo brechas de aguas termales descargando en un mismo lugar donde el agua se recolecta, la mayoría de esta agua debe ser de origen hidrotermal, de no ser así podrá ser considerado un lago semi – hidrotermal, esta acumulación de agua debe contar con una descarga lo que las diferencia de las albercas calientes, la definición de (Luketina, 1995) menciona que usualmente un lago termal es mucho más grande que una piscina termal sin embargo, otros autores pueden categorizar de manera diferente estos dos conceptos.

1.2.10 Lago volcánico ▪ Volcanic Lake

Se puede definir como un Lago que se encuentra en el cráter de un volcán, contiene agua meteórica o agua proveniente del agua en estado sólido del en la cima volcánica, internamente no cuenta con corrientes significativas y es posible que sea calentada o no por el magma.

1.2.11 Erupción hidrotermal ▪ Hydrothermal Eruption

Se define como la eyección de materia sólida, líquida y vapor, esta acción está caracterizada principalmente por cuatro aspectos: La eyección no incluye roca fundida, el efecto dinámico está relacionado directamente con el cambio de fase de agua líquida a vapor, el material que ese eyecta ha sido parte de matriz rocosa y la erupción ocasiona el movimiento permanente de materia sólida.

1.3 Definición y clasificación de los recursos geotérmicos

Como se revisó anteriormente es posible encontrar los recursos geotérmicos en múltiples formas o manifestaciones, cada una de ellas ampliará o reducirá el espectro de procesos que pueden ser conducidos por el agua o vapor que de ellas emanan en función de la cantidad de energía que pueden ceder a un proceso. En este sentido en esta sección, se revisará una clasificación de los fluidos geotérmicos y como se relacionan con los procesos de interés actual para el ser humano, con la finalidad de identificar y tener una idea clara de cómo es que se pueden aprovechar estas fuentes de energía.

La clasificación de los recursos geotérmicos a lo largo de la historia se ha separado principalmente en dos corrientes; La primera de ellas fue propuesta por (Nicholson, 1993), quien dividió los recursos geotérmicos en dos tipos: Aquellos que son adecuados para generación de energía eléctrica y aquellos que no lo son. Por otro lado, la segunda clasificación fue propuesta por (Muffler & Cataldi, 1978), la cual implica la división de los recursos geotérmicos de acuerdo a su entalpía **Tabla 1**, propiedad termodinámica que es proporcional a la temperatura, hecho que simplifica la valoración in situ y permite subcategorizar fácilmente las posibles aplicaciones.

Fluido geotérmico	Temperatura (°C)
Baja entalpía	<90
Intermedia entalpía	90 – 150
Alta entalpía	>150

Tabla 1 Clasificación de los recursos geotérmicos (Muffler & Cataldi, 1978)

1.4 Usos directos

Los usos directos de la energía geotérmica pueden ser definidos como todos aquellos procesos que utilizan el calor de los fluidos geotérmicos para producir un bien o servicio, estas aplicaciones han sido utilizadas desde hace cientos de años por el ser humano y algunas de ellas han acompañado el desarrollo de la civilización y se han mantenido en armonía con el medio ambiente durante todo este tiempo, un ejemplo de esto son las aguas termales usadas alrededor del mundo desde tiempos muy antiguos en el imperio Romano, Japón, Estados Unidos de América, etc.

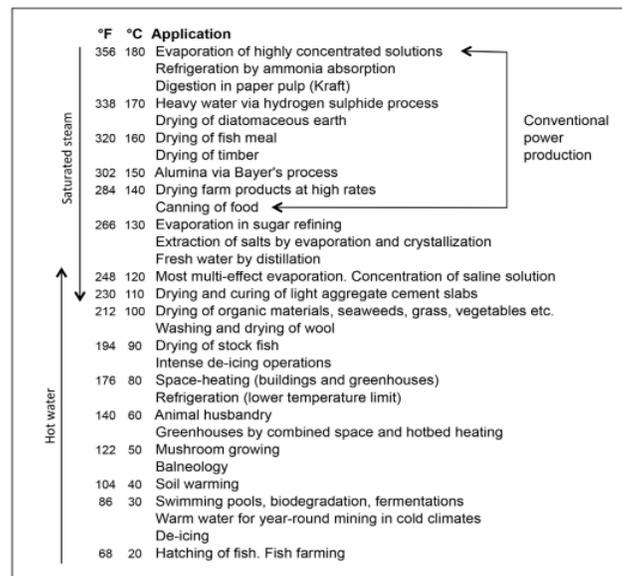


Ilustración 5 Diagrama de Lindal (Gudmundsson & Lund, 1985)

Actualmente existe una gran variedad de usos directos de la energía geotérmica que satisfacen parte de la demanda de diversos servicios en algunos países y que son elementales para la vida cotidiana, esto depende de las condiciones climáticas y de disponibilidad de cada nación, sin embargo para facilitar la visualización de estas oportunidades de desarrollo es posible utilizar el diagrama de Lindal, herramienta propuesta por Gudmundsson & Lund (1985), la cual consiste en una gráfica de las posibles aplicaciones del calor geotérmico de acuerdo a la temperatura del fluido (**Ilustración 5**).

Además de la representación gráfica de las aplicaciones del calor geotérmico, el diagrama de Lindal expone entre líneas otro beneficio de los usos directos, los usos en cascada, este concepto se refiere al aprovechamiento de la energía geotérmica en sus diferentes niveles de energía, es decir, cuando se conduce un proceso como la generación de energía eléctrica, la corriente geotérmica a la salida contiene menor cantidad de energía lo que significa que aunque esta corriente ya no es apta para generación de electricidad este fluido puede ser aprovechado para conducir un proceso en un nivel inferior de energía y después de esto uno aun inferior y de esta manera hasta agotar su cantidad de energía (Rubio - Maya , Ambríz Díaz , Pastor Martínez, & Belman - Flores , 2015), es importante mencionar que la selección de estos procesos no son una tarea simple debido a los aspectos económicos y sociales ligados

a las comunidades adyacentes de las manifestaciones geotérmicas disponibles y aprovechables, es por esta razón que en la siguiente sección se revisará como se han desarrollado los usos directos alrededor del mundo y como está relacionado este avance con la naturaleza de cada nación, factores trascendentales para las etapas posteriores de este trabajo.

1.5 Usos directos en el mundo

El reporte más reciente sobre la situación de los usos directos se dio a conocer en abril del presente año de manera virtual en el marco del congreso mundial de geotermia, en esta presentación Gudmundsson & Lund (2020) reportan el esfuerzo por contabilizar las aplicaciones directas de la geotermia en todo el mundo, sin embargo, únicamente es posible considerar las aplicaciones si los países las reportan, por lo tanto, estos datos no consideran todos los países del globo aunque si representan la mejor aproximación sobre la evolución de los usos directos de la geotermia en el mundo.

De acuerdo a lo anterior, para finales del año 2019, 88 naciones reportaron a Lund y sus colaboradores el uso de la geotermia de manera directa, con una capacidad instalada acumulada de 107,727 MWt y el uso de 283,580 GWh lo que representa un aumento del 50% y 72.3% respectivamente en comparación con el año 2015, las principales aplicaciones directas fueron: bombas de calor (58.8%), aguas termales (18%), calentamientos de espacios (16%), invernaderos (3.5%), aplicaciones industriales (1.6%), acuicultura (1.3%), deshidratación (0.4%), derretimiento de nieve(0.2%) y otras aplicaciones (0.2%) (Lund & Toth, 2020).

Debido a la gran cantidad de bombas de calor que se encuentran operando es conveniente revisar los países líderes en usos directos con o sin esta aplicación, con la finalidad de conocer los líderes en diversificación de usos directos, estos datos se pueden observar en la **Tabla 2 y 3**, donde se precia que China tiene el liderazgo, la razón de esto son las políticas enfocadas en reducir la emisión de gases de efecto invernadero y la conservación de energía, en ese país los principales usos directos de la geotermia después de las bombas de calor son la climatización de espacios y las aguas termales, las cuales, son utilizadas en un primer nivel de energía para el tratamiento de diversas enfermedades gracias a recientes estudios que confirman sus propiedades terapéuticas, así mismo el país oriental ha implementado invernaderos y tanques acuícolas en el segundo nivel de energía para finalmente utilizar el recurso geotérmico para conducir procesos enfocados a la recreación y el turismo.

Actualmente China cuenta con proyectos de calentamiento distrital y climatización de espacios en más de ocho áreas, además algunos de estos proyectos se encuentran unificados a invernaderos, deshidratadores y otros procesos industriales (Tian, W, & Jin, 2020)., es decir se utiliza el aprovechamiento en cascada de los fluidos, lo que mantiene el desarrollo continuo y acelerado de la industria geotérmica.

MWt	TJ/Año
China (14,160)	China (197,281)
Turquía (3,480)	Turquía (54,413)
Japón (2,407)	Islandia (33,590)
Islandia (2,368)	Japón (29,958)
Hungría (952)	Nueva Zelanda (9,729)

MWt	TJ/Año
China (40,610)	China (443,492)
EUA (20,713)	EUA (152,810)
Suiza (6,680)	Suiza (62,400)
Alemania (4,806)	Turquía (54,584)
Turquía (3,488)	Japón (30,723)

Tabla 2 Líderes a nivel mundial en usos directos de la energía geotérmica sin considerar bombas de calor (Lund & Toth, 2020)

Tabla 3 Líderes a nivel mundial en usos directos de la energía geotérmica considerando bombas de calor (Lund & Toth, 2020)

Con respecto a los usos directos a nivel mundial, uno de los puntos más importantes en las recientes publicaciones se observa en la **Ilustración 6**, la cual, muestra el crecimiento de los usos directos de la energía geotérmica cuya aceleración aumenta año con año principalmente en países desarrollados como Islandia, Alemania, China, Estados Unidos, Suiza; como se ha visto en las secciones anteriores

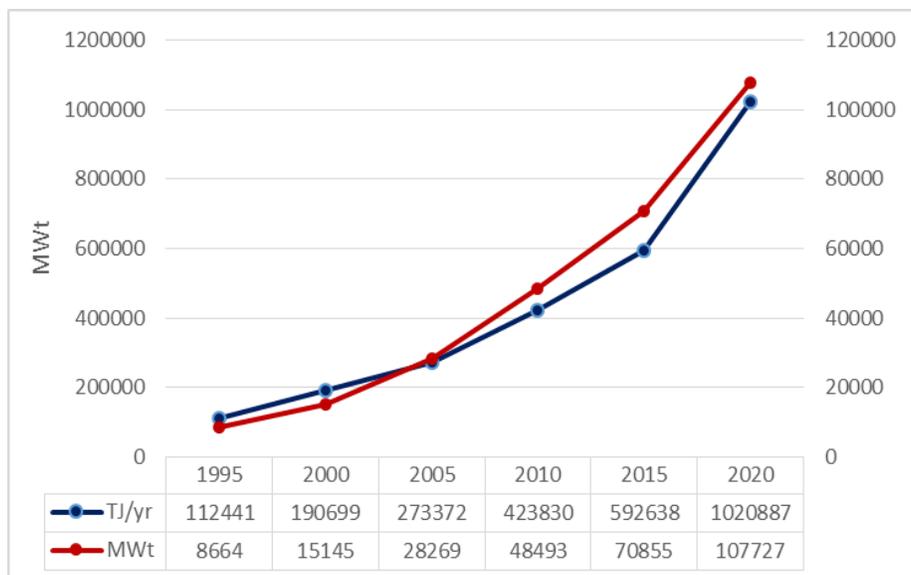


Ilustración 6 Capacidad instalada y uso anual de los usos directos 1995 -2020 (Lund & Toth, 2020)

1.6 Concepto Centro de recursos geotérmicos (CRG)

El desarrollo acelerado de las aplicaciones de los usos directos no es una coincidencia, la promoción de políticas públicas orientadas hacia el uso eficiente de la energía y la reducción de gases de efecto invernadero en conjunto con los recursos naturales adecuados, dan como resultado el imparable desarrollo de la industria geotérmica en cualquier nación, valiéndose de estas características naciones como Islandia, Nueva Zelanda, Canadá y Kenia han desarrollado sistemas altamente redituables, confiables y sostenibles para el desarrollo de la energía geotérmica, estos sistemas tiene su base en el uso en cascada, este concepto es definido por Rincón (2017), quien lo describe como el aprovechamiento del calor geotérmico a diferentes niveles térmicos a través de procesos secuenciales, este término se puede dividir a su vez en dos categorías, sistemas que incluyan generación eléctrica y aquellos que no. De acuerdo con Rincón, esta manera de aprovechar los recursos geotérmicos impacta principalmente en cuatro aspectos;

- Aumentos de las ganancias de las instalaciones geotérmicas
- Mayor aprovechamiento del calor geotérmico
- Desarrollo de las comunidades aledañas
- Bajo impacto ambiental

Como se ha mencionado diversos países han optado por esta forma de aprovechamiento de sus recursos geotérmicos, lo que ha origina la creación de un nuevo concepto “Geothermal Resource Park” este nuevo término tiene su origen en Islandia, donde, el Ingeniero Albert Albertsson creo el primer CRP bajo la custodia de la compañía HS Oska’s Resouce Park, el objetivo de este Parque es aprovechar los recursos de la región de la mejor y más practica forma, reduciendo las pérdidas de recursos al mínimo, es importante mencionar que Albert, considera a las personas, tradiciones, cultura y demás factores intangibles, como elementos esenciales para el éxito de las instalaciones y el correcto funcionamiento.

Tomando como base la definición anterior la comunidad de Barrier al norte de Kenia, desarrollo el proyecto “Villa geotérmica” cuyo propósito es del desarrollo de áreas rurales sin acceso a la red eléctrica, el estudio realizado por los investigadores da como resultado que es posible satisfacer la demanda eléctrica de una comunidad a 40km a la redonda con cerca 50,000 habitantes, adicionalmente con la energía remante del proceso de generación eléctrica se pueden activar procesos congruentes con las actividades económicas de la regios como secado de alimentos y madera, purificación de agua, cultivo de alimentos y usos recreativos, este puede considerarse como el uso más ambicioso de la energía geotérmica en las comunidades rurales, debido a los altos costos de inversión requeridos para llevarse a cabo.

1.7 Pobreza energética en México

Respecto al desarrollo de proyectos de energías renovables, recientemente el gobierno mexicano ha comenzado a promover un cambio de visión, de acuerdo con el seminario PRONACES transmitido vía virtual por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), la metodología antigua para el desarrollo de proyectos renovables consiste en la explotación lineal de los recursos naturales, ya sean renovables o no, en otras palabras el proceso de explotación-proceso-consumo-desecho, esta forma de aprovechamiento no ha combatido los rezagos energéticos en México (Ilustración 9) y ha traído consigo efectos bastante negativos para múltiples comunidades rurales por ejemplo, el arrendamiento injusto de tierras ejidales, el desplazamiento de comunidades, la contaminación y la delincuencia por mencionar algunos, como contra parte a esto, algunas administraciones gubernamentales han optado por acercar a las comunidades regalando tecnología a los habitantes de poblaciones marginadas, sin ningún propósito establecido o un monitoreo real de la inserción de la tecnología, lo que convierte a estas acciones únicamente en maniobras políticas con fines electorales.

Es posible definir la pobreza energética como la carencia de al menos uno de los servicios o bienes económicos que se consideran básicos para satisfacer necesidades humanas fundamentales: los cuales son:

- 1) Iluminación
- 2) Entretenimiento
- 3) Calentamiento de agua
- 4) Coccción de alimentos
- 5) Refrigeración de alimentos
- 6) Confort térmico

Como mecanismo de mitigación de las desventajas del modelo antiguo para el desarrollo de proyectos con energías alternas, se ha propuesto tomar en consideración desde el nacimiento del proyecto las necesidades de las comunidades aledañas a la fuente de recursos y abatir la pobreza energética que impera en estas zonas del país.

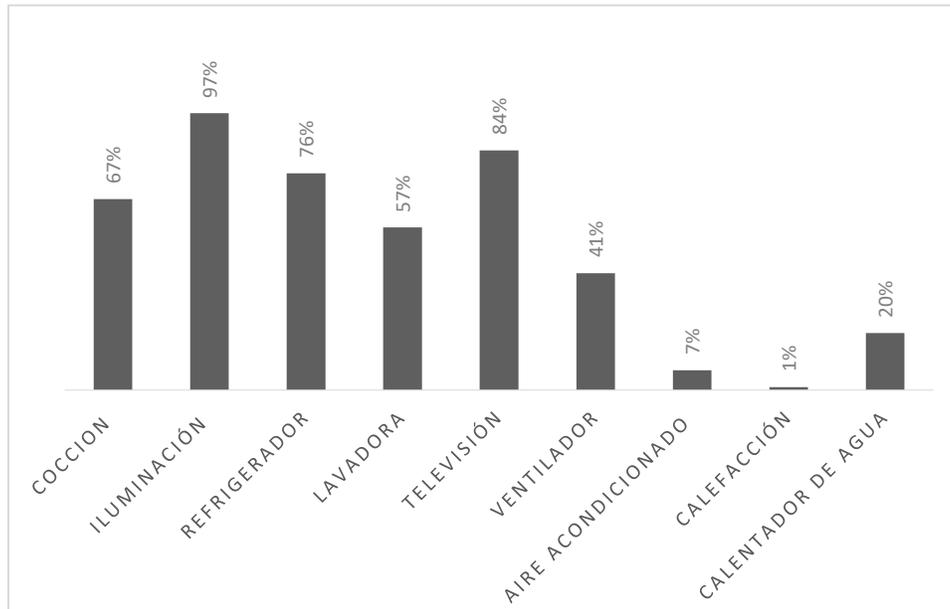


Ilustración 7 Satisfacción de necesidades en el sector rural residencial 2018 (CONACYT, 2020)

1.8 Geotermia y usos directos en México

El aprovechamiento de la energía geotérmica en México está orientado casi en su totalidad hacia la generación de energía eléctrica, la cual se produce a través de cinco centrales geotermoeléctricas, con una capacidad instalada acumulada de 700 MW³(1% de capacidad total del Sistema eléctrico Nacional)(Ilustración 7), estas centrales de energía se encuentran ubicadas en Baja California (Cerro Prieto), Baja California sur (Las tres vírgenes), Puebla (Los humeros), los azufres (Michoacán) y Nayarit (Domo de san pedro), estas centrales generan el 1.7% de la energía eléctrica a nivel nacional, lo cual corresponde a 5,375 GWH entregados a la red durante el año 2018 (Secretaría de energía , 2019), con estos datos, México se encuentra en los primeros 10 países con mayor capacidad instalada, es por esto que nuestra nación es una potencia en el uso de esta fuente renovable de energía para la generación de energía eléctrica.

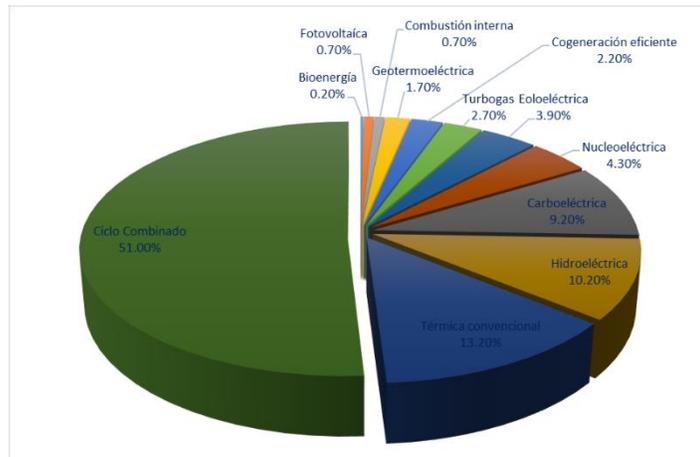


Ilustración 8 Energía producida durante 2018 por tecnología (317,278 GWH) (Secretaría de energía , 2019)

³ Esta capacidad fue reportada a finales del 2018, sin embargo, la repotenciación en la geotermoeléctrica “los azufres” en el año 2020 representa un aumento de 200 MW.

Por el contrario, la situación de los usos directos en México muestra un escenario muy distinto. Respecto al panorama internacional, nuestro país se encuentra muy lejos de los países dominantes en esta área, con una capacidad instalada para el aprovechamiento directo de la geotermia de tan solo 155.82 MWt en comparación con los 40,610 MWt disponibles en China, es importante mencionar que nuestra capacidad instalada se subdivide principalmente en cuatro aplicaciones, de las cuales, tres son opacadas totalmente por el uso en balnearios y albercas (Tabla 4).

Uso	Capacidad instalada (MWt)	Consumo anual de energía (TJ/año)
Calefacción de espacios	0.46	4.397
Acondicionamiento de invernaderos	0.004	0.028
Secado de cultivos	0.007	0.067
Balnearios y albercas	155.347	4166.512
Total	155.819	4171.004

Tabla 4 Capacidad instalada a nivel nacional de usos directos del calor geotérmico (Secretaría de energía, 2018)

En contraste con la baja capacidad instalada en el territorio mexicano, a través de la simulación Montecarlo se han identificado 1,637 manifestaciones geotérmicas, agrupadas en 927 sistemas geotermales a lo largo de 26 estados de la república (Ilustración 8), de ahí se ha determinado que 918 de estos sistemas cuentan con fluidos geotérmicos en un rango de temperatura de entre 36 – 208 °C, subcategorizados a su vez de la siguiente forma: 5% de los sistemas presentan temperaturas en un intervalo de 149 y 208 °C, 40% entre 100 – 149°C,

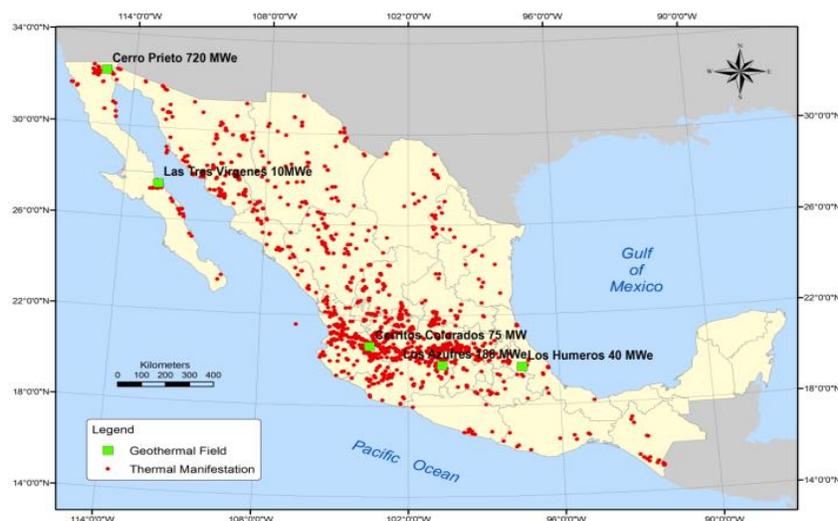


Ilustración 9 Distribución geográfica de 2,082 manifestaciones geotérmicas (Iglesias, Torres, Martínez - Estrella, & Reyes - Picaso, 2015)

50% entre 62 – 100°C y finalmente 5% de estos sistemas pueden contener rangos de entre 36 – 62°C. Los estados con mayor presencia de manifestaciones geotérmicas son Jalisco, Guanajuato y Querétaro con 355, 146 y 102 respectivamente (Iglesias, Torres, Martínez - Estrella, & Reyes - Picaso, 2015).

Con los datos anteriores y de acuerdo al diagrama de Lindal (Ilustración 5) se identifican una gran cantidad de procesos que posible implementar de acuerdo al nivel energía de la manifestación, estos procesos emplean sistemas que han sido ampliamente probados e incluso algunos de estos ya trabajan mediante otra fuente de energía y pueden ser adaptados para sus aplicaciones con geotermia.

Los usos directos de la energía geotérmica han demostrado su viabilidad tecnológica, económica y social en diversas partes del mundo, por el contrario se ha encontrado un rezago tecnológico en nuestro país a pesar de la viabilidad técnica o energética con la que se cuenta, cabe mencionar que la disponibilidad de energía no es el único punto sustancial para la implementación exitosa de este tipo de proyectos, más aún es necesario un conjunto de factores sociales y económicos acoplados convenientemente, es por esto que en la siguiente sección se profundizara en cuatro procesos de relevancia para este trabajo (Refrigeración, Deshidratación, acuicultura y usos recreativos) con el objetivo de ahondar en su naturaleza y en su utilidad dentro de la sociedad, de tal manera que la razón de su selección sea clara, congruente y viable para su ejecución.

1.9 Refrigeración

De acuerdo a las leyes de la termodinámica, la energía fluye de un lugar con mayor temperatura a otro con una menor, este proceso se genera de manera natural y sin necesidad de emplear ningún sistema o dispositivo, por otro lado, en la vida cotidiana es común buscar el proceso inverso, es decir, la transferencia de un lugar de baja temperatura a otro con una más alta, lo cual es llamado refrigeración y no sucede de forma espontánea, esto requiere de sistemas llamados refrigeradores, dispositivos cíclicos que tienen por objetivo reducir y mantener la temperatura de un espacio o producto más baja que la de su alrededor, estos dispositivos emplean un fluido como absorbente de la energía también llamado agente de refrigeración o agente refrigerante. (Cegel & Boles, 2012).

El principio de funcionamiento de la mayoría de los sistemas de refrigeración está basado en el fenómeno que ocurre al verter alcohol sobre nuestra mano, al hacer esto, se percibe una sensación de “Frio” debido a que a presión atmosférica el alcohol tiende a pasar a estado vapor y se vale de la energía en nuestra mano para hacer este cambio de fase.

Con base al principio mencionado, se pueden describir dos categorías en las que se dividen los sistemas de refrigeración: sensibles y latentes, los sensibles son aquellos en los que la temperatura del agente de refrigeración varía al absorber energía, mientras que en los procesos latentes, la temperatura del fluido absorbente permanece constante, en ambos procesos la temperatura del agente refrigerante es menor que la temperatura del espacio a refrigerar (Hernández, 2009).

1.9.1 Aspectos generales de la refrigeración

La refrigeración es un proceso que mejora la calidad de vida de las personas alrededor del mundo debido a un sin número de aplicaciones como el confort, la conservación de alimentos, cuidado de medicamentos y procesos de producción por mencionar algunas. en este sentido, el incremento acelerado de la población, el cambio climático y la expansión de las urbes pronostican un indudable aumento en la demanda de estos sistemas, por ejemplo, para el año 2050 la demanda de sistemas de refrigeración habrá aumentado 2.5 veces, mientras que el consumo de energía eléctrica podría aumentar en 90% (7,500 TWh) con respecto al 2018, lo anterior considerando la promoción y ejecución de estrictas políticas públicas para el uso eficiente de la energía (Universidad de Birmingham, 2018), como consecuencia, las emisiones de gases de efecto invernadero y contaminación ligada a estos procesos aumentarán de forma directamente proporcional.

1.9.2 Refrigeración en México

En el caso local, considerando únicamente el sector residencial el consumo, de energía puede categorizarse en dos secciones, consumo de energía eléctrica y energía térmica, la primera de ellas representa el 27%, mientras que el consumo térmico representa el otro 73%, a su vez, del total de la energía eléctrica consumida en el sector residencial en México, 44.4% (Ilustración 10) es utilizada para conducir un dispositivo de refrigeración ya sea un refrigerador o un sistema de enfriamiento de espacios (Comisión nacional para el uso eficiente de la energía, 2018).

Es importante mencionar que las diversas condiciones climáticas del país suscitan una variación en el consumo de energía eléctrica de sistemas de refrigeración y enfriamiento de espacios, con el propósito diferenciar estas zonas la CONUEE agrupo en tres regiones los estados según su estacionalidad climática (Ilustración 11), de este modo se determinó que la participación de los usos eléctricos finales tan solo para enfriamiento de espacios en la zona cálida extrema y tropical fue de 36.6 y 21.1 % respectivamente, mientras que la zona templada únicamente destinó 4.7% de su consumo eléctrico anual.



Ilustración 10 Regionalización por estacionalidad climática (Comisión nacional para el uso eficiente de la energía, 2018)

Como se revisó en este punto los dispositivos de refrigeración son procesos sumamente importantes para el desarrollo de la vida diaria en todo el mundo, y la tendencia indica que estos dispositivos aumentarán en conjunto con su demanda energética, es por esto que es importante el desarrollo de sistemas más eficientes, el uso de fuentes renovables de energía para conducir estos procesos y la reinención de la industria de la refrigeración para que todos los seres humanos cuenten con sus beneficios de una manera sostenible y económicamente viable, con este propósito en la siguiente sección se describirán los sistemas de refrigeración más usados en la actualidad, su principio de funcionamiento y una comparación cualitativa.

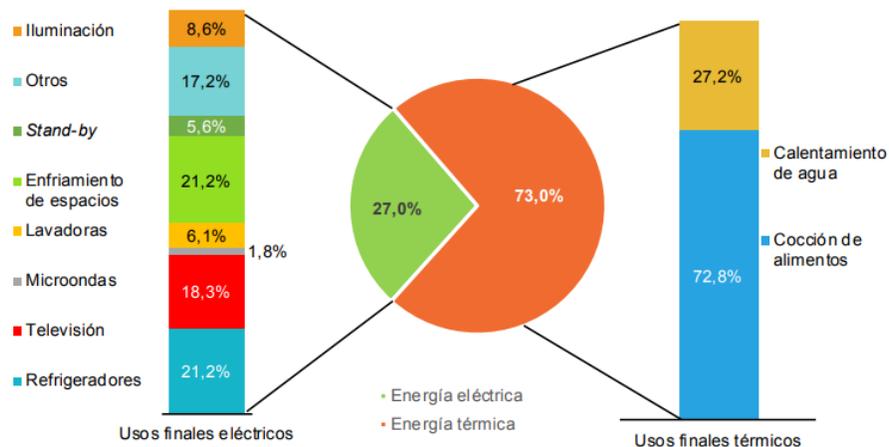


Ilustración 11 Distribución del consumo de energía por uso final en el sector residencial, 2015
(Comisión nacional para el uso eficiente de la energía, 2018)

1.9.3 Sistemas de refrigeración por compresión de vapor

La refrigeración por compresión de vapor actualmente es la más utilizada en refrigeradores, sistemas de acondicionamiento de aire y bombas de calor, sus bases se encuentran en el ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor, el cual se compone de cuatro procesos Ilustración 12.

- 1-2 Compresión isotrópica de un agente refrigerante en un compresor (Usualmente conducido por energía eléctrica)
- 2-3 Rechazo de calor a presión constante en un condensador
- 3-4 Estrangulamiento en un dispositivo de expansión
- 4-1 Absorción de calor a presión constante en un evaporador

Partiendo del proceso 1 – 2, el refrigerante en forma de vapor saturado entra a un dispositivo y se comprime isotrópicamente hasta la presión del condensador, de manera proporcional la temperatura aumenta hasta un valor muy superior al del medio circundante, enseguida, el refrigerante entra en el condensador (2 - 3) ya como vapor sobrecalentado donde se le extrae la suficiente energía para transformar el agente refrigerante a líquido saturado, en el siguiente proceso (3-4), el refrigerante en forma de líquido saturado es estrangulado hasta la presión

del evaporador a través de un dispositivo de expansión, ya sea una válvula, una placa orificio o un capilar, en el último dispositivo (4-1) el refrigerante entra como vapor húmedo de baja calidad y se evapora por completo absorbiendo energía latente del espacio a refrigerar, de esta manera se completa el ciclo y se obtienen espacios o productos refrigerados.

La Ilustración 12 es un diagrama donde se pueden observar claramente los puntos de extracción (Q_L) y expulsión (Q_H) de energía, correspondiente a los procesos 4-1 y 2-3, estos representan también a la cámara de refrigeración y al radiador de un refrigerador convencional como se muestra en la Ilustración 13.

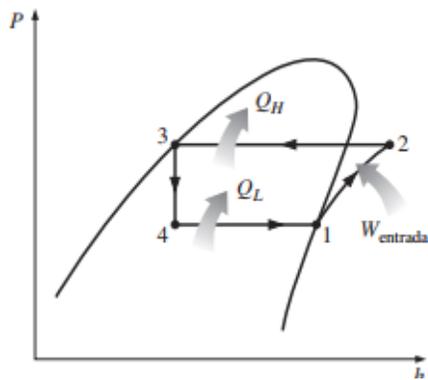


Ilustración 12 Diagrama P-h de un ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor (Cegel & Boles, 2012)

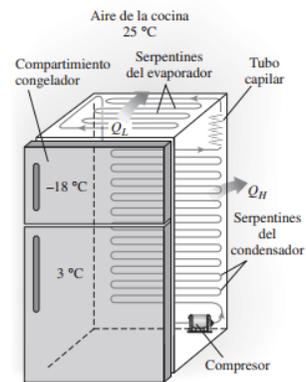


Ilustración 13 Refrigerador común (Cegel & Boles, 2012)

Como se ha dicho, la mayoría de los sistemas de refrigeración tienen como principio el ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor, sin embargo, en la práctica lo que sucede en el ciclo se puede predecir mejor considerando las irreversibilidades establecidas por la segunda ley de la termodinámica, estas irreversibilidades pueden ser ocasionadas por la fricción con las tuberías y la transferencia de calor con los alrededores.

Para compensar las irreversibilidades que se presentan en el ciclo real de refrigeración es necesario hacer algunos ajustes a las condiciones del ciclo, por ejemplo, es posible sobrecalentar el agente refrigerante antes de su entrada al compresor (1-2) para asegurar su completa evaporación, adicionalmente, la ganancia de calor en las líneas de conexión y las caídas de presión en el sistema ocasionan un aumento en el volumen específico de la corriente y por consiguiente se incrementan los requerimientos de entrada de potencia, debido a que el trabajo de flujo estacionario es proporcional al volumen específico, también es necesario considerar el subenfriamiento del agente refrigerante antes de su entrada a la válvula pues es

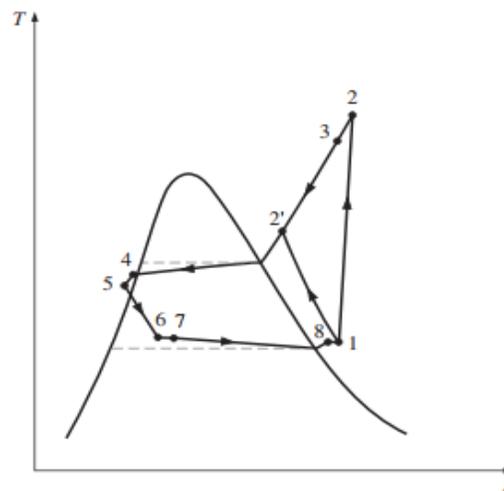


Ilustración 14 Diagrama T - s para el ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor (Cegel & Boles, 2012).

muy complicado en la práctica obtener líquido saturado a la salida del condensador, el resultado de estas consideraciones y los cambios en las pendientes de los procesos ocasionados por las pérdidas de energía puede apreciarse en el diagrama T-s del proceso real (Ilustración 14).

Aunque la mayoría de los sistemas de refrigeración trabajan a través del principio previamente expuesto, cada dispositivo comercializado en la industria cuenta con un desempeño distinto, para que sea posible la comparación de un sistema de refrigeración con otro, es necesario conocer un par de conceptos que sirven como herramientas indicativas del funcionamiento del ciclo, estos conceptos sentarán las bases de la selección y el análisis de los procesos de refrigeración con el propósito de encontrar la mejor solución a una necesidad de acuerdo al criterio de usos eficiente de la energía.

Los conceptos mencionados son: el coeficiente de desempeño y la capacidad de enfriamiento, por un lado, el coeficiente de desempeño de refrigeradores y de bombas de calor⁴ es definido de acuerdo con las ecuaciones 1 y 2.

$$COP_{RC} = \frac{\text{Salida deseada}}{\text{Entrada requerida}} = \frac{\text{Efecto de enfriamiento}}{\text{Entrada de trabajo}} = \frac{Q_L}{W_{\text{neto,entrada}}}$$

Ecuación 1 Coeficiente de desempeño para sistemas de refrigeración por compresión mecánica. (Cegel & Boles, 2012)

$$COP_{BC} = \frac{\text{Salida deseada}}{\text{Entrada requerida}} = \frac{\text{Efecto de calentamiento}}{\text{Entrada de trabajo}} = \frac{Q_H}{W_{\text{neto,entrada}}}$$

Ecuación 2 Coeficiente de desempeño para bombas de calor (Cegel & Boles, 2012)

Por otro lado, la capacidad de enfriamiento se refiere a la tasa de calor extraído de los espacios refrigerados y se expresa en toneladas de refrigeración, esta unidad de flujo se refiere a la energía que se necesita extraer para que 1 tonelada de agua líquida a 0°C pase a ser hielo a 0 °C en 24 horas, esto equivale a 211 kJ/min o 200 BTU/min, para ilustrar mejor esta unidad de flujo, se propone como ejemplo una residencia de 200m², la carga de refrigeración para esta construcción se encuentra en el intervalo de 3 toneladas de refrigeración o 10 kW (Cegel & Boles, 2012).

1.9.4 Sistemas de refrigeración por absorción

La refrigeración por absorción se lleva a cabo a través de sistemas de enfriamiento conducidos principalmente por energía térmica, estos pueden ser activados por corrientes térmicas de bajo contenido energético, fuentes renovables de energía o las corrientes remanentes de otros procesos, de manera similar con los sistemas de refrigeración por compresión de vapor, el efecto de enfriamiento proviene de la evaporación del agente refrigerante, la diferencia entre estos dos sistemas yace en la forma de compresión, en los sistemas convencionales, el vapor es presurizado por compresión mecánica, mientras que en los sistemas de refrigeración por absorción, el agente refrigerante es presurizado mediante la circulación de una mezcla del mismo agente refrigerante con un absorbente a través de dos niveles de presión. (Xu & Wang, 2016).

Actualmente la comunidad científica continua trabajando en modificaciones que hagan al ciclo de absorción más eficiente, estas nuevas propuestas han dado origen al ciclo de refrigeración por absorción de doble y triple efecto, así como al ciclo GAX⁵ (Generator Absorber Heat Exchange) y Branched-GAX, estos últimos pueden aumentar de 20 a 30% el desempeño de un sistema convencional de absorción pero hasta ahora cuentan en su mayoría

⁴ Las bombas de calor convierten energía almacenada en el aire, en el suelo o en un fluido en energía útil para el calentamiento de espacios o el acondicionamiento de agua para su uso en servicios domésticos. (Stiebel Eltron, 2020)

⁵ La principal diferencia del ciclo de absorción GAX consiste en liberar una parte del calor generado en el generador al medio y el resto integrarlo en el generador.

con resultados teóricos a causa de los altos costos de construcción (Cervantes, Velázquez , Saucedo, Lara, & González, 2015).

Por otro lado, se siguen buscando pares de trabajo (Agente refrigerante y absorbente) que mejoren el desempeño del ciclo de refrigeración y tengan un menor impacto en el medio ambiente. Los pares de trabajo más utilizados al día de hoy en sistemas comerciales son Bromuro de litio – Agua ($H_2O - LiBr$) y Amoniaco agua ($NH_3 - H_2O$), la selección de estas duplas de trabajo depende de la aplicación en la que se trabaje e impactan directamente en la capacidad de absorción del sistema, la temperatura mínima alcanzada en el evaporador, la corrosión del sistema, el uso de energía eléctrica y el impacto ambiental.

1.9.5 Descripción del ciclo de refrigeración por absorción de una etapa

Para la descripción del ciclo de absorción, se ha seleccionado el sistema de simple efecto debido a la simplicidad y la relevancia para este trabajo (Ilustración 14 y 15). Iniciando con el generador (1), el equipo recibe una corriente de solución concentrada (Agente refrigerante – absorbente), la cual se calienta a través del contacto indirecto con la fuente de energía térmica hasta generar vapor saturado del agente refrigerante, esta corriente es dirigida hacia el condensador, mientras que la solución diluida producto de la vaporización del agente refrigerante regresa al proceso de absorción.

Una vez dentro del condensador (2), el agente refrigerante cede energía al ambiente o agua de enfriamiento, con lo que pasa a ser una corriente de líquido saturado, a continuación esta corriente es dirigida hacia un válvula de estrangulamiento, la cual reduce su presión lo

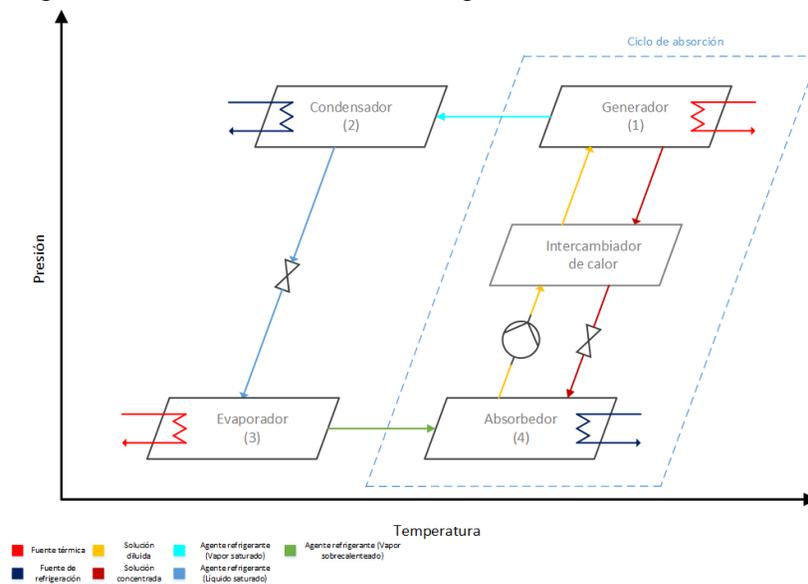


Ilustración 15 Diagrama simplificado del ciclo de refrigeración por absorción (Elaboración propia)

necesario para que se produzca un cambio de fase en el evaporador a la temperatura deseada, así mismo esta expansión tiene como objetivo evaporar parcialmente el refrigerante, por lo que a la salida de la válvula puede coexistir la fase líquida y vapor, este proceso es semejante al implicado en un sistema de refrigeración por compresión convencional.

Luego, al llegar la corriente refrigerante al evaporador (3), esta cambia de fase tomando la energía del lugar o producto a refrigerar, produciéndose así el efecto frigorífico, el refrigerante en estado de vapor sale del evaporador con dirección al absorbedor (4) para cerrar el ciclo, para ello, al entrar a este equipo, el refrigerante se pone en contacto con la solución de baja concentración proveniente del generador (1) y que ha regresado a la presión adecuada debido a su paso a través de una válvula de expansión, dentro del absorbedor, al mezclarse el refrigerante y absorbente de baja concentración se libera calor debido a la alta entalpía de mezclado, por lo tanto la temperatura de este equipo es controlada mediante una corriente de agua de refrigeración.

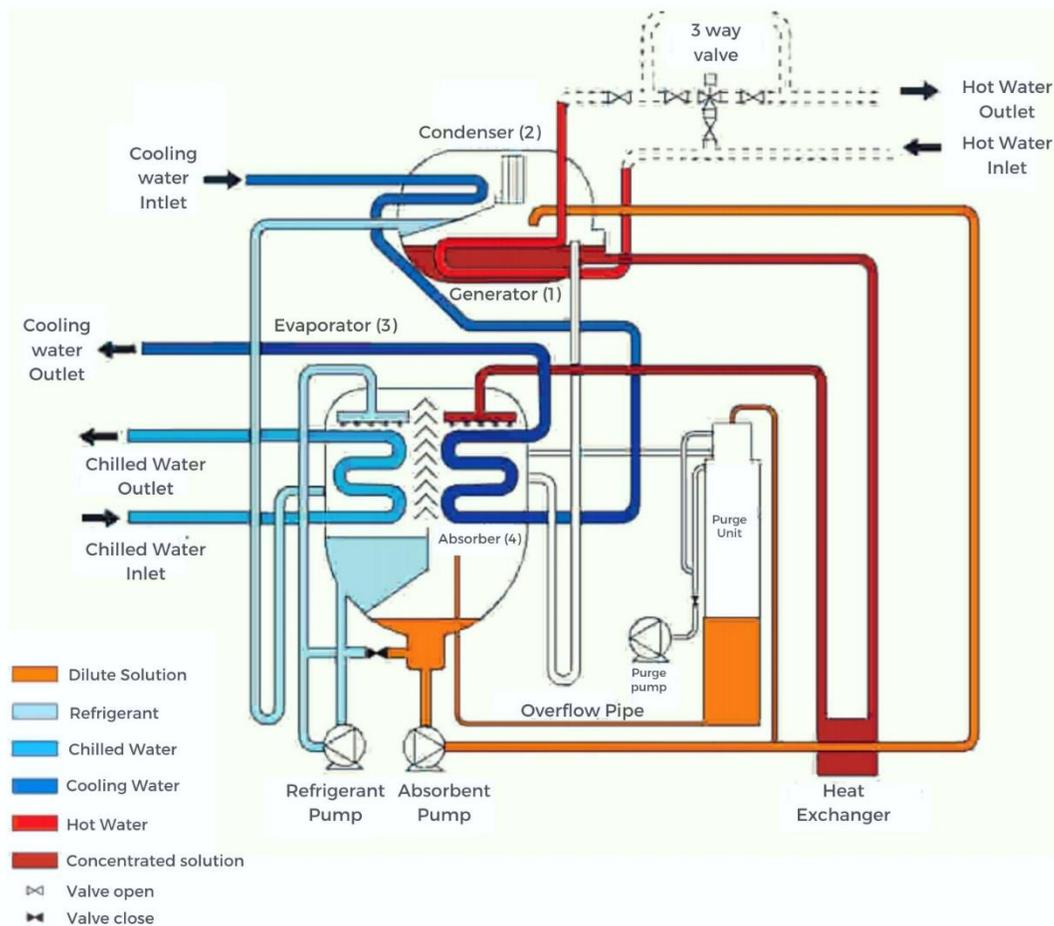


Ilustración 16 Adaptación - diagrama del ciclo de refrigeración por absorción de una etapa tipo Cogine (Trane, 2020)

1.9.6 Comparación de los sistemas de refrigeración por absorción y compresión mecánica

La principal diferencia entre los sistemas de compresión mecánica y los sistemas de absorción es la energía con la que son activados, como se ha mencionado los sistemas de compresión mecánica utilizan en su totalidad energía eléctrica, mientras que los sistemas de refrigeración por absorción en mayoría utilizan energía térmica no obstante los sistemas de

absorción también requieren de una cantidad baja pero considerable de energía eléctrica para conducir los servicios auxiliares del sistema⁶.

En el diagrama del sistema comercial (Ilustración 16), podemos encontrar casi en su totalidad los componentes requeridos para conducir un sistema de absorción de simple efecto, entre estos dispositivos podemos encontrar bombas de refrigerante, líneas de purga y un sistema de válvulas de tres vías, sin embargo dependiendo el origen del recurso térmico se necesitarán otros equipos de almacenamiento cuyo propósito es balancear las fluctuaciones que se pueden presentar en disposición del recurso térmico⁷ y pudieran afectar el funcionamiento del ciclo de absorción. La producción, instalación y arranque de estos numerosos sistemas auxiliares indudablemente terminan en un aumento significativo de la inversión en comparación con un sistema de compresión mecánica.

Adicionalmente una diferencia importante recae en la eficiencia que presenta cada sistema, por un lado, los sistemas de refrigeración por compresión mecánica cuentan con COP's en un intervalo de 3 – 6 mientras que los sistemas de absorción se encuentran en un intervalo de (0.6 – 0.8).

	Compresión mecánica	Sistema de Absorción
Energía principal	Electricidad	Energía térmica
Eficiencias típicas	(3 - 6)	(0.6 - 0.8)
Tamaño	+	-
Costos de inversión	+	-
Consumo eléctrico	-	+
Rechazo de calor	+	-
Mantenimiento	-	+
Comportamiento dinámico	+	-
Confiabilidad	-	+
Impacto ambiental	+	-

Tabla 5 Modificado Comparación entre sistemas de compresión mecánica y absorción (Schöpfer, 2015)

⁶ Por consecuencia, para el sistema de refrigeración por absorción se cambiará el denominador W_t de la Ecuación 1, por el conjunto W_t (Trabajo neto a la entrada) + Q_t (energía térmica).

⁷Un ejemplo es la energía térmica solar cuya disposición es intermitente y requiere de sistemas de respaldo y almacenamiento para trabajar en un régimen continuo. Diversos investigadores alrededor del mundo trabajan en arreglos que permitan el aprovechamiento de esta fuente renovable para conducir esta aplicación, entre ellos Eicker & Pietruschka (2009), quienes realizaron la simulación de diferentes estrategias de operación en un sistema de refrigeración por absorción combinado con un sistema de almacenamiento y determinaron que la estrategia en el manejo de estos sistemas de generación y almacenamiento de energía en conjunto con el ajuste a la demanda requerida son elementos vitales para la viabilidad económica de este tipo de proyectos.

Finalmente, es importante tener en cuenta diversos factores físicos como el tamaño, mantenimiento, confiabilidad e impacto ambiental, todo lo anterior se encuentra enlistado en la tabla (5) que muestra cada atributo valorado de manera cualitativa.

1.9.7 Sistemas de refrigeración por absorción conducidos con geotermia

De acuerdo con Lund (2020) el uso de la refrigeración conducida por recursos geotérmicos es usado ampliamente en siete naciones, Bulgaria, Brasil, Australia, Eslovenia, Algeria, Albania y la india, con una capacidad instalada de 19.9 MWt y un uso de 2, 389,1 TJ/año, esta capacidad no incluye las bombas de calor usadas como sistemas de enfriamiento. La baja capacidad de instalación es ocasionada por la fuerte competencia con los sistemas de compresión y la disponibilidad de fuentes geotérmicas adecuadas para la activación del proceso.

Los sistemas de refrigeración por absorción únicamente pueden competir con los sistemas de compresión mecánica en ciertas circunstancias, en primer lugar la demanda de refrigeración debe ser fija y de relativamente baja temperatura (Schöpfer, 2015), ahora bien, para que un sistema de refrigeración de esta naturaleza sea conducido por energía geotérmica, las aplicaciones no solo deben cumplir con las premisas anteriores sino que el lugar donde se pretendan instalar deben contar con recursos geotérmico disponibles o una fuente térmica de bajo costo, y es en este punto donde se halla una convergencia con los datos mencionados en secciones anteriores. De acuerdo con la tabla 4, México aprovecha sus manifestaciones geotérmicas de baja temperatura a través centros turísticos los cuales requieren usualmente sistemas de refrigeración para conservación de alimentos o climatización de espacios, es decir, se tiene la demanda y la oferta de energía, lo que representa una oportunidad completamente abierta para el desarrollo económico, de los usos directos y las comunidades adyacentes a puntos geotérmicos.

Atendiendo la oportunidad mencionada en el párrafo anterior, la comunidad científica de México y el mundo ha llevado a cabo diversas investigaciones sobre este tema, el esfuerzo más reciente en México es el trabajo desarrollado por el Dr. Carlos Rubio Maya y su equipo de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH) , quien ha estado a cargo del proyecto “integración de una planta de poli-generación mediante el uso en cascada de la energía geotérmica” (Cemie Geo, 2020) , Proyecto que tiene como objetivo integrar y poner en marcha una planta piloto de poli generación conducida únicamente con recursos geotérmicos de media en tibia, este sistema consiste en una planta ORC (Organic Rankine Cycle) para la generación de energía eléctrica y un sistema de refrigeración por absorción (NH₃ – Agua) para la climatización de espacios, esta investigación actualmente se sigue desarrollando y se estima que el Dr. Rubio Maya y su equipo obtengan resultados alentadores en los próximos meses.

Previamente a la investigación realizada en la UMSNH, Best R., Heard, Fernandez, & Siqueiros , (1986) desarrollaron, instalaron y analizaron un sistema de refrigeración por absorción Amoniaco – Agua de bajo costo, cuya capacidad es de 10.3 kW, este arreglo fue

instalado aguas abajo en la planta geo termoeléctrica “Los azufres” en Morelia, Michoacán y activado con recursos geotérmicos remanentes del proceso de generación de energía eléctrica cuyo rango de temperatura era de 90 -104 °C, con esta energía fue posible alcanzar un temperatura en el evaporador de -13 °C, temperatura suficiente para el almacenamiento de alimentos y medicamentos, la conclusión de este trabajo menciona que es posible conducir con éxito un sistema de refrigeración por absorción con energía geotérmica de media entalpia.

Otra investigación importante en el campo de la refrigeración fue liderada nuevamente por el Dr. Roberto Best, quien en el año 1990 trabajo en el desarrollo de las pruebas del mismo equipo utilizado en la investigación Best R, et al. (1986) pero ahora con un dispositivo de separación con mayor capacidad y considerando una mayor temperatura en el generador (Best R. , Heard, Peña, Fernández , & Holland, 1990), estas modificaciones tuvieron el de que las pruebas tuvieran validez en un mayor rango de recursos geotérmicos, el sistema modificado se puso en marcha aguas abajo en la planta geo termoeléctrica de Cerro prieto en el Estado de Baja California, el resultado de las pruebas, fue positivo, los investigadores reportaron una capacidad de 18 kW, lo que corresponde a que el sistema tuvo una capacidad 80% mayor a la que fue diseñado, finalmente los autores mencionaron la importancia de buscar nuevos pares de trabajo que tuvieran un grado de toxicidad menor con la finalidad de que estos sistemas de enfriamiento fueran recibidos adecuadamente en el ámbito alimenticio.

A nivel mundial los estudios más recientes están enfocados en sistemas CCHP (Combined Cooling, Heat and Power) y CCP (Combined Cooling and Power) también llamados sistemas de trigeneración y cogeneración respectivamente, estos sistemas⁸ consideran la integración de un dispositivo de refrigeración⁹ para la generación de agua helada cuyo propósito es el acondicionamiento de espacios o la refrigeración, estos arreglos están enfocados en aprovechar al máximo los procesos de generación de energía eléctrica y sus corrientes remanentes con el objetivo de aumentar la eficiencia de los procesos, reducir el usos de combustibles, costos y por consiguiente la emisión de gases de efecto invernadero (Clarke Energy, 2020).

En febrero de este mismo año Ehyaei, Ahmadi, El Hj Assad, & Rosen, (2020) analizaron un proceso CCP conducido por energía geotérmica, este arreglo considera un sistema de refrigeración por absorción (Libr – Agua) acoplado a un ciclo Rankine Orgánico (ORC), la capacidad del sistema de refrigeración es de 13 kW, así mismo se alcanzó un flujo y temperatura en la alimentación de la generación de 5 kg/s y 120 °C respectivamente. Los resultados de esta investigación muestran un aumento en el aprovechamiento de la energía de 9.3% a 47.3% y una disminución en los costos de producción de electricidad y refrigeración.

En el marco de los sistemas CCHP, Luo, Wang, Chen, Mo, & Gong (2015) realizaron una investigación que se basa en la relación del uso de la fuente térmica (En este caso geotermia)

⁸ Conducidos por cualquier tipo de fuente de energía

⁹ No tiene que ser un sistema de absorción necesariamente.

y la generación de electricidad, refrigeración y calor acoplados de una manera seccional es decir, se analizó un sistema del tipo ICUWGW (Integrated Cascade Utilization System of Waste Geothermal Water), este sistema consiste en un primer nivel de una planta geotérmica ubicada en China del tipo Flash, luego el agua de rechazo proveniente del tanque de separación es usada para conducir un proceso de refrigeración por absorción, para luego activar un proceso de secado y finalmente en el último nivel de energía aprovechar el calor para aumentar la temperatura de una alberca. Con esta investigación se encontró que este tipo de proyectos pueden tener un retorno de inversión de aproximadamente 1.85 años tiempo que puede disminuir incluso más al aumentar la tarifa eléctrica del sitio.

Otro ejemplo importante del enfoque internacional de los sistemas de absorción en la industria geotérmica es la investigación realizada por El Haj Assad, Tawalbeh, Salameh, & Al-Othman (2018) quien en su investigación realiza el acoplamiento y análisis teórico de un sistema de refrigeración de absorción conducido por los remanentes de una planta geotérmica tipo flash, el dispositivo de refrigeración trabaja con una corriente presurizada de 100 °C, el objetivo de este trabajo es el diseño del intercambiador de calor en el generador y el efecto en del desempeño sistema de refrigeración en función de la temperatura de la corriente geotérmica remanente.

1.10 Secado y deshidratación de alimentos

El secado y/o deshidratación es una operación unitaria ampliamente utilizada en la industrias, esta se define como el proceso por el cual se elimina total o parcialmente el agua de la sustancia que la contiene, este proceso puede ser aplicado a sólidos, líquidos o gases (Maupoey, Andrés Grau, Barat Baviera, & Albors Sorolla, 2016), este proceso no es algo nuevo, se tienen registros del uso de la deshidratación de alimentos desde el siglo XVIII, a partir de este punto se tiene conocimiento del envío de vegetales deshidratados a las tropas británicas en la guerra Crimea en el año 1854, también está registrado el envío de alrededor de 4,500 toneladas de vegetales deshidratados a África durante la llamada guerra de Boer (1899 – 1902), y 4500 toneladas enviadas por EUA a las tropas aliadas durante la primera guerra mundial (Basbosa Canova & Vega Mercado, 2000).

El uso de este tipo de alimentos en conflictos bélicos se debe a que no se deterioran con facilidad y pueden conservarse por un periodo considerable, hoy en día estas ventajas se traducen en la disminución de costos para el consumidor final, a causa de la simplificación de la cadena de suministro, facilitando su transporte y comercialización. Además, la capacidad de almacenamiento ayuda a mitigar el deterioro por los cambios de estaciones y obtener un mayor margen de ganancia.

1.10.1 Agua en los alimentos

El contenido de agua en un alimento se refiere en general, al agua de manera global dentro de un producto comestible, sin embargo, es importante mencionar que existen diferentes estados energéticos en los que se encuentra este componente, es decir no toda el agua de un producto tiene las mismas propiedades, esto se ha comprobado debido a que un alimento se congela a -20°C , pero aún en estas condiciones una fracción del agua permanece líquida y se requieren temperaturas de alrededor de -40°C para que se solidifique completamente.

Las consideraciones anteriores han llevado a que se empleen los términos: agua ligada y agua libre, considerando al agua ligada a aquella porción que no se congela a -20°C , por lo que también se le llama no congelable, por otro lado, el agua libre, corresponde al agua que se congela primero y es responsable de la inestabilidad en los alimentos.

La inestabilidad en los alimentos promueve el colapso de la estructura física de alimento, crecimiento microbiano, reacciones enzimáticas, oscurecimiento no enzimático y pre-oxidación de lípidos (Labuza, 1971), este contenido de agua es contabilizado como actividad acuosa (A_w).

1.10.2 Aspectos generales del secado y deshidratación de alimentos

De acuerdo con datos de Global Industry Analysts (GIA) el consumo de frutas deshidratadas crecerá para el año 2020, 4 millones de toneladas, los principales compradores son Estados Unidos de Norteamérica con el 12% de la compra mundial total, le siguen, países como Alemania (8.8%), Rusia (5.8%), Holanda (5.6%) y Reino Unido (5.4%) (Federación de productores de frutas de Chile, 2017).

Esta detonación en el consumo de comida deshidratada principalmente frutas y verduras, se debe a la tendencia mundial del consumo de alimentos nutritivos y saludables, así como a concientizaciones para evitar el desperdicio pues de acuerdo con la FAO aproximadamente un tercio de las partes comestibles de los alimentos producidos para el consumo humano se pierde o desperdicia, lo que representa alrededor de 1 300 millones de toneladas al año.

Tan solo en Europa y norte América el 40% de las pérdidas se produce en la venta minorista y durante el consumo, lo cual es alarmante pues de acuerdo con las mismas cifras de la FAO esta cantidad de desperdicios equivale a la producción neta total de alimentos en los 49 países africanos que no limitan con el mar mediterráneo (África subsahariana) (Food and agriculture Organization of the United Nations, 2011).

1.10.3 Deshidratación en México

El sector industrial para la deshidratación en México se compone de 270 establecimientos, los cuales emplean alrededor de 4,400 personas, esta oferta está dominada por cinco empresas que concentran el 37% de los ingresos anuales estimados, el más grande y reconocido es Grupo Premier de Occidente. Una estimación del valor de este sector fue realizada por

Fermoso (2012), quien reportó que el valor de la industria de conservación de frutas y verduras distintas de la congelación fue de 12,658 millones de pesos en año 2012.

A pesar de los datos anteriores México todavía cuenta con una importante área de oportunidad en esta industria pues de acuerdo a la información gubernamental, México desperdicia aproximadamente 10.431 millones de toneladas de alimentos al año (37% de la producción total), lo cual tiene un impacto enorme en lo económico, lo ambiental y social (Secretaría de desarrollo social, 2015), adicionalmente, de acuerdo con datos de la Unicef en México al menos 1 de cada 3 niños menores de 11 años padece desnutrición ocasionada por los malos hábitos alimenticios (Unicef, 2020), trastornos ocasionador por carencia de una dieta completa y saludable.

Existen diversos esfuerzos para el diseño de deshidratadores geotérmicos de alimentos como los realizados por Lund (Design of small fruit drier using geothermal energy).

1.10.4 Sistemas de deshidratación

Los sistemas comerciales para la deshidratación son clasificados de acuerdo con el procedimiento para transmitir energía al sólido húmedo, existen dos categorías;

Secadores por conducción o indirectos: Estos equipos se caracterizan como su nombre lo dice por el proceso de transferencia que predomina durante el deshidratado, la conducción, esta operación se realiza en general a través del contacto indirecto entre la materia a secar y la fuente térmica mediante las paredes del equipo. La fuente de energía puede ser vapor saturado, agua caliente, aceites térmicos, gases de combustión o una resistencia eléctrica.

Secadores directos o convectivos: Se caracterizan por utilizar un gas caliente que entra en contacto directo con el sólido húmedo, el proceso de transferencia de calor predominante es la convección, dentro de esta categoría existe una gran variedad de opciones comerciales enlistadas en la **Tabla 6**.

Tipos de secadores directos o por convección
Horno o estufa
Bandejas o de armario
Túnel
Cinta transportadora
Bandejas giratorias
Cascada
Rotatorios
Lecho fluidizado
Arrastre neumático
Atomizador

Tabla 6 Tipos de secadores directos Maupoey et al. (2016)

La selección de la tecnología para deshidratar dependerá de una gran cantidad de factores, como el material a secar o deshidratar, las características de la energía térmica disponible, tiempo de secado requerido, el presupuesto, la estrategia de operación etc., por lo tanto, ningún proceso de deshidratación es mejor que otro, su desempeño y el logro de los objetivos de la empresa dependerá de la correcta selección y operación del equipo (Ramos, 2017).

1.10.5 Deshidratador de bandejas o armario

Estos dispositivos pueden trabajar en régimen intermitente o batch de acuerdo a la estrategia de operación, se constituye de una cámara metálica aislada con soportes móviles sobre los que se apoyan los bastidores, cada bastidor puede llevar un cierto número de bandejas horadadas fabricadas con algún metal compatible con el contacto con alimentos, las bandeas están montadas unas sobre otras con una separación conveniente para permitir el flujo de aire.

El proceso se activa mediante la circulación de aire caliente entre las bandejas por medio de un ventilador acoplado a un motor, haciéndose pasar previamente por un intercambiador de calor, la fuente térmica en este equipo puede ser, cualquier tipo de energía renovable (Geotermia, solar o biomasa) o alguna corriente remanente de un proceso superior, luego de adquirir la energía esperada, la corriente de aire caliente ingresa a través de distribuidores que promueven el contacto homogéneo del aire caliente con la superficie de los sólidos a secar. Estos equipos se pueden dividir en Horizontales o transversales, indicativo de la dirección en la que fluye el aire caliente, estos equipos son conocidos por secar pequeñas cantidades de producto con un alto grado de exactitud lo que se puede traducir en un producto de calidad, por otro lado, las desventajas se encuentran en que requieren de mano de obra para la carga y descarga, lo cual resulta costoso y puede representar una desventaja en el balance económico.

1.10.6 Deshidratación con geotermia

De acuerdo con Lund (2020), a nivel mundial en el año 2020 se registró una capacidad instalada de 257 MWt y un uso de 3,529 TJ/año, lo cual representa un aumento del 59% y 73.8% respectivamente en comparación al año 2015, estos datos fueron reportados por 15 países, entre ellos China, Francia, Hungría, estados Unidos y Japón, quienes concentran el 94% de la capacidad instalada.

1.11 Acuicultura

La acuicultura, como parte del sistema de usos geotérmicos se coloca como el penúltimo eslabón del sistema debido a su baja demanda energética, es posible definir este concepto como la producción, procesamiento y venta de organismos biológicos. (Wheaton, 1987). Uno de los propósitos más importantes de la acuicultura es la implementación de sistemas que aprovechen en mejor medida los recursos terrestres y marítimos, a través de la cría de especies acuáticas en ambientes controlados que permiten aumentar la producción y mejorar la calidad de los productos finales.

El proceso de producción acuícola es importante porque aporta alimentos de alta calidad nutricional y empleos, además, promueve la seguridad alimentaria de las naciones y ayuda a proteger los recursos en los mares y océanos de nuestro planeta, mediante procesos sustentables y con bajo impacto ambiental (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2020).

1.11.1 Aspectos generales de la acuicultura

En todo el mundo los sistemas de acuicultura representan una área de oportunidad y esto se puede comprobar revisando los últimos datos publicados por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), los cuales confirman un incremento significativo y constante en la producción de productos pesqueros y acuícolas mediante acuicultura a partir de la década de los 90's, lo anterior, a causa del ensanchamiento de la demanda global (**Ilustración 16**) (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2020).

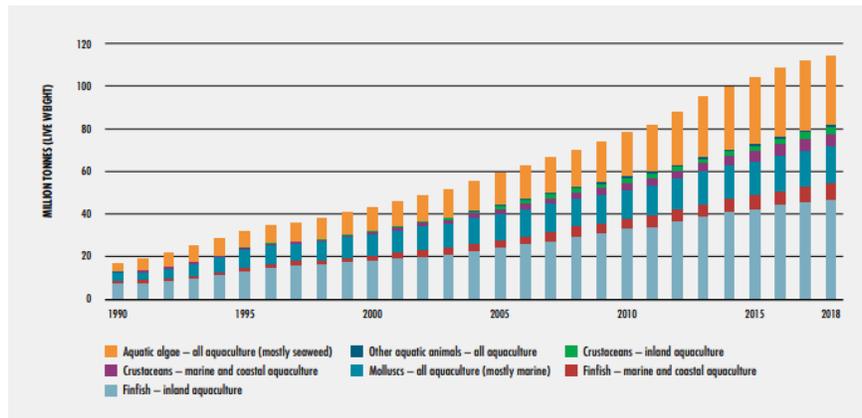


Ilustración 17 Producción acuícola mundial de animales acuáticos y algas (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2020)

El continente asiático es el líder en esta industria, generando 89% de la producción global, cuyos principales países productores son China, India, Indonesia, Vietnam, Bangladesh, Egipto, la enorme brecha entre la producción en esos países y otras partes del mundo se presenta por causas culturales como la dieta alimenticia y las tradiciones de los pueblos originarios, a pesar del hecho anterior, otros países como Noruega y Chile se han colocado recientemente como participantes importantes de la industria acuícola.

El desarrollo de esta industria también representa un impulso económico, pues de acuerdo a las últimas estimaciones de la FAO, en el año 2018 se obtuvo una producción acuícola de 114.5 millones de toneladas en peso vivo, un record histórico con valor de 263.6 mil millones de dólares, esta producción fue resultado de un crecimiento aproximado de 5.3% en promedio por año a partir del 2001. (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2020)

La derrama económica generada a partir de la industria acuícola a su vez ha permitido la generación de empleo, según datos oficiales de la FAO, se estima que 20.53 millones de

personas trabajaron de manera directa en sistemas acuícolas (14% mujeres y el resto hombres), tan solo en el continente americano en el 2018 se reportaron 388,000 empleados, de tiempo completo, parcial y ocasionales, lo que representa un aumento muy tenue con los 377,000 reportados en la versión anterior de este mismo reporte, no obstante, la tasa de empleos generados se ha mantenido a la alza desde 1995 como se puede ver en la **Tabla 6**

Continente/Año	1995	2000	2005	2010	2015	2028
África	69	100	189	255	355	386
América	279	257	241	336	377	388
Asia	7426	12355	14826	17910	19533	19617
Europa	98	104	100	118	115	129
Oceanía	6	8	8	6	10	12
Total	7878	12824	15364	18625	20390	20532

Tabla 7 Empleos a nivel mundial reportados para acuicultura por región (En miles) (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2020)

1.11.2 Acuicultura en México

En México, los datos mantienen la misma tendencia global, puesto que, en los últimos tres años el consumo de productos pesqueros y acuícolas ha aumentado de 8.9 a 15.5 kg per cápita (Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca, 2018), a su vez este aumento en la demanda ha promovido el desarrollo de la industria pesquera en general, incluyendo la acuícola naturalmente, este desarrollo llevo a que en el año 2018 a una producción acuícola de 247,191 toneladas (**Ilustración 17**) un aumento muy ligero con respecto al año 2017 pero con una tasa a la alza, lo cual, ubica a la pesca y a la acuicultura como actividades con una perspectiva de crecimiento positiva en los próximos años.

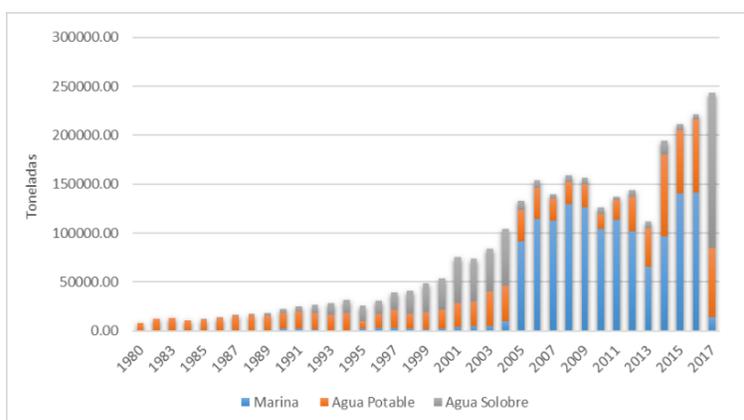


Ilustración 18 Producción de acuicultura por medio de cultivo en la república mexicana (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2020)

1.11.3 Sistemas de acuicultura

Un sistema de acuicultura puede clasificarse dentro de varias categorías, sin embargo, se utilizan principalmente tres para caracterizar un sistema e identificarlos correctamente., la primera de ellas se basa en el objetivo de la actividad, la segunda en la técnica empleada (Pillay, 1973) y la tercera en el grado de explotación (Intensidad) de la especie seleccionada.

En primer lugar, la clasificación por actividad se desglosa a su vez en las siguientes subcategorías:

- **Cultivo para la producción de alimentos**
- Cultivos para mejorar los bancos naturales a través de reclutamiento y trasplante artificial
- Cultivo para la producción de pesca deportiva
- Cultivo de carnada para la pesca deportiva
- Cultivo de organismos acuáticos para ornamental
- Cultivo de organismos acuáticos para abastecer a los grupos de investigación
- Cultivo de organismos acuáticos como medio para recircular desechos orgánicos
- Cultivo de organismos acuáticos para la producción de artículos industriales, tales como aceites, perlas, alimento para animales y fertilizantes

En segundo lugar, la clasificación en función de las técnicas empleadas puede resultar complicada si se considera que la acuicultura se ha expandido rápidamente combinando diversas técnicas y modificando las ya existentes, no obstante, es posible identificar las principales subcategorías:

- Estanque
- **Tanques**
- Jaulas
- Recintos
- Canales
- Sistemas de recirculación de agua en tanques en interiores

Por último, tenemos la clasificación en función del grado de explotación de la especie o intensidad, esta clasificación cuenta con tres subcategorías:

- Extensiva
- Semi-intensiva
- **intensiva**

1.11.4 Sistemas de acuicultura con tanque

Como se ha mencionado, el sistema en el que se profundizará para fines de este trabajo es en el sistema de acuicultura cuyo objetivo es la producción de alimento en un medio intensivo

a través de tanques cerrados; este sistema cuenta con ventajas importantes como son: Control de enfermedades, automatización de los sistemas de acondicionamiento, control de depredadores, ahorros energéticos y optimización de costos de alimento. Por otro lado, las desventajas de este sistema son los altos costos de inversión, la falta de experiencia en México y la falta de programas rigurosos de investigación que mitiguen el riesgo de falla en el desarrollo de proyectos (Pillay, 1973).

Por un lado, la acuicultura extensiva se realiza en aguas naturales continentales con relativamente pocos cambios en el ambiente, el objetivo de este tipo de acuicultura es repoblar embalses donde las poblaciones acuáticas hayan disminuido, mientras que los sistemas semi-intensivos se refieren al tipo de cultivo donde el agricultor únicamente tiene influencia en los aspectos reproductivos y alimenticios.

Los sistemas **intensivos** son aquellos que cuentan con un alto grado de control sobre el agua y los organismos que ahí se desarrollan a través de técnicas y mecanismos especializados con el fin de obtener el máximo rendimiento. Estos sistemas pueden ser abiertos, semi abiertos o cerrados, lo cual se decidirá con base en las condiciones del proyecto, la diferencia entre estos tipos de sistemas son los recursos hídricos que utilizan, en los sistemas cerrados (el caso de interés para este trabajo), se utiliza un fluido y se hace recircular a través equipos que mantienen sus condiciones óptimas para la actividad acuícola, en este tipo de sistemas el consumo de energía¹⁰ es mucho menor que debido a que el recurso hídrico no está expuesto a los cambios de temperatura inducidos por las condiciones meteorológicas así como a las amplias áreas que permiten la evaporación, adicionalmente, de acuerdo a (Wheaton, 1987) se optimiza el consumo de alimento y se promueve el crecimiento debido a la reducción de niveles de estrés gracias a la falta de depredadores naturales, estos aspectos impactan directamente en el control de la talla del producto y la programación de la demanda, cualidades clave para el desarrollo exitoso de un análisis de viabilidad económica.

1.11.5 Conservación

Un proceso importante después de la cosecha es la conservación de los productos pesqueros, cualquier especie de pescado si se enfría de manera adecuada conservará sus propiedades, actualmente debido a la competitividad de este mercado, utilizar sistemas de conservación eficaces que mantengan el producto en buen estado es de vital importancia para mantener la competitividad.

Existen diversos procesos para la conservación, los más usuales son la congelación, el enfriamiento y el vacío, cada uno de estos cuenta con ventajas y desventajas a pesar, de que el proceso de congelamiento ayuda a mantener el pesado por más tiempo, también cuenta con desventajas, por ejemplo, requiere una mayor cantidad de energía eléctrica, requiere agua potable y si se realiza de manera incorrecta puede afectar al producto, por otro lado el uso de la conservación eliminando todo el aire del producto o Al vacío en combinación con la

¹⁰ De acuerdo con (Wheaton, 1987, pág. 219) La necesidad de enfriar o calentar agua representa uno de los mayores gastos de operación de un sistema cerrado y semi-cerrado.

refrigeración convencional permite conservar la propiedades organolépticas del producto y requiere menor cantidad de energía.

1.11.6 Acuicultura con geotermia

La acuicultura es uno de los principales usos directos de la geotermia, debido a que la temperatura del agua óptima para la crianza de la mayoría de productos acuícolas se encuentra entre los 20 y 35 °C, temperatura que es fácilmente alcanzable con geotermia de baja y media entalpía, el uso de este recurso también permiten operar sistemas acuícolas en climas fríos o con condiciones climáticas variables donde de manera natural sería imposible mantener una temperatura adecuada para las especies durante todo el año (Boyd & Lund, 2003).

Esta aplicación del calor geotérmico es una de las más importantes en el mundo, Lund (2020) sostiene que la capacidad instalada para esta actividad primaria aumento a 950 MWt lo que equivale a un aumento del 36.5% con respecto al año 2015, mientras que el uso de energía incremento 13.5% lo que equivale a 13,573TJ/año, estos datos fueron reportados por 21 naciones, sin embargo, es importante hacer notar que unos cuantos países concentran el 92% del esta capacidad, los cuales son, China, Estados Unidos de Norteamérica, Islandia, Italia e Israel. En el caso de China, se pueden encontrar cerca de 300 granjas acuícolas conducidas por geotermia, lo que equivale a 5.5 millones de m² usados para este fin y a una capacidad instalada de 482 MWt, en el caso de estados Unidos de Norte américa se cuenta con 45 sitios acuícolas cuya capacidad instalada es 122.13 MWt, esta significativa capacidad instalada tiene como base la creciente demanda de los productos acuícolas y la rentabilidad de los procesos conducidos por energía geotérmica, y es por esta razón que se han desarrollado durante la última década múltiples investigaciones, proyectos y ponencias sobre el tema

Ragnarsson (2014) analizó dos de las 20 granjas conducidas por energía geotérmica en Islandia, la primera de ellas es Íslandslax, ubicada al sur de la capital en Núpár, esta granja acuícola cuenta con 2,00 m² de superficie, cuyos procesos consumen 240 l/s de agua potable a 5.5 °C y 7 -10 l/s de agua geotérmica a 90°C, esta granja acuícola está dedicada al cultivo de 1.7 toneladas mensuales de salmón lo que equivale a 25,000 especímenes de 70 -100g cada uno. La segunda granja acuícola expuesta por Ragnarsson es Silfurstjarnan en Öxarfjörður, este sitio fue elegido después de la diversas exploraciones que tenían como objetivo encontrar lugares con alta disponibilidad de agua potable y recursos geotérmicos, este sitio al año 2014 mantenía una producción de 1,000 toneladas de salmón y 100 toneladas de carbón ártico, asimismo de acuerdo a lo datos reportados por Georgsson (1996).esta producción requiere de 700 -800 agua fría y 100-200 l/s de agua potable a entre 5 -7°C y 88 – 99 °C respectivamente.

Farghally, Atia, El-madany, & Fahmy (2013) por su parte, realizaron una investigación sobre sistemas acuícolas de recirculación (RAS) conducidos por energía geotérmica, este trabajo está enfocado en el diseño de un sistema RAS para el cultivo de pez gato y el análisis del

sistema de intercambio de calor, todo esto en la localidad de Umm Huweitat cerca del mar rojo, en Egipto, esta publicación concluye en un diseño exitoso de un intercambiador de calor para esta aplicación a través de método NTU (Número de unidades de transferencia térmica) y en la programación de un PLC I en Matlab para el control de temperatura en el tanque de crianza.

En Europa la institución pública, Klaipeda science and technology park (2012), realizó un estudio sobre la viabilidad de instalación de un granja acuícola en Vydmantai, Lituania, este estudio expone beneficios como el menor consumo de agua potable durante el proceso de crianza, el uso de sistemas RAS, el aumento de la producción, el bajo impacto ambiental y la posibilidad de multi-cultivo por la disponibilidad energética, esta publicación enlista a especies como Lates calcarifes, camarón blanco, pez gato y tilapia como los productos principales de esta nueva industria para el país Europeo.

En Indonesia, una granja acuícola, ubicada en la provincia de Lampung, ha reportado el uso de una corriente geotérmica mezclada con agua potable para la crianza de pez gato, de acuerdo con los datos reportados por los administradores, esta combinación permite un mayor rendimiento en la producción y un aumento en el tamaño de los productos (Surana, Atmojo, & Suyanto, 2010).

En México de acuerdo al Mapa de ruta tecnológica capítulo Geotermia publicado en por la Secretaría de energía (2018), no hay registro de alguna persona física o moral que utilice de esta manera los recursos geotérmicos en México, sin embargo existen esfuerzos por parte de instituciones públicas como el divulgado por Aviña Jimenez, Benítez Torreblanca , & Gutiérrez, 2016 (2016), artículo donde se considera los sistemas de acuicultura como parte de aplicaciones en cascada de la energía geotérmica, este arreglo considera de manera secuencial, la generación de energía eléctrica, desalación, deshidratación de fruta, invernaderos y la acuicultura como parte de un sistema completo para el aprovechamiento térmico.

El escaso desarrollo del sector acuícola conducido por energía geotérmica podría ser provocada por la falta de conocimiento científico y práctico para hacer este tipo de sistemas rentables y/o por la dificultad para disponer de información en español relacionada con tema, por otro lado, el aumento en los costos de los combustibles fósiles, la concientización actual hacia el cambio climático y la preservación de áreas naturales provocarán de manera inminente el aumento de los costos de producción para los competidores en este mercado como lo son las empresas que utilizan combustibles fósiles y grandes embarcaciones, con esto los sistemas de acuicultura conducidos con geotermia podrán competir de manera directa con los costos de producción y los modelos de negocios serán más atractivos para los inversionistas.

1.12 Uso de los recursos geotérmicos para la salud, la recreación y el bienestar

En el último nivel se encuentra el uso de los recursos geotérmicos para la recreación, la salud y el bienestar, este conjunto de usos representa la aplicación más antigua de la que se tiene registro. Desde los inicios de la humanidad, los baños termales se han usado y desarrollado en diferentes culturas, generalmente en aquellas que han tenido los recursos a su alcance más fácilmente, algunos ejemplos de esto son los baños de Aachen en Alemania, Kusatsu en Japón, Bath en Reino Unido, Rotorua en New Zelanda, Beitou en Taiwán, incluso, basado en los hallazgos arqueológicos, el uso de agua caliente mineral fue usada hace 5,000 años por la cultura egipcia (Lund J. W., *Balneological use of thermal waters*), esta tradición milenaria se presentó al mismo tiempo en muchas culturas nativas en el continente americano, por ejemplo, en Norteamérica, los nativos veían a los sitios de aguas termales como lugares sagrados donde era posible comunicarse con “El gran espíritu”, estos espacios durante los años de la conquista también fueron usados como puntos neutrales, donde los soldados podían descansar y recuperarse sin ser molestados, estas creencias provocaron diversos mitos, entre ellos, la “Fuente de la juventud”, lugar que exploradores españoles como Ponce de León y Hernando de Soto buscaron durante años. (Lund J. W., 1993)

En suelo mexicano, se tiene registros de que el Emperador Mexica Moctezuma Xocoyotzin viajaba al ahora estado de Morelos con el propósito de tomar un baño en las aguas termales ubicadas en las cercanías de volcán Popocatepetl, adicionalmente él y nuestro pueblo disfrutaban de un tipo de sauna llamado “Temaxcal”, actividad en la se usaban vapores provenientes de manifestaciones geotérmicas cuando estaban disponibles (Pareja, 1988).

Más recientemente, en el año de 1776 en América del norte, justo en independencia de Estados Unidos de Norte América, el presidente George Washington inauguró el primer spa de aguas minerales en Berkeley, California llamado “Medicine Waters”, esta figura política reconoció desde ese entonces aportes curativos de las aguas termales minerales y visitó el sitio frecuentemente con su familia durante su mandato, después, en 1832 durante la presidencia de Andrew Jackson se reconoció por primera vez los beneficios de estos recursos en Hot Springs, Arkansas, más adelante en 1872, Yellowstone se consideró parque nacional debido a las extraordinarias propiedades de los recursos geotérmicos y a la riqueza del ecosistema. (Lund J. W., 2000)

La gran importancia de los recursos geotermicos en la historia antigua y moderna ha despertado el interés de diversos investigadores, quienes se han propuesto analizar como influyen las aguas termales en el turismo moderno y de que manera estos puntos calientes pueden influir en el éxito de un complejo turístico, en este sentido, Erfurt (2011) ha creado un concepto llamado “Turismo geotermico”, concepto definido por esta investigadora como: La acción de visitar un destino, zona, terreno, comarca, atracción o instalación, la cual aproveche los recursos geotermicos en forma de agua termal mineral”, esta clase de turismo

esta ligada por su puesto al ecoturismo¹¹ y geoturismo¹², pero de manera mas importante al turismo de salud, bienestar y recreación.

Turismo de bienestar: Todo viaje motivado por el proposito de mantener y mejorar el bienestar personal (Global Wellness Institute, 2020).

Turismo de salud: Todo viaje tomado en busqueda de un alternativa terapeutica o tratamiento de alguna enfermedad (Global Wellness Institute, 2020).

Recreación: No existe una difinicion concreta sobre el turismo de recreacion, sin embargo, De acuerdo al diccionario del español Mexicano (DEM) la recreación se define como: Aquella actividad que se hace como diversion o para distraerse, por otro lado, la interpretacion del “*Merriam-Webster dictionary*” diccionario de la lengua inglea define esta palabra como toda actividad que tiene por objetivo brindar alivio para el trabajo, por tanto, en este contexto se definiria al turismo por ocio como: Todo viaje cuyo proposito es realizar una actividad para distraer y mejorar la calidad de vida de los usuarios.

¹¹ Ecoturismo o turismo ecológico es la actividad turística que se desarrolla si alterar el equilibrio del medio ambiente y evitando los daños a la naturaleza.

¹² El geoturismo hace referencia a un tipo de turismo cuyo objetivo se centra en destacar el patrimonio geológica, la geo diversidad y la biodiversidad de un territorio determinado

Para determinar de qué manera se encuentra relacionado el turismo geotermico con el turismo para la salud, la recreación y el bienestar Erfurt (2011), realizó una profunda investigación la cual concluye que los turistas pueden visitar una manifestacion geotérmica con un propósito fijo, sin embargo es común que las instalaciones o la propia distribución del complejo turístico, promuevan que el visitante haga uso de otros servicios cuyo objetivo es distinto (como el ocio y la recreación) al que se tenía en mente al momento de su llegada, este rango de posibilidades puede obervarse en la Ilustración 19, la cual, permite visualizar de manera independiente cada sector al que puede estar dirigido un complejo pero también su correlación con otros servicios.

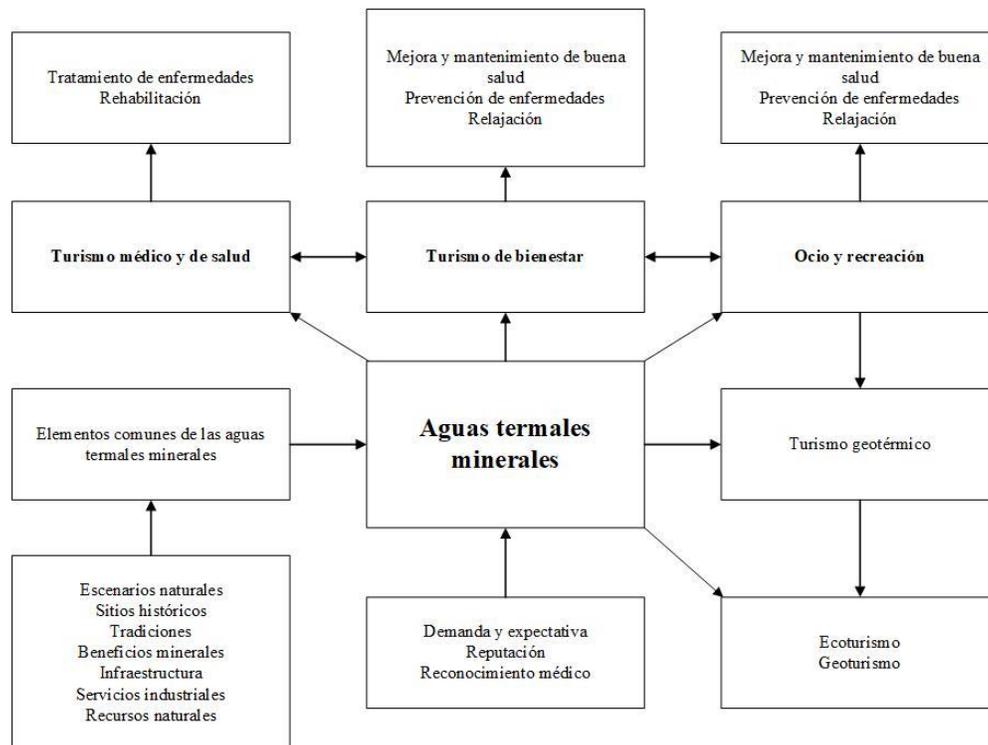


Ilustración 19 Modificado. Representación conceptual de la participación de los recursos geotérmicos en el turismo (Erfurt, 2011)

1.12.1 Aspectos generales del uso de las aguas termales minerales para la recreación, salud y bienestar.

En la actualidad, el Global Wellness Institute (GWI), reúne en la industria de las aguas termales a todo negocio y establecido que genera ingresos asociados con el uso de aguas termales minerales para la recreación, salud y el bienestar, este amplio concepto permite realizar estimaciones acerca de la generación económica de esta industria desde hace más de 10 años. En este sentido, el GWI en su última publicación reportó ingresos para la industria de las aguas termales de alrededor de 51.04 mil millones de dólares, estos mismos datos muestran al continente asiático en como el líder de esta aplicación (Tabla 8)

En relación con los países líderes, China y Japón concentran 54% de los ingresos provenientes de esta actividad turística sin embargo países como Alemania, Rusia e Italia mantienen proyectos activos que permitirá reducir esta brecha (Tabla 9).

	Número de instalaciones		Ingresos	
	2015	2017	2015	2017
Asia	20,146	25,916	29.23	31.6
Europa	5,613	5,967	19.74	21.73
Latino américa y el caribe	1,148	1,406	1.2	1.6
Norteamérica	237	302	0.57	0.73
África media y noreste	324	416	0.24	0.41
Sur de áfrica	39	50	0.06	0.08
Total	27,507	34,057	51.04	56.15

Tabla 8 Instalaciones e ingreso en la industria de las aguas termales (US\$ miles de millones)

País	Establecimientos	Ingresos (US\$ millones)
China	3,900	17501.1
Japón	20,972	12795.5
Alemania	1,265	7151.9
Rusia	838	3667.2
Italia	768	1718.3
Austria	181	961.1
Hungría	546	793.2
Brasil	207	718
España	293	683.1
Polonia	203	674.5

Tabla 9 Top 10 de los Mercados de aguas termales

Por su parte, Lund (2020) reporto para el año 2020, 12,553 MWt de capacidad para el aprovechamiento de los recursos geotérmicos en baños y albercas, 3,110 MWt más con respecto al año 2019, esto implica un aumento del 6.25% en promedio anual, lo que es congruente con el 5% de crecimiento promedio en los ingresos entre el año 2015 y 2017 de acuerdo al GWI, Finalmente, de acuerdo a los datos de Lund, los países líderes en esta industria son China, Japón, Turquía, Brasil y México concentrando el 7% del uso anual de recursos geotérmicos para este fin, lo que equivale a 184,070 TJ, aspecto que no corresponde con el valor del mercado reportado por el GWI.

1.12.2 Recreación salud y bienestar en México

En México, la última actualización encontrada sobre centros turísticos cuyo atractivo sean las aguas termales fue el trabajo patrocinado por la Comisión federal de electricidad (CFE) y presentado por Gutiérrez Negrín, Maya González, & Quijano León (2015), quienes reportaron 155.347 MWt de capacidad instalada para este propósito, esta información es la misma contenida en el Mapa de ruta tecnológica para la energía geotérmica publicado en el 2018 por la secretaría de energía.

Como información adicional, tomando los reportes de la GWI es importante mencionar que México reportó 587 establecimiento que ofrecen este servicio, distribuidos a lo largo de 18 estados de la república, estos lugares turísticos tuvieron un ingreso en el año 2017 de 216.0 millones de dólares, lo cual sitúa a México como un participante importante en esta industria a nivel regional. (Tabla 10) (Global Wellness Institute, 2020).

País	Establecimientos	Ingresos (Millones de dólares)
Brasil	207	718
Argentina	179	251.3
México	587	216
Costa rica	45	140.2
Chile	78	87.1
Uruguay	32	68.4
Perú	44	39.8
Ecuador	50	22.8
Colombia	52	21.1
Guatemala	18	8.3

Tabla 10 Países líderes en la región de Latinoamérica en el uso de aguas termales 2017 (Global Wellness Institute, 2020)

1.12.3 Clasificación de las aguas termales minerales para su uso en recreación salud y bienestar

De la forma en la que se han definido el concepto de recreación, es posible utilizar agua con un gran rango de características para este fin, esta variedad es tan vasta que resultaría impráctico describir cada una de ellas, sin embargo, para el caso del usos de los recursos geotérmicos para la salud y el bienestar, esto cambia, y surge la necesidad de integrar el concepto “Hidrología médica” este término es la base para comprender el papel de los recursos geotérmicos en la salud y el bienestar, La sociedad española de hidrología (2020) define este término como:

“Rama de la medicina que tiene como fin el estudio de las aguas mineromedicinales, minerales naturales, marinas y potables ordinarias de sus acciones sobre el organismo humano en estado de salud o enfermedad”

Derivado de esta definición se introduce el concepto “Agua mineromedicinal” este término esta acuñado en España, pero tiene sus homólogos como “Heilwässer” en alemán y “Natural

Hot and Mineral Springs” en inglés, estas palabras pueden tener variaciones en la interpretación, pero tienen el mismo propósito. Este concepto permitirá posteriormente clasificar los recursos geotérmicos empleados para la salud y el bienestar, En primer lugar, La Universidad de Santiago de Compostela (2017) define a las “Aguas mineromedicinales” como:

“Aquellas soluciones difícilmente reproducibles de manera artificial, dotadas de peculiaridades propias sobre el organismo humano sano o enfermo que justificadamente sean declaradas de utilidad pública por los organismos oficiales competentes”

A su vez, las aguas mineromedicinales pueden clasificarse en cuatro categorías; Por mineralización global, temperatura, dureza y efecto terapéutico, como se menciona en la definición de aguas mineromedicinales es importante que una autoridad competente avale los efectos terapéuticos, sin embargo se han encontrado de acuerdo a la experiencia de países europeos principalmente, una relación entre la concentración de ciertos aniones y cationes con las acciones terapéuticas de este recurso sobre el cuerpo humano, esta clasificación puede observarse en la tabla 11, un punto importante que se debe mencionar es que estas acciones terapéuticas son resultado de la práctica y la tradición, no obstante, hoy en día existen opiniones médicas que debaten estos métodos para el tratamiento de las enfermedades, por esta razón se describen en la parte final de esta sección algunas investigaciones recientes que comprueban los efectos de las aguas minero medicinales.

Aunque el objetivo de este trabajo no es enfocarse en la acción terapéutica de los recursos geotérmicos del sitio, se toma en cuenta esta clasificación con la finalidad de caracterizar el recurso geotérmico y estimar las condiciones óptimas para su aprovechamiento así como para proyectar los posibles usos relacionados a la salud y el bienestar, como se verá estas aplicaciones pueden generar un valor agregado al sistema de aprovechamiento geotérmico y presentarse como un diferenciador respecto a otros complejos turísticos, lo cual podría ser eje fundamental del éxito de un proyecto de esta naturaleza.

Mineralización global	Temperatura	Dureza
Oligometálicas (Residuo seco inferior a 100 mg/l)	Hipotermiales (Menor a 35°C)	Muy blandas (Entre 0 – 100 mg/L de CaCO ₃)
Mineralización muy débil (Residuo seco entre 100 y 250 mg/l)	Mesotermiales (35 – 37 °C)	Blandas (Entre 100 – 200 mg/L de CaCO ₃)
Mineralización débil (Residuo seco entre 250 y 500 mg/l)	Hipertermiales (Mayor a 37 °C)	Duras (Entre 200 - 300 mg/L de CaCO ₃)
Mineralización media (residuo seco entre 500 y 1000 mg/l)		Muy duras (Entre 300 - 400 mg/L de CaCO ₃)
Mineralización fuerte Mayor a 1000 mg/l		Extremadamente duras (Más de 400 mg/L de CaCO ₃)

Tabla 11 Clasificación de las aguas mineromedicinales (Universidad de Santiago de Compostela, 2017)

Tipo de recurso	Métodos de aplicación	Condiciones tratables con aguas mineromedicinales
Cloruradas	Inhalado, ingerido y baño	Enfermedades estomacales e intestinales
Sulfatadas	Ingerido	Estomacales /intestinales
Carbogaseosas	Ingerido baño	Efectos hipotensores, reduce la frecuencia cardiaca funciona como tratamiento auxiliar de trastornos circulatorios
Radiactivas	Ingerido, inhalado y baño	Enfermedades en las articulaciones, inflamatorias y degenerativas
Sulfuradas	Baño	Enfermedades articulares degenerativas e inflamatorias y dermatológicas.

Tabla 12 Condiciones tratables con aguas mineromedicinales de acuerdo a la concentración mineral, Modificado de (Schmiedel & Matthias, 2017)

1.12.4 Casos de éxito e investigaciones recientes sobre los usos de los recursos geotérmicos para la salud, la recreación y el bienestar.

I Blue Lagoon, Islandia

Uno de los lugares más populares y exitosos que aprovechan recursos geotérmicos para la recreación la salud y el bienestar es Blue Lagoon en Islandia, este sitio fue descubierto en la década de los 80s cuando residentes empezaron a tomar baños en las aguas que se encontraban en los alrededores del parque de recursos geotérmicos “Svartsengi”, los ingenieros de estas instalaciones tenían la idea de que el agua remanente de sus proceso se filtrara y regresara al flujo natural, sin embargo, el alto contenido de sílice no permitió que el agua se drenara generando grandes cuerpos de agua color azul turquesa. En 1987 el Dr. Grímur Sæmundsen, tuvo la visión de convertir este lugar en un sitio dedicado al bienestar que usara las aguas con alto contenido mineral de las que disponían, hoy en día, este lugar se ha convertido en un Lujoso complejo turístico con múltiples instalaciones que brindan a los huéspedes la más alta experiencia de confort, incluso este lugar ha sido nombrado maravilla del mundo por sus espectaculares paisajes y sus tratamientos (Bluelagoon , 2020).

Blue Lagoon, no solo es un sitio extraordinario, este complejo turístico es parte de una sistema ICUWW, el cual tiene su origen en dos plantas generadoras de energía eléctrica, las corrientes remanentes de estos procesos activan otras aplicaciones como Blue Lagoon, la manufactura de cosméticos, biotecnología y un sistema de acuicultura, este conjunto genera alrededor de 500 empleos directos, otro aspecto importante es que blue Lagoon representa el 24% de los ingresos totales de todo parque geotermal, tan solo detrás de HS Orka y HS Veitur, empresas dedicadas a llevar los procesos de generación de energía eléctrica y térmica respectivamente (Resource park, 2020), por esta razón este ejemplo es tan importante, pues muestra dos aspectos elementales; el uso de los recursos geotérmicos para la recreación , la salud y el bienestar y la importancia de esta aplicación en un sistema ICUWW.

II Thermopolis, Estados Unidos

En el pasado, este sitio era dominado por las tribus nativas Shoshone y Arapaho, pero fue cedido al gobierno norteamericano en el tratado de 1896, con la condición de mantener el acceso libre al público. A principios del siglo XX se formó una comunidad médica alrededor de estas manifestaciones geotérmicas, que estaba enfocada en el uso médico de las aguas termales y brindaba a los visitantes tratamientos auxiliares para el manejo de diferentes enfermedades

Este complejo está localizado aproximadamente a 150 km en el sureste de Yellowstone National Park en Wyoming, su mayor atracción geotérmica es Big Horn Spring con un flujo de 120 l/s de agua que fluye a una temperatura de entre los 22 y 56 °C, con un total de 2,400 mg/L de sólidos disueltos. Al día de hoy, el parque cuenta con poco más de 420 Hectáreas que incluyen instalaciones del más alto nivel de confort y una gran diversidad de atracciones turísticas. Un diferenciador importante es que este complejo provee recursos hídricos y térmicos al Gottsche Rehabilitation Center, institución especializada en la rehabilitación de personas con problemas de espina dorsal, úlceras y quemaduras, esto es sumamente importante debido a que estos casos de éxito nos permiten posibles sistemas ICUWGW hacia el importante mercado de la salud (Hot Springs Travel & Tourism, 2020).

III Hervidores Cofrentes, España

Este balneario se encuentra en la provincia de Valencia en España, su importancia yace en la evolución que ha tenido durante los últimos años. En un principio, este sitio solo era un balneario, sin embargo, la inversión en estudios médicos que comprobaran los efectos terapéuticos de sus aguas y la adecuación de sus instalaciones han llevado a este lugar a convertirse en una importante escuela de longevidad, cuyas aguas mineromedicinales cuentan con una temperatura de apenas 16.5 °C y un pH de 7.4, provenientes de dos manantiales; hervideros y el pilón.

En este complejo turístico se tratan principalmente tres tipos de afecciones: Reumatismos articulares y secuelas de traumatismos, en cuanto a los tratamientos en el aparato digestivos, además, se pueden encontrar terapias auxiliares para gastritis, dispepsias gástricas, estreñimiento, litiasis biliar, disinesias biliares atónicas, colecistitis crónicas y síndrome de post-colecistectomía. Adicionalmente se cuenta con servicios de bienestar como hidromasaje, piscina termal, ducha filiforme circular, ducha de tres columnas, chorro a presión, chorro sin presión, aerosoles, y técnicas completarías, como parte del servicio integral a sus visitantes (Maraver Eyzaguirre & Armijo Castro, 2010).

1.12.5 Investigaciones recientes sobre los usos medicinales de la balneología.

Nusser & Horváth (2012) realizaron un estudio cuyo propósito fue evaluar la eficacia de las aguas termales minerales de Harkán, Hungría, en el tratamiento de pacientes con osteoartritis, el estudio también tenía por objetivo comparar el tratamiento aplicado con aguas termales minerales y agua potable convencional, lo cual permitiría comprobar el impacto de las sales

contenidas en el líquido para los tratamientos, la investigación consistió en el estudio de un grupo de 53 pacientes diagnosticados con osteoartritis, el grupo fue dividido en dos subgrupos, donde a uno se le aplicó la terapia con aguas minerales y al otro únicamente agua caliente por un periodo de tres semanas consecutivas, como resultado del estudio se encontró que la terapia con aguas termales minerales son más efectivas que las terapias con agua convencional para el tratamiento de la osteoartritis, lo cual impacta directamente en la calidad de vida de los pacientes, la disminución del dolor y la recuperación de funciones.

Por su parte Ferreira & Almeida (2012), trabajaron en un estudio con el objetivo de determinar si las aguas termales minerales de UnHais da Serra en Portugal con alto contenido en cloruros, son efectivas para el tratamiento de dolor de espalda baja ocasionado por spondiloartrosis, este estudio tiene como resultado que después de 14 días de tratamiento se reduce el dolor y el consumo de fármacos, incrementado la calidad de vida de los pacientes, de esta manera el uso de las aguas termales minerales provenientes de UnHais da Serra es justificado como tratamiento complementario para pacientes con spondiloartrosis.

2 CAPITULO 2 ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA DEL CRG

2.1 El Molote, Nayarit

De acuerdo con el objetivo general de este trabajo, el Centro de Recursos Geotérmicos (CRG) deberá proponerse en las cercanías de una comunidad que cuente con recursos geotérmicos de baja y media entalpía disponibles y de fácil explotación, esto, con el objetivo de evitar los costos y la incertidumbre asociada a las etapas de exploración y perforación de pozos geotérmicos. Con esta motivación, el grupo IIDEA (Desalación con energías alternas del Instituto de ingeniería) en conjunto con el instituto de geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) elaboraron un informe sobre las jornadas de exploración geoquímica, realizadas a 1 km de “El molote”, Nayarit, localidad que se encuentra a 24 km de la costa y a 30 km de la comunidad de San Pedro lagunillas, zona donde se encuentra la central geotermoeléctrica del “Domo de San pedro”.

De acuerdo al Instituto de Geofísica (2018), se encontraron diversos derrames de composición andésítica que tienen como centro de emisión el Volcán “El molote”, también,

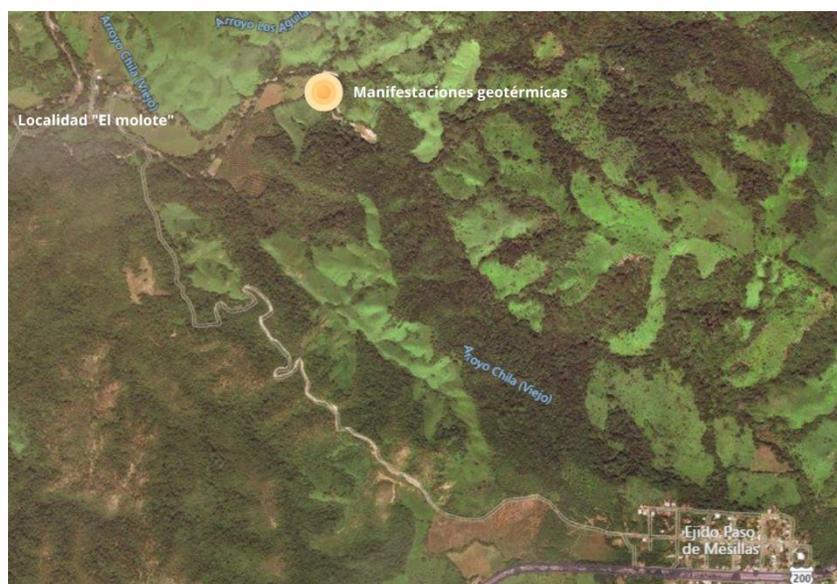


Ilustración 20 Puntos de interés en el municipio de Compostela, Nayarit

se descubrieron 5 unidades andésíticas en una área de 1.5 km² donde se localizan 25 manifestaciones geotérmicas del tipo manantial termal con temperaturas desde los 47 a 90°C, adicionalmente, en la zona se encontró un alto grado de permeabilidad dado el intenso fracturamiento derivado de los sistemas de fallamiento normal con dirección NW-SE, SW-NE, N-S y E-W.

La localidad de “El molote” junto con “Paso de mesillas” y “El Narajito” forman parte del ejido de “Paso de mesillas” dentro del Municipio de Compostela, las primeras dos localidades están ubicadas a 1 y 2.3 km de distancia respectivamente de las manifestaciones geotérmicas, esta relación geográfica puede observarse en la Ilustración 20.

“El molote” (La zona más cercana a las manifestaciones termales) tiene una precipitación de entre 1200 y 1300 mm al año, con temporadas de lluvias que abarcan de mayo a noviembre, acentuándose en el mes de julio y septiembre.

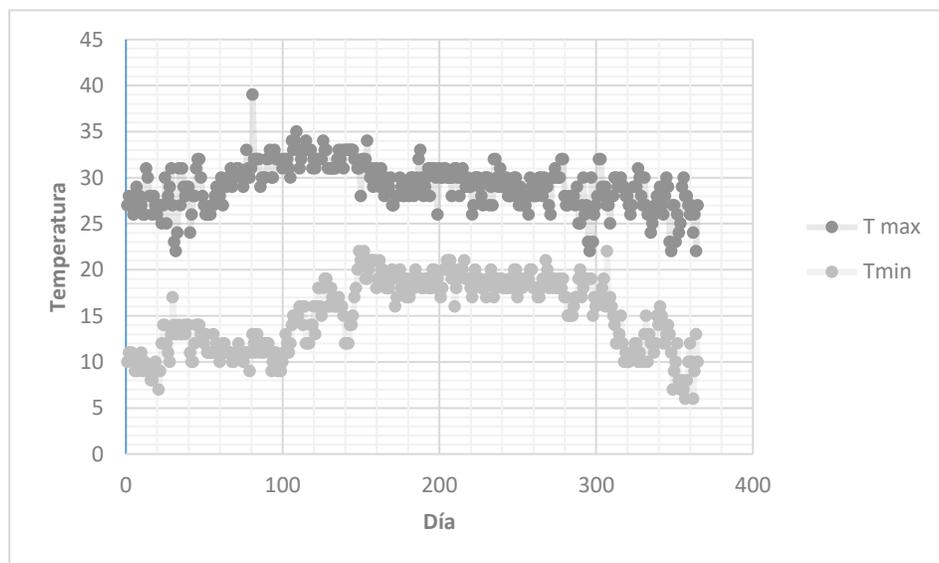


Ilustración 21 Temperatura ambiente en el año 2018, Municipio de Compostela, Nayarit

Adicionalmente, de acuerdo con la estación meteorológica en Compostela, la temperatura máxima durante el año 2018 fue de 39°C, registrada en el mes de marzo, mientras que la mínima fue de 6 °C en diciembre (**Ilustración 20**) con una humedad promedio anual de 49%, vientos en promedio de 16 km/h a 440 msnm.

2.2 Población

De acuerdo con el último censo de población (Instituto nacional de estadística y geografía, 2015), en el municipio de Compostela se registraron 75, 520 habitantes (50.3% Mujeres y 49.7% hombres) con una mediana de edad en 28 años, de esta población el 67% no cuenta con ningún grado de escolaridad o solo con el nivel básico y tan solo el 29.2% cuenta con afiliación al Instituto Mexicano del seguro social

Se registró también que el 52.5% de la población es económicamente activa (52.5% hombres y 33.7% mujeres), mientras que del otro 47.4% de población es inactiva, de este porcentaje, el 48% son personas dedicadas a los quehaceres domésticos.

Se debe de agregar que, en este municipio solamente el 21% de los habitantes tienen acceso a internet y tan solo el 22.6% cuentan con computadora, finalmente, y respecto a las energías renovables, el 0.4% cuenta con un panel solar y 2.3% obtienen agua caliente por medio de esta misma fuente de energía, esto es una radiografía del bajo acercamiento con las energías alternas en el municipio.

2.3 Actividades de interés en el ejido “Paso de Mesillas”

Como parte del mismo grupo de estudios realizados en el municipio de Compostela por la UNAM, el grupo IIDEA elaboró un documento, el cual tiene como propósito conocer la población del ejido de mesillas y su relación con las manifestaciones geotérmicas, en este informe, Lezama (2017) reporta los resultados de entrevistas orientadas hacia cuatro puntos: Producción y comercialización, comunidad y bienestar, gobierno y comunidad y empresa y comunidad. En esta sección se describirá únicamente el primer punto, producción y comercialización, los resultados provenientes de este estudio nos permiten reconocer las principales actividades de la comunidad, y en función de estas, seleccionar aplicaciones directas del calor geotérmico congruentes y de interés para los habitantes.

Lezama (2017) sostiene que el ejido de Paso de Mesillas se constituye de 75 productores, de los cuales, 71 se dedican al cultivo y cosecha del cafeto, mientras que los 4 restantes al cultivo y cosecha de mango, las actividades secundarias y terciarias son prácticamente inexistentes en la comunidad.

Respecto al cultivo y cosecha de cafeto, los ejidatarios reportaron una producción anual de 1,000 toneladas, sin embargo, en los últimos dos años, esta producción se vio afectada en un 50% a causa de la plaga “Roya”.

La cosecha de café se realiza durante los meses de enero y febrero, y se le da empleo como recolectores a habitantes de comunidades indígenas aledañas, el cual, es remunerado con 3.00 \$/kg de café cereza recolectado, esta cosecha es comúnmente vendida en alrededor de 6.00\$/kg a grandes comercializadores debido a la falta de infraestructura para el proceso y venta de un producto propio de los ejidatarios.

Por otra parte, el cultivo de mango en el ejido de Paso de mesillas no ha sido desarrollado debido diversas desventajas, por ejemplo, el largo periodo de maduración de la planta previo a su primera cosecha (3 - 4 años), los bajos costos de venta (1.57 \$/kg), y factores relacionados con el cambio climático, como los vientos atípicos que ocasionan el atraso en la maduración del fruto de hasta 3 meses. A pesar de que en los últimos años no se cuenta con datos de la cosecha, el informe de Lezama muestra que el promedio de producción de esta fruta en Paso de mesillas llegó a ser de alrededor de 13 toneladas por hectárea, cuyo precio varió desde los \$120.00 hasta los \$20.00 por kg dependiendo de la calidad de la cosecha.

Otro rasgo importante para mencionar en esta sección es la intención de los ejidatarios de incorporar el uso de las aguas termales como actividad turística en el municipio, durante los últimos años se ha realizado trabajos de contención de agua para este propósito, pero han tenido poco éxito a causa de la falta de planeación y asesoramiento.

2.4 Principales preocupaciones de los habitantes

Una de las condiciones esenciales de este proyecto es considerar a la comunidad aledaña a las manifestaciones geotérmicas y tomar en cuenta las problemáticas que viven día a día, como se mencionó anteriormente, Lezama (2017) realizó una investigación directamente en

la comunidad y en el segundo punto de su trabajo, Comunidad y bienestar, encontró las principales preocupaciones de los habitantes en el ejido de paso de mesillas.

La primera preocupación para los habitantes de Paso de Mesillas es el desempleo, las oportunidades laborales para la población en posibilidad de trabajar son prácticamente inexistentes, lo que ocasiona que los pobladores busquen migrar hacia la capital del estado, la ciudad de México o los Estados Unidos.

En segundo lugar y tercer lugar los pobladores se encuentran preocupados por la falta de infraestructura para el drenaje y el agua potable, la carencia de estos servicios disminuye drásticamente la calidad de vida en esta comunidad.

Finalmente, en cuarto lugar, se encuentra la falta de apoyo al campo. Es importante mencionar que la prioridad de los agricultores no obtener dinero, sino que ellos buscan apoyo a través de capacitación y el acceso a mejores técnicas y tecnologías para la siembra y el cultivo, esto, con el único objetivo de ser más competitivos en el mercado mediante la obtención de una mayor cosecha y productos de mejor calidad.

2.5 Selección de las aplicaciones

De acuerdo con el punto anterior una de las principales preocupaciones de los pobladores en Paso de mesillas es la falta de empleo en el ejido, conforme al [punto 1.2.14](#) el aprovechamiento de los recursos geotérmicos de baja y media entalpía para el bienestar y la recreación es una de las aplicaciones que generan el mayor número de empleos directos en conjunto con un derrama económica importante para la zona, además, se encontró un interés genuino por los habitantes sobre esta aplicación, por lo tanto se seleccionará en primer lugar el uso de los recursos geotérmicos para la recreación y el bienestar.

Derivado de lo anterior, las instalaciones de un complejo para el aprovechamiento de los recursos geotérmicos para el bienestar y la recreación generan la demanda de agua potable fría y caliente, de manera convencional, el agua caliente es provista por un sistema de calentamiento conducido por una fuente fósil de energía, sin embargo, debido al alto contenido energético del sitio es posible atemperar una corriente de agua potable con el fin de satisfacer esta demanda, por lo tanto el acondicionamiento de agua caliente de servicios se considera como la segunda aplicación de los recursos geotérmicos.

En tercer lugar, de acuerdo con la alta producción de café, a la falta de actividades secundarias y terciarias y al bajo costo de las cosechas obtenidas en el ejido de Paso de mesillas, se considera la incorporación de un sistema de secado de café, con el propósito de darle mayor valor agregado a los productos y al mismo tiempo atacar la principal preocupación de los pobladores al generar empleos derivados del proceso y comercialización de un producto propio de los ejidatarios.

En cuarto lugar, tomando en cuenta el alto consumo de pescados y mariscos asociados a la visita de centros turísticos cercanos a las playas, a la solidez del mercado de estos productos y a la baja cantidad de energía térmica requerida, se considera un sistema de acuicultura

enfocado a la producción de Tilapia, esta producción generará una derrama económica desde el proceso de cultivo hasta su comercialización lo que mitiga nuevamente la principal preocupación de los pobladores que es la falta de empleo.

Para finalizar, como se menciona en el [punto 1.11.5](#) la producción de los productos pesqueros y acuícolas requieren de dispositivo de refrigeración para la conservación de la cosecha, el cual, de manera convencional utiliza un gran cantidad de energía eléctrica, para esto con la intención de generar productos de alto valor agregado y mitigar el uso energía eléctrica para la generación de hielo, se considerará un sistema de vacío en conjunto con un sistema de refrigeración por absorción, este sistema otorgará productos de alta calidad, y permitirá una conservación de hasta 6 días (Vital Vac, 2020) reduciendo al mínimo el consumo de energía eléctrica.

2.6 Estimación de capacidad del CRG

Para este trabajo, establecer una relación congruente entre demanda real de productos y servicios y la capacidad del CRG es el punto de partida, debido a que la comprensión de estos factores permitirá a los interesados justificar la inversión y aumentará las posibilidades de éxito del proyecto.

Para describir los factores implicados en la determinación de la capacidad del CRG se propone la figura 22, en ella podemos observar que el origen principal de la capacidad estará en función de los visitantes a las instalaciones para la recreación y el bienestar y la producción agrícola del ejido, por un lado, los visitantes asistirán al Centro de Recursos Geotérmicos con motivo de bienestar y recreación, sin embargo, derivado de esta visita se utilizará agua caliente de servicios y se podrá promover el consumo de pescado, lo que conducirá a la producción y almacenamiento de estos productos, de manera independiente al tipo de actividad, pero incorporado al mismo sistema se propone la integración del proceso de deshidratación/secado basado en la cosecha de mango y café, únicamente se considera una fracción de esta producción con la finalidad de no exceder la capacidad de equipos convencionales.

Es importante mencionar que tanto el proceso de deshidratación/secado como la acuicultura tendrán por objetivo la comercialización de los productos y no estarán enfocados en satisfacer la demanda de los visitantes, esto a causa de incertidumbre en el consumo interno, sin embargo, la demanda dentro del CRG será importante para establecer escenarios de ventas mínimas y estimar diferentes escenarios.

Esta metodología permite la intersección entre la demanda real de productos y la disponibilidad de recursos geotérmicos, adicionalmente utilizando el estudio de viabilidad económica de capítulos posteriores se determinará un nuevo punto de coincidencia, a este empalme se le llamará *Capacidad Óptima del Sistema de Usos Directos* (COUD), esta capacidad será válida únicamente para la localidad en cuestión, pero podrá ser adaptada para cualquier proyecto de usos directos en México.

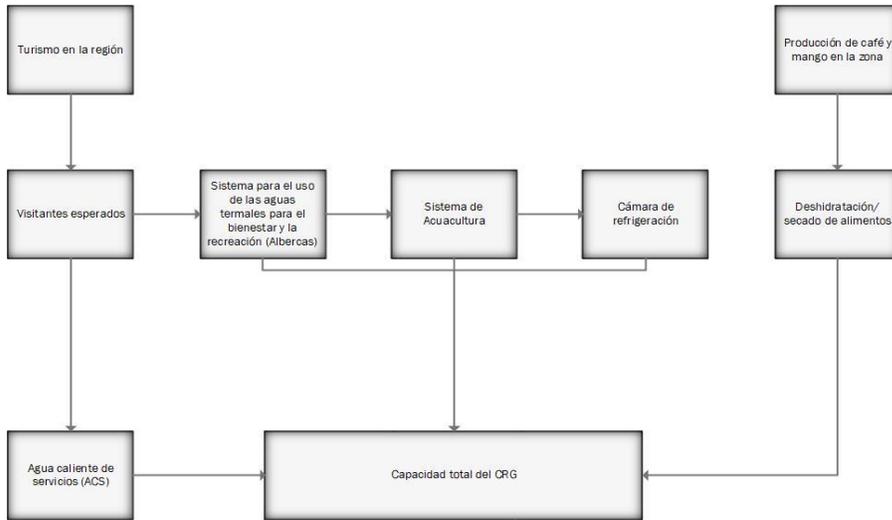


Ilustración 22 Proceso para la estimación de la capacidad del sistema CRG (Elaboración propia)

2.7 Estimación de la capacidad para recreación y bienestar

Conforme al punto anterior, la estimación de la capacidad comienza con la proyección de visitantes al CRG en búsqueda de recreación y bienestar. De acuerdo con datos de la Secretaría de turismo (SECTUR) el estado de Nayarit en el año 2018 recibió 2, 922,272 turistas, nacionales e internacionales, lo cual, en comparación con los 1, 749,617 registrados en el año 2009 representa un crecimiento del 67% en 9 años o 7.5% de crecimiento promedio anual (Ilustración 23).

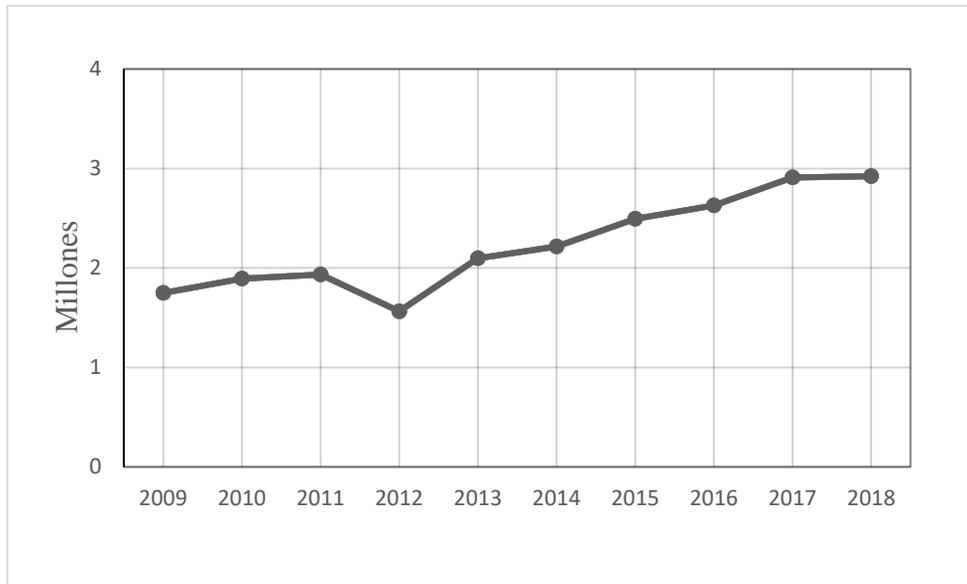


Ilustración 23 Llegada de turistas totales al estado de Nayarit (Secretaría de turismo, 2018)

Adicionalmente, el compendio estadístico de la SECTUR para el estado de Nayarit menciona que el 31% de estos turistas se hospedaron en 174 hoteles de 3 y 4 estrellas, el 57% en 37

hoteles de 5 estrellas y tan solo el 12% en 468 centros turísticos de 1 estrella y sin clasificación.

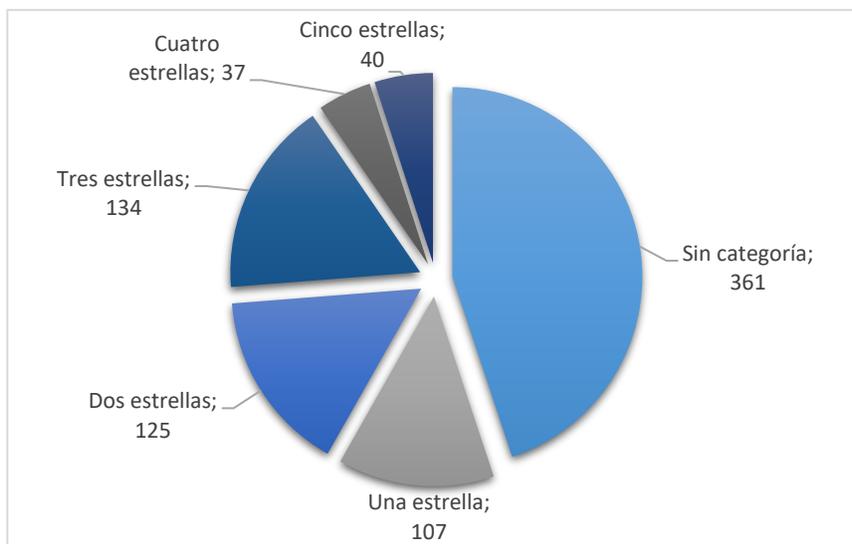


Ilustración 24 Instalaciones de hospedaje en Nayarit (Secretaría de turismo, 2018)

De la misma base de datos y menester para este trabajo, es el registro en 2018 de 804 establecimientos que otorgan hospedaje¹³, de los cuales 619 se ubican en los municipios de Compostela, bahía de Banderas y Tepic, con 300, 214 y 105 respectivamente, a su vez únicamente 171 están catalogados como complejos turísticos de 3 y 4 estrellas como se puede observar en la (Ilustración 24).

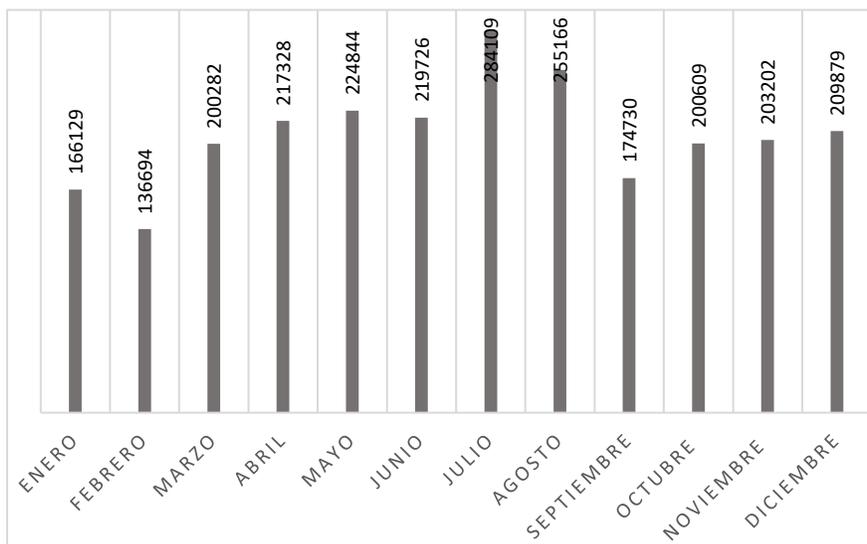


Ilustración 25 Llegada de turistas al estado de Nayarit en el año 2015 (Secretaría de turismo, 2018)

¹³ Se consideran hoteles, moteles, cabañas, villas y similares, pensiones, casas de huéspedes y casas con servicio de hotelería.

2.7.1 Visitantes esperados

De acuerdo con la base de datos mencionada anteriormente, los 171 hoteles de 3 y 4 estrellas en Nayarit recibieron 911, 411 visitantes, lo que equivale a que cada complejo turístico recibió en promedio 5,238 turistas, lo que corresponde a su vez a **437 visitantes promedio al mes**, sin considerar las visitas de personas que hacen camping, en adelante, se tomará esta capacidad como el número promedio de visitantes esperados para el CRG.

Otro aspecto muy importante para el cálculo de la capacidad del sistema es la estacionalidad, para este rubro los datos disponibles son del año 2015, durante este periodo, los turistas llegaron al estado de Nayarit de acuerdo con el patrón mostrado en la (Ilustración 25), para fines de este trabajo y valiéndonos de los datos recientemente mencionados se proyecta una conducta de llegada de turistas al CRG conforme a la (Ilustración 26).

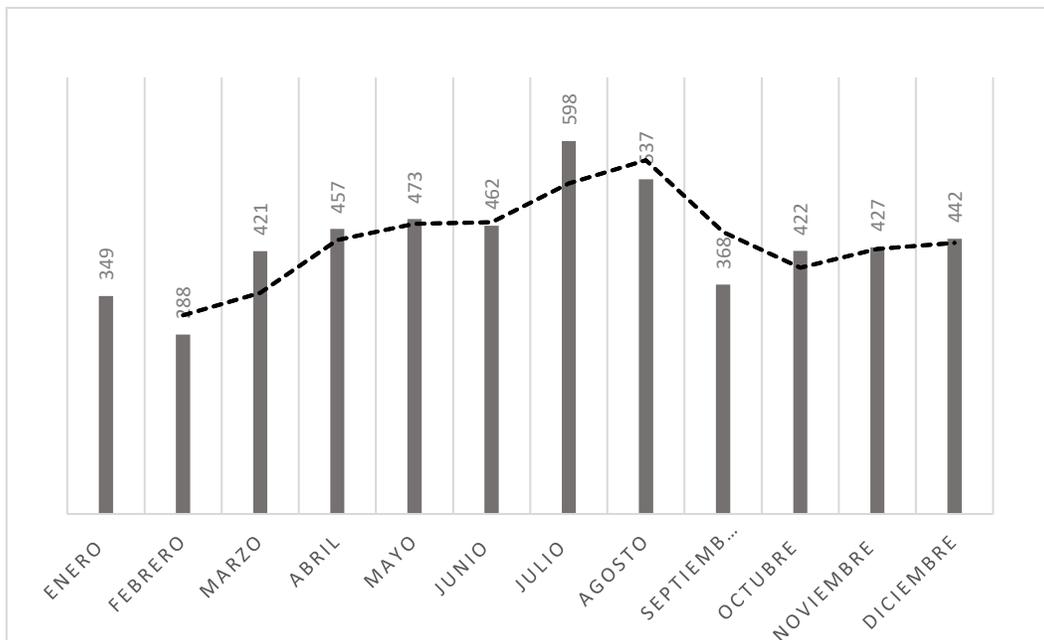


Ilustración 26 Turistas esperados por mes en el Centro de recursos geotérmicos con base en el comportamiento de la llegada de turistas al estado de Nayarit. (Creación propia)

Finalmente, de acuerdo con la secretaría de turismo, el tiempo promedio de estancia de los turistas en Nayarit es de 4 días, siendo el día jueves el día de llegada más común, por lo cual, es posible que durante su estancia, los huéspedes entren en contacto **hasta con 105** personas, en el mes de mayor demanda (Julio), es importante recordar que estos números están basados en las visitas promedio a un balneario con hospedaje, sin embargo, gracias a estrategias de marketing es posible considerar una demanda mayor a la esperada por lo que es importante

sobredimensionar en un 30% la capacidad de los servicios para contar con un rango de maniobra en caso de lleno total.

2.7.2 Cálculo de la demanda de agua para albercas

Utilizando los datos de la sección anterior, es posible estimar un total de 598 visitantes durante el mes de Julio, estas visitas se distribuyen a lo largo de todo el mes, pero con llegadas principalmente en el día jueves, debido a esto, como se ha mencionado hasta 105 personas coincidirán durante su visita. Con base a lo anterior, se calculará la capacidad necesaria de las albercas de aguas termales, así como sus requerimientos de agua.

I Tamaño

De acuerdo a The association of pool and spa professionals (APSP) (2015), el espacio mínimo requerido por bañista se encuentra en función de la profundidad y el espacio en los alrededores o “Deck”. Para una alberca profunda ≈ 1.5 m (no buceo) con alrededores mínimos, el área requerida por bañista es de 1.8 m^2 , por lo tanto, se estima que las albercas deben de ocupar un área estimada de 189 m^2 lo que equivale al uso de 283.5 m^3 de agua termal.

II Temperatura

Siguiendo la misma normatividad, la temperatura de reposición de agua no debe de exceder los 40°C o 104°F

III Tasa de reposición de agua “Turnover”

Con la intención de mantener la calidad del agua, se debe considerar la tasa de recirculación o “Turnover” que, de acuerdo con la APSP, deberá ser equivalente a 1.5 veces la profundidad promedio de la alberca en pies, siempre y cuando no exceda las 6 h. Por lo tanto, la tasa de reposición para este caso se mantendrá en 6 h, esto representa el uso 13.12 l/s de agua a 40°C .

IV Composición química

La composición en las albercas está regulada en México de acuerdo a la **NOM – 245 – SSA – 2010**, el resumen de esta normatividad se muestra en la **Tabla 13**, la cual, muestra los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos mínimos a cumplir y la frecuencia de muestreo de los mismos, estos parámetros son importantes para mantener las condiciones adecuadas para los visitantes y desarrollar una filosofía de operación adecuada.

Parámetro	Límite permisible	Método de detección	Frecuencia de medición
pH	6.5 - 8.5	Potencimétrico colorimétrico	o Cada cuatro horas durante la operación
Turbidez	5 UTN o penetración de luz mayor a 2 m con disco Secchi.	Nefelométrico visual	o Una vez al día a mitad del periodo de operación

Cloro residual Libre 2	1.0 a 5.0 mg/l	Colorimétrico con reactivo DPD 1 o amperométrico	Cada 4 horas durante el periodo de operación, iniciando con la apertura de servicio al público.
	>650 mili volts	ORP	
Cloraminas 2	0.0 - 0.5 mg/L	Colorimétrico con reactivo DPD 3	Semanal
Bromo residual libre	2.0 a 6.0 mg/l	Colorimétrico con reactivo DPD 1 o amperométrico	Cada 4 horas durante el periodo de operación, iniciando con la apertura de servicio al público, para los métodos amperométrico y ORP incluir una medición con DPD al inicio
Bromaminas	0.0 a 0.5 mg/L	Colorimétrico con reactivo DPD 3	Semanal
Ácido cianurico	100.0 mg/l	Turbidimétrico con reactivo para ácido cianúrico o colorimétrico	Semanal
Coliformes fecales	< 40 NMP/100 ml	Diversos métodos	Bimensual, durante la temporada de uso.
Amebas de vida libre	Ausente	Diversos métodos	Bimensual, durante la temporada de uso.

Tabla 13 Límites permisibles de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, método de detección y frecuencia mínima de muestreo del agua de alberca

2.8 Estimación para agua caliente de servicios

Considerando los posibles visitantes y huéspedes en el CRG, se incluirá el acondicionamiento de agua caliente de servicios, esta demanda se calculará a través de la normatividad mexicana, la cual, incluye la variación en las visitas por estacionalidad.

De acuerdo con la Comisión Nacional para el uso eficiente de la energía (CONUEE), (2008) el consumo energético mensual de agua caliente de servicios se define con la siguiente ecuación:

$$CES_{\text{mensual}} = U_{\text{max}} * O_c * C_A * PAC * \rho * C_p * (T_1 - T_2) * N$$

Ecuación 3 Estimación para agua caliente de servicios

Donde;

CES_{mensual} = Consumo energético sanitario mensual (kJ)

U_{max} = Cantidad máxima de usuarios del Hotel ([Punto 2.9.2](#))

- Oc = Porcentaje de ocupación (Revisado en el punto 2.7)
 C_A = Consumo mínimo de agua por huésped (Tabla 14)
 PAC = Porcentaje de agua caliente utilizada con relación al consumo mínimo de agua caliente por huésped (Ecuación 4)
 ρ = Densidad del agua (1 kg/l)
 Cp = Calor específico del agua a presión constante (4.186 kJ/kgK)
 T₂ = Temperatura del agua caliente requerida por el hotel (50 °C) De acuerdo a la normatividad NADF-008-AMBT-2005
 T₁ = Temperatura de agua fría (25.85 °C)
 N = Número de días de operación correspondiente al mes evaluado (25 Días)

Aplicación	Consumo de agua por huésped (l/día)
Hotel GT	300
5 estrellas	300
4 estrellas	280
3 estrellas	260
2 estrellas	230
1 estrella	200
Hostal	150
Campamento	150

Tabla 14 Consumo mínimo de agua por huésped en el sector turístico (Comisión Nacional para el uso eficiente de la energía, 2008)

$$PAC = 1 - \frac{1}{1 + \frac{(40 - T_1)}{(T_2 - 40)} * 100} = 0.3$$

Ecuación 4 Porcentaje de agua caliente utilizada

Por lo tanto; se obtiene el perfil siguiente:

Mes	Porcentaje de ocupación	Huéspedes	kJ
Enero	45%	349	203.83
Febrero	37%	288	167.72
Marzo	54%	421	245.74
Abril	59%	457	266.65
Mayo	61%	473	275.87
Junio	59%	462	269.59
Julio	77%	598	348.59
Agosto	69%	537	313.08
Septiembre	47%	368	214.39
Octubre	54%	422	246.14

Noviembre	55%	427	249.32
Diciembre	57%	442	257.51
		Total	203.83

Tabla 15 Perfil de demanda energética para agua caliente de servicios (Elaboración propia)

Adicionalmente, con base a la tabla 14 es posible estimar el consumo cuando el complejo se encuentre a su máxima capacidad (86 personas), lo cual es de utilidad para conocer el tamaño del almacenamiento que se debe de considerad en el circuito de agua potable.

De acuerdo a las normas técnicas complementarias para el diseño y ejecución de obras e instalaciones hidráulicas publicado por el gobierno de la ciudad de México (2021), es necesario considerar un recipiente de almacenamiento que permita el abastecimiento de 3 días de acuerdo a la demanda de las instalaciones.

Por lo tanto, tan solo para agua caliente el almacenamiento debe ser de;

$$87 \text{ huespedes} * 280 \frac{\text{Litros}}{\text{Día}} * 0.3 \text{ (PAC)} * (3 \text{ días}) = 21,924 \text{ Litros}$$

Mientras que el almacenamiento de agua fría será de:

$$87 \text{ huespedes} * 280 \frac{\text{Litros}}{\text{Día}} * 0.7 \text{ (PAC)} * (3 \text{ días}) = 51,156 \text{ Litros}$$

2.9 Estimación de capacidad para el proceso de acuacultura

Manteniendo la metodología de la **Ilustración 22**, en este punto se determina la cantidad de productos pesqueros y acuícolas congruentes con el flujo de personas esperado en el CRG, sin embargo, como se ha mencionado, los productos generados a partir de este proceso se comercializarán debido a la alta incertidumbre asociada al consumo interno, por esta razón se realiza una breve revisión de la industria en el estado para a partir de esto realizar una estimación adecuada.

Para el estado de Nayarit, la obtención de productos pesqueros y acuícolas en el año 2018 alcanzó las 79,946.38 toneladas, lo cual representa un aumento del 20% respecto al año 2016 según datos oficiales de la Comisión Nacional de acuacultura y pesca (CONAPESCA), estos números colocan a este estado como el cuarto productor a nivel nacional por su el valor de sus productos, hablando únicamente de acuacultura, en 2016, los principales productos obtenidos a través de este proceso fueron; tilapia, camarón blanco y el ostión con 8,533, 4,621 y 1,044 toneladas, respectivamente, esta cosecha se obtiene en diversos municipios, pero principalmente en Tuxpan, Tepic, Tecuala, San Blas, Santiago Ixcuitla y La Peña de Jaltempa.

La producción de Tilapia a través del proceso de acuicultura en el estado de Nayarit es la sexta más grande a nivel nacional (Ilustración 28), lo cual muestra el interés del estado en este proceso y la maduración tecnológica en la zona.

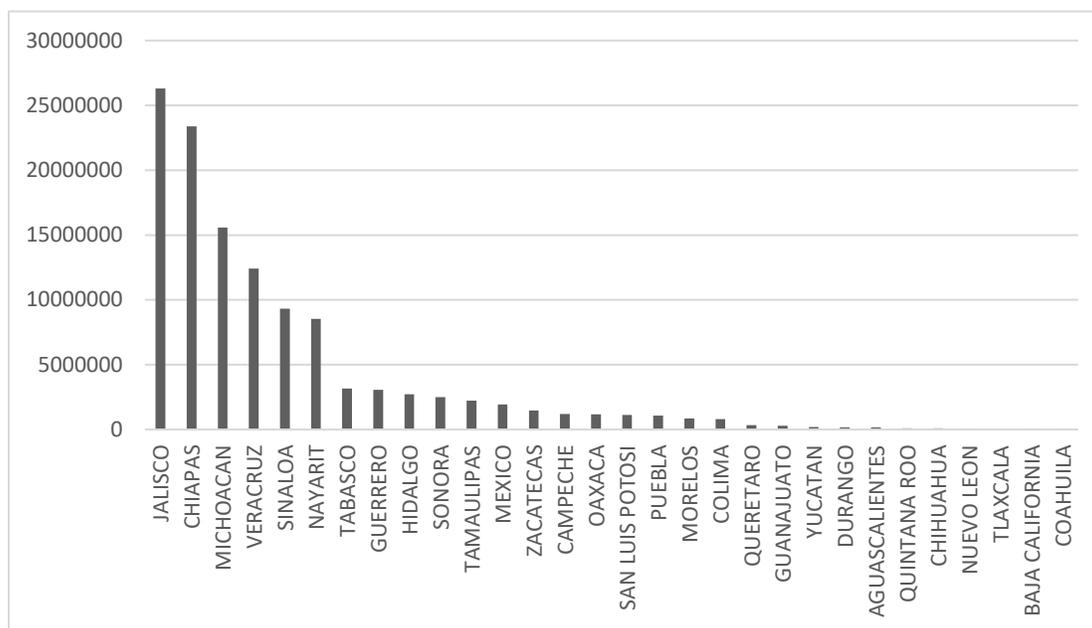


Ilustración 27 Suma de peso vivo en el año 2014 (Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca, 2016)

De la producción de tilapia a nivel nacional únicamente se destinó el 9% para exportación el resto se consumió de manera interna en el país, estos bajos niveles de exportación y aumento en la producción son congruentes con el aumento en el consumo per cápita a 15.5 kg per cápita anual, lo que representa 1.30 kg promedio al mes por persona.

La capacidad del sistema de acuicultura se encuentra en función del consumo per cápita de los visitantes y la variación en la llegada de estos, para fines de este trabajo se considerará que al menos 50% de los visitantes consumirán 70% de su porción mensual en el CRG, dando como resultado los datos mostrados en la **Tabla 16**, lo que equivale a 6,870 kg al año. Esta capacidad únicamente se encuentra en función del flujo de personas, sin embargo, como mecanismo de garantía para el aprovechamiento del producto, se considerará la integración de un sistema de comercialización con las poblaciones aledañas como se mencionó al principio de este punto.

Mes	Consumo de tilapia (kg)	Número de peces (350 g)
Enero	318	454
Febrero	262	374
Marzo	383	548
Abril	416	594
Mayo	430	615
Junio	421	601
Julio	544	777
Agosto	488	698
Septiembre	335	478
Octubre	384	549
Noviembre	389	556
Diciembre	402	574

Tabla 16 Estimación de consumo de tilapia en el CRG (Elaboración propia)

2.10 Estimación de la capacidad para el sistema de secado de café

Conforme a la **(Ilustración 22)** la capacidad del secador/deshidratador de alimentos estará basada únicamente en la producción agrícola de la región, específicamente en la cosecha y cultivo de café, debido al notable interés de los pobladores y a las grandes oportunidades que representa.

De acuerdo con el centro de estudios para el desarrollo rural sustentable y la soberanía alimentaria, el consumo de café en México ha variado a lo largo de los últimos años (Ilustración 28), sin embargo este producto se mantiene como uno de los principales bienes para exportación del país, de hecho, 3 de cada 100 toneladas de café en mundo son de origen mexicano, además de este hecho, otro indicador positivo es el consumo por habitante, el cual mantiene una tendencia ascendente, el último registro que se tiene proviene del año 2019 donde se mantenía en 1.5 kg por persona.

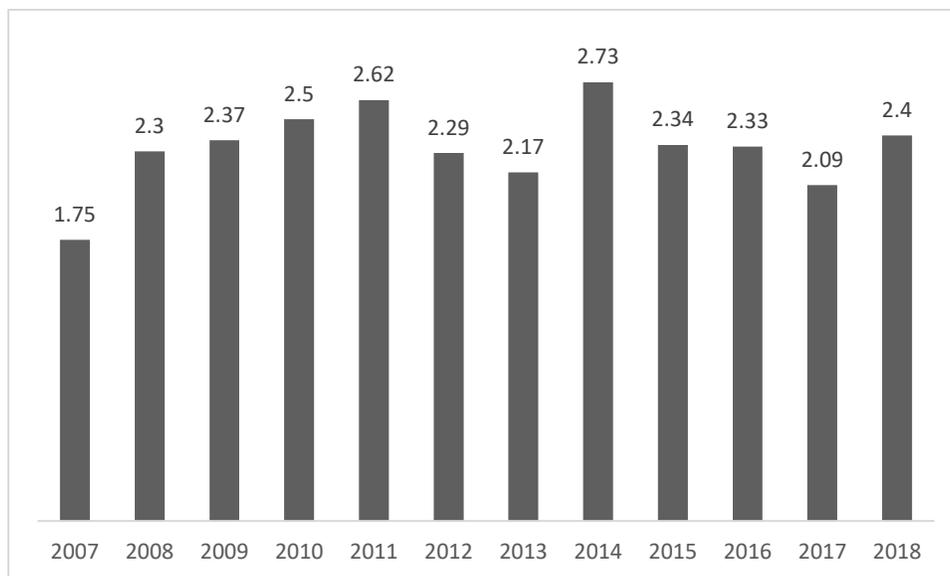


Ilustración 28 Consumo de café en México (Millones de sacos de 60 kg) (CEDRSSA, 2019)

2.10.1 Cultivo de café en el ejido de paso de Mesillas, Nayarit

Específicamente en el ejido de Mesillas, Nayarit, el proceso de cultivo de cafeto requiere de 5 a 6 años, cada hectárea puede tener de entre 2,000 a 3,5000 plantas de la variedad arábica, cuya etapa de floración se da en el mes de junio y la maduración entre enero y febrero. Hasta el año 2016 se contaba en el ejido con aproximadamente 287.5 hectáreas dedicadas a esta actividad primaria, con un producción aproximada de 1000 toneladas al año, sin embargo, como se menciona en los puntos anteriores 80% de este cultivo se vio afectado por la plaga “Roya”, por los que hasta el año 2018 únicamente se cosecharon 200 toneladas de café cereza.

El cálculo de la capacidad del sistema de secado de café se considerara a partir únicamente de los datos en este punto es decir se consideran como punto máximo las 200 toneladas de los años 2017 y 20016, las cuales no fueron afectadas por la plaga roya, con este proceso se busca que los productores otorguen valor agregado al producto, pues de acuerdo con datos oficiales el costo 1 kg de café cereza (recién cosechado) se compra en \$6.00 mientras que la versión procesada o café pergamino es adquirida hasta por \$40.00 por kg, es decir su valor incrementa 85%.

Para esta estimación de considerar únicamente el 20% de las 200 toneladas cosechadas, las cuales serán conducidas por el proceso “beneficio húmedo”, secuencia de operaciones unitarias que llevan al café recién cosechado o café cereza a café tipo pergamino.

Estas 20 toneladas cosechadas, se procesarán en un periodo máximo de 4 meses, tiempo adecuado para continuar en su proceso de industrialización, lo que equivaes a que el equipo de secado debe tener capacidad suficiente para procesar al menos 5 toneladas de café por mes.

2.11 Estimación de la capacidad para refrigeración

La estimación de la capacidad del sistema de refrigeración está basada en la producción acuícola del sistema, como se explicó en puntos anteriores, la refrigeración es un proceso asociado al cultivo y cosecha de pescado debido a que son alimentos altamente perecederos, además para mantener la calidad esperada por el mercado deben de conservarse adecuadamente desde el día de su cosecha.

En esta sección se delimitan las actividades dentro de la sección de refrigeración y se establecen los alcances y las condiciones de diseño esto con el objetivo de determinar la capacidad del sistema, el desarrollo de la ingeniería básica y de detalle se elaborará en el (Capítulo 3) de este trabajo.

2.11.1 Actividades dentro del desarrollo de un sistema de refrigeración

La relación entre los pasos básicos para la puesta en marcha de un sistema de refrigeración pueden observarse en la (Ilustración 29), este proceso inicia con el establecimiento de los parámetro, criterios y requerimientos de los ocupantes del espacio a refrigerar, en este paso es necesario contar con la arquitectura del lugar así como los parámetros ambientales, luego, esta información se procesa y se realizan los documentos y diseños pertinentes para la selección del sistema, una vez aceptado este diseño por los interesados, los equipos, instrumentos y materiales son manufacturados e instalados, finalmente, se pone en marcha el equipo y se realizan las pruebas necesarias para corroborar el correcto funcionamiento.

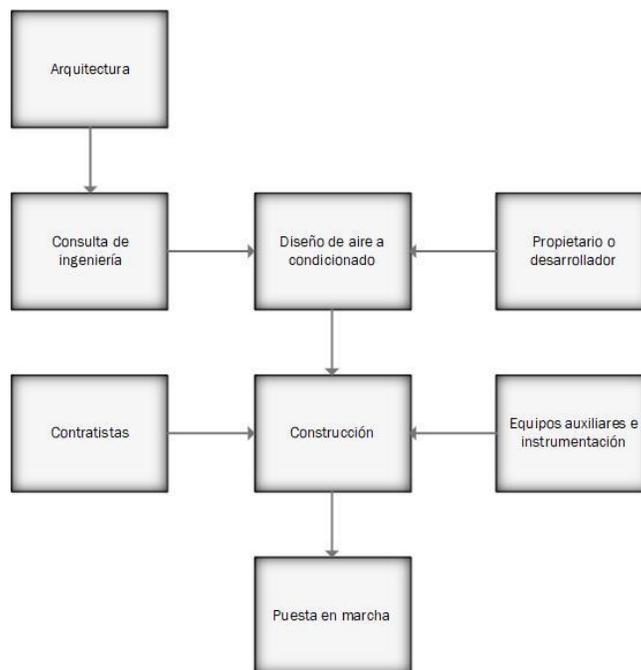


Ilustración 29 Pasos en el desarrollo y uso de un sistema de refrigeración de aire (Wang, 2000)

2.11.2 Alcance del sistema de refrigeración

De manera general en este trabajo se realizarán las actividades del segundo y tercer bloque de la Ilustración 29, estas actividades están constituidas por las actividades 1,2 3, de las cuales, en esta sección únicamente se desarrollarán las primeras dos, dejando la tercera actividad para el capítulo 3, donde se elaborarán en conjunto la ingeniería básica y de detalle de cada uno de los procesos.

1. Establecer los criterios de diseño y los parámetros ambientales
2. Seleccionar las alternativas para los sistemas, subsistemas y carga de enfriamiento
3. Preparación de los dibujos de trabajo, especificaciones, materiales y métodos de construcción y manuales de arranque.

Es importante mencionar que estas actividades se consideran dentro del alcance un proyecto design-bid¹⁴, sin embargo, en un proyecto real, en fases más avanzadas el departamento de ingeniería tiene como responsabilidad la revisión y evaluación de ofertas, negociación, monitoreo, supervisión e inspección de material, así como la supervisión de la puesta en marcha y la elaboración de dibujos as-built, el manual de mantenimiento y la aceptación final del proyecto.

2.12 Criterios de diseño y parámetros ambientales

El sistema de refrigeración se usará para la conservación de los productos pesqueros producidos de acuerdo con la **Tabla 16**, esta cámara de refrigeración se ubicará en la parte sur este del sistema propuesto, adyacente al sistema de acuicultura y la manifestación geotérmica que cuenta con las características fisicoquímicas adecuadas para conducir el proceso (**Anexo 1**). Las principales condiciones de diseño se enumeran a continuación:

1. Con base a lo establecido en el [punto 1.11.5](#) se considera mantener una temperatura de 6 °C con el objetivo de mantener los productos en buen estado por el mayor tiempo posible.
2. Debido a la variación del consumo y a los posibles cambios en la demanda se considera sobredimensionar la cámara en un 20%.
3. La temperatura ambiente se considera la mostrada en la [Ilustración 21](#).
4. Humedad relativa (50%)

2.13 Cálculo de la carga de enfriamiento

La carga total de una instalación frigorífica es el número de calorías que deben extraerse a fin de mantener la temperatura deseada en la cámara, nevera o recinto, esta cantidad se calcula en este trabajo principalmente a partir de metodología propuesta por Monsalve (2016), quien sostiene que la carga total de enfriamiento debe mitigar el calentamiento a partir de las siguientes fuentes de calor:

¹⁴ Los proyectos design-bid son aquellos que marcan una separación entre las responsabilidades del diseño y la instalación de todos los sistemas.

- Ganancia de calor a través de las paredes, techo y piso (Q_{PTS})
- Ganancia de calor por infiltración de aire (Q_{Ia})
- Ganancia de calor debido al ingreso de personas (Q_P)
- Calor liberado por iluminación (Q_I)
- Ganancia de calor debido a los productos (Q_{pro})
- Ganancia de calor debido a equipos o dispositivos (Q_{Dis})
- Calor del embalaje (Q_{Emb})

2.13.1 Características de la cámara

- Medidas 4 m de largo x 4 m de ancho y 2 m de alto
- Material aislante poliuretano de 100 mm

2.13.2 Ganancia de calor a través de las paredes (Q_{PTS})

El primer paso es determinar las pérdidas a través de las paredes, para esto se utiliza la ecuación de conducción de calor a través de paredes compuestas, igualdad que define al flujo de calor como;

$$Q_0 = U * WH * (T_a - T_b)$$

Ecuación 5 Flujo de calor en una pared compuesta (Bird, Stewart, & Lightfoot, 2012)

Dónde;

U = Coeficiente global de transferencia calor

WH = Área de la pared compuesta

$T_a - T_b$ = Diferencia de temperaturas

A su vez, el coeficiente global U está definido como;

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_0} + \sum_j \frac{x_j - x_{j-1}}{k_{j-1}} + \frac{1}{h_j}}$$

Ecuación 6 Coeficiente global de transferencia de calor en una pared compuesta (Bird, Stewart, & Lightfoot, 2012)

Donde;

H_0 y h_j = Coeficientes de trasmisión de calor

X_j = Secciones de la pared

K_j = Conductividad térmica del material

Por lo tanto;

Capa	Espesor (m)	Conductividad térmica K (W/m*K)	Resistencia (K m ² /w)
Enjarre	0.0508	0.600	0.0847
Ladrillo	0.1270	0.660	0.1924
Enjarre	0.0508	0.6	0.0847

Poliuretano	0.0762	0.079	0.9585
enjarre	0.0508	0.600	0.0847
Baldosa cerámica	0.0064	1.750	0.0036
h_a		34.0696	0.0294
h_b		9.3691	0.1067
		U (W/m ² K)	0.6474
		Q (w)	1554.496
		Q_P (W)* 4 Paredes	6217.98

Siguiendo el mismo procedimiento para el techo y el suelo se obtienen los siguientes resultados;

Capa	Espesor m	Conductividad térmica K (W/m*K)	Resistencia
Concreto	0.1016	0.7	0.145
Enjarre	0.0508	0.600	0.085
Poliuretano	0.0762	0.079	0.965
Enjarre	0.0508	0.600	0.085
h_a		34.0696	0.0294
h_b		9.3691	0.1067
		U (W/m ² K)	1.4151
		Q_T (W)	305.666

Capa	Espesor m	Conductividad térmica K (W/m*K)	Resistencia
Concreto	0.1016	0.7	0.145
Enjarre	0.0508	0.600	0.085
Baldosa cerámica	0.0064	1.750	0.0036
h_a		34.0696	0.0294
h_b		9.3691	0.1067
		U (W/m ² K)	0.3695
		Q_S (W)	79.817

Flujo de calor total techo, paredes y suelo

$$Q_{PTS} = Q_P + Q_T + Q_S = 6603.467 \text{ W} = 407.81 \text{ kJ/min}$$

2.13.3 Ganancia de calor por infiltración de aire en la cámara (Q_{ia})

En toda cámara de refrigeración existen infiltraciones de aire debido a dos factores, ranuras en puertas y ventanas y a la apertura de puertas, este ingreso de masa genera ganancias de calor latente y sensible que deben ser consideradas para el cálculo de la carga del sistema de refrigeración para esto se utilizara la ecuación;

$$Q_{ia} = F * C_p * (T_e - T_i) + F * (W_e * h_{fge} * De - W_i * h_{fgi} * Di)$$

Donde;

F = Masa de aire infiltrado

C_p = Calor específico del aire (1 J/kg °C)

T_e = Temperatura exterior (25.5°C)

T_i = Temperatura interior (4°C)

W_{e, i} = Humedad específica¹⁵ en el exterior y en el interior (0.003 y 0.012) (kg vapor / kg Aires)

h_{fge, fgi} = Calor latente del vapor de agua en el exterior y en el interior (2544.8 y 2484.4) (kJ/kg)

De, i = Humedad relativa del aire al interior y al exterior (60 y 90)(%) 0.6 y 0.9

Por lo tanto;

Volumen del cuarto	32.00	m ³
Renovación por día	1.5	Veces
F (Masa de aire filtrado por día)	48	m ³
Volumen específico	0.8446	m ³
F (Masa de aire filtrado por día)	56.83	kg/día
Pérdida de calor por ingreso de aire	1847.97	kJ/día
Considerando 8 h por día	3.850	kJ/min
<i>Ecuación 7 Ganancia de calor por día debido a infiltraciones de aire</i>		

2.13.4 Ganancia de calor por ingreso de personas (Q_p)

Durante el día, es necesario que los operadores y miembros de la organización realicen visitas a la cámara fría con el fin de inventariar agregar o retirar suministros, estas entradas y salidas

¹⁵ Peso de vapor de agua expresado en kg expresado por kg de aire seco

de material traen consigo el ingreso de energía a la cámara lo cual debe ser considerado para el diseño de la capacidad.

$$Q_P = q_{per} * n * t$$

Q_{per} = potencia calorífica aportada por las personas (270 W)

N = número de personar que entran a la cámara

T = tiempo de permanencia

Por lo tanto;

$$Q_{Personas} = 270 * 3 * 2 = 1,620 \text{ Wh}$$

2.13.5 Ganancia de calor debido a Iluminación (Q_I)

Dentro de la cámara se requieren dos dispositivos de iluminación, estos a su vez liberan energía lo que influye en el sistema de refrigeración.

$$Q_{ilum} = P * t *$$

Donde;

P = Potencia total de todos los dispositivos de iluminación

t = Duración o tiempo de funcionamiento

n = Número de dispositivos de iluminación

asumiendo dos lámparas de 50 w que se encienden durante 3 h al día, Por lo tanto;

$$Q_I = 2 * 50 * 3 = 300 \text{ Wh}$$

2.13.6 Ganancia de calor por los productos (Q_{pro})

$$Q_{pro} = (T_e - T_i) * \sum \text{kilos} * C_p$$

Donde;

$T_e - T_i$ = Diferencia de temperatura (25 – 4 °C)

Kilos = Ingreso de kg de pescado fresco por día

C_p del pescado =0.8 (kcal / kg °C)

Por lo tanto;

$$Q_c = (25 - 6)^\circ\text{C} * 400 \text{ kg} * 3.34 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} = 25384 \text{ kJ} = 7051 \text{ kwh}$$

2.13.7 Calor por embalaje

Para la conservación de los productos pesqueros se consideran delgadas bolsas plásticas, por lo tanto, el calor requerido para su enfriamiento es despreciable.

2.14 Obtención de la carga total para la refrigeración

Resumen de Cargas kJ/min	
QPTS	407.8
Qsol	0.0
Qia	3.8
Qp	129.6
Qi	24.0
Qpro	233.8
Suma (kJ/min)	799.059
Total (Ton)	3.785

Tabla 17 Resumen de cargas para el sistema de refrigeración (Elaboración propia)

2.15 Resumen de capacidad del Centro de Recursos Geotérmicos

Sistema	Capacidad máxima	Mensual
Refrigeración	4 toneladas	N/A
Secado de café	5,000	kg
¹⁶ Agua caliente de servicios (50 °C)	132	m ³
Acuicultura (Tilapia)	272	kg
¹⁷ Bienestar y recreación	478	Huéspedes

Tabla 18 Resumen de capacidad máxima por mes del CRG (Elaboración propia)

¹⁶ Servicio

¹⁷ Servicio

3 CAPÍTULO 3 PROPUESTA CENTRO DE RECURSOS GEOTÉRMICOS (CRG)

3.1 Ingeniería conceptual

La ingeniería conceptual (Definición del proyecto 1 – 15%) es la primera etapa de un proyecto en ingeniería, esta fase comienza como resultado de la necesidad de generar un producto o servicio determinado, en este caso 3 productos y dos servicios (**Tabla 18**), en esta fase se establecen las bases y técnicas que permitirán pasar a la etapa de ingeniería básica, para esto se realizan estudios de proceso, diseños preliminares y se establecen las condiciones termodinámicas que se requieren en los equipos principales.

Los entregables más importantes de esta etapa son:

- Memoria descriptiva
- Bases de diseño
- Estudios técnicos básicos
- Estimación de costos Clase 4¹⁸

3.1.1 Memoria descriptiva

El proyecto “Centro de Recursos Geotérmicos” se sitúa en la localidad de Mesillas, dentro del municipio de Compostela en el Estado de Nayarit, México. En esta zona, exactamente en las coordenadas 21.238333 y -105.031944, se encuentra la manifestación geotérmica nombrada M4. Los estudios realizados por el Instituto de Geología de la UNAM sostienen que esta manifestación de 17.2 l/s de agua termal mineral a 85.8 °C se encuentra en condiciones para ser explotada de manera directa. A través de este proyecto se comprobará que el contenido energético de esta corriente es suficiente para conducir los 5 procesos previamente seleccionados, los cuales son, refrigeración por absorción en una etapa, secado de café, acondicionamiento de agua caliente de servicios, cosecha de Tilapia a través de tanques acuícolas y el uso de las aguas termales minerales para la recreación y el bienestar.

Los límites de batería de este proyecto se consideran después de la obra de toma del punto geotérmico M4, y hasta la salida de la última aplicación, es decir, no se abunda en el diseño y las implicaciones de obra civil para la explotación de la manifestación geotérmica ni en la infraestructura necesaria para el retorno del recurso hídrico al cauce natural del río.

El sistema comienza después de la obra de toma del punto M4, ahí se encontrará el dispositivo de intercambio de calor **ICP – 001**, el cual, permitirá que la corriente geotérmica **RAG1** transfiera energía a la corriente de agua potable **CRG8**, la cantidad de energía transferida se encuentra definida con base a la suma de la carga requerida por cada una de las aplicaciones. Por lo tanto, de acuerdo con las cargas calculadas previamente, a la descarga del dispositivo de calentamiento, se obtendrá agua potable a una temperatura de entre 78 –

¹⁸ Concept study or feasibility (L: -15% al -30%, H: +20 al +100%) (World Trade Organization Technical Barriers to Trade (TBT), 2017)

80 °C (**CRG3**), la cual, se divide en dos líneas (**ABS10** y **CRG4**), **ABS10** conducirá el sistema de refrigeración por absorción marca Yazaki modelo WFC- SC-05 con una capacidad de 4 Toneladas de refrigeración, mientras que la siguiente línea de agua potable caliente (**CRG4**) conducirá los procesos restantes.

En primera instancia, el sistema de refrigeración por absorción permitirá el funcionamiento de la cámara de refrigeración de alimentos, la cual contendrá alrededor de 400 kg de productos acuícolas, las principales unidades del sistema de refrigeración son; el generador, condensador, evaporador y absorbedor, estos equipos son parte del modelo comercial seleccionado por lo que no se abundará en su diseño. Por la parte de los servicios auxiliares, este subsistema requiere de una torre de enfriamiento húmeda y energía eléctrica para la activación de la bomba de recirculación de la mezcla binaria de trabajo (BrLi – Agua).

La segunda corriente de agua potable **CRG4**, es dirigida hacia el intercambiador de calor **ICP - 002**, el cual cede la energía necesaria a una corriente de aire filtrado (**SEC12**) y a temperatura ambiente, alcanzando hasta 50 °C (**SEC13**), este flujo será el responsable de eliminar la humedad del café en un periodo de 24 h, el equipo que se considera para este proceso es un secador comercial batch rotativo cuya capacidad de secado es de 2,000 kg por día, el aire caliente húmedo es expulsado a la atmosfera y el café pergamino producto de esta operación unitaria es conservado para su posterior comercialización.

Después del proceso de secado de café, la corriente de agua potable ahora **CRG5** se hace pasar por el dispositivo de intercambio de calor **ICP – 003**, el cual tiene como finalidad aumentar la temperatura de una corriente de agua acondicionada la cual, mantendrá a 28 °C seis estanques de 3 m de radio y 1.5 m de profundidad dedicados a la crianza de Tilapia para comercialización y consumo. Los servicios auxiliares de este proceso son; la oxigenación de agua y la alimentación de los especímenes, por otro lado, los principales elementos de control son sensores de temperatura, pH y oxígeno. La medición de estas magnitudes se cubre gracias al paquete Netilion Smart System para acuicultura de la marca Endress + Hauser, esta solución incluye los equipos de medición, así como una aplicación móvil para el monitoreo del proceso.

El agua potable ahora **CGR6**, después de ceder energía para el proceso acuícola, disminuye a una temperatura de entre 40 - 45°C, por lo tanto, parte de esta corriente, será dirigida hacia el circuito que alimenta los elementos de disposición de agua caliente de servicios en el complejo (**ACS7**) a través de una válvula de 3 vías, el flujo destinado a este propósito se encuentra en función de los visitantes, huéspedes y procesos activos durante el día.

La corriente restante (La que no se consumió en los servicios del complejo) nombrada **CRG8**, aún cuenta con un contenido energético considerable por lo que es combinada con el agua de rechazo de la unidad de refrigeración (**ABS11**), el agua de servicios restante o no ocupada

(**ACS7'**) y el agua de reposición por pérdidas en el sistema y consumo (**AREP9**), la corriente producto de esta mezcla es almacenada en el tanque de estabilización **T-001**, este tiene como función principal mantener un nivel adecuado de agua potable en el circuito y conservar el contenido energético del agua remanente, a la descarga de este tanque se encuentra la bomba centrífuga **BOMB-0001**, la cual se encarga de presurizar el sistema con la finalidad de vencer las caídas de presión de cada equipo y reincorporar el agua remanente al tanque de estabilización (**TR-001**).

Es importante mencionar que la corriente geotérmica únicamente se encuentra presente en el primer dispositivo de intercambio de calor, donde solamente cede parte de su energía térmica de manera indirecta, por lo que nunca entra en contacto directo con alguna sustancia que pueda modificar su composición química. En virtud de lo anterior, es posible utilizar la corriente geotérmica remanente para su uso como agente terapéutico en albercas con capacidad de hasta 108 personas, con una tasa de renovación total de agua de 6 h, luego de este aprovechamiento el recurso geotérmico vuelve al cauce natural del río, con una modificación mínima en su composición química y temperatura.

3.1.2 Diagrama de bloques

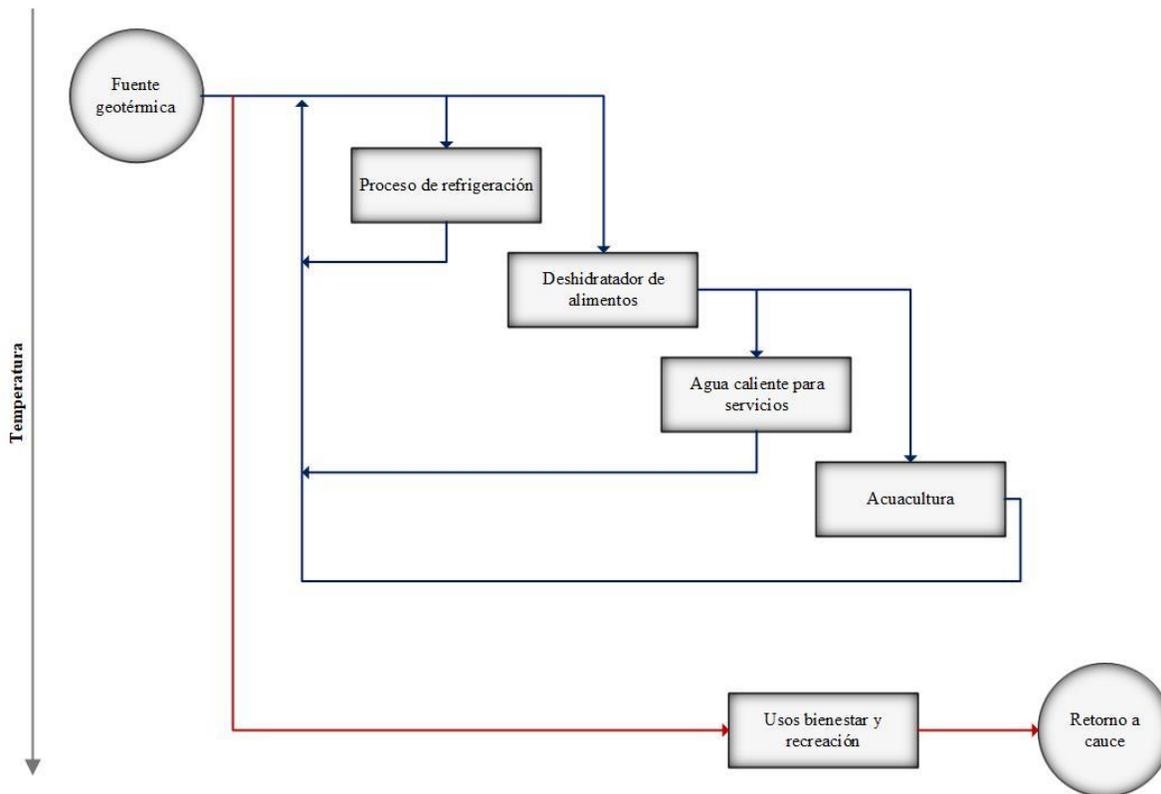


Ilustración 30 Diagrama de bloques de los procesos incluidos en el Centro de Recursos Geotérmicos (Azul: Circuito semi-cerrado de agua potable, Rojo: Agua Geotérmica)

La ubicación exacta del Centro de recursos geotérmicos (CRG) se considera como parte de un complejo turístico, el cual se compone diversas áreas para la recreación, la ubicación del límite de batería para este proyecto puede observarse en el Plot plan (**Anexo 1**), por otro lado de manera específica el diagrama de flujo de proceso se muestra en el **Anexo 2**, en este se identifican las principales corrientes con las que se procederá con el principal balance de energía, una vez con las condiciones de los equipos principales se realizará la selección de equipo para realizar los ajustes necesarios, estos cambios se visualizarán en las simulaciones del proceso.

3.1.3 Balance general del sistema

El balance general comienza a través de la interpolación entre los recursos geotérmicos disponibles y la suma de las cargas térmicas de los procesos propuestos.

Para el balance se considerarán tres puntos en la curva de demanda [Ilustración 26](#), estos corresponden al punto de menor, media y máxima asistencia al CRG y a la temporada baja, media y alta de cosecha de café, es importante mencionar que tanto en la acuicultura y refrigeración serán procesos independientes al ingreso de visitantes al centro turístico, por lo que sus condiciones de proceso no variarán de manera directa por la estacionalidad de la demanda.

3.1.4 Ecuaciones de balance

Ecuaciones de balance
ICP - 001
$m_{RAG1} = m_{RAG2}$
$m_{CRG8''} = m_{CRG3}$
$h_{RAG1} * m_{RAG1} + h_{CRG8''} * m_{CRG8''} = h_{AG2} * m_{AG2} + h_{CRG3} * m_{CRG3}$
ICP - 002
$m_{DH12} = m_{DH12'}$
$h_{CRG4} * m_{CRG4} + h_{DH12} * m_{DH12} = h_{CRG5} * m_{CRG5} + h_{12'} * m_{12'}$
ICP - 003
$m_{CRG5} = m_{CRG6}$
$m_{ACS15} = m_{ACS14}$
$H_{CRG5} * m_{CRG5} + h_{ACS15} * m_{ACS15} = h_{CRG6} * m_{CRG6} + h_{ACS14} * m_{ACS14}$
GEN - 01
$m_{R3} = m_{R4}$
$m_{R5} = m_{R7}$
$h_{R5} * m_{R5} + Q_{genR} = h_{R7} * m_{R7}$
$Q_{genR} = m_{R3} C_{pR3} (T_{R4} - T_{R3})$
HE - 004
$m_{DH3} = m_{DH4}$
$m_{DH1} = m_{DH2}$
$h_{DH3} * m_{DH3} + Q_{genDH} = h_{DH4} * m_{DH4}$
$Q_{genDH} = m_{DH1} C_{pDH1} (T_{DH1} - T_{DH2})$
SECA - 001
$m_{DH4} = m_{DH5}$
$m_{CF1} = m_{CF2}$
$H_{CF1} * m_{CF1} + Q_{CF} = h_{CF2} * m_{CF2}$
$Q_{CF} = \%Humedad * \Delta H_{vap} * m_{CF2}$
ACU - 001
$m_{AC2} = m_{AC3}$
$H_{AC2} * m_{AC2} = Q_{TOTA} + H_{AC3} * m_{AC3}$
REC -001
$m_{AG4} = m_{AG4}$
$H_{AG4} * m_{AG4} = Q_{TOTR} + H_{AG05} * m_{AG05}$

Tabla 19 Resumen ecuaciones de balance del centro de recursos geotérmicos (Elaboración propia)

3.1.5 Requerimiento térmico del sistema para bienestar y recreación

Las albercas dedicadas para la recreación y bienestar están definidas por los cálculos realizados en la [sección 2.9.2](#), los cuales se resumen en la Tabla 20.

Equipo	Alberca
Capacidad (personas)/Mes	598
Capacidad (Personas)/Día	105
Profundidad (m)	1.5
Área requerida(m ²)	189
Volumen requerido (m ³)	283.50
Tiempo de reposición de agua (h)	9.84
Propiedad / Corriente	Agua geotérmica
Flujo (l/s)	8
Flujo (kg/s)	7.74
Temperatura (K)	358.95
Temperatura (C)	85.80
H ₂ O (%)	100
Presión (MPa)	0.096
Densidad (kg/m ³)	968.09
Entalpía (kJ/kg)	359.41
C _p (kJ/Kg K)	4.20

Tabla 20 Condiciones para el uso de recursos geotérmicos para el bienestar y la recreación (Elaboración propia)

A partir de los datos anteriores se realiza el balance de materia y energía del centro de recursos geotérmicos.

3.1.6 Requerimiento térmico del sistema de Refrigeración

De acuerdo a la capacidad estimada en el [punto 3.2.7](#), se propone el uso de un sistema comercial de refrigeración por absorción de una etapa modelo **WFC-SC5** cuyo par de trabajo es bromuro de litio – Agua, los cuales son agentes totalmente inocuos para el medio ambiente, este sistema pertenece a la gama de productos de refrigeración de Yazaki energy systems, Inc, una empresa consolidada a nivel internacional de origen nipón que ha desarrollado los sistemas de refrigeración por absorción de baja capacidad con el propósito de aprovechar fuentes de calor gratuitas o residuales.

Utilizando el modelo mencionado se realizan los balances de energía requeridos para el cálculo de la energía requerida para conducir el equipo, la capacidad de enfriamiento real¹⁹ y la diferencial de temperatura alcanzada por el equipo se obtienen a través de ecuaciones son proporcionadas por el fabricante y se desarrollan a continuación (Yazaki Energ Systems, Inc., 2020).

Datos

Temperatura del recurso térmico de entrada: 78 °C

Flujo del recurso geotérmico de entrada: 13.12 l/s (Tomando como base la cantidad de agua necesaria mínima para el funcionamiento de las instalaciones para recreación y bienestar)

Entrada del agua de enfriamiento: 25 °C

Flujo de agua de enfriamiento: 15.29 l/s

¹⁹ Considerando la temperatura de entrada al generador

Temperatura objetivo del agua de refrigeración: 6°C (Punto [1.11.5](#))

Temperatura de salida del agua caliente: 131 °C (Anexo 3)

Modelo seleccionado: WFC-SC5

I Capacidad de enfriamiento disponible

$$Q_e = CCF * HMFCF * RCC$$

Ecuación 8 Capacidad de enfriamiento disponible

CCF = Factor de capacidad (Yazaki Energ Systems, Inc., 2020)

HMFCF = Corrección de flujo (Yazaki Energ Systems, Inc., 2020)

RCC = Capacidad de enfriamiento nominal

Por lo tanto;

$$CCF (@ 87^\circ\text{C}) = 0.87$$

$$\text{Flujo de calor medio} = 100\%$$

$$HMFCF = 1.0$$

$$\text{Capacidad nominal} = 60 \text{ MBtu/h}$$

$$Q_e = 0.87 * 1.0 * 60 = 52,000 \frac{\text{Btu}}{\text{h}} = 4.3 \text{ Ton}$$

II Calor real de entrada

$$Q_g = \text{HIF} * \text{HMFCF} * \text{RHI}$$

Ecuación 9 Calor real de entrada al equipo SC-05

HIF = Factor de calor de entrada (Yazaki Energ Systems, Inc., 2020)

HMFCF = Factor de corrección (Yazaki Energ Systems, Inc., 2020)

RHI = Tasa de ingreso de calor (Yazaki Energ Systems, Inc., 2020)

Por lo tanto;

$$\text{HIF} (@ 87^\circ\text{C}) = 0.85$$

$$\text{HMFCF} = 1.0$$

$$\text{RHI} = 85.7 \text{ MBtu}$$

$$Q_{\text{Ref}} = 0.85 * 1.0 * 85.70 = 72.85 \frac{\text{MBtu}}{\text{h}} = \mathbf{21.35 \text{ kJ/s}}$$

III Diferencia de temperatura de agua de refrigeración

Qfe = Flujo de entrada en GPM

Qe = Calor real de entrada

$$\Delta T = \frac{Q_e}{(0.5 * Q_{fe})} = \frac{72.85 \text{ Btu h}}{(0.5 * 12.1)} = 12.13 ^\circ\text{F}$$

Ecuación 10 Diferencia de temperatura para el sistema de refrigeración

3.1.7 Requerimiento térmico secador de café

El segundo proceso en concordancia con la temperatura requerida es el sistema de secado, en esta sección se determina la cantidad de energía que se necesita para la extracción de la humedad del grano de café, estos cálculos se realizan para la capacidad estimada del sistema mencionada en la tabla 17 de la sección anterior.

El equipo propuesto es un secador de tambor utilizado actualmente en la Finca Nuevo México, este equipo se describe en el trabajo de Jiménez (2020), la cantidad que se propone a secar por lote es de 2,000 kg de café húmedo, esta cantidad es congruente con los 5,000 kg de café propuestos a secar en la temporada alta de acuerdo con el análisis del capítulo anterior.

De acuerdo con Jiménez (2020) el grano de café cuenta con una humedad del 55% y debe perder 10% durante el proceso de mecánico y aproximadamente el 33% con aire forzado, esto equivale a retirar 660 kg de agua del producto, al final se obtendrá un total de 1340 kg de café pergamino con cerca del 12% de humedad, esta operación unitaria debe durar 18 h considerando una temperatura promedio de 50°C con aire forzado.

Para calcular la cantidad de energía a retirar de esta cosecha se considera la entalpía de vaporización del agua a las condiciones del sitio obteniendo los siguientes resultados;

$$Q_{\text{Prod}} = (\Delta H_{\text{vap}} * \left(\frac{1}{\text{Ef}^{20}}\right) * (\text{kg agua}) = (2260.43 * 0.75 * 660) = 1,118,700 \text{ kJ/día}$$

$$Q_{\text{Prod}} = \frac{1118700}{24} = 46612.5 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} = 12.94 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}$$

Ahora, del balance de calor del equipo;

$$C_{\text{paire}} m_{\text{aire}} (T_{\text{Aire2}} - T_{\text{Aire1}}) = Q_{\text{prod}}$$
$$m_{\text{aire}} = \frac{Q_{\text{Prod}}}{C_{\text{paire}} * (T_{\text{Aire2}} - T_{\text{Aire1}})} = 0.52 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

3.1.8 Requerimiento térmico para el agua de servicios

De acuerdo con la [Tabla 15](#) se realizan los cálculos necesarios para obtener la cantidad de agua potable y geotermia para acondicionar el agua que satisfaga las necesidades de los 598 huéspedes en temporada alta.

El flujo másico se obtiene al realizar el balance de materia y energía considerando la partición de una sección del flujo proveniente del proceso de deshidratado

3.1.9 Requerimiento térmico para acuicultura

Para el cálculo de la demanda térmica del proceso de producción de tilapia utilizando tanques acuícolas, se considerarán los intercambios de calor entre los estanques y el medio ambiente a través de la metodología propuesta por Lineau & Lunis (1991), la cual menciona principalmente cuatro mecanismos que son descritos a continuación.

²⁰ Eficiencia del equipo mecánico

I Evaporación

Estas son las mayores pérdidas en un estanque, estas pérdidas se producen al evaporar el agua de la superficie, al suceder esto el calor necesario para este fenómeno es tomado del agua remanente enfriando el volumen de agua.

La razón en la que ocurre la evaporación está en función de la velocidad del aire y la diferencia de presión entre el tanque de agua y el vapor de agua en el aire, conforme la temperatura del tanque se incrementa o la humedad relativa del aire disminuye, la velocidad de evaporación en el estanque aumenta.

$$W_p = \frac{(0.13v)(0.018)}{85.74 * \left(\frac{T_s}{460}\right)} (P_w - P_a) * 144 * A$$

Ecuación 11 Pérdidas de calor por evaporación de agua en un tanque de acuicultura

Donde;

W_p = Velocidad de evaporación (lb/h)

A = Área de la superficie (1826.05 ft²)

v = Velocidad del viento (14.58 ft/s)

P_w = Presión de saturación de vapor del tanque (0.55284 psia)

P_a = Presión de saturación punto de rocío (0.211 psia)

T_s = Temperatura de la superficie (82.4 ° F)

Por lo tanto:

$$W_p = \frac{(0.13 * 14.58) * (0.018)}{85.74 * \left(\frac{82.4}{460}\right)} (0.55284 - 0.07) + 144 * 913.03 = 139.85 \frac{\text{lbm}}{\text{h}}$$
$$139.85 \frac{\text{lbm}}{\text{h}} * 1,050 = 146,840.70 \frac{\text{Btu}}{\text{h}}$$

II Convección

La segunda causa de pérdidas de calor es debido a la convección entre la superficie del estanque y aire frío que pasa por encima, naturalmente las principales variables de este fenómeno es la velocidad del viento y la diferencia entre la temperatura de la superficie y el viento., este modelo se puede considerar de acuerdo con la ecuación.

$$q_{cv} = (0.135v) * A * (T_w - T_a)$$

Ecuación 12 Pérdidas por convección en un tanque de acuicultura

Donde;

V = velocidad del viento (14.58 ft/s)

A = Área de del tanque (1826 ft²)

T_w = Temperatura del agua (84.2° F)

T_a = Temperatura del aire (68 ° F)

Por lo tanto;

$$q_{cv} = (0.135 * 14.58) * 1826.05 * (82.4 - 68) = 51,756.68.71 \frac{\text{Btu}}{\text{h}}$$

III Radiación

Perdidas de calor por radiación, este es el tercer más grande componente que constituye las pérdidas en un tanque de acuicultura, esta relación se encuentra en función de la temperatura de la superficie y la temperatura de los alrededores, bajo circunstancias normales, la superficie del tanque irradia al vapor de agua en el aire, el cual se asume se encuentra a la temperatura del aire, la ecuación que describe este proceso es la siguiente:

$$q_{RD} = 0.174 \times 10^{-8} * 0.93 [(460 + T_w)^4 - (460 - T_a)^4] * A$$

Ecuación 13 Pérdidas por radiación en un tanque de acuicultura

Donde;

T_w = Temperatura del agua del estanque (°F)

T_a = Temperatura del aire (°F)

A = Área de la superficie de los tanques

Por lo tanto;

$$q_{RD} = 0.174 \times 10^{-8} * 0.93 * [(460 + 82.4)^4 - (460 - 68)^4] * 1826$$

$$= 186,914.47 \text{ Btu/h}$$

IV Conducción

Las pérdidas por conducción se refiere la transferencia de calor debido a contacto de las paredes con el exterior, esta es la última parte del sistema de pérdidas debido baja aportación será omitido en esta parte.

Las pérdidas calculadas en los puntos anteriores corresponden a condiciones promedio de temperatura, velocidad del viento y humedad, sin embargo, sabemos que durante el día y dependiendo la estación del año estas condiciones cambian por lo que para realizar un cálculo exacto se necesitaría un estudio más riguroso, el cual no es el objetivo de este trabajo. Por lo que se tomará como base para el balance de materia y energía los datos resumidos en la Tabla 21.

<u>Resumen de pérdidas en los estanques de acuicultura (Btu/h)</u>	
Evaporación	299,350.52
Convección	51,753.68
Radiación	186,914.47
Conducción	-
Total	158.19 kJ/s
	<u>539,797.40 Btu/h</u>

Tabla 21 Resumen de pérdidas en los estanques de acuicultura en el Ejido de Paso de Mesillas

3.1.10 Almacenamiento de agua de reposición para acuicultura

Con base al punto anterior una de las pérdidas más grandes es la evaporación, este fenómeno requiere considerar que la masa pérdida sea repuesta para garantizar un nivel óptimo en los tanques de acuicultura, siguiendo las normas del punto [2.10](#) se considera contener como almacenamiento la cantidad de agua suficiente para reabastecer el sistema por 3 días, por lo tanto;

$$0.0176 \frac{l}{s} * \frac{segundos}{hora} 3600 \frac{segundos}{hora} * 24 \text{ horas} * 2 \text{ dias} = 4,574.54 \text{ Litros}$$

3.1.1 Resumen de requerimientos térmicos del sistema

Resumen de cargas calculadas para el balance de materia y energía		
Q _{Ref}	17.37	kW
Q _{Seca}	12.95	kW
Q _{Acua}	158.00	kW
Q _{ACS}	58.47	kW
²¹ QT Factor de seguridad	246.79	kW

Tabla 22 Resumen de cargas

3.1.2 Balance de materia y energía

Utilizando las bases de diseño, las ecuaciones de balance y el cálculo de las cargas térmicas por proceso, se obtienen las condiciones termodinámicas de cada corriente, estas condiciones han sido tomadas en régimen permanente, considerando la máxima ocupación en el CRG, al realizar este cálculo se puede apreciar que el consumo de energía térmica del sistema es sumamente bajo en comparación con la energía disponible, por lo que la variación por la estacionalidad afectaría muy poco las condiciones de las corrientes.

El detalle de la memoria de cálculo del balance de materia en conjunto con la tabla de las condiciones puede encontrarse en el **Anexo 3** de este trabajo. Es importante resaltar algunas suposiciones.

- La presión de todas las corrientes se mantiene en un ponderado, por arriba del punto de evaporación, esto debido a que se desconoce el desnivel del terreno.
- Se determinaron las propiedades fisicoquímicas de las corrientes utilizando la macro Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties (REFPROP) desarrollada por el National Institute of standards and technology (NIST).
- Las condiciones ambientales son establecidas a partir de las condiciones del sitio seleccionado en Mesillas, Nayarit

²¹ Se considera un factor de sobre dimensionamiento del 20% para asegurar que se lleve a cabo de manera correcta cada uno de los procesos de intercambio de calor.

- No se consideran eficiencia de las bombas e intercambiadores de calor, para determinar la cantidad de calor perdido a través de los procesos unitarios se consideró un excedente del 20% en la transferencia de calor y al mismo tiempo un sobredimensionamiento de los equipos aproximadamente del 50 %.
- NO se calcula la pérdida de energía del sistema, este calcula sale de los alcances del presente trabajo.
- El arreglo que se muestra es el resultado de diversos arreglos resultado este el más adecuado debido a su arreglo y aprovechamiento de la energía.

Como resultado del balance de materia y energía expuesto en la sección anterior, se expone la tabla de condiciones generales donde se puede observar la capacidad a la que se ha calculado el sistema y las principales características de la corriente geotérmica.

Equipo	Alberca
Capacidad por mes	491.4
Capacidad (Personas) / Día	86
Profundidad (m)	1.5
Área requerida(m ²)	155.23
Volumen requerido (m ³)	232.85
Tiempo de reposición de agua (h)	4.93
Propiedad / Corriente	Agua geotérmica
Flujo (l/s)	13.12
Flujo (kg/s)	12.70
Temperatura (K)	358.95
Temperatura (C)	85.80
H ₂ O (%)	100
Presión (MPa)	0.096
Densidad (kg/m ³)	968.09
Entalpía (kJ/kg)	359.41
C _p (kJ/Kg K)	3.11

Tabla 23 Resumen del uso de agua geotérmica

3.1.3 Diagrama de flujo de proceso

Como se ha mencionado en el inciso 3.1.1 de esta misma sección, para una mejor visualización del proceso, se muestran en los Anexos 1, 2, el Plot plan y el diagrama de flujo de proceso, este último documento nos permite sentar las bases para el desarrollo de un Diagrama de tubería e instrumentación que es esencial para la siguiente fase del proyecto, la ingeniería básica.

3.1.4 Filosofía de operación

La filosofía de operación permite manejar las variaciones en la demanda de los productos y servicios, como se ha mencionado en secciones anteriores existe una gran desviación en la llegada de turistas y en la producción de café, por lo que se establecen 3 temporadas, en la primera existe un gran demanda de energía por la cosecha de café mientras que en la

temporada 3 existe una demanda importante de energía por la llegada de visitantes pero no hay actividad cafetalera, esto variará la generación de agua de servicios, sin embargo no influirá de manera directa en la producción de Tilapia y el sistema de refrigeración, estos comportamientos se pueden observar en la tablas 24 y 25, los cuales serán las bases para una filosofía de operación adecuada.

Es importante mencionar que la instrumentación adecuada permitirá satisfacer la demanda térmica en cualquier temporada, esto debido a la gran disponibilidad de recursos geotérmicos y al correcto dimensionamiento de los equipos, por estas razones es posible sortear los cambios en la demanda a lo largo del año, es importante mencionar también que el sitio del CRG ha sido seleccionado de tal manera que es posible expandir el área de proceso y tomar alguna manifestación geotérmica adyacente con el objetivo de incrementar la capacidad del sistema y/o cubrir situaciones en la que la demanda sobrepase lo estimado en las predicciones del mercado de los bienes y servicios.

Mes	Recreación y bienestar (Visitantes)	Café (% de cosecha)	Temporada
Enero	349	30	1
Febrero	288	30	1
Marzo	421	30	1
Abril	457	5	2
Mayo	473	Sin cosecha	3
Junio	462	Sin cosecha	3
Julio	598	Sin cosecha	3
Agosto	537	Sin cosecha	3
Septiembre	368	Sin cosecha	3
Octubre	422	Sin cosecha	3
Noviembre	427	Sin cosecha	3
Diciembre	442	5	2

Tabla 24 Temporalidad en producción de café y visitantes con motivo de recreación y bienestar

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	Mes	kg
■	■	■	■	■	■												Junio	462
	■	■	■	■	■	■											Julio	598
		■	■	■	■	■	■										Agosto	537
			■	■	■	■	■	■									Septiembre	368
				■	■	■	■	■	■								Octubre	422
					■	■	■	■	■	■							Noviembre	427
						■	■	■	■	■	■						Diciembre	442
							■	■	■	■	■	■					Enero	349
								■	■	■	■	■	■				Febrero	288
									■	■	■	■	■	■			Marzo	421
										■	■	■	■	■	■		Abril	457
											■	■	■	■	■		Mayo	473
																	Total	5,244

Tabla 25 Kg de Tilapia durante el primer año de producción²²

La tabla 25 ha sido determinada a partir del documento Construcción y operación de un granja acuícola de camarón blanco y tilapia, desarrollado por la empresa “Alacrán Reef” dedicada a la acuicultura y ubicados en puerto progreso, Yucatán.

Con base a lo anterior, es posible estimar que el flujo de recursos geotérmicos podrá mantenerse estable durante todo el año, debido a que la demanda térmica nunca superará la oferta energética, esta estabilidad en el proceso permitirá mitigar costos en materiales, equipos y personal operativo.

3.2 Ingeniería básica

Sistema de unidades

SISTEMA DE UNIDADES	
Flujo másico	kg/s
Flujo volumétrico	l/s
Temperatura	C
Presión	bar
Entalpía	kJ/kg
Potencia	kW
Longitud	mm
Diámetro	mm
Tiempo	s

Tabla 26 Sistema de unidades utilizado en la ingeniería básica y de detalle

²² Naranja: Crianza Azul: Cosecha

Nombre de los documentos

Proyecto	Subproceso	Disciplina	tipo de documento	Consecutivo	Revisión	TAG
CRG	GEN	P (Procesos)	DFP	01	1	
	RAG	I(Instrumentación)	DTI			
	ABS	M(Mecánica)	ESP			
	CRG		00 (Manual)			
	SEC		PT (Plot plan)			
	ACUA					
	ACS					

Tabla 27 Identificación de los documentos

3.2.1 Intercambiadores de calor

Para la selección de los intercambiadores de calor se seguirá la metodología propuesta por Zarate (2013), el sostiene que los principales criterios para la selección de un intercambiador de calor son:

- Satisfacción de las especificaciones del proceso a través de una operación simple y de bajo costo operativo.
- Tolerancia a las condiciones ambientales, así como a la corrosión de los fluidos y el ensuciamiento.
- Ubicación práctica que permita la limpieza y el reemplazo de cualquier componente.
- Considerar dimensiones, peso y ubicación en la planta

Con estas consideraciones es posible llevar a cabo las etapas de selección de un intercambiador de calor , como se ha mencionado, se considerarán opciones comerciales, por lo tanto, no se profundiza en el diseño mecánico.

Adicionalmente para realizar el diseño de un intercambiador de calor es importante conocer al menos los siguientes parámetros, cuatro temperaturas, potencia, caudal, adicionalmente se debe proporcionar al fabricante la pérdida de presión, sin embargo, es posible establecer una pérdida estándar para los equipos.

I Especificaciones generales

El equipo para intercambio de calor **ICP – 001** tiene como función aumentar la temperatura de la corriente de agua potable **CRG8''**, proveniente de la bomba de recirculación **BOMB – 001**. Por el lado caliente **el dispositivo utiliza la corriente geotérmica RAG 1**, cuyas propiedades se enlistan en la **tabla 28**, mientras que por el lado frío se utiliza agua potable convencional.

Elemento/Compuesto	Muestra M4 (mg/l)
Na ⁺	128.5
K ⁺	2.6
Ca 2 ⁺	6.2
Mg ²⁺	0.2
Cl ⁻	48.1
F ⁻	16.5
SO ₄ ²⁻	43
HCO ₃ ³⁻	127.4
CO ₃ ³⁻	5.6
B. I	5.2

Tabla 28 Propiedades de la corriente geotérmica

Por otro lado, el intercambiador de calor ICP-002, tiene como función calentar una corriente de 0.53 l/s de aire previamente filtrado para realizar el secado del café y/o alimentos, por el lado caliente se considera la corriente CRG4, la cual consiste en agua potable a una razón de 2.80 l/s a 83.16 °C

Finalmente, para el intercambiador de calor ICP-003, por el lado caliente ingresa la corriente CRG5 de agua potable, mientras que por el lado frío entra la línea ACUA15. Este equipo tiene por objetivo aumentar la temperatura de ACUA15 hasta los 30°C, la cual esta acondicionada para su uso en acuicultura manteniendo así las condiciones óptimas para el crecimiento de los especímenes en los tanques acuícolas.

Selección del tipo de Intercambiador de calor

Se selecciona el intercambiador de calor de placas (ICP) debido a los beneficios que representa para el proceso, como son;

- Valor del Approach ²³, este se sitúa alrededor de los 10°F, 100% más efectivo de lo que los valores comerciales muestran en los intercambiadores de coraza y tubo.
- Amplia disponibilidad de materiales resistentes a la corrosión
- Fácil mantenimiento
- Escalamiento del proceso
- Diseño compacto

Selección de materiales

Como se ha mencionado, el intercambiador de calor ICP – 001 estará en contacto directo con el fluido geotérmico, esta corriente cuenta con una composición conocida expuesta en la tabla 26, por lo tanto, el material del que se encuentre fabricado este dispositivo deberá ofrecer una gran resistencia a la corrosión y erosión localizada ocasionada por los elementos como el cloro libre y el azufre, presentes de manera considerable en la corriente.

El material propuesto en este trabajo para este intercambiador es **316SS**, está selección se justifica en el Anexo 6, donde se puede comprobar que a la temperatura de salida del equipo (la más baja que se alcanza durante esta operación) no se presentan problemas de corrosión localizada.

Selección de cargas térmicas

En la tabla 29 pueden encontrarse las cargas térmicas por cada uno de los procesos que componen el centro de recursos geotérmicos, el primer intercambiador de calor (ICP -001) se selecciona de acuerdo a los requerimientos total del sistema en conjunto con un factor de seguridad del 20% (QT), esta carga nos permitirá asegurar la transferencia de calor cada uno de los procesos por su parte QRef y QAcua se selecciona con base a los requerimientos de los equipos de proceso QSec, se considera derivado de la selección realizada por (Garduño, 2021).

Aplicación	Carga	Unidades
Q Refrigeración	17.37	kW
Q Seca	12.95	kW
Q Acua	158	kW
QACS	58.47	kW
QT Factor de seguridad	246.79	kW

Tabla 29 Resumen de cargas de los procesos

²³ Diferencia de temperatura entre las corrientes de salida

II Diseño de intercambiador - ICP-001

El intercambiador de calor seleccionado es el Modelo T10-BFG de alfa Laval, cuyas hojas de especificaciones y planos se encuentran en el **anexo 13**.

Cálculo

Datos:

Coefficiente global de transferencia de calor $U^{24} = 5,982 \text{ (W/m}^2\text{K)}$

LMTD Corrección = 0.90

Caída de presión = $3.5 \times \text{NTU}$

Cálculo de LMTD (Log-Mean Temperature Difference)

$$\Delta T_{lm} = \frac{(T_{h1} - T_{c2}) - (T_{h2} - T_{c1})}{\ln \frac{T_{h1} - T_{c2}}{T_{h2} - T_{c1}}} = \frac{(85.00 - 80.80) - (81.5 - 74.11)}{\ln \frac{(85.00 - 80.80)}{(81.5 - 74.11)}} = 7.64$$

Cálculo del área requerida;

$$A = \frac{q}{U \Delta T_{lm}} = \frac{246.79 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{s}}\right)}{\left(5.98 \frac{\text{kJ}}{\text{s} * \text{m}^2 * \text{K}}\right) * (7.64 \text{ K})} = 5.40 \text{ m}^2$$

Cálculo de la caída de presión

$$\Delta P = 3.5 \text{ NTU} = 3.5 * 0.97 = 3.4 \text{ psig}$$

Número de placas: 25

Material/ Espesor de la placa: Alloy 316 / 0.5 mm

Material de la junta: EPDM Glued

Dimensiones de la placa: 570 x 480 x 2050

Conexiones bridadas ASME B16.5 NPS 4 Class 150

III Diseño de intercambiador - ICP-002

El intercambiador de calor seleccionado es el equipo diseñado por Garduño, este equipo está acoplado a la cámara de secado desde su diseño, garantizando su funcionamiento, el cual cumple con las siguientes características.

Numero de tubos: 96

Número de filas: 6

Área de la superficie de intercambio de calor: 55 m²

Coefficiente global de transferencia de calor U^{25} : 49.6 (W/m²K)

²⁴ De acuerdo con el fabricante Alfa Laval modelo T10 - BFG

²⁵ De acuerdo con los datos publicados por (Garduño, 2021)

$$\Delta T_{lm} = \frac{(T_{h1} - T_{c2}) - (T_{h2} - T_{c1})}{\ln \frac{T_{h1} - T_{c2}}{T_{h2} - T_{c1}}} = \frac{(80.80 - 55) - (79.75 - 25)}{\ln \frac{(80.80 - 55)}{(79.75 - 25)}} = 38.47$$

$$A = \frac{q}{U \Delta T_{lm}} = \frac{12.95 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{s}}\right)}{\left(0.04496 \frac{\text{kJ}}{\text{s} * \text{m}^2 * \text{K}}\right) * (38.47 \text{ K})} = 7.48 \text{ m}^2$$

IV Diseño de intercambiador - ICP-003

El intercambiador de calor seleccionado es el Modelo T6-BFG de alfa Laval, cuyas hojas de especificaciones y planos se encuentran en el anexo 13.

Cálculo

Datos:

$$U = 2,383 \text{ (W/m}^2\text{K)}$$

LMTD Corrección = 0.90

Caída de presión = 3.5xNTU

Cálculo de LMTD (Log-Mean Temperature Difference)

$$\Delta T_{lm} = \frac{(T_{h1} - T_{c2}) - (T_{h2} - T_{c1})}{\ln \frac{T_{h1} - T_{c2}}{T_{h2} - T_{c1}}} = \frac{(79.75 - 38.74) - (70.10 - 20)}{\ln \frac{(79.75 - 38.74)}{(70.10 - 20)}} = 45.40$$

Cálculo del área requerida;

$$A = \frac{q}{U \Delta T_{lm}} = \frac{158 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{s}}\right)}{\left(2.38 \frac{\text{kJ}}{\text{s} * \text{m}^2 * \text{K}}\right) * (45.40 \text{ K})} = 1.46 \text{ m}^2$$

Cálculo de la caída de presión

$$\Delta P = 3.5 \text{ NTU} = 3.5 * 0.97 = 3.4 \text{ psig}$$

3.2.2 Selección de bomba centrífugas

Para la selección de la bomba de recirculación se realizó el cálculo de las pérdidas por fricción de todo el sistema, esto con el objetivo de mantener una presión adecuada en el sistema y para conservar la presión del fluido por arriba de su presión de vapor, por esta razón este cálculo ha sido concluido en la etapa más avanzadas del proyecto.

Para la selección de la bomba centrífuga se utiliza la metodología propuesta por (Alcántara, 2021), en su trabajo, alcántara define un algoritmo de selección basado en buenas prácticas para la industria Química. A continuación, y de forma resumida se muestra la metodología empleada.

- I Obtención de datos de proceso (DTI & Propiedades termodinámicas del fluido)
- II Obtención de datos de tubería (Rugosidad relativa & Factor de fricción)
- III Cálculo de pérdidas de presión por fricción en la tubería
- IV Cálculo de la columna total de líquido a succión y a la descarga
- V Cálculo de la columna total del sistema
- VI Cálculo de la columna de líquido neta positiva a la succión (NPSHA) y NPSHR requerido por la bomba
- VII Selección de la bomba de acuerdo con la información del fabricante

3.2.3 Selección de bomba de recirculación Bomb – 001

Para la selección de la bomba de recirculación es necesario considerar el circuito de recirculación geotérmico nombrado CRG en el documento CRG- GEN- I DTI 06-01, este circuito conduce todos los sistemas del Centro de Recursos geotérmicos, por lo que los datos son los siguientes:

Datos de diseño

Propiedad	Mínima	Estándar	Máxima
Fluido	Agua Potable	N/A	N/A
Temperatura (°C)	20	67	85
Presión (Bar)	1	-	-
Tubería (in)	N/A	1/2"	N/A
Diámetro Interno (ft)	N/A	0.13	N/A
material	N/A	Acero al Carbón	N/A
Cédula	N/A	40	N/A
Factor de fricción (f) ²⁶		0.022	
Velocidad (ft/s)		13.12	

Lista de accesorios y tramos rectos según los diagramas de tuberías e instrumentación

Accesorios	Cantidad	²⁷ K
Standard Tee	20	20f
Codos 90 ° 1 1/2"	50	30 f
Válvula de bola	3	3f
Tramo recto (ft)	545	

²⁶ Gráfica A-25 Friction factors for commercial steel pipe (Crane co., 1980), considerando un diámetro de 1 1/2"

²⁷ Gráfica A-28 Representative Resistance Coefficients (K) for valves and fittings (Crane co., 1980)

$$h_{Lf} = \frac{f L_T V}{2g_c D_i} + K_{Codos} \frac{V}{2g_c} + K_{Válvulas} \frac{V}{2g_c} + K_{Tee} \frac{V}{2g_c}$$

Donde;

h_{Lf} = Columna de líquido equivalente a las pérdidas de presión por fricción

V = Velocidad de flujo

g_c = Aceleración de la gravedad $\left(32.2 \frac{ft}{s^2}\right)$

D_i = Diámetro interior de la tubería

f = Factor de fricción de acuerdo con el material de la tubería

$$K^{28} = \frac{f L_T}{D}$$

$$h_L = \left(\frac{0.022 * \left(13.12 \frac{ft}{s}\right) * 544.48}{2 \left(32.2 \frac{ft}{s^2}\right) * 0.13} \right) + (0.022)(20)(20) + (0.022)(30)(50) + (0.022)(30)(3) = 313.22 \text{ ft}$$

Cálculo de alturas de la columna de succión y a la descarga de la bomba

$$h_s = h_{ss} + h_{ps} - h_{fs}$$

Donde;

h_{ss} = Columna estática de succión

h_{ps} = Columna de líquido equivalente a la presión sobre la superficie del líquido

h_{fs} = Pérdidas de presión en la tubería de succión

Por lo tanto, considerando que el tanque TR-003 es atmosférico se tiene lo siguiente

$$h_d = h_{sd} + h_{pd} + h_{fd}$$

h_{sd} = Columna estática del líquido a la descarga

h_{pd}

= Columna de líquido equivalente a la presión sobre el líquido en el tanque de descarga

h_{fd} = Pérdidas de presión en la tubería de descarga

Cálculo de la altura total del sistema.

$$H = h_d - h_s$$

²⁸ Para accesorios se considera el coeficiente de resistencia K, el cual es el equivalente en ft para la pérdida de presión por los elementos.

Para fines de este trabajo y considerando que es un sistema de tanques atmosféricos en un circuito cerrado, el cálculo de la altura total del sistema resulta de la siguiente manera.

$$H = (h_{sd} + h_{fd}) - (h_{ss})$$

$$H = (16.20 \text{ ft} + 313.22 \text{ ft}) - (6.56 \text{ ft}) = 322.86 \text{ ft} = 98 \text{ m}$$

El presente cálculo, nos permite realizar la selección de la Bomba centrífuga e-1510 de la marca Bell & Cossett, de 25 Hp de potencia, trabajando a una eficiencia del 45%, es notable que este equipo cuenta con una amplia área de oportunidad para ser especificado de una manera más precisa, esto ha sido considerado como parte del trabajo a futuro de este trabajo de investigación.

3.2.4 Memoria cálculo de tubería

El diseño de tubería que se abarca en ese trabajo se divide en tres partes, por un lado se obtendrá el diámetro requerido para cumplir con los parámetros de velocidad recomendada a un gasto determinado usando la ecuación de continuidad, en segundo lugar, se realiza el cálculo del espesor para contener la presión de la corriente de acuerdo a la norma B31.1 del código ASME, y para finalizar, se seleccionará el material que ofrezca la mejor protección a la tubería en función de la concentración de los compuestos presentes en corriente.

Para la primera parte, el cálculo del diámetro interno requerido, se utiliza un valor recomendado para la velocidad de entrada a un intercambiador calor²⁹ **3.04 m/s** (Branan, 2002), luego, a partir de la ecuación de continuidad (Ecuación 14) se obtiene el valor del radio.

$$v = \frac{Q}{A}$$

Ecuación 14 Ecuación de continuidad (Crane co., 1980)

$$r = \sqrt{\frac{Q}{v\pi}} = \sqrt{\frac{\left[\frac{m^3}{s}\right]}{\left(3.1416 * \left[\frac{m}{s}\right]\right)}} = \sqrt{\frac{m^3 * s}{m * s}} = \sqrt{m^2} = m$$

Donde;

Q = Flujo volumétrico [m³/s]

v = Velocidad recomendada [m/s]

r = [m]

Como cálculo representativo se determina diámetro para la tubería de la corriente RAG01, obteniendo los siguientes resultados;

²⁹ El valor de la velocidad recomendada varía de acuerdo con el servicio de la corriente

$$r = \sqrt{\frac{Q}{v\pi}} = \sqrt{\frac{0.0178 \left[\frac{m^3}{s}\right]}{\left(\pi * 3.04 \left[\frac{m}{s}\right]\right)}} = 0.043 \text{ m} = 3.40 \text{ in}$$

Para la segunda parte, utilizando la fórmula propuesta por el código ASME en su sección B31.1, se obtiene el grosor mínimo de la tubería.

$$t_m = \frac{PD_o}{2(SE + Py)} + A$$

Ecuación 15 Grosor mínimo del muro (ASME, 2007)

Donde;

t_m = Grosor mínimo de la tubería

P = Presión interna de diseño (kPa)

D_o = Diámetro exterior nominal; Este es el máximo valor permitido bajo la especificación, se obtiene de tablas de estándar y especificaciones

SE = Estrés máximo permisible en el material (A la temperatura de diseño)

y = Coeficiente del material en función de la temperatura y presión

A = Grosor adicional para compensación por corrosión

Como cálculo representativo se establecen los valores preliminares, utilizando las tablas correspondientes.

Temperatura de diseño: 87 °C³⁰

Presión de diseño: (200 kPa manométrica) 2 bar³¹

Material propuesto: Acero 316

A: (0.059 in) 1.5 mm³²

SE (@ 87 °C y TP316L A213): 14.1 psi = 97216.07 kPa

Por lo tanto, el espesor de la tubería para la corriente RAG1;

$$t_m = \frac{(200 \text{ kPa})(101.6 \text{ mm})}{2(97216.07 \text{ kPa} + (200 \text{ kPa} * 0.4))} + 1.5 \text{ mm} = 1.6 \text{ mm}$$

Factor de seguridad: 1.6 * 1.1 = 1.76 mm

³⁰ Temperatura máxima que podría alcanzar el recurso geotérmico, es posible que durante temporadas de lluvias se vea modificado, por lo que se ha realizado las simulaciones abarcando 3 escenarios posibles, para el caso del diseño de los equipos y tubería se considera temperatura máxima.

³¹ Se considera una columna de agua presente en la obra de toma, la cual genera este aumento en la presión

³² No se especifica en la norma ASME B31.1 sin embargo es una práctica común en la industria tomar este valor como indicativo para el diseño. (Sölken, 2020),

Cédula 5 = Espesor de pared 2.11 mm

Descripción completa de la línea RAG1: **TP316L A213 Cédula 5 NPS 3 1/2"**

Resumen de las corrientes principales

Realizando lo anterior para cada una de las corrientes principales se obtiene lo siguiente:

Propiedad / Corriente	RAG1	RAG2	CRG8"	CRG3
De (Tablas) (mm)	101.6	101.6	48.26	48.26
Material	SST316L	SST316L	Acero al carbón	Acero al carbón
Presión man de diseño y corrección	0.5	0.39	0.5	0.5
Diámetro exterior nominal	4	4	1.9	1.9
Estrés máximo permitido (200 °F)	97216.08	97216.08	117900	117900
Coefficiente del material	0.4	0.4	0.4	0.4
Compensación por corrosión mm	1.5	1.5	1.5	1.5
tm	1.76	1.70	1.6022	1.6022
Cédula	5	5	40	40
Propiedad / Corriente	CRG4	ABS10	ABS11	CRG5
De (Tablas) (mm)	48.26	33.4	33.4	33.4
Material	Acero al carbón	Acero al carbón	Acero al carbón	Acero al carbón
Presión man de diseño y corrección	0.5	0.5	0.5	0.5
Diámetro exterior nominal	1.9	1.9	1.9	1.9
Estrés máximo permitido (200 °F)	117900	117900	117900	117900
Coefficiente del material	0.4	0.4	0.4	0.4
Compensación por corrosión mm	1.5	1.5	1.5	1.5
tm	1.6022	1.5707	1.5707	1.5707
Cédula	40	40	40	40
Propiedad / Corriente	SEC12	SEC13	CRG6	ACUA15
De (Tablas) (mm)	33.4	33.4	48.26	48.26
Material	Acero al carbón	Acero al carbón	Acero al carbón	Acero al carbón
Presión man de diseño y corrección	0.5	0.5	0.5	0.5
Diámetro exterior nominal	1.9	1.9	1.9	1.9
Estrés máximo permitido (200 °F)	117900	117900	117900	117900
Coefficiente del material	0.4	0.4	0.4	0.4
Compensación por corrosión mm	1.5	1.5	1.5	1.5
tm	1.5707	1.5707	1.6022	1.6022
Cédula	40	40	40	40

Propiedad / Corriente	ACUA14	CRG8	ACS7	CRG8'	CRG8'2
De (Tablas) (mm)	48.26	33.4	33.4	48.26	48.26
Material	Acero al carbón	Acero al carbón	Acero al carbón	Acero al carbón	Acero al carbón
Presión man de diseño y corrección	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Diámetro exterior nominal	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9
Estrés máximo permitido (200 °F)	117900	117900	117900	117900	117900
Coefficiente del material	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Compensación por corrosión mm	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
tm	1.6022	1.5707	1.5707	1.6022	1.6022
Cédula	40	40	40	40	40

Propiedad / Corriente	CRG8'	AREP9	CRG8'3	CRG8''
De (Tablas) (mm)	48.26	33.4	48.26	48.26
Material	Acero al carbón	Acero al carbón	Acero al carbón	Acero al carbón
Presión man de diseño y corrección	0.5	0.5	0.5	0.5
Diámetro exterior nominal	1.9	1.9	1.9	1.9
Estrés máximo permitido (200 °F)	117900	117900	117900	117900
Coefficiente del material	0.4	0.4	0.4	0.4
Compensación por corrosión mm	1.5	1.5	1.5	1.5
tm	1.6022	1.5707	1.6022	1.6022
Cédula	40	40	40	40

3.2.5 Selección de tanques de reabastecimiento

El dimensionamiento de los tanques está basado en los puntos [3.2.1](#) y [2.10](#) para el proceso de acuicultura y el agua caliente de servicios respectivamente. Es importante resaltar que, debido a que el agua caliente de servicios es el mismo fluido que circula a través del “Circuito de recirculación geotérmico” (CRG), se considera como el tamaño del tanque la cantidad de agua a extraída por los servicios, por lo tanto

Tanque	Capacidad (Litros)
TR-001 (Agua Reabastecimiento)	51,156.00
TR-002 (Acuicultura)	4,574.54
TR-003(Circuito)	21,924.00
Días de reabastecimiento	3

El tanque de reabastecimiento TR-001, considera la reposición de agua total (Fría y caliente) usada en el complejo, este recipiente dentro del proyecto abastece a todo el centro de recursos geotérmicos de agua potable, sin embargo, este sistema queda fuera del alcance debido a que no tiene una implicación directa en el aprovechamiento de la fuente de energía geotérmica.

Por otro lado, el tanque de reabastecimiento TR-002, repone el agua pérdida en los depósitos de acuicultura debido al efecto de evaporación y fugas, este tanque se abastece a su vez del TR-001, sin embargo, esta corriente puede ser manipulada por los operadores con el propósito de ajustar las condiciones en los tanques acuícolas, por lo que debe mantenerse independiente a otro sistema. Debido a la capacidad del mismo se ha seleccionado un tanque comercial de 5,000 litros de la marca Rotoplas para uso con agua potable.

Finalmente, el tanque TR-003 tiene como propósito mantener un flujo óptimo en el CRG, es importante resaltar que este tanque también es provisto por agua potable proveniente del TR-001, el tamaño de este depósito es lo suficientemente grande para mantener un nivel adecuado y satisfacer la demanda máxima de energía de cada uno de los niveles de energía, incluyendo el agua caliente de servicios del complejo durante 3 días.

Debido al tamaño y a la importancia del equipo se realiza un dimensionamiento más detallado el cual está basado en la metodología propuesta por (Vicente, 2010), adicionalmente, para establecer los parámetros de selección se toma en consideración la norma API 620: Design and construction of large welded low pressure storage tanks así como las normas establecidas por el gobierno federal para el diseño y ejecución de obras e instalaciones hidráulicas (Gobierno de la ciudad de México, 2021).

De acuerdo con Rodríguez de Vicente (2010), se desglosan los elementos del dimensionamiento de un tanque;

- Material – Acero al carbón con recubrimiento Rust-oleum 9200 para agua potable
- Capacidad – La capacidad ha sido establecida previamente en el punto [2.10](#). (21,940 litros a temperatura y presión ambiente)
- Diámetro y altura del tanque; Estas condiciones se establecen a partir del espacio disponible, preservando la altura del tanque mayor que el diámetro, por lo tanto;
Radio: 1.88 m
Altura: 2 m
- Cuerpo del tanque – El espesor de las placas será de al menos 6.3 mm, se deberá verificar que todas las hiladas de placas que componen las paredes del tanque serán estrictamente verticales
- Techos: Como condición establecida por la normatividad vigente se considera un espesor nominal mínimo de 4.8 mm e incluirse un espesor adicional por concepto de corrosión.
- Fondo del tanque y terrenos; De igual forma las placas del fondo deberán tener un espesor de al menos 6.3 mm y soldarse a tope

3.2.6 Equipos principales Refrigeración

El sistema de refrigeración por absorción se ha descrito en el marco teórico del presente trabajo, a partir de ello podemos seleccionar los elementos que compondrán esta aplicación, un sistema como este se encuentra constituido por un generador, condensador, absorbedor y evaporador, para este trabajo se considera la selección de un sistema de comercial por las ventajas que esto representa, la confiabilidad del equipo, la asesoría técnica del fabricante para su comisionamiento y servicio anual, así como su bajo tiempo de entrega, esto a diferencia de los sistemas experimentales que pueden comprometer el desempeño del CRG y su fiabilidad.

La selección del equipo de absorción se realizó a partir de una extensa búsqueda en el mercado latinoamericano de sistemas de absorción de baja capacidad, después de realizar una tabla comparativa y comprobar la disponibilidad del equipo en México, se seleccionó el equipo WFC-S5 (BrLi – Agua) de la marca Yazaki Inc, este sistema de refrigeración por absorción conducido por agua caliente puede ser traído a México en un tiempo relativamente corto y cuenta con una capacidad de 4 toneladas, además de esto los cumple con los requerimientos térmicos en cuanto a flujo y temperatura.

Como se ha estudiado previamente el sistema de refrigeración adicionalmente se constituye de servicios auxiliares como son la energía eléctrica para conducir las válvulas y el PLC interno, así como un sistema de refrigeración de agua, la selección de esta torre de enfriamiento se basa en las especificaciones del sistema de refrigeración por absorción, las cuales se observan en la tabla 32 (Flujo y temperatura de agua de enfriamiento).

En esta sección se agregan las dimensiones del equipo, así como un imagen en la que se ejemplifica como es el sistema, es importante mencionar que el fabricante recomienda cierta área para su instalación debido a que se requieren maniobras para la disposición y mantenimiento del equipo, adicionalmente a esto es necesario conservar el espacio suficiente para la instalación de la torre de enfriamiento, la bomba de recirculación y el intercambiador de calor que se colocado en el cuarto de enfriamiento (No se considera dentro del alcance de este trabajo) así como los sistemas de comunicación para mantener estable el proceso, se ha visto durante el marco teórico que este sistema trabaja a condiciones de termodinámicas muy específicas, las variaciones durante el proceso pueden derivar en un funcionamiento pobre o en el daño del equipo.

Finalmente, dentro de esta misma sección es posible encontrar el modelo 490A del equipo Aquatower, esta torre de enfriamiento de la marca SPX, cuenta con las características adecuadas para mantener operando el equipo de refrigeración (4 ton) de manera adecuada, la única limitante que se observa y es importante mencionar es que la sobre especificación está limitada a un 30 por ciento de la capacidad neta, a diferencia con los otros procesos la escalabilidad particularmente de estos dos equipos principales representará una inversión importante, sin embargo se ha dicho que una de las ventas de estos equipos son los nulos niveles de mantenimiento y bajo consumo de energía eléctrica, razones por la cuales este sistema podría ser rentable.

Especificaciones	Unidades	WFC-SC5
Cooling Capacity	Mbtuh	60
Chilled/Hot Water	Cooling Temperature	°F
Heating Temperature	°F	117.3 Inlet / 131.0 Outlet {WFC-SH Models Only}
Evaporator Pressure Loss	PSI	7.6
Max Operating Pressure	PSI	85.3 / {High Pressure Option Available on Select Sizes}
Rated Water Flow	GPM	12.1
Allowable Water Flow	% of Rated	80% - 120%
Water Retention Volume	Gal	2.1
Cooling Water Temperature	Heat Rejection	Mbtuh
Rated Water Flow ¹	°F	87.8 Inlet / 95.0 Outlet
Allowable Water Flow	GPM	40.4
Water Retention Volume	% of Rated	100% - 120%
Water Retention Volume	Gal	9.8
Heat Medium Temperature	Heat Input	Mbtuh
Allowable Temperature	°F	190.4 Inlet / 181.4 Outlet
Generator Pressure Loss	°F	158.0 - 203.0
Max Operating Pressure	PSI	11.2
Rated Water Flow	PSI	85.3 / {No High Pressure Option on Any Size}
Allowable Water Flow	GPM	19
Water Retention Volume	% of Rated	30% - 120%
Electrical Consumption ²	Gal	2.6
	Power Supply	115 / 60 / 1
	Watts	48

Tabla 30 WFC-SC5 Tabla de especificaciones

WFC-SC5

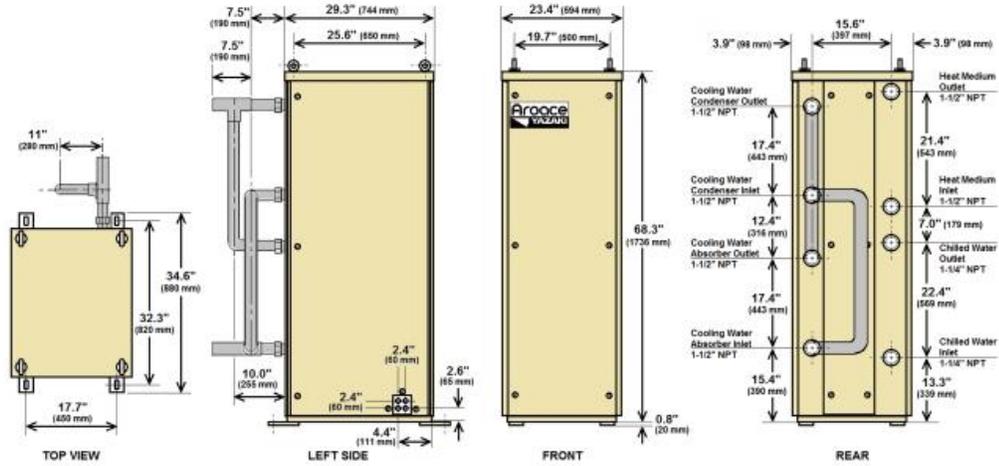


Ilustración 33 Dimensiones WFC –SC5



Ilustración 32 Equipo de refrigeración por absorción

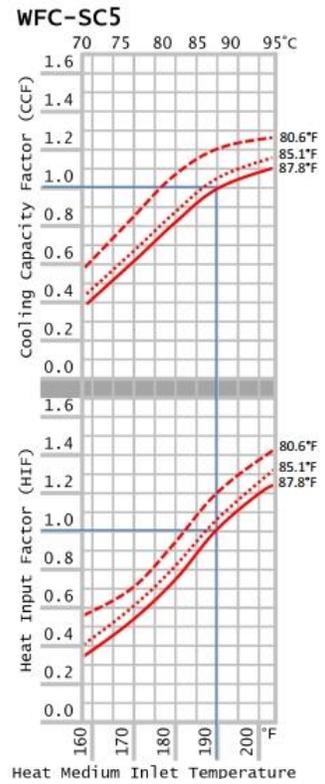
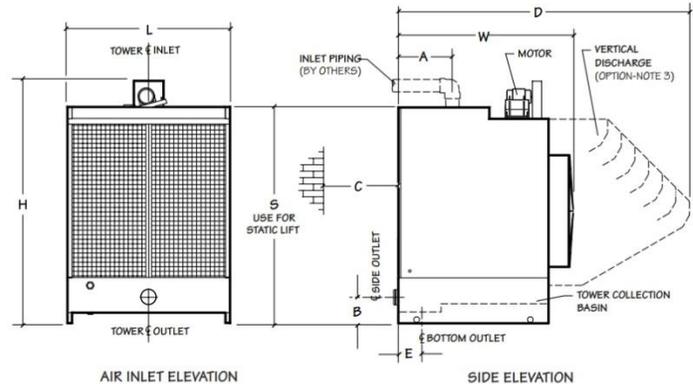


Ilustración 31 Capacidad de enfriamiento



Tower Model	Nominal Tone note 1	Dimensions									Motor hp	Piping Connection	
		L	W	H	A	B	C note 2	D	E	S		Inlet	Outlet note 6
490A	8	2'-11 1/2"	4'-0 5/8"	5'-9 3/4"	1'-9 3/4"	6 1/2"	2'-0"	note 3	note 6	4'-4"	1/2	2"	2" F

Ilustración 34 AQUATOWER – 490 A

3.2.7 Equipos Principales Secado de café

El equipo de secado de café que se ha seleccionado es el modelo diseñado y evaluado por Miguel Garduño (2021), el sistema consiste en tres partes, un ventilador, un intercambiador de calor (Tipo radiador) y una cámara de secado.

En la imagen siguiente se muestra un extracto del sistema propuesto por Garduño, se pueden observar un intercambiador de calor de placas y una bomba centrífuga equipos que no serán consideradores debido a que dentro del arreglo del sistema ya incluyen estos equipos, este hecho, permite que se aprovechen de una mejor manera los recursos económicos del proyecto e incluso se simplifiquen los arreglos.

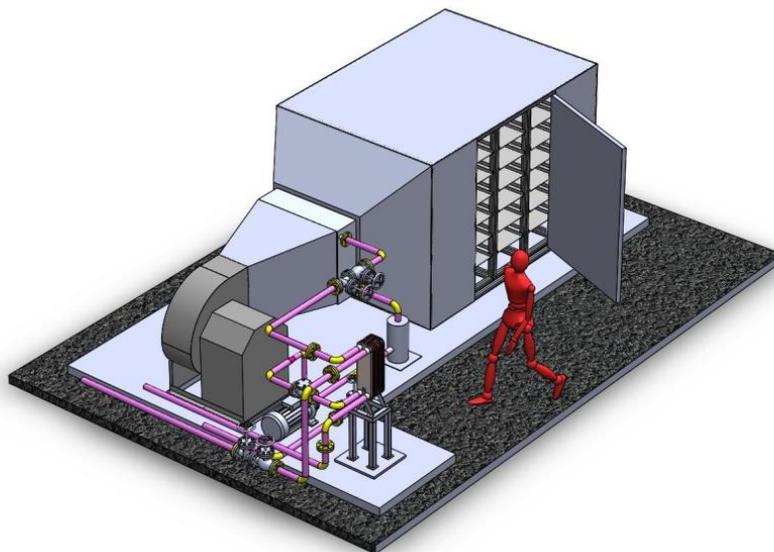


Ilustración 35 Arreglo de un sistema de secado de café (Garduño, 2021)

EL ventilador seleccionado es el equipo centrífugo marca Soler & Polau, modelo CMI-760-7, el bajo costo de esta marca, así como su fiabilidad nos permite conocer de manera rápida y precisa el precio del equipo, las características pueden verse más a detalle en la bibliográfica adjunta del presente trabajo, las características más importantes de este equipo son las mostradas en la tabla siguiente.

Característica	Valor	Unidades
Caudal de diseño	7,350	CFM
Presión estática	550	kPA
Temperatura	25	C
Eficiencia	63	%
Potencia del motor	7.5	hp
Velocidad del ventilador	1525	Rpm

Tabla 31 Tabla de especificaciones ventilador CMI-760-7

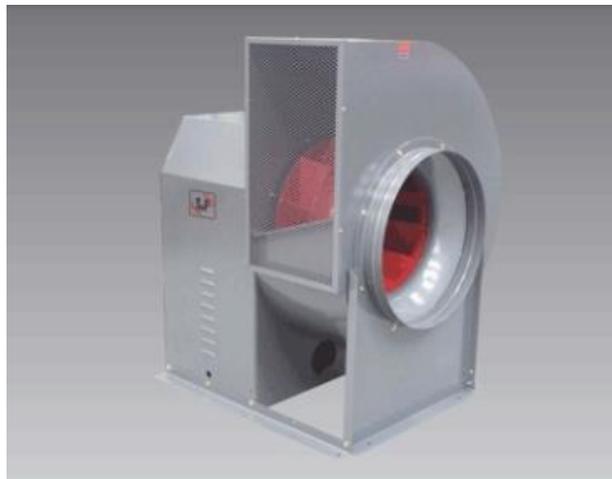


Ilustración 36 Ventilador centrífugo S&P CMI-560-7

Por su parte, la cámara de secado ha sido diseñada para una capacidad 50% mayor a la calculada en el balance de energía, sin embargo, esto se debe a que el proceso aumentará su capacidad de manera constate durante los primeros 5 años, llegando a un máximo de 30% sobre la base de cálculo.

Finalmente, la cámara de secado seleccionada es la nombrada “Alfa” en el trabajo de garduño (2021), este equipo durante las simulaciones presento la mejor distribución de aire caliente, este resultado permitirá durante el proceso de secado proporcionar una calidad constante de grano o producto final, esto es de suma importancia puesto que una operación de mayor calidad y más estable permitirá disminuir los tiempos muertos de los operadores y dará la posibilidad de vender el producto a un precio más elevado.

El equipo consiste en una caja rectangular de aluminio con una entrada perpendicular de aire que tiene como objetivo impactar de manera perpendicular a la cama de producto, para una mejor distribución el diseñador ha agregado ligeros cambios de sección que provocan que el flujo de aire recircule en la cámara manteniendo una temperatura homogénea en un área importante de la parte interna del equipo.



Ilustración 37 Corte transversal de la cámara de secado de café (Garduño, 2021)

3.2.8 Equipos principales acuicultura

Los equipos de acuicultura se han seleccionado con base a la disponibilidad en el mercado mexicano de integradores que trabajen con este tipo de procesos, actualmente la oferta no es amplia, sin embargo existen opciones que se acoplan con la producción esperada, como se ha mencionado durante el marco teórico, la solución acuícola está conformada de diversas partes, principalmente el estanque, el tamaño de este, ha sido calculado de acuerdo a las practicas convencionales del oficio, en segundo lugar se encuentra el Blower o soplador, este equipo mantienen un nivel de oxígeno disuelto en el agua adecuado para el crecimiento, es importante mencionar que el sistema de reposición de agua no se considera un equipo ya que el equipo de transferencia de calor ya se ha identificado en la sección anterior.

Por un lado, los tanques consisten en una estructura de acero galvanizado de 1 ½” calibre 18 y fleje de alta resistencia, esta estructura es acoplada una geo membrana de 1mm de espesor altamente resistente al ambiente salino y fabricada en HDPE, estos tanques como se ha visto previamente tienen un radio de 6 m y una altura de 1.2 m.

El blower o el equipo que mantienen el agua con una cantidad de oxígeno disuelto se ha seleccionado de la marca Gzling, su capacidad y eficiencia permiten mantenerme los tres tanques en condiciones óptimas con un consumo bajo de energía eléctrica



Ilustración 38 Blower Gzling 1 HP

Finalmente, además de los equipos principales, en la lista de materiales de las secciones posteriores se pueden observar líneas correspondientes a los elementos no prioritarios como las mangueras de difusión, bases metálicas, sistemas de aireación, drenaje y medición de pH y nitritos.



Ilustración 39 Tanques acuícolas de geomembrana

La lista de equipos principales puede ser consultada en el anexo 12.

3.2.9 Diagrama de tuberías e instrumentación

El diagrama de tubería e instrumentación puede consultarse en el anexo 2.

3.2.10 Instrumentos de control y accesorios

Los sistemas de instrumentación más relevantes del proceso han sido seleccionados en los puntos que se consideran elementales para mantener las condiciones de proceso controladas.

Punto a medir	Línea /equipo	Variable
Flujo de recurso geotérmico	RAG1	Flujo
Flujo de descarga de agua caliente	ICP-004	Flujo
Flujo de aire caliente	Secador de café	Flujo
Entradas y salidas de los equipos	Múltiples	Temperatura
Entradas y salidas	Múltiples	Presión

Tabla 32 Puntos de medición en el proceso

Selección de equipos principales de medición

Dimensionado del Applicator - Condensado (Flujo)

Proyecto

Proyecto	Integrated cascade utilization system
C.Proyecto No.	1
Cliente:	iIDEA
TAG	FIC-02
Estampado de tiempo	20.05.2021 11:17 p. m.
Revisar número	4
Número de orden de venta	
Persona de Contacto	Gerardo Ramos
email:	GRamosM@ingen.unam.mx
Teléfono	
Fax	

Parámetros generales

Fluido	Agua, potable
Estado	Líquido
Carácter	Limpio
Abrasión	No abrasivo
Grupo fluido	No considerado para PED
Tipo de fluido	Newtoniano
Presión atmosférica	1.0133 bar_a
Estándar	ANSI/ASME

Caudalímetro

Caudalímetro	Promag P 300	Generation: 3 / Model: 1
Principio de flujo	Electromagnético	
Código pedido	5P3B40-*****AA1S*A	
Díámetro nominal	1 1/2"	
Material (sensor) *	PFA-Liner (-20...+150°C)	
Presión mínima	Cl 150 ASME, 316L/1.4404 Brida B16.5	
Caudal mínimo	0.05	0.05
Caudal máximo	11.67	11.67
PED ** :	Aplicación excluida de la PED	

*El usuario es responsable por la selección de los materiales de contacto en función de la resistencia a la corrosión. Endress+Hauser no garantiza ni asume responsabilidad alguna sobre la resistencia de materiales a la corrosión seleccionados aquí por la aplicación descrita.

** La categoría PED es una recomendación Endress+Hauser y depende de la categoría del fluido, datos de proceso y de la max. presión permisible del factor de presión seleccionado. Los fluidos de la base de datos del Applicator están clasificados según 67/548/EWG.

***El cálculo de error se basa en los datos de especificación de la Información Técnica (TI) del caudalímetro seleccionado.



Condiciones de operación

	Mínimo	Operation	Máximo	
Caudal solicitado	2.933	3.91	4.88	l/s
Presión	2.25	3	3.75	bar_a
Temperatura	67	84	95	°C
Densidad	979.52	969.36	962.02	kg/m3
Viscosidad	0.42113	0.33743	0.29736	cP
Presión de vapor	0.2737	0.5564	0.8461	bar_a
Presión de diseño (min./máx.)	2.25		3.75	bar_a
Temp. de diseño (min./máx.)	67		95	°C

Dimensionado y resultados de cálculo

	Mínimo	Operation	Máximo	
Caudal solicitado	2.933	3.91	4.88	l/s
Velocidad	2.586	3.448	4.303	m/s
Pérdida de carga	n.a.	n.a.	n.a.	mbar
Error medida en Volumen***	0.54	0.53	0.52	%
Número de Reynolds	228 538	376 364	528 992	

Atención! Aparato en condiciones no-ideales de aplicación.

Dimensionado del Applicator - Condensado (Flujo)

Proyecto

Proyecto	Integrated cascade utilization system
C.Proyecto No.	1
Cliente:	iIDEA
TAG	FIC-03
Estampado de tiempo	22.05.2021 03:13 p. m.
Revisar número	3
Número de orden de venta	
Persona de Contacto	Gerardo Ramos
email:	GRamosM@ingen.unam.mx
Teléfono	
Fax	



Parámetros generales

Fluido	Aire (gas)
Estado	Gas
Carácter	Limpiar
Abrasión	No abrasivo
Grupo fluido	Fluido normal (fluido del grupo 2)
Tipo de fluido	Newtoniano
Ref. Temperatura	0 °C
Ref. Presión	1.013 bar_a
Presión atmosférica	1.0133 bar_a
Estándar	ANSI/ASME

Condiciones de operación

	Mínimo	Operation	Máximo	
Caudal solicitado	651	868.187	1 085	m3/h
Presión	1.5	2	2.5	bar_a
Temperatura	37.5	50	62.5	°C
Densidad	1.6824	2.1562	2.5945	kg/m3
Z-factor	0.9998	0.9999	1.0001	
Viscosidad	0.01916	0.01975	0.02033	cP
Presión de diseño (mín./máx.)	1.5		2.5	bar_a
Temp. de diseño (mín./máx.)	37.5		62.5	°C

Caudalímetro

Caudalímetro	t-mass F 300	Generation: 3 / Model: 1
Principio de flujo	Térmico (masa t)	
Código pedido	6F3B1H-*****SAAASGA2+LK	
Diámetro nominal	4"	

Dimensionado y resultados de cálculo

	Mínimo	Operation	Máximo	
Caudal solicitado	651	868.187	1 085	m3/h
Velocidad	24.98	33.32	41.64	m/s
Pérdida de carga	1.46	2.42	3.59	mbar
Error medida en masa***	1	1	1	%

Dimensionado de Applicator - Condensado (termopozo)

Proyecto

Proyecto	Integrated cascade utilization system
C.Proyecto No.	1
Cliente:	iIDEA
TAG	CRG-TI-3
Revisar número	1
Número de orden de venta	
Persona de Contacto	Gerardo Ramos
email:	GRamosM@ingen.unam.mx
Teléfono	



Hoja de cálculo dimensiones

Este protocolo de cálculo no reemplaza un certificado oficial emitido por Endress+Hauser.

Parámetros generales

Producto:	TH13
Conexión a proceso:	Cuerda
Estándar de cálculo:	ASME PTC19.3 TW 2010

Código para Ordenar

TH13-1A33E

Conexión a proceso

Estándar:	Cuerda 1" NPT
Material:	316, 1.4401

termopozo

Material	316, 1.4401
Longitud de Inserción Nominal (L)	2 1/2"
Diámetro exterior (D)	1"
Forma de la geometría	Cónico estilo US
Diámetro interno nominal	
Espesor de la base/fondo	0.25 in
Longitud sin flujo	0 in
Nom. Extensión de termopozo	3"
Longitud de Inserción Real	2.5 in
Radio de soldadura de raíz	0 in

Detalles de la geometría:

	D1	D2	d1	d2	L	Unidad
1	Cónica	1.062	0.625	0.26	0.26	2.5 in

Condiciones de operación

Medio	Agua, potable	
Temperatura del proceso	90	°C
Presión	3.5	bar_a
Densidad	965.43219	kg/m3
Viscosidad	0.31448	cP
Velocidad de flujo	3	m/s

Tolerancias

Tol. Del Diámetro Dx (ASME)	3	%
Tol. Del Espesor de la Base (ASME)	1	%
Tol. Del Diámetro Interior di (ASME)	3	%
Excentricidad	0.00787	mm
Longitud de Tolerancia (L) (ASME)	1	%

PRECAUCIÓN En este cálculo sólo se consideran los termopozos en términos de su resistencia mecánica. Actualmente no hay conexiones de proceso consideradas. ¡Favor de verificar por separado la fuerza de la conexión del proceso!

PRECAUCIÓN En esta evaluación no se comprobó la compatibilidad entre el material del tubo de protección y el líquido del proceso. ¡Favor de asegurarse de que el termopozo y el material de la conexión al proceso sean compatibles con el líquido del proceso!



Tenga en cuenta que el número de parámetros que se visualizan en Dimensionamiento Termopozo depende del estatus del usuario. Por esta razón, los siguientes parámetros se pueden enumerar, (sic) que usted no figure en el módulo de dimensionamiento.

Parámetro de Seguridad

Factor de Seguridad	1.9
Fuerza de Material Válida	Pa
Factor de Seguridad para la Tensión	
Frecuencia Propia Termopozo	Hz
termopozo de Frecuencia de Activación	Hz
Número de Strouhal	
Número de Reynolds	
Tensión de pico oscilante	Pa

Fecha de impresión: 22.05.2021 03:46 p. m.
Applicator®: 11.11.01 / 22.02.10

- 1 / 2 -

En ningún caso se considerará a Endress+Hauser responsable de los errores que pueda haber en el software o en su documentación ni de los errores ni los daños consiguientes que se puedan derivar de su uso. Los resultados que aparecen en Applicator son aplicables a los parámetros introducidos por el usuario. Un cambio en estos parámetros podría dar lugar a resultados diferentes. Los datos que son obligatorios se pueden encontrar en el manual de instrucciones (BA) y en la información técnica (TI) correspondientes.

Endress+Hauser People for Process Automation

3.2.11 Simulaciones del proceso

La simulación del proceso puede consultarse en el anexo 14.

3.2.12 Isométricos

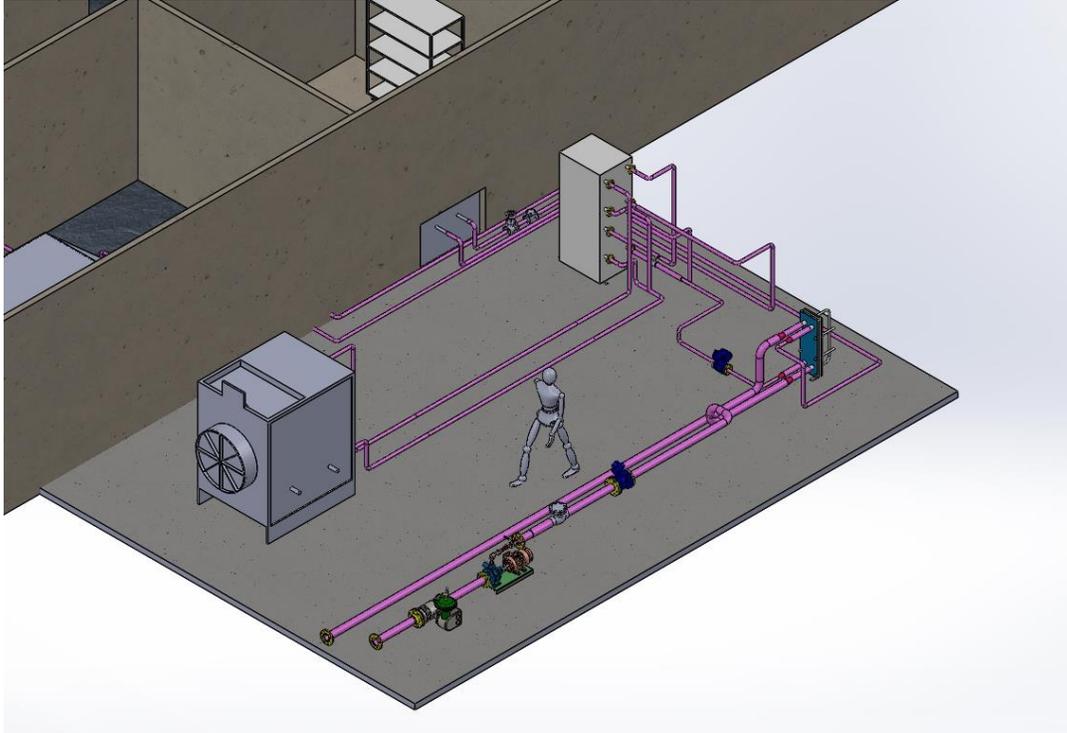


Ilustración 40 Isométrico del sistema de refrigeración por absorción WFC SC5 Yazaky Energy (Elaboración propia)

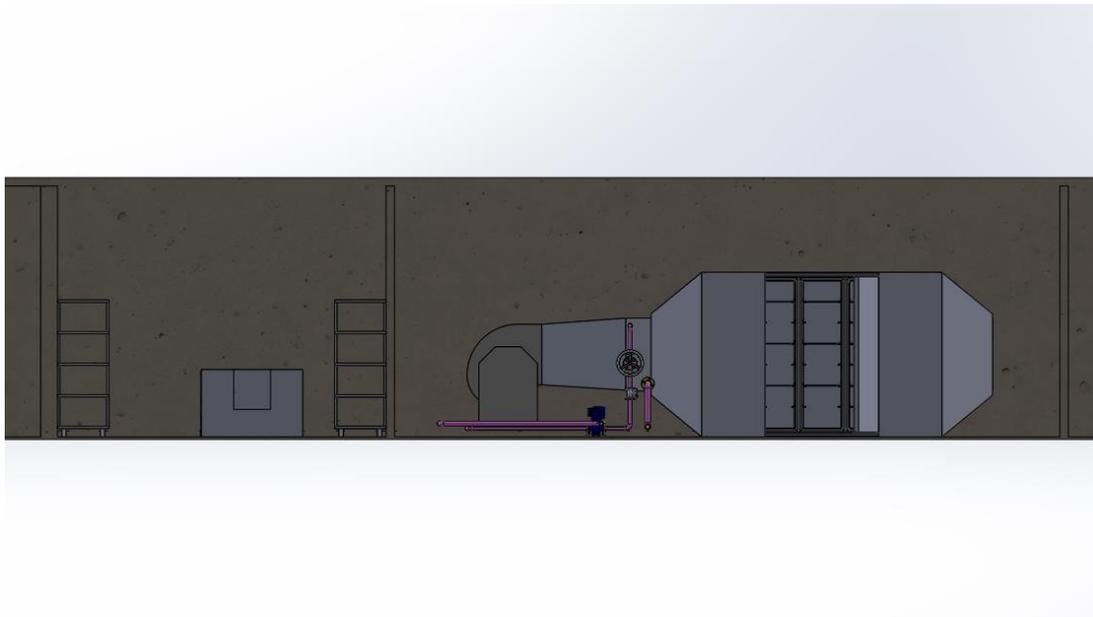


Ilustración 41 Isométrico vista lateral sistema de secado de café Adaptado de (Garduño, 2021)



Ilustración 42 Vista de planta del centro de recursos geotérmicos

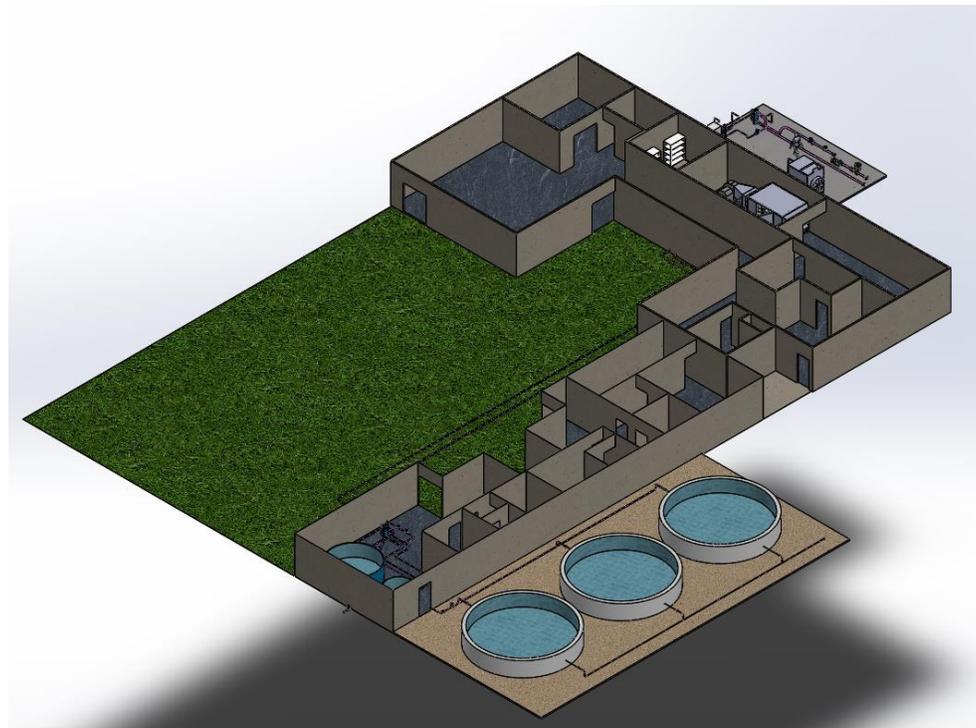


Ilustración 43 Vista angular del Centro de recursos geotérmicos



Ilustración 44 Vista angular del sistema de acuicultura, intercambiador de calor para agua caliente de servicios y tanque de reabastecimiento.



Ilustración 45 Vista superior sistema de acuicultura. (Elaboración propia)

4 CAPÍTULO 4 EVALUACION DEL PROYECTO

4.1 Evaluación de proyectos

La evaluación de proyectos consiste en medir objetivamente ciertas magnitudes cuantitativas que resultan del estudio del proyecto y dan origen a operaciones matemáticas, las cuales permiten obtener diferentes coeficientes de evaluación (Sapag Chain & Sapag Chain , 1991).

Este análisis consiste en cinco estudios particulares de viabilidad; comercial, técnica, legal, de gestión y financiera. Si cualquiera de los estudios mencionados anteriormente llegara a una conclusión negativa es muy probable que el proyecto no pueda seguir adelante debido a las adversidades que enfrentará en el corto plazo.

En los capítulos anteriores se ha hablado enteramente de la viabilidad técnica del proyecto, la cual, implica el estudio de la posibilidad material, física y química para producir bienes u ofrecer un servicio específico, en el caso de este trabajo, se comenzó con este estudio debido a que en México no existe un sistema similar operando, por lo que la viabilidad técnica es la primer gran barrera a vencer.

En cuanto a los estudios de viabilidad comercial y financiera es usual que se realicen al mismo tiempo debido a su naturaleza, por su parte, el estudio de viabilidad financiera mide la rentabilidad para el retorno de la inversión, mientras que el comercial indicará si el mercado es o no sensible al bien o servicio, este último se considerara abarcado con base al estudio realizado en el capítulo 2 “Estimación de la demanda del CRG”.

Finalmente, los estudios de viabilidad en la gestión y el área legal indican si existe el ambiente administrativo y legal mínimo necesario para llevar a cabo el proyecto, estos temas se mantienen como trabajo a futuro debido a los constantes cambios que se presenta la normatividad en materia energética en territorio mexicano y con el objetivo de presentar una propuesta flexible para los lectores.

4.2 Prefactibilidad

El primer acercamiento para el estudio de la viabilidad financiera se denomina “Perfil”, de acuerdo con Sapag Chain (1991), este se constituye de la información ya existente, además, se utiliza el criterio del analista y en terminos monetarios unicamente se presentan estimaciones globales de las inversiones, costos e ingresos, todo esto sin profundizar en el tema, en esta fase del estudio se toman decisiones importantes a cerca de la constitucion del proyecto, por ejemplo, qué es posible comprar y que se puede fabricar, que servicios se adquieren y cuales pueden ser desarrollados por el equipo de ingenieria.

El siguiente nivel del estudio es la “Prefactibilidad”: Este estudio profundiza la investigación, se basa principalmente en información de fuentes secundarias para definir con cierta aproximación las variables principales referentes al mercado, las alternativas técnicas de producción, y la capacidad financiera de los inversionistas, de manera general se estiman las inversiones probables, los costos de operación y los ingresos que demandará y generará el proyecto. Como resultado de este estudio, surge la recomendación de su aprobación, su

continuación a niveles más profundos o su postergación hasta que se cumplan determinadas condiciones.

Finalmente, el tercer y último nivel es llamado, “Factibilidad”, en este se toman en consideración fuentes primarias de información, el cálculo de las variables financieras y económicas son lo suficientemente demostrativas para justificar la valoración de cada elemento, este nivel de análisis no se incluye en este trabajo, sin embargo, se propone como parte del trabajo a futuro para esta investigación.

Para cubrir los alcances del estudio de pre-factibilidad económica es necesario realzar la investigación de mercado (Capítulo 2), definir la tecnología (Capítulo 3), determinar la inversión total y la rentabilidad económica (Final del capítulo 2 y Capítulo 4), esto será la base para la toma de decisiones.

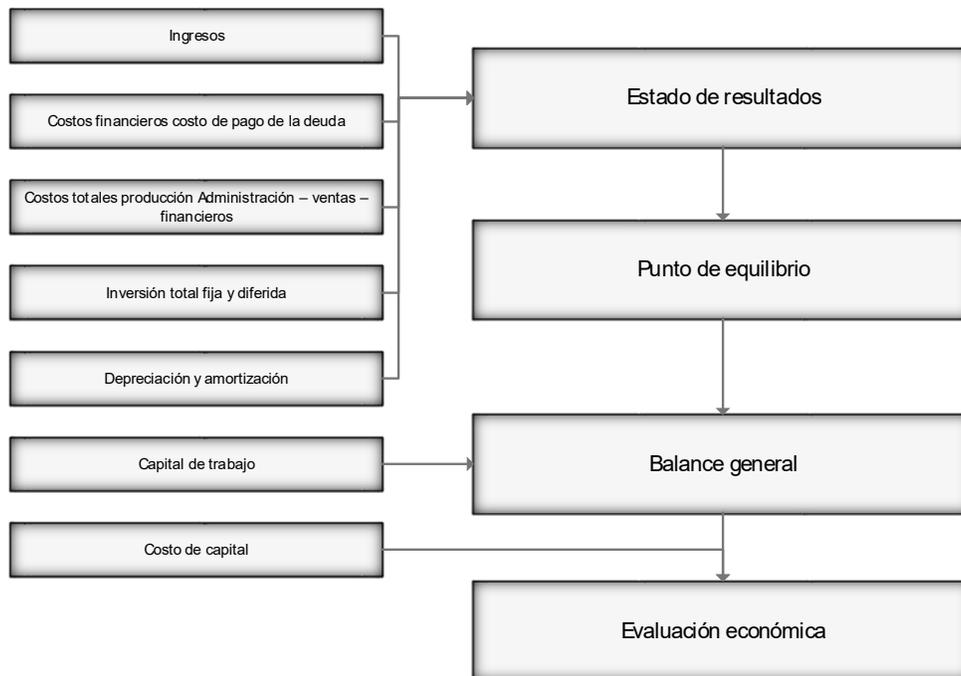


Ilustración 46 Adaptado estructura del análisis económico (Urbina, 2010)

Un proyecto será rentable si la capitalización a la tasa de interés pertinente para la empresa es mayor que cero al término de su vida útil. De esta forma la decisión de continuar con el proyecto considera los principales factores condicionantes de la rentabilidad de las inversiones, los flujos de caja, el valor del dinero en el tiempo y la oportunidad de los movimientos de esos valores.

4.1 Ingresos por aplicación

4.1.1 Refrigeración

Como se ha mencionado al inicio de este trabajo el proceso de refrigeración por absorción está enfocado en conservar los productos pesqueros y acuícolas producidos en el sistema de acuicultura estabilizado por la corriente de agua caliente en los últimos niveles de uso, sin

embargo, para fines de este trabajo, los ingresos de este equipo se representarán a través de la energía eléctrica que no se consume a raíz del uso de esta tecnología.

4.1.2 Secador

Los ingresos generados por el secador de café se consideran a partir de la temporalidad mencionada en el capítulo 2, donde se ha señalado que la cosecha de café se realiza en los meses de enero y febrero, mientras que la siembra tiene lugar a partir del mes de junio.

En el capítulo dos también se menciona que, de acuerdo con las investigaciones realizadas en Mesillas, el café se adquiere en 6\$/kg mientras que al pasar a ser café tipo pergamino aumenta su valor a 45\$/kg casi un 85% más, la tabla siguiente muestra los ingresos estimados de acuerdo con la producción real actual de la comunidad.

Mes	Precio \$ / kg	Producción estimada anua (kg)l	Ganancia bruta
Enero	45	Cosecha	-
Febrero	45	Cosecha	-
Marzo	45	5000.00	\$ 195,000.00
Abril	45	5000.00	\$ 195,000.00
Mayo	45	5000.00	\$ 195,000.00
Junio	45	5000.00	\$ 195,000.00
Julio	45	-	-
Agosto	45	-	-
Septiembre	45	-	-
Octubre	45	-	-
Noviembre	45	-	-
Diciembre	45	-	-
	Total	20000.00	\$ 780,000.00

Tabla 33 Ingresos estimados del secador de café (Elaboración propia)

4.1.3 Acuicultura

Los ingresos derivados del sistema del sistema de acuicultura se determinan a partir de los precios mostrados en el “Sistema Nacional de información e integración de mercados”(SNIIM), aquí se muestra que el precio promedio de Tilapia de un tamaño grande al 24 de Mayo del 2021 en el sitio de producción es de \$60.00, pesos mexicanos, esto en conjunto con la tabla 16 del capítulo 2 “producción de acuerdo a la demanda en el CRG”, da como resultado la tabla 31, la cual otorga valor esperado de la cosecha anual.

Mes	Consumo de tilapia (kg)	Número de peces (350 g)	
Enero	318	454	\$ 19,080.00
Febrero	262	374	\$ 15,720.00
Marzo	383	548	\$ 22,980.00
Abril	416	594	\$ 24,960.00
Mayo	430	615	\$ 25,800.00
Junio	421	601	\$ 25,260.00
Julio	544	777	\$ 32,640.00
Agosto	488	698	\$ 29,280.00
Septiembre	335	478	\$ 20,100.00

Octubre	384	549	\$ 23,040.00
Noviembre	389	556	\$ 23,340.00
Diciembre	402	574	\$ 24,120.00
Total		6818.00	\$286,320.00

Tabla 34 Ingresos estimados del sistema de acuícola (Elaboración propia)

4.1.4 Agua caliente de servicio

Para obtener los beneficios económicos del agua caliente de servicios se realiza la comparación entre la cantidad de gas natural requerido para aumentar la temperatura del agua a condiciones ambiente hasta los 50°C, recomendada para este uso.

Considerando un precio promedio del gas LP: 13.50 \$/ litro (SENER, 2021)

Poder calorífico del gas LP: 35.441 kJ/m³

Mes	Porcentaje de ocupación	Huéspedes	Costo del combustible
Enero	45%	349	\$ 93,723.35
Febrero	37%	288	\$ 77,117.30
Marzo	54%	421	\$ 112,991.11
Abril	59%	457	\$ 122,607.78
Mayo	61%	473	\$ 126,848.00
Junio	59%	462	\$ 123,960.63
Julio	77%	598	\$ 160,282.95
Agosto	69%	537	\$ 143,954.47
Septiembre	47%	368	\$ 98,575.69
Octubre	54%	422	\$ 113,175.59
Noviembre	55%	427	\$ 114,638.45
Diciembre	57%	442	\$ 118,405.35
		Total	\$ 1,406,280.65

4.1.5 Recreación

Los ingresos por ocio y recreación se determinarán a través de la ilustración 26, en la que se graficó la demanda esperada de usuarios en el CRG, en conjunto con el informe elaborado por (Sangeniz, 2020), donde se concluye que el precio promedio para la entrada a un parque termal en la zona es de \$90.00.

Lo anterior da como resultado el siguiente comportamiento de los ingresos:

OCIO Y RECREACIÓN		
Mes	Visitantes	Subtotal
Enero	349	\$ 31,454.37
Febrero	288	\$ 25,881.23
Marzo	421	\$ 37,920.80
Abril	457	\$ 41,148.23
Mayo	473	\$ 42,571.29
Junio	462	\$ 41,602.27
Julio	598	\$ 53,792.35
Agosto	537	\$ 48,312.37
Septiembre	368	\$ 33,082.86
Octubre	422	\$ 37,982.71
Noviembre	427	\$ 38,473.66
Diciembre	442	\$ 39,737.86
Total	5244	\$471,960.00

Tabla 35 Ingresos por ocio y recreación (Elaboración propia)

4.1.1 Refrigeración

Los ingresos para la refrigeración se calculan a partir de la diferencia del costo del consumo de un equipo convencional que genere 4 toneladas refrigeración y el consumo de energía eléctrica del equipo de refrigeración por absorción en el presente trabajo.

Tomando como base una tarifa de alto consumo válida para el estado de Nayarit en la comunidad de mesillas, el precio de la energía eléctrica es de 4.76 \$/kWh, aunado a este precio un equipo convencional de refrigeración consume 10.6 kW para generar el servicio de refrigeración por lo tomando en consideración un tiempo de operación de 12 horas diarias y 30 días.

$$\begin{aligned} \text{Consumo electrico de fuente convencional} &= 10.6 \text{ kW} * 12\text{h} * 30 \text{ dias} \\ &= 3,816 \text{ kWh} \end{aligned}$$

$$\text{Consumo electrico de fuente convencional} = 3,816 \text{ kWh} * 4.76\$/\text{kWh} = 18,164.16$$

El total de la energía eléctrica consumida en el Centro de recursos geotérmicos por el sistema de refrigeración es de 3,560.78. Por lo que la ganancia del sistema es de

$$\begin{aligned} \text{Ganancia generada del sistema de refrigeración} &= 18,164.16 - 3,560.778 \\ &= 14,603.39 \frac{\$}{\text{mes}} \end{aligned}$$

4.2 Inversión total

Como se ha planteado en capítulos anteriores, uno de los retos más importantes que enfrenta el desarrollo geotérmico en México y el mundo, son las grandes sumas de capital que tiene que ser invertido derivado de los equipos de alta especialidad para el uso de las corrientes geotérmicas, es por esto, derivado del cálculo de la inversión total será posible obtener un modelo atractivo para los inversionistas a través los indicadores económicos.

Para conocer la inversión inicial de un proyecto es necesario partir de las bases técnicas para determinar los costos de la construcción de las instalaciones (CapEX), esto en conjunto con el capital de trabajo necesario para un periodo determinado de tiempo conforma a inversión total, este capital en este trabajo se considerará parte de los OpEx.

CapEX (Capital Expenditure). Se puede definir este egreso de dinero dedicado en la compra de bienes o mejora de activos no corrientes como podrían ser maquinaria, inmuebles, fabricas, como su periodo de permanencia es superior al ejercicio fiscal, se amortizan durante el periodo de vida útil. Se subdivide en dos tipos costos directos e indirectos.

OpEX (Operational Exenditure). Se puede definir como aquellos desembolsos de capital que tiene como finalidad mantener las actividades de un proyecto, de subdivide a su vez de dos tipos: Costos fijos (Sueldos, mantenimiento, servicios, impuestos fijos, alquileres, cargos por depreciación) y costos variables (material primas, mano de obra, costo de operación de los equipos).

4.3 Estimación de inversión para la construcción

La construcción del sistema debe considerar los recintos para el proceso completo de secado de café, el proceso para la producción acuícola y el aprovechamiento de la refrigeración por absorción (Incluyendo cámara de refrigeración y procesado de alimentos), debido a que estos costos en conjunto con el acondicionamiento de estos espacios impactan de manera importante en la inversión inicial se calculan en la siguiente tabla, estos costos se obtienen a partir de datos paramétricos publicados en la base de datos NEODATA, tomando en cuenta el concepto adecuado para aplicación.

Concepto	Área de construcción m ²	Concepto	Costo paramétrico (\$/m ²) (MXN)	Total (\$) (MXN)
Ocio y recreación	300	Club deportivo	\$ 1,282.00	\$ 384,600.00
Refrigeración	50	Restaurante	\$ 20,280.40	\$ 1,014,020.00
Acuicultura	300	Bodega	\$ 4,726.87	\$ 1,418,061.00
Secado de café	535	Bodega	\$ 4,726.87	\$ 2,528,875.45
		Subtotal		\$ 5,345,556.45

Tabla 36 Costos paramétricos para construcción del sistema CRG (NEODATA, 2020)

4.4 Estimación de inversión para equipos principales

De acuerdo con los capítulos anteriores se solicitaron las cotizaciones correspondientes a los equipos principales requeridos para el sistema, estas cotizaciones se encuentran disponibles como anexos y tienen una vigencia relativamente corta por lo que los costos podrían variar sin previo aviso después de la publicación de este trabajo (Anexo 12).

4.5 Estimación de inversión para tubería

Las estimaciones para la tubería e instrumentación se encuentran con base a los dibujos isométricos de los capítulos anteriores y anexos, se consideran únicamente tuberías principales y la instrumentación más elemental (Anexo 15).

4.1 Estimación de inversión instrumentación

La estimación total se puede consultar en el anexo 16

4.2 Determinación de costos

Los costos estimados para la operación del sistema pueden visualizarse en el anexo 17.

5 CAPÍTULO 5 ANÁLISIS DE DATOS Y CONCLUSIONES METODOLOGÍA

5.1 Financiamiento

Para este proyecto se considera que para el inicio de actividades será requerida una cantidad igual a la inversión total + el capital de trabajo es decir la cantidad monetaria para el inicio de actividades, es importante hacer notar que este proyecto tendrá un periodo de construcción de 1 año y generará ganancias a partir del año 1.

Para el pago del financiamiento se considera el pago de cantidades iguales al final de cada año durante un periodo determinado, para ello se emplea la siguiente formula.

$$A = p \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n + 1} \right]$$

Ecuación 16 Fórmula para el cálculo del financiamiento (Urbina, 2010)

Donde:

P = Monto solicitado

i = Tasa de interés

n = Periodos

El esquema de financiamiento determinado es el siguiente.

Año	Interés	Pago de fin de año	Pago a principal	Deuda después del pago
0				\$ 7,707,279.63
1	\$ 616,582.37	\$ 1,148,611.94	\$ 532,029.57	\$ 7,175,250.06
2	\$ 574,020.00	\$ 1,148,611.94	\$ 574,591.94	\$ 6,600,658.12
3	\$ 528,052.65	\$ 1,148,611.94	\$ 620,559.29	\$ 5,980,098.82
4	\$ 478,407.91	\$ 1,148,611.94	\$ 670,204.04	\$ 5,309,894.79
5	\$ 424,791.58	\$ 1,148,611.94	\$ 723,820.36	\$ 4,586,074.43
6	\$ 366,885.95	\$ 1,148,611.94	\$ 781,725.99	\$ 3,804,348.44
7	\$ 304,347.88	\$ 1,148,611.94	\$ 844,264.07	\$ 2,960,084.38
8	\$ 236,806.75	\$ 1,148,611.94	\$ 911,805.19	\$ 2,048,279.18
9	\$ 163,862.33	\$ 1,148,611.94	\$ 984,749.61	\$ 1,063,529.58
10	\$ 85,082.37	\$ 1,148,611.94	\$ 1,063,529.58	\$ 0.00
Total	\$ 3,778,839.79	\$ 11,486,119.42	\$ 7,707,279.63	\$ 39,528,217.79

5.2 VPN

El valor presente neto o VPN puede definirse como la comparación cuantitativa de las ganancias esperadas en comparación con los desembolsos necesarios para producir esas ganancias, en términos de su valor equivalente en este momento.

Para este cálculo es necesario considerar una la TMAR o tasa mínima aceptable de rendimiento, es decir si se considera que la TMAR equivale a la inflación las ganancias del proyecto únicamente servirán para mantener el valor adquisitivo real que tenía en el año en que se ejecutó el proyecto, por otro lado, un VPN=0 representa que no se aumenta el patrimonio de la empresa siempre y cuando la TMAR sea mayor o igual a la inflación de periodo en el que se realiza el análisis. Finalmente, un valor positivo de valor presente neto implica un aumento en el patrimonio de la empresa.

En resumen, puede decirse lo siguiente:

VPN < 0 No se genera una ganancia con base a la tasa establecida
VPN = 0 Los ingresos y egresos no generan una ganancia superior a la estimada por la TMAR, mientras esta sea igual o mayor a la inflación. (Solo se está ganando la tasa de descuento aplicada)
VPN > 0 Se generan ganancias mayores a las establecidas por la TMAR.

Este indicador se calcula de la siguiente manera:

$$VPN = -P + \frac{FNE_n + VS}{(1 + i)^n}$$

Ecuación 17 Ecuación para el cálculo del Valor Presente Neto (Urbina, 2010)

Donde.

P = Inversión inicial

FNE =Flujo neto de efectivo

VS= Valor de salvamento (No se considera en este trajo)

i = Tasa de interés

n = Numero de periodos

Considerando una Tasa de interés TMAR de 17% a un plazo de 25 años (Vida útil de una planta geotermoeléctrica convencional).

Año	Ingresos anuales	Egresos	Financiamiento	Flujo neto de efectivo
0	\$ -	\$ -	\$1,838,361.58	\$(1,838,361.58)
1	\$ 2,730,084.65	\$1,116,367.21	\$1,838,361.58	\$ (224,644.14)
2	\$ 2,893,889.73	\$1,183,349.24	\$1,838,361.58	\$ (127,821.10)
3	\$ 3,067,523.12	\$1,254,350.20	\$1,838,361.58	\$ (25,188.67)
4	\$ 3,251,574.50	\$1,329,611.21	\$1,838,361.58	\$ 83,601.71
5	\$ 3,446,668.97	\$1,409,387.88	\$1,838,361.58	\$ 198,919.50
6	\$ 3,446,668.97	\$1,409,387.88	\$1,838,361.58	\$ 198,919.50
7	\$ 3,446,668.97	\$1,409,387.88	\$1,838,361.58	\$ 198,919.50
8	\$ 3,446,668.97	\$1,409,387.88	\$1,838,361.58	\$ 198,919.50
9	\$ 3,446,668.97	\$1,409,387.88	\$1,838,361.58	\$ 198,919.50
10	\$ 3,446,668.97	\$1,409,387.88	\$ -	\$ 2,037,281.09
11	\$ 3,446,668.97	\$1,409,387.88	\$ -	\$ 2,037,281.09
12	\$ 3,446,668.97	\$1,409,387.88	\$ -	\$ 2,037,281.09
13	\$ 3,446,668.97	\$1,409,387.88	\$ -	\$ 2,037,281.09
14	\$ 3,446,668.97	\$1,409,387.88	\$ -	\$ 2,037,281.09
15	\$ 3,446,668.97	\$1,409,387.88	\$ -	\$ 2,037,281.09
16	\$ 3,446,668.97	\$1,409,387.88	\$ -	\$ 2,037,281.09
17	\$ 3,446,668.97	\$1,409,387.88	\$ -	\$ 2,037,281.09
18	\$ 3,446,668.97	\$1,409,387.88	\$ -	\$ 2,037,281.09
19	\$ 3,446,668.97	\$1,409,387.88	\$ -	\$ 2,037,281.09
20	\$ 3,446,668.97	\$1,409,387.88	\$ -	\$ 2,037,281.09
21	\$ 3,446,668.97	\$1,409,387.88	\$ -	\$ 2,037,281.09
22	\$ 3,446,668.97	\$1,409,387.88	\$ -	\$ 2,037,281.09
23	\$ 3,446,668.97	\$1,409,387.88	\$ -	\$ 2,037,281.09
24	\$ 3,446,668.97	\$1,409,387.88	\$ -	\$ 2,037,281.09
25	\$ 3,446,668.97	\$1,409,387.88	\$ -	\$ 2,037,281.09

VPN
\$756,355.58

5.3 TIR

La Tasa interna de rendimiento o (TIR), representa la tasa de rendimiento generada en su totalidad en el interior del proyecto, el criterio con el que se analiza este aspecto es el siguiente: Si este indicador es mayor que la TMAR se puede aceptar la inversión, en otras palabras, el rendimiento de la empresa es mayor que el mínimo fijado como aceptable, por lo tanto la inversión es rentable.

Este indicador puede calcularse de la ecuación 17, fijando el valor del VPN en 0 y el número de periodo dos y a través del método iterativo encontrar el valor de i .

$$0 = -P + \frac{FNE_n + VS}{(1 + i)^n}$$

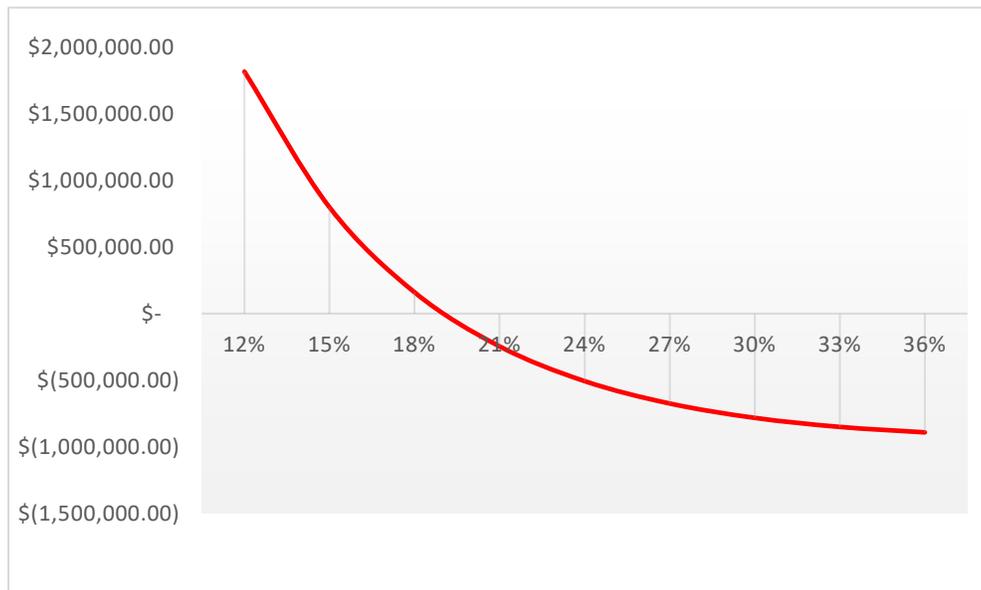


Ilustración 47 Cálculo de la TIR

5.4 Análisis de resultados

5.4.1 Comparación del CRG con un proyecto geotermoeléctrica de 25 MW.

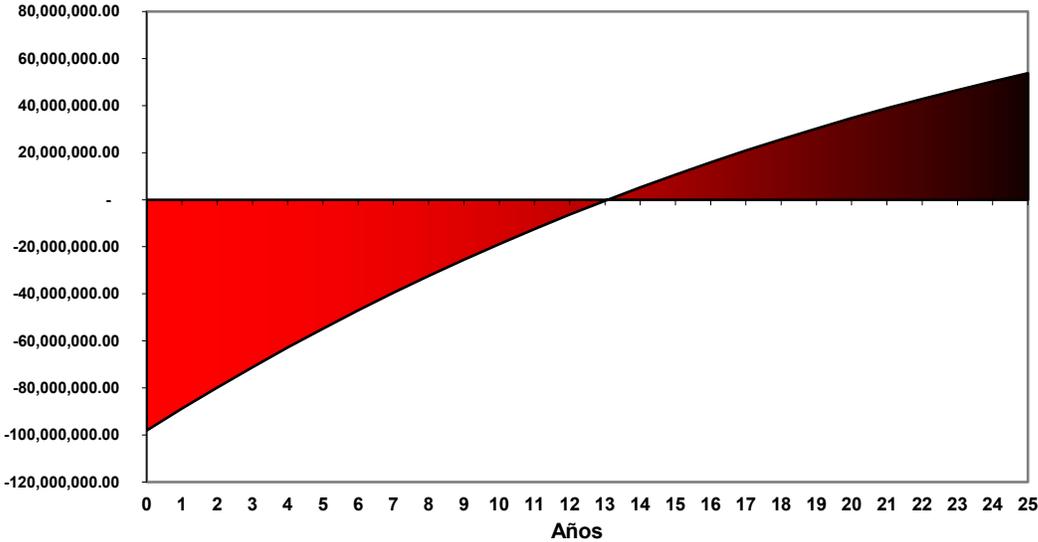
Una de las implicaciones más importantes de este proyecto es la búsqueda del cambio del paradigma que se encuentra ligado a los proyectos geotérmicos en México, este se refiere a que la inversión en energía geotérmica es de alto riesgo, el periodo del retorno de inversión es alto y requiere grandes cantidades de capital para poder arrancar operaciones.

En esta sección se compara, un proyecto de energía geotérmica de 25 MW vs el proyecto que se desarrolla en el presente trabajo.

De acuerdo al anexo 6 y con base al estudio “Costos y parámetros de referencia para la formulación de proyectos de inversión en el sector eléctrico (COPAR Generación 2015) , el retorno de inversión se presenta ceca del año 14, para llevar a cabo este proyecto tendrán que pasar por al menos 3 años de desarrollo y se tuvieron que usar aproximadamente 98 MUSD durante el proceso, a pesar de que este tipo de proyectos tienen valores de VPN positivos y atractivos la gran inversión inicial y el riesgo derivado de la producción de vapor adecuado durante un periodo aceptable convierten en este tipos de proyecto difíciles de elegir respecto a otras tecnologías.

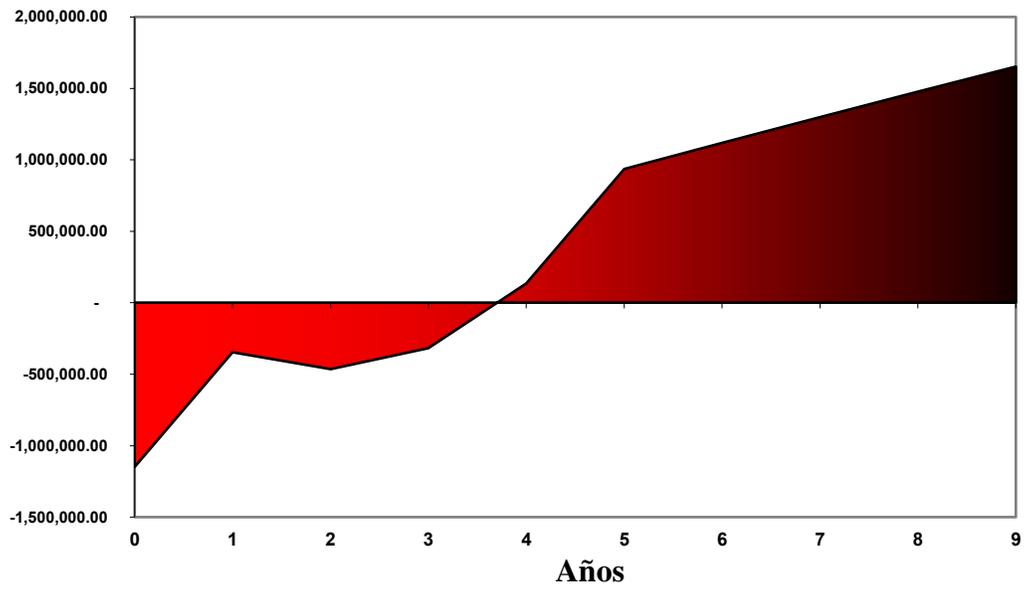
Para el cálculo de esta representación se tuvieron que considerar numerosas variables, como son: Costos de ingeniería, suministro y construcción (ISC), Costos de administración del propietario (ADP) y los costos actualizados al inicio de operación (CAIO), costos de operación, costos del recurso geotérmico, costo de la energía eléctrica por nodo, régimen térmico y el factor de planta. Una de las consideraciones más importantes y que pueden llegar a resaltar es que los primeros tres años se obtienen una recta y esto es debido a que se ha dividido la inversión en los primeros tres años sin tomar en consideración el valor de los intereses de la inversión.

PERIODO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN PLANTA GEOTERMICA 25 MW



Por su parte, el Centro de Recursos geotérmicos (CRG), se ha genera a partir de los datos previamente obtenidos y calculando el valor presente neto por año pero a la misma tasa del ejemplo para la generación de energía eléctrica (36%), el comportamiento mostrado a partir de todo el proyecto que se ha desarrollado muestra favorablemente un retorno de la inversión en tan solo 4 años, en el cual además se requiere un cantidad monetaria notablemente inferior, a pesar que las ganancias pueden ser notablemente menores, es importante mencionar que la capacidad de este centro de recursos geotérmicos tan solo utiliza una fracción de la energía térmica de una sola manifestación geotermal.

PERIODO DE RECUPERACIÓN PARA UN SISTEMA CGR CONSIDERANDO FINANCIAMIENTO



5.5 Conclusiones

Durante este trabajo se ha desarrollado una propuesta técnica en conjunto con el análisis de pre – viabilidad económica de un Centro de Recursos Geotérmicos también llamado CRG, el cual se ha propuesto se encuentre ubicado en el estado de Nayarit, México, la selección del territorio, así como los procesos de los que se compone el sistema han sido determinados a partir de la viabilidad técnica, la disposición del recurso energético y las necesidades de las comunidades alrededor de la fuente geotérmica de energía.

En primer lugar, para la selección de las aplicaciones se ha revisado y analizado el avance tecnológico de los usos directos de la energía geotérmica en México y el mundo, esto ha permitido conocer el contexto técnico y social de cada una de las aplicaciones preseleccionadas, así como las necesidades técnicas, comerciales y sociales que les permitirán a cada una de las aplicaciones ser conducidas con éxito durante todas las fases del proyecto. Durante la revisión teórica en el capítulo primero y considerando el avance tecnológico de las aplicaciones en conjunto con la situación del territorio mexicano es posible concluir que existe una importante área de oportunidad para el desarrollo de aplicaciones directas del calor geotérmico, esto debido a la gran cantidad de energía que emiten las manifestaciones geotérmicas de acuerdo con los datos publicados por la comunidad científica en conjunto con la falta de desarrollo de las comunidades aledañas y la pobreza energética que enfrentan estas comunidades de acuerdo con las fuentes oficiales citadas.

Una vez seleccionadas las aplicaciones con mayor impacto y viabilidad técnica en la zona se ha desarrollado la ingeniería conceptual, básica y de detalle para la ejecución de un proyecto de ingeniería en Mesillas, Nayarit, que integra las aplicaciones de refrigeración, secado, acuicultura, agua caliente de servicios y uso de aguas termales para el ocio y recreación, para el dimensionamiento de estos procesos se ha considerado la normatividad vigente, así como la estacionalidad de la demanda y con ello la variabilidad del requerimiento térmico por procesos, esto es importante debido a que cada proceso funciona siendo alimentado por una corriente de agua potable a una temperatura específica, al modificar la demanda térmica ya sea por la condiciones ambiente o por el cambio en la producción requerida de los bienes o servicios es necesario modificar la demanda térmica de los otros procesos o bien contar con un sistema de control que mitigue los cambios en las condiciones de proceso de sistema de recirculación, lo cual implica mayores costos de inversión, mantenimiento y verificación.

Con lo anterior se llega a la siguiente conclusión, para un diseño de un sistema de aprovechamiento de recursos geotérmicos a través de procesos en serie es necesario determinar la estacionalidad de la demanda y las condiciones climatológica con el objetivo de acoplar esta demanda al sistema subsecuente y de esta forma adaptar el proceso para que esté disponible en cualquiera de las situaciones que pudieran presentarse, en el sistema que se ha desarrollado en el presente trabajo se ha integrado una filosofía de control así como como diversos elementos de automatización, sin embargo se considera como trabajo a futuro integrar a profundidad los elementos que permitirán garantizar las condiciones de operación en cada uno de los escenarios, la carencia de ellos puede comprometer la calidad de cada uno de los productos o servicios que se generan en cada uno de los procesos propuestos, un ejemplo de esto es para el sistema de refrigeración, el no contar con la energía requiera no se alcanzará la temperatura suficiente para realizar el proceso de absorción en el sistema por lo

que se obtendrá una corriente de refrigerante a una alta temperatura que podría dañar el equipo y sus auxiliares, otra de las aplicaciones que se tienen un gran sensibilidad al cambio de las condiciones de proceso en la acuicultura, debido a la naturaleza de la aplicación la desviación de tan solo 5°C en las condiciones del proceso podría conducir a la pérdida de la cosecha completa debido al impacto que puede tener una temperatura baja o muy alta en los seres vivos que están sujetos a estas condiciones de proceso, lo anterior compromete la totalidad del proyecto.

Luego de la estimación de la capacidad del sistema, la selección de los equipos principales se ha generado con éxito, tomando en consideración la disponibilidad térmica en sitio, la demanda requerida y la existencia de proveedores y refaccionamiento, de esta forma se garantiza el correcto funcionamiento de los equipos, así como la disponibilidad de personal experimentado que realice trabajos de verificación y mantenimiento del sistema durante la vida útil del proyecto. Concluyendo que actualmente en México a pesar de que no existe una oferta amplia para los equipos de aprovechamiento directo de las fuentes geotérmicas es posible acoplar tecnologías diseñadas para conducirse por otras fuentes de energía a las fuentes geotérmicas y espera un funcionamiento óptimo que generen los productos y/o servicios esperados.

Una vez con los equipos principales seleccionados y con base a los requerimientos del sistema se ha realizado el balance de materia y energía tomando en cuenta las condiciones de operación de los equipos acoplados, esto ha derivado en una fase de optimización del arreglo donde se analizaron las siguientes propuestas: Arreglo unitario: aquí las aplicaciones son colocadas de manera independiente y alimentados por la fuente geotérmica, Arreglo en paralelo, donde a partir de la fuente geotérmica se derivan varias líneas para alimentar los equipos de cada aplicación y finalmente el arreglo más óptimo, en serie, este arreglo provee el mejor aprovechamiento de la energía debido a que se toma únicamente el flujo de recursos geotérmico con el contenido energético más cercano a la demanda total requerida por el sistema, una vez desviada la corriente se extrae la cantidad más exacta de energía y el remanente regresa a su cauce natural, además de un uso óptimo de la energía, el utilizar este arreglo permite la implementación de un circuito cerrado de agua potable, el cual no exige utilizar equipos y tubería con alta resistencia química, disminuyendo así el costo de los equipos impactando directamente en el análisis económico del proyecto y mejorando su viabilidad tanto técnica como económicamente.

En la parte final del presente trabajo se ha realizado el análisis de prefactibilidad económica, donde se han realizado las corridas financieras considerando los ingresos y egresos esperados para el centro de recursos geotérmicos, a partir de esta actividad se han generado importantes conclusiones tanto para este trabajo como para el desarrollo de los usos directos en México, la primera de ellas se centra en que la aplicación que genera el mayor beneficio económico es el uso de agua caliente de servicios esto considerando que se compare el calentamiento del agua con recursos geotérmicos contra el mecanismo convencional usando gas natural o gas Licuado de petróleo (LP), los ingresos por tener disponible agua caliente representan el 47% del total de los beneficios estimados para las todas las aplicaciones, luego de esto se coloca el secado de alimentos con 26%, el uso del agua para ocio y recreación con 15% y quedando atrás la refrigeración y la acuicultura con un 6.27% y 9.11% respectivamente, el

impacto tan grande del uso de agua caliente en contraste con aplicaciones de mas demanda como la refrigeración y la acuicultura consiste en que estos dos últimos procesos requieren de una capacidad mayor para mitigar la cantidad de egresos y costos de operación que requieren, como trabajo a futuro se propone determinar la capacidad mas adecuada para estas complejas aplicaciones y encontrar un equilibrio entre los usos directos del sistema y la generación de ingresos.

La siguiente conclusión se deriva del análisis de los costos operativos, de manera inversamente proporcional las aplicaciones que generan una cantidad mayor de egresos son el proceso de secado en primer lugar (42%), en segundo lugar la acuicultura (24%) para finalizar con el uso para la recreación y el bienestar (13%), el agua caliente de servicios (12%) y en última posición la refrigeración (10%), estos datos son sumamente importantes debido a que a pesar de que la refrigeración en el presente sistema no tienen una participación importante en la generación de ingresos, este sistema genera la menor cantidad de egresos debido a sus bajos costos de mantenimiento y operación por lo que bajo estos parámetros esta aplicación podría considerarse la más redituable por otro lado, a pesar de que el proceso de secado genera onerosos ingresos sus costos crecen en la misma proporción debido al uso de materia prima y mano de obra, con base a anterior es importante señalar la posibilidad de incrementar la capacidad del sistema de refrigeración en un trabajo a futuro.

Antes de continuar con el análisis de la información con respecto a los indicadores económicos es importante concluir que la inversión inicial como se ha señalado previamente se compone de tubería, instrumentación y equipos principales, y por otro lado obra civil y construcción el análisis de esta inversión ha dado como resultado que la obra civil representa un 69% de la inversión inicial mientras que la tubería, equipos principales e instrumentación tan solo figuran un 31% , lo cual nos permite concluir que los equipos han sido seleccionados correctamente mitigando el impacto en la inversión inicial, como trabajo a futuro se propone realizar un análisis con mayor profundidad a la obra civil para optimizar la inversión inicial y desarrollar un proyecto con una mayor viabilidad económica.

Durante el análisis económico se ha comparado el costo de recursos geotérmicos contra una planta geo termoeléctrica, considerando tiempo de retorno de inversión e inversión inicial los datos que arroja el análisis permite observar que el retorno de inversión para un proyecto de usos directo del calor geotérmico es menor a 4 años, mientras que de acuerdo a la información oficial un proyecto de generación de energía eléctrica puede demorar al menos 12 años en empezar a generar ganancias, sin mencionar que la inversión inicial es casi 100 veces mayor, como se había indicado en el inicio de este trabajo, estas dos variables han sido desde hace varios años uno de los principales obstáculos para el desarrollo de la energía geotérmica en México, concluyendo que con los datos obtenidos en este trabajo es viable cambiar la visión hacia proyectos de usos directo del calor geotérmico como piedra angular para detonar el crecimiento la industria geotérmica en México promoviendo el desarrollo económico, social y tecnológico de las comunidades aledañas a los sistemas de aprovechamiento de los recursos naturales.

6 BIBLIOGRAFÍA

- Amaro Ronces , E., Aguilar Guerrero, C., & Hernández Morales , S. (2018). Manual de temas selectos de ingeniería de proyectos . CDMX, México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Aviña Jimenez, H. M., Benítez Torreblanca , M. Á., & Gutiérrez, G. A. (2016). Cascade Use of geothermal Energy in Mexico. *GRC Transactions*, 169 - 172.
- Basbosa Canova, G. V., & Vega Mercado, H. (2000). *Deshidratación de alimentos*. España: Acribia Editorial .
- Best, R., Heard, C. L., Fernandez, H., & Siqueiros , J. (1986). Developments in geothermal energy in Mexico - Part five: The commissioning of an ammonia/water absorption cooler operating on low enthalpy geothermal energy. *Heat recovery Systems*, 209-216.
- Best, R., Heard, L., Peña, L., Fernández , H., & Holland, F. A. (1990). Developments in geothermal energy in Mexico part twenty six - Experimental assessment of an ammonia/water absorption cooler operation on low enthalpy geothermal energy. *Heat recovery systems & CHP*, 61-70.
- Bird, B. R., Stewart, W. E., & Lightfoot, E. N. (2012). *Fenómenos de transporte*. México : Limusa.
- Bluelagoon . (2 de 9 de 2020). *Blue lagoon Iceland*. Obtenido de <https://www.bluelagoon.com/stories/origins-of-the-blue-lagoon>
- Boyd, T. L., & Lund, J. L. (2003). *Geothermal heating of green houses and aquaculture facilities*. Reykjavik, Islandia : International Geothermal Conference.
- Branan, C. R. (2002). *Rules of thumb for chemical engineers*. Houston, TX: Elsevier.
- CEDRSSA. (2019). *Comercio internacional del café, el caso de México*. CDMX: Pacio legislativo de san lázaro.
- Cegel, Y. A., & Boles, M. A. (2012). *Termodinámica* . EUA: Mc Graw Hill.
- Cemie Geo. (20 de Febrero de 2020). Obtenido de Centro Mexicano de Inovación en energía Geotermica: <http://www.cemiegeo.org/index.php/proyectos/desarrollos-tecnologicos-para-explotacion/p16/9-linea-de-investigacion/proyecto/30-p16>
- Cervantes, M., Velázquez , N., Saucedo, D., Lara, F., & González, L. (2015). Estudio comparativo de los ciclos de refrigeración por absorción GAX y branched- GAX en la producción de aire acondicionado. *Revista iberoamericana de ciencias*.

- Clarke Energy. (3 de 05 de 2020). *Engineer-Install-Maintain*. Obtenido de <https://www.clarke-energy.com/trigeneration/>
- Comisión federal de electricidad. (2015). *Costos y parámetros de referencia para la formulación de proyectos de inversión en el sector energético*. Mexico: Quinta edición.
- Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca. (2016). *Información estadística por especie y entidad* . Ciudad de México.
- Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca. (22 de 08 de 2017). *CONAPESCA*. Obtenido de <https://www.gob.mx/conapesca/prensa/produce-nayarit-66-mil-toneladas-de-pescados-y-mariscos-se-ubica-en-el-4-lugar-nacional-por-valor-de-sus-productos>
- Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca. (18 de Enero de 2018). *Comisión Nacional de Pesca*. Obtenido de <https://www.gob.mx/conapesca/articulos/aumento-en-consumo-de-productos-pesqueros-genera-nuevos-espacios-de-comercializacion-conapesca-143738?idiom=es>
- Comisión Nacional para el uso eficiente de la energía. (2008). *Requisitos mínimos y metodología de evaluación de sistemas de calentamiento de solar de agua para hoteles*.
- Comisión nacional para el uso eficiente de la energía. (2018). *Informe nacional de monitoreo de la eficiencia energética de México* . Ciudad de México.
- Crane co. (1980). *Flow of fluids through valves, fitting, and pipe*. Essex, UK: Crane LTD.
- Dickson, M. H., & Fanelli , M. (2004). What is geothermal energy? *International Geothermal Association* , <http://geothermalcommunities.eu/assets/elearning/1.2.Ge>.
- Ehyaiei, M. A., Ahmadi, A., El Hj Assad, M., & Rosen, M. A. (2020). Investigation of an integrated system combining an organic Rankine Cycle and absorption chiller driven by geothermal energy:Energy,exergy, and economic analyses and optimization. *Journal of Cleaner Production* .
- Eicker, U., & Pietruschka, D. (2009). Design and performance of solar powered absortion cooling systems in office buildings . *Energy and Buildings* , 81-91.
- El Haj Assad, M., Tawalbeh, M., Salameh, T., & Al-Othman, A. (2018). Thermodynamic analysis of lithium bromide absorption chiller driven by geothermal energy. *Conference: 5th International Conference on renewable Energy Generation and Applications ICREAGA 18*.
- Erfurt, P. J. (2011). *An assessment of the role of natural hot and mineral springs in health, wellness and recreational tourism*. Townsville, Australia: James Cook University.

- Farghally, H. M., Atia, M. D., El-madany, T. H., & Fahmy, F. H. (2013). Control methodologies based on geothermal recirculating aquaculture system. *Energy*, 826 - 833.
- Federación de productores de frutas de Chile. (14 de 11 de 2017). *Fedefruta*. Obtenido de <https://fedefruta.cl/consumo-mundial-de-frutas-deshidratadas-seria-de-4-millones-de-toneladas-en-2020/>
- Fermoso, A. (2012). Productos deshidratados, alternativa de comercialización . *El economista*.
- Fermoso, A. (28 de 01 de 2013). Productos deshidratados, alternativa de comercialización. *El economista*.
- Ferreira, M., & Almeida, A. (2012). Effectiveness the treatments with natural mineral water in low back pain for spondylarthrosis. *Anales de Hidrologia Medica*, 92+, 6.
- Food and agriculture Organization of the United Nations. (2011). *Global food losses and food waste Extent, causes and prevention*. Rome, Italy. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-i2697e.pdf>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (5 de 3 de 2020). *National Aquaculture sector Overview*. Obtenido de http://www.fao.org/fishery/countrysector/naso_mexico/es
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (3 de 07 de 2020). *The state of the world Fisheries and Aquaculture 2020*. Roma, Italy: FAO. Obtenido de Sustainable in action: <https://www.fao.org/3/a-i2697e.pdf> %20and%20fish%20farmers%20across%20the%20world&text=In%202018%2C%20an%20estimated%2059.5,a%20slight%20increase%20from%202016.
- Garduño, M. A. (2021). *Diseño e instalación de un secado de café industrial geotérmico en Mesllas, Nayarit*. México: UNAM.
- Georgsson, L. S., & Gudmundur, F. Ó. (1996). High technology in geothermal fish farming at silfurtjarnan LTD., NE-Iceland. *GHC Bulletin* , 23-28.
- Global Wellness Institute. (3 de 3 de 2020). *What is wellness Tourism?* Obtenido de <https://globalwellnessinstitute.org/what-is-wellness/what-is-wellness-tourism/>
- Gobierno de la ciudad de México. (01 de 05 de 2021). <http://www.contraloria.cdmx.gob.mx/>. Obtenido de <http://cgservicios.df.gob.mx/prontuario/vigente/747.htm>
- Gudmundsson, J. S., & Lund, J. W. (1985). Direct uses of earth heat . *Energy research* , 345 - 375.
- Gutiérrez Negrín, L. C., Maya González, R., & Quijano León, J. L. (2015). Present situation and perspectives of geothermal in México. *Proceedings World Geothermal Congress 2015*.

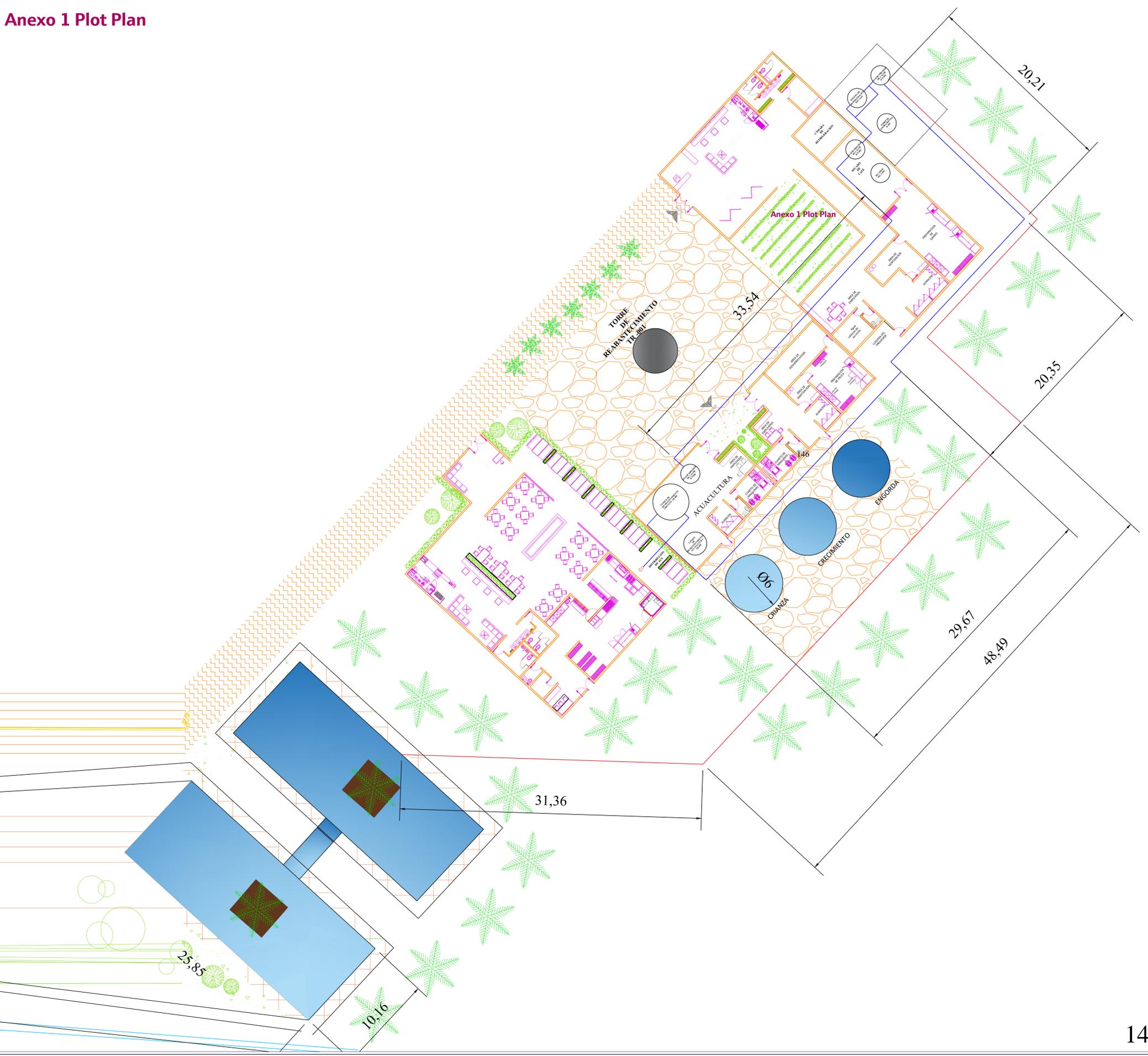
- Hernández, G. (2009). *Fundamentos de aire acondicionado y refrigeración* . México: LIMUSA.
- Hot Springs Travel & Tourism. (2 de 3 de 2020). *Hot springs state park*. Obtenido de <http://thermopolis.com/attractions/hot-springs-state-park/>
- Hurwitz, S., & Manga, M. (2020). The facinating and complex dynamics of geyser eruptions. *Annual reviews* , 31, 59.
- Iglesias, E. R., Torres, R. J., Martinez - Estrella, I. J., & Reyes - Picaso, N. (2015). *Summary of the 2014 Assessment of Medium to Low Temperature Mexican Geothermal Resources* . Melbourne, Australia: Proceedings World Geothermal Congress 2015.
- Instituto de Geofísica. (2018). *Geoquímica de fluidos en Mesillas, Nayarit*. Ciudad de México, México.
- Instituto nacional de estadística y geografía. (2015). *Panorama sociodemográfico de Nayarit*. Aguascalientes, México: INEGI.
- Jiménez, J. M. (2020). Análisis de una planta de cogeneración para aprovechar los residuos producidos en el procesamiento de café en la fina "Nuevo México" (Tesis inédita de maestría). CDMX, México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- kakac, S., & Liu, H. (2002). *Heat exchangers selecction, rating ant thermal design*. Miami, Eu: CRC PRESS LLC .
- Keam, R. F., Pipe, L. Z., & Luketina, K. M. (2005). Definition and listing of significant geothermal feature tpes in the waikato region. *Proceedings World Geothermal Congress 2005*. Antaya, Turquí.
- Klaipeda science and technology park. (2012). *Supply chain for geothermal aquaculture Feasibility study*. Lithuania: Baltic Sea Region Programme 2007-2013.
- Labuza, T. P. (1971). *Properties of water and the keeping quality of foods* *Memorias del III congreso internacional del ciencia y tecno-logía de alimentos EE.UU.*
- Ledesma, R. M. (1996). *El Calor de la tierra* . México: Fondo de cultura económica.
- Lezama, M. A. (2017). *Informe técnico de reconocimiento social en la comunidad de Mesillas, Nayarit*. Compostela, Nayarit.
- Lineau, P. J., & Lunis, B. C. (1991). *Geothermal Direct use engineering and design guidebook*. Idaho, EUA: Geo-Heat Center.
- Luketina, K. M. (1995). *The history and application of geyser theory*. Nueva Zelanda: Universidad de Auckland.
- Lund, J. W. (1993). Spas and balneology in the United States. *Geo-Heat Center Quartely Bulletin*, 1 - 3.

- Lund, J. W. (2000). Balneological use of thermal water in the USA. *GHC Bulletin*, 31 - 34.
- Lund, J. W. (s.f.). Balneological use of thermal waters. *International summer school on direct application of geothermal energy*.
- Lund, J. W., & Boyd, T. L. (2015). *Direct utilization of geothermal energy 2015 worldwide review*. Melbourne, Australia: Proceedings World geothermal Congress 2015.
- Lund, J. W., & Toth, A. N. (2020). *Direct Utilization of geothermal energy 2020 Worldwide review*. Reykjavik, Islandia : Proceedings World Geothemal Congress.
- Luo, X., Wang, Y., Chen, Y., Mo, S., & Gong, Y. (2015). Grey relational analysis of an integrated cascade utilization system of geothermal water. *International journal of green energy* , 14 - 27.
- Maraver Eyzaguirre, F., & Armijo Castro, F. (2010). *Vademécum II de aguas mineromedicinales españolas*. Madrid, España: Editorial complutense.
- Maupoey, P. F., Andrés Grau, A. M., Barat Baviera, J. M., & Albors Sorolla, A. M. (2016). *Introducción al secado de alimentos por aire caliente*. Valencia, España : Universidad Politécnica de Valencia.
- Monsalve, V. A. (2016). *Cálculo y dimensionamiento de una cámara de refrigeración para productos orgánicos perecederos*. Antioquia, colombia.
- Muffler, P., & Cataldi, R. (1978). Methods for regional assessment of geothermal resources. *Geothermics* , 53-89.
- NEODATA. (25 de Junio de 2020). *Paramétricos de Neodata Construbase*. Obtenido de <https://neodata.mx/parametricos>
- Nicholson, K. (1993). *Geothermal Fluids "Chemistry and exploration techniques"*. Reino Unido : Springer-Verlag .
- Nusser, N., & Horváth, K. (2012). Evaluation of the clinical efficiency of the thermal mineral water of harkany on patients with primary knee osteoarthritis (Scientific Sessions: Methodology of Scientific Investigation--New Trends 1--Session 3). *Anales de Hidrología Médica*, 6, 91.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (3 de 3 de 2020). *FAO Fisheries & Acuaculture*. Obtenido de Visión general del sector acuícola nacional: http://www.fao.org/fishery/countrysector/naso_mexico/es#tcN70070
- Pareja, J. S. (1988). Hydrothermal activity in México. *GeoHeat Center Quarterly Bulletin*, 4 - 7.
- Pillay, T. (1973). The Role of Aquaculture in Fishery Development and Management. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 2202-2217.

- Professionals, T. a. (2015). International Swimming Pool and Spa Code . *International code council*, 28.
- Ragnarsson, Á. (2014). Geothermal Energy in Aquaculture. *Short Course IV on Utilization of Low and medium Enthalpy Geothermal Resources and financial aspects of utilization*. Santa Tecla, El Salvador: UNU-GTP & LaGEO .
- Ramos, G. (2017). *Análisis del proceso de adquisición de materiales del grupo de investigación de energías alternativas del instituto de ingeniería. Caso deshidratador de frutas*. México: UNAM.
- Resource park. (2 de 06 de 2020). *Resource Park*. Obtenido de <https://www.resourcepark.is/economic-impact/>
- Rincón, V. V. (2017). *Strategy for a Resource Park at Domo de San Pedro Geothermal Project - Nayarit, México*. México .
- Rubio - Maya , C., Ambríz Díaz , V. M., Pastor Martínez, E., & Belman - Flores , J. (2015). Cascade utilization of low and medium enthalpy geothermal resources - A review . *Renewable and Sustainable Energy Reviews* , 689 - 716.
- Sangeniz, T. (2020). Análisis de mercado balneología en Mesillas, Nayarit. *Informe interno*.
- Sapag Chain, N., & Sapag Chain , R. (1991). *Preparación y evaluación de proyectos*. Ciudad de México : McGraw -Hill.
- Schmiedel, V., & Matthias, A. (2017). *Leitfaden Naturheilkunde Methoden, Konzepte und praktische Anwendung*. München, Alemania: Elsevier.
- Schöpfer, M. (2 de Febrero de 2015). Absorption chillers: their feasibility in district heating networks and comparison to alternative technologies. Obtenido de semanticscholar: https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/1689244997255394/Thesis_Final.pdf
- Secretaría de desarrollo social. (2015). *Sin Hambre Cruzada Nacional*. Obtenido de http://www.sedesol.gob.mx/boletinesSinHambre/Informativo_02/infografia.html
- Secretaría de energía . (2018). *Mapa de ruta tecnológica - Usos directos del calor geotérmico* . Ciudad de México.
- Secretaría de energía . (2019). *Programa de desarrollo del sistema eléctrico nacional* . México.
- Secretaría de turismo. (19 de 12 de 2018). *Datatur*. Obtenido de https://www.datatur.sectur.gob.mx/ITxEF/ITxEF_NAY.aspx
- SENER. (2021). Quién es quién en los precios LP. *Quién es quién en los precios del GAS L.P.* México: Gobierno de México.
- Sociedad Española de Hidrología Médica. (2 de 06 de 2020). *Hidrología Médica*. Obtenido de <https://www.hidromed.org/hm/index.php/conceptos-basicos>

- Sölken, W. (4 de 06 de 2020). *Explore the word of piping*. Obtenido de http://www.wermac.org/materials/corrosion_allowance.html#:~:text=Corrosion%20allowances%20are%20normally%20established,has%20adopted%20and%20superceded%20B31.
- springs, G. (3 de 4 de 2020). *Balneology: The science of soaking*. Obtenido de <https://www.ironmountainhotsprings.com/balneology-the-science-of-soaking/>
- Stiebel Eltron. (20 de Enero de 2020). *What is a heat pump?* Obtenido de <https://www.stiebel-eltron.com/en/home/products-solutions/information-engineering/heat-pumps.html>
- Surana, T., Atmojo, P. J., & Suyanto, A. S. (2010). *Development of geothermal Energy direct use in indonesia*. Babi, Indonesia: Proceedings Wolrd Geothermal Congress 2010.
- The associaton of pool and spa professionals. (2015). *International Swimming pool and spa code*. México: International Code Council.
- Tian, T. Z., W, W. J., & Jin, H. J. (2020). Rapid Development of China's geothermal Industry. *China National Report of the 2020 World Geothermal conference, Proceedings*, (pág. 9). Reykjavik, Islandia.
- Trane. (28 de Enero de 2020). Obtenido de <https://www.trane.com/commercial/latin-america/cl/es/products-systems/equipment/chillers/absorption-liquid-chillers/single-stage-chillers.html>
- Twidell, J., & Weir, T. (2015). *Renewable energy Resources*. Abingdon, Reino Unido : Routledge.
- Unicef. (12 de 1 de 2020). *Unicef para cada niño*. Obtenido de <https://www.unicef.org/mexico/desnutrici%C3%B3n-infantil>
- Unided States Geological Survey. (4 de Enero de 1999). *USGS*. Obtenido de <https://pubs.usgs.gov/gip/dynamic/unanswered.html>
- United States Geological Survey. (30 de Noviembre de 2000). *USGS*. Obtenido de <https://www.usgs.gov/media/images/hydrothermal-features>
- Universidad de Birmingham. (2018). *A cool world - Defining the energy conundrum of cooling for all*. Birmingham, Reino Unido: Birmingham - Research that matters. Obtenido de <https://www.birmingham.ac.uk/Documents/college-eps/energy/Publications/2018-clean-cold-report.pdf>
- Universidad de santiago de compostela. (2017). *Vademécun de las aguas mineromedicinales de galicia*. Galicia, España: Servizo de Publicacións.
- Urbina, G. B. (2010). *Evaluación de proyectos*. Monterrey: Mc Graw Hill.

- Vargas, V. (2010). Las fuentes termales en el Perú, estado y us actual 2019. *XV Congreso peruano de geología* .
- Vicente, A. R. (2010). *Dimensionamiento y diseño estructural del tanque de almacenamiento de agua desmineralizada para una central térmica de ciclo combinado*. Madrid, España: Universidad Carlos III de madrid.
- Vital Vac. (2 de Marzo de 2020). *Tabla de duración de alimentos envasados al vacío*. Obtenido de <https://vitalvac.com/conservacion/tabla-duracion-alimentos-ensados-vacio/>
- Wang, S. K. (2000). *Handbook of air conditioning and refrigeration*. New york, EU: McGraw-Hill.
- Wheaton, F. W. (1987). *Acuicultura: Diseño y construcción de sistemas*. México : AGT EDITOR, S.A.
- White, D. (1967). Some principles of geyser activity, mainly from Steamboat Springs. *Am. J. Sci*, 641-84.
- World Trade Organization Technical Barriers to Trade (TBT). (2017). Standart Classification for cost estimate classification system. *ASTM Int'l Designation E2516-11*.
- Xu, Z. Y., & Wang, R. Z. (2016). Solar-powered absorption cooling systems. *Advances in solar Heating and cooling* .
- Yazaki Energ Systems, Inc. (2020). *Yazakienergy.com*. Obtenido de <http://www.yazakienergy.com/waterfiredperformance.htm>
- Yazaki Energy Systems. (2021). Water-Fired Chiller/Chiller-Heater. *WFC-S Sales Brochure*, 8.
- Zarate, E. F. (2013). *Propuesta de diseño de un intercambiador de calor de placas para el ciclo PWG*. CDMX,México: Universidad Nacional Autonoma de México.



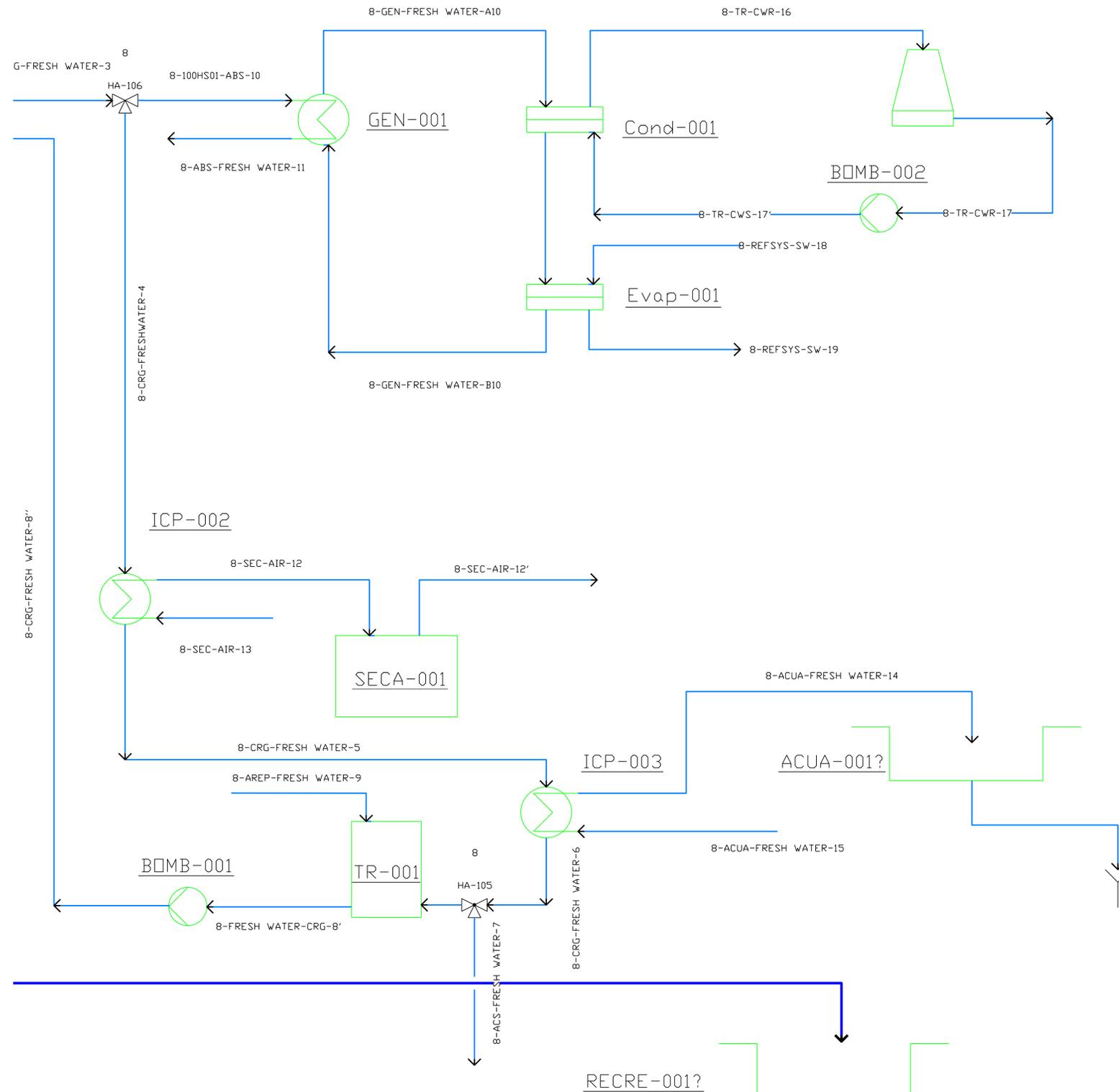
General Notes		
No.	Revision/Issue	Date
1	Emisión para revisión	05.01.2021

Drawing Name
 Plot plan
 Plaza de usos geotermicos

Project Name and Address
 Centro de recursos Geotermicos
 General
 Mesillas, Nayarit
 México 0001

Area General	Stamp
Drawing Number CRG -GEN-P-PT-03-1 REV 1	
Author GRM	

Anexo 2 Diagrama de flujo de proceso & DTI



General Notes

No.	Revision/Issue	Date

Drawing Name
 Diagrama 2
 Diagrama de flujo de proceso

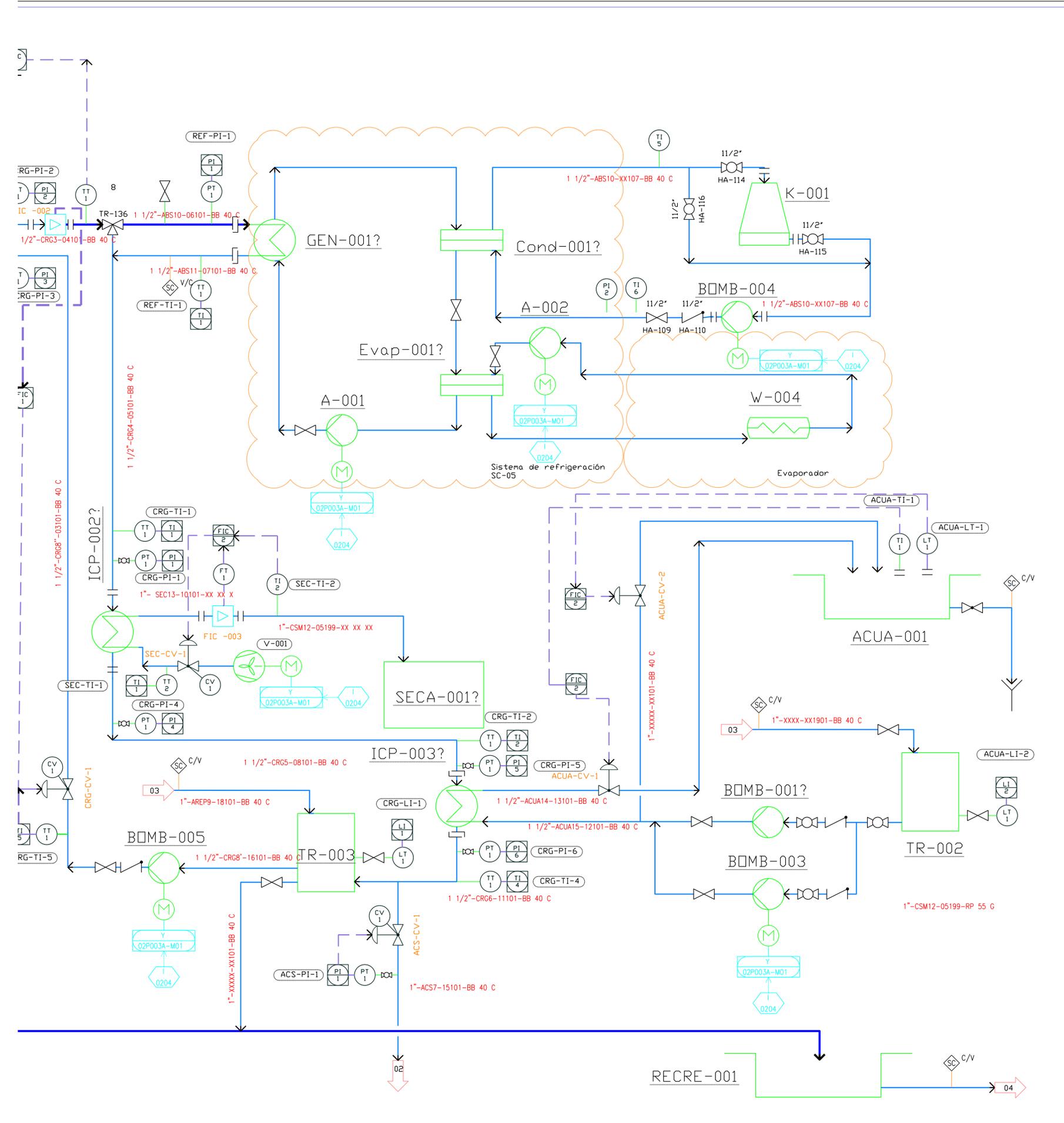
Project Name and Address
 Centro de Recursos geotermicos (CRG)
 Mesillas, Nayarit
 México 02

Area
 Ingeniería Básica

Drawing Number
 02

Author
 GRM





General Notes

XX Unit key number: Supone una línea de proceso fuera del alcance del libro de ingeniería, pero si considerado en el dibujo isométrico.

Las conexiones del evaporador se realizan de acuerdo al isométrico proporcionado.

El sistema de refrigeración no se considera dentro del isométrico, únicamente su conexión con el circuito cerrado de agua de proceso, torre de enfriamiento y evaporador.

03 Reabastecimiento de tanque TR-001 tubería no incluida en el sistema.

No.	Revision/Issue	Date

Drawing Name
DTI - Cascada
 1

Project Name and Address
 Centro de Recursos geotermicos (CRG)
 Mesillas, Nayarit
 México 03

Area Ingeniería básica	
Drawing Number 03	
Author GRM	

Anexo 3 Memoria de cálculo y tabla de balance

Se utilizará un método iterativo, en el cual, se proponen las condiciones de la corriente CRG8'' para realizar el cálculo del sistema completo, de esta forma se obtienen las condiciones de las corrientes que ingresan al tanque de estabilización (TR-001) y a partir de este cálculo generar las nuevas condiciones para la corriente CRG8''.

Para esto se considera la [tabla 22](#), en la que se resumen las cargas calculadas para conducir los procesos propuestos.

Requerimientos térmicos de los procesos		
Q _{Ref}	21.35	kW
Q _{Seca}	12.95	kW
Q _{Acua}	158.20	kW
Q _{Acs}	58.41	kW
**Q _{Total}	301.09	kW

**Se considera un factor de seguridad del 20%

Paso 1 – Cálculo de la corriente RAG2

Para el cálculo de esta corriente se utiliza el balance de materia y energía del primer equipo de proceso, como se ha mencionado anteriormente este equipo es el encargado de extraer la energía del fluido geotérmico y cederla al circuito semi-cerrado de agua potable.

Considerando el balance de masa y energía:

$$\begin{aligned}
 & \text{ICP} - 001 \\
 & m_{RAG1} = m_{RAG2} \\
 & m_{CRG8''} = m_{CRG3} \\
 & \underline{h_{RAG1} * m_{RAG1} + h_{CRG8''} * m_{CRG8''} = h_{RAG2} * m_{RAG2} + h_{CRG3} * m_{CRG3}}
 \end{aligned}$$

Tomando en cuenta el valor del Q_{total} que necesita el sistema para conducir todos los subsistemas, se utiliza la ecuación de transferencia de calor, para determinar la temperatura de salida de la corriente RAG2.

$$\begin{aligned}
 Q_{Tot} &= mC_p\Delta T \\
 Q_{Tot} &= mC_p(T_1 - T_2) \\
 T_2 &= T_1 - \frac{Q_{tot}}{mC_p}
 \end{aligned}$$

$$T_{RAG2} = 358.15 \text{ K} - \frac{315.11 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}}{16.66 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 3.11 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}} = 352.07 \text{ K} = 78.92 \text{ }^\circ\text{C}$$

Paso 2 – Cálculo de las corrientes CRG3 y CRG4

Tomando como conocidas las condiciones de las corrientes ABS10, CRG3 y CRG4 (Condiciones dictadas por los requisitos para ingreso al sistema de refrigeración por absorción), el objetivo de este paso es determinar el flujo de las corrientes CRG3 y CRG4, las cuales representan las condiciones de reposición de agua en el tanque de estabilización y la cantidad de flujo hacia los procesos en niveles inferiores.

Por lo tanto;

Balance en “Válvula de tres vías”
$m_{CRG3} = m_{RAG4} + m_{Abs10}$
$h_{CRG3} * m_{CRG3} = h_{RAG4} * m_{RAG4} + h_{Abs10} * m_{Abs10}$

Donde;

$m_{Abs10} = 1.17 \text{ kg/s}$ (Requerimientos del sistema de refrigeración)

$T = 78 \text{ }^\circ\text{C}$ (Requerimientos de sistema de refrigeración)

Por lo tanto, para la primera iteración;

$$m_{RAG4} = m_{CRG3} - m_{AG4}$$

$$m_{CRG4} = 16.30 \text{ l/s}$$

Para el cálculo de la corriente ABS11 (Salida del generador) y tomando en cuenta las ecuaciones del fabricante se puede obtener la temperatura a la salida del equipo, esta corriente se mezclará en el tanque de estabilización al final del proceso.

De acuerdo con el fabricante (Yazaki Energy Systems, 2021)

$$\Delta T_{Ref} = \frac{Q_{in} \text{ Mbtu}}{(0.5 * Q_a)} = \frac{\text{Actual BTUH Transferred}}{(0.5 * \text{Actual flow rate in GPM})} = 6.39 \text{ }^\circ\text{F}$$

Por lo tanto;

$$T_{Abs11} = T_{ABS10(^\circ\text{C})} - \Delta T_{Ref(^\circ\text{C})} = 79.45 \text{ }^\circ\text{C}$$

Paso 3 – Cálculo del equipo ICP – 002

Para el cálculo del equipo mencionado, se consideran como conocidas las condiciones de la corriente de aire (SEC12), así como como las propiedades termodinámicas de la corriente que cederá la energía (CRG4).

$$\begin{array}{c}
 \hline
 \text{ICP} - 002 \\
 \hline
 m_{\text{CRG4}} = m_{\text{CRG5}} \\
 m_{\text{SEC13}} = m_{\text{SEC12}} \\
 \hline
 h_{\text{CRG4}} * m_{\text{CRG4}} + h_{\text{SEC13}} * m_{\text{SEC13}} = h_{\text{CRG5}} * m_{\text{CRG5}} + h_{\text{SEC12}} * m_{\text{SEC12}} \\
 \hline
 \end{array}$$

Adicionalmente se sabe del requerimiento de aire caliente para el secado de café, por lo que se calcula la corriente a la salida del proceso CRG5 y la corriente de aire a la salida del secador SEC15.

Paso 4 – Calculo del equipo ICP – 003

$$\begin{array}{c}
 \hline
 \text{ICP} - 003 \\
 \hline
 m_{\text{CRG5}} = m_{\text{CRG6}} \\
 m_{\text{ACUA15}} = m_{\text{ACUA14}} \\
 \hline
 h_{\text{CRG5}} * m_{\text{CRG5}} + h_{\text{ACUA15}} * m_{\text{ACUA15}} = h_{\text{CRG6}} * m_{\text{CRG6}} + h_{\text{ACUA14}} * m_{\text{ACUA14}} \\
 \hline
 \end{array}$$

Para el cálculo de este equipo se consideran como conocidas las condiciones de las corrientes, CRG5 y ACUA15, descarga del equipo ICP-002 y condiciones ambientes respectivamente. Adicionalmente, se considera el cálculo realizado previamente para determinar la cantidad de energía necesaria para mantener las condiciones óptimas los tanques acuícolas, es decir, las condiciones de la corriente ACUA14.

Donde;

$$T_{\text{ACUA14}} = 293.15 \text{ K} + \frac{158 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}}{5.99 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * 4.18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * \text{K}}} = 299.46 = 26.3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Para finalizar los procesos, el agua de la corriente CRG6 es utilizada parcialmente como agua caliente de servicios, con lo cual se evita el uso de cuarto intercambiador de calor.

$$T_{\text{CRG6}} = 349.17 \text{ K} + \frac{158 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}}{1.56 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * 4.19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * \text{K}} * 19} = 324.86 = 51.71 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Paso 5 – Cálculo de la válvula de tres vías

El cálculo de la válvula de tres vías consiste en tomar la cantidad de agua caliente suficiente para satisfacer las necesidades de este recurso en el complejo turístico y las áreas de servicios de otros procesos.

El flujo que se toma de la corriente CRG6 es equivalente a lo calculado en la sección 2.10, y a acuerdo comentado en la tabla 14 (Consumo mínimo de agua por huésped en el sector turístico).

Por lo tanto;

$$m_{CRG6} = m_{CGR8} - m_{ACS7}$$

Paso 6 - Cálculo tanque de estabilización

El cálculo del tanque de estabilización consiste en mezclar la corriente proveniente de la descargar del generador del sistema de refrigeración, lo restante del agua utilizada en los servicios y el agua de reposición a temperatura ambiente, es decir las corrientes ABS11, AREP9 y CRG8, respectivamente.

Como se ha mencionado, este tanque permitirá la recuperación de la energía que no ha sido utilizada en los procesos y reingresarla al circuito, lo cual permitirá disminuir los gastos de las bombas centrífugas y mejorar el rendimiento de sistema en general.

Por lo tanto;

$$h_{ABS11} * m_{ABS11} + h_{CRG8} * m_{CGR8} + h_{ACS7} * m_{ACS7} = h_{CRG8'} * m_{CRG8'}$$

Paso 7 – Calculo de la bomba centrífuga – BOMB - 001

La corriente CRG8' calculada previamente es presurizada para evitar la generación de, burbujas en la corriente y consecuentemente la cavitación de la bomba y un bajo desempeño de los intercambiadores de calor, a esta línea presurizada se le conoce finalmente como CRG8'', La cual vuelve a entrar al equipo ICP-001.

Como se mencionó al principio de este anexo, para realizar el balance de materia y energía se considera un valor ponderando que debe ser al menos mayor a la suma del flujo necesario para conducir el sistema de refrigeración por absorción y el flujo de agua caliente de servicios.

Paso 8 – Recreación y bienestar

Cálculo del llenado y reposición de agua en albercas para el ocio y el bienestar, como se ha mencionado en el paso uno, la corriente de agua geotérmica únicamente cede indirectamente parte de su energía para conducir los procesos seleccionados, por lo que el resto puede ser usado para la salud y el bienestar considerando las características atribuibles localmente por su composición química.

Para el cálculo de lo solicitado en primera instancia se establecen los parámetros de la alberca, dimensiones que serán establecidas por las recomendaciones internación con base al número de personas presentes en la alberca. Para esto la Asociación de profesionales para albercas y SPA's (APSP por sus siglas en inglés) recomiendan una distancia de 20 ft² o 1.85 m² entre usuario (2015). Lo anterior considerando la ocupación máxima esperada se obtiene lo siguiente:

$$\text{Área} = 1.85 \text{ m}^2 * 86 \text{ personas} = 155.23 \text{ m}^2$$

Ahora considerando una profundidad de 1.5 m

$$\text{Volumen} = 155.23 * 1.5 = 232.85 \text{ m}^3$$

Además, la APSP también recomienda un “Turnover rate” o tasa de reposición de al menos 1.5 el volumen de la alberca en menos de 6 h. Por lo tanto, considerando el volumen de la alberca a considerar y el flujo que se tiene de agua geotérmica obtenemos se obtienen un valor de 3.76, lo cual cumple adecuadamente con la normativa internacional.

Anexo 4 Tabla de balance de materia y energía

CORRIENTES PRINCIPALES	ICP - 001 (GENERAL)					GEN - 001 (ABS)	
Propiedad / Corriente	RAG1	RAG2	CRG8"	CRG3	CRG4	ABS10	ABS11
Flujo (l/s)	17.20	17.20	4.00	4.00	2.80	1.20	1.20
Flujo (kg/s)	16.66	16.72	3.99	3.88	2.71	1.16	1.17
Temperatura (K)	358.15	353.00	340.15	357.15	356.31	357.15	353.60
Temperatura (C)	85.000	80.00	67.00	84.00	83.16	84.00	80.45
Compuesto	AGUA GEO	AGUA GEO	AGUA	AGUA	AGUA	AGUA	AGUA
Presión (MPa)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.19	0.19	0.10
Densidad (kg/m3)	968.61	971.88	998.20	969.26	969.84	969.30	971.51
Entalpía (kJ/kg)	356.04	334.42	287.37	351.85	348.40	351.92	336.95
Cp (kJ/Kg K)	3.11	4.11	4.19	4.20	4.20	4.20	4.20

CORRIENTES PRINCIPALES	ICP-002 (SEC)			ICP-003 (ACUA)		
Propiedad / Corriente	CRG5	SEC12	SEC13	CRG6	ACUA15	ACUA14
Flujo (l/s)	3.99	1168.42	1168.42	3.97	2	2
Flujo (kg/s)	3.88	1.3085	1.31	3.88	2.00	1.99
Temperatura (K)	352.90	298.65	328.15	343.25	293.15	311.89
Temperatura (C)	79.75	25.5	55	70.10	20	38.74
Compuesto	3.Agua	AIRE	AIRE	AGUA	Agua acuícola	Agua acuícola
Presión (MPa)	0.14	0.10	0.05	0.09	0.10	0.09
Densidad (kg/m3)	971.96	1.12	0.49	977.70	998.20	992.69
Entalpía (kj/kg)	334.05	298.96	328.77	293.54	84.00	162.34
Cp (kJ/Kg K)	4.20	1.01	1.01	4.18	4.18	4.18

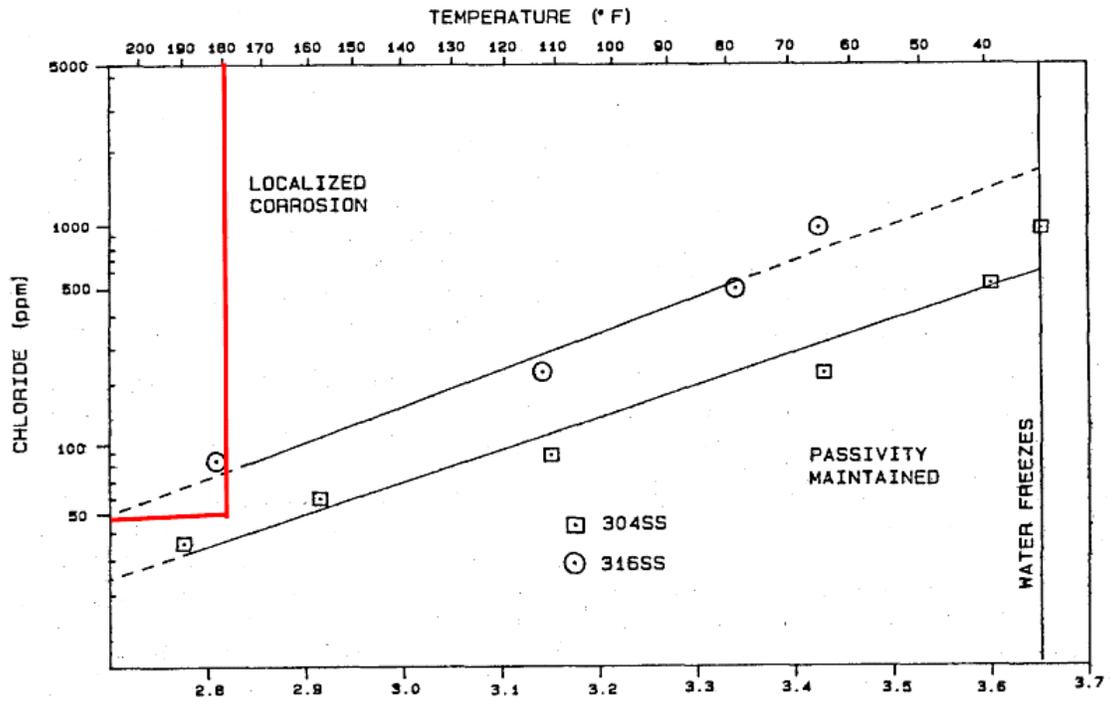
CORRIENTES PRINCIPALES	Servicios			Tanque de estabilización			
Propiedad / Corriente	CRG8	ACS7	CRG8'	CRG8'2	AREP9	CRG8'3	CRG8"2
Flujo (l/s)	3.88	0.08	3.97	3.97	0.08	3.97	3.97
Flujo (kg/s)	3.80		3.96	3.96	0.08	3.96	3.96
Temperatura (K)	343.25	343.25	341.78	341.78	293.15	341.78	341.78
Temperatura (C)	70.10	70.10	68.63	68.63	20	68.63	68.63
Compuesto	AGUA	AGUA	AGUA	AGUA	AGUA	AGUA	AGUA
Presión (MPa)	0.09	0.09	0.10	0.10	0.10	0.10	0.20
Densidad (kg/m3)	977.70	977.70	998.2	998.20	998.20	998.2	998.20
Entalpía (kj/kg)	293.54	293.54	287.368	287.37	84.00	287.37	287.37
Cp (kJ/Kg K)	4.19	4.19	4.19	4.19	4.18	4.19	4.19

Anexo 5 Tabla de renovación de aire en cámaras de refrigeración

Número de renovaciones por día		
Volumen (ft ³)	Conservación	Congelación
2.5	52	70
3	47	63
4	40	53
5	35	47
7.5	28	38
10	24	32
15	19	26
20	16.5	22
25	14.6	19.5
30	13	17.5
40	11.5	15
50	10	13
60	9	12
80	7.7	10

Ecuación 18 Renovación del aire

Anexo 6 Diagrama de corrosión localizada para SS316 & SS304



(Lineau & Lunis, 1991)

Anexo 7 Dimensiones y pesos de tubería de acero

ASME B36.10M-2015

Table 1 Dimensions and Weights of Welded and Seamless Wrought Steel Pipe

NPS [Note (1)]	Customary Units			Identification [Standard (STD), Extra-Strong (XS), or Double Extra Strong (XXS)]	Schedule No.	DN [Note (2)]	SI Units		
	Outside Diameter, in.	Wall Thickness, in.	Plain End Weight, lb/ft				Outside Diameter, mm	Wall Thickness, mm	Plain End Mass, kg/m
1/8	0.405	0.049	0.19	---	10	6 (3)	10.3	1.24	0.28
1/8	0.405	0.057	0.21	---	30	6 (3)	10.3	1.45	0.32
1/8	0.405	0.068	0.24	STD	40	6 (3)	10.3	1.73	0.37
1/8	0.405	0.095	0.31	XS	80	6 (3)	10.3	2.41	0.47
1/4	0.540	0.065	0.33	---	10	8 (3)	13.7	1.65	0.49
1/4	0.540	0.073	0.36	---	30	8 (3)	13.7	1.85	0.54
1/4	0.540	0.088	0.43	STD	40	8 (3)	13.7	2.24	0.63
1/4	0.540	0.119	0.54	XS	80	8 (3)	13.7	3.02	0.80
3/8	0.675	0.065	0.42	---	10	10	17.1	1.65	0.63
3/8	0.675	0.073	0.47	---	30	10	17.1	1.85	0.70
3/8	0.675	0.091	0.57	STD	40	10	17.1	2.31	0.84
3/8	0.675	0.126	0.74	XS	80	10	17.1	3.20	1.10
1/2	0.840	0.065	0.54	---	5	15	21.3	1.65	0.80
1/2	0.840	0.083	0.67	---	10	15	21.3	2.11	1.00
1/2	0.840	0.095	0.76	---	30	15	21.3	2.41	1.12
1/2	0.840	0.109	0.85	STD	40	15	21.3	2.77	1.27
1/2	0.840	0.147	1.09	XS	80	15	21.3	3.73	1.62
1/2	0.840	0.188	1.31	---	160	15	21.3	4.78	1.95
1/2	0.840	0.294	1.72	XXS	---	15	21.3	7.47	2.55
3/4	1.050	0.065	0.69	---	5	20	26.7	1.65	1.03
3/4	1.050	0.083	0.86	---	10	20	26.7	2.11	1.28
3/4	1.050	0.095	0.97	---	30	20	26.7	2.41	1.44
3/4	1.050	0.113	1.13	STD	40	20	26.7	2.87	1.69
3/4	1.050	0.154	1.48	XS	80	20	26.7	3.91	2.20
3/4	1.050	0.219	1.95	---	160	20	26.7	5.56	2.90
3/4	1.050	0.308	2.44	XXS	---	20	26.7	7.82	3.64
1	1.315	0.065	0.87	---	5	25	33.4	1.65	1.29
1	1.315	0.109	1.41	---	10	25	33.4	2.77	2.09
1	1.315	0.114	1.46	---	30	25	33.4	2.90	2.18
1	1.315	0.133	1.68	STD	40	25	33.4	3.38	2.50
1	1.315	0.179	2.17	XS	80	25	33.4	4.55	3.24
1	1.315	0.250	2.85	---	160	25	33.4	6.35	4.24
1	1.315	0.358	3.66	XXS	---	25	33.4	9.09	5.45
1 1/4	1.660	0.065	1.11	---	5	32	42.2	1.65	1.65
1 1/4	1.660	0.109	1.81	---	10	32	42.2	2.77	2.69
1 1/4	1.660	0.117	1.93	---	30	32	42.2	2.97	2.87
1 1/4	1.660	0.140	2.27	STD	40	32	42.2	3.56	3.39
1 1/4	1.660	0.191	3.00	XS	80	32	42.2	4.85	4.47
1 1/4	1.660	0.250	3.77	---	160	32	42.2	6.35	5.61
1 1/4	1.660	0.382	5.22	XXS	---	32	42.2	9.70	7.77
1 1/2	1.900	0.065	1.28	---	5	40	48.3	1.65	1.90
1 1/2	1.900	0.109	2.09	---	10	40	48.3	2.77	3.11
1 1/2	1.900	0.125	2.37	---	30	40	48.3	3.18	3.53
1 1/2	1.900	0.145	2.72	STD	40	40	48.3	3.68	4.05
1 1/2	1.900	0.200	3.63	XS	80	40	48.3	5.08	5.41
1 1/2	1.900	0.281	4.86	---	160	40	48.3	7.14	7.25
1 1/2	1.900	0.400	6.41	XXS	---	40	48.3	10.15	9.55

Table 1 Dimensions and Weights of Welded and Seamless Wrought Steel Pipe (Cont'd)

NPS [Note (1)]	Customary Units			Identification [Standard (STD), Extra-Strong (XS), or Double Extra Strong (XXS)]	Schedule No.	DN [Note (2)]	SI Units		
	Outside Diameter, in.	Wall Thickness, in.	Plain End Weight, lb/ft				Outside Diameter, mm	Wall Thickness, mm	Plain End Mass, kg/m
2	2.375	0.065	1.61	...	5	50	60.3	1.65	2.39
2	2.375	0.083	2.03	...	...	50	60.3	2.11	3.03
2	2.375	0.109	2.64	...	10	50	60.3	2.77	3.93
2	2.375	0.125	3.01	...	30	50	60.3	3.18	4.48
2	2.375	0.141	3.37	...	...	50	60.3	3.58	5.01
2	2.375	0.154	3.66	STD	40	50	60.3	3.91	5.44
2	2.375	0.172	4.05	...	...	50	60.3	4.37	6.03
2	2.375	0.188	4.40	...	...	50	60.3	4.78	6.54
2	2.375	0.218	5.03	XS	80	50	60.3	5.54	7.48
2	2.375	0.250	5.68	...	...	50	60.3	6.35	8.45
2	2.375	0.281	6.29	...	...	50	60.3	7.14	9.36
2	2.375	0.344	7.47	...	160	50	60.3	8.74	11.11
2	2.375	0.436	9.04	XXS	...	50	60.3	11.07	13.44
2½	2.875	0.083	2.48	...	5	65	73.0	2.11	3.69
2½	2.875	0.109	3.22	...	...	65	73.0	2.77	4.80
2½	2.875	0.120	3.53	...	10	65	73.0	3.05	5.26
2½	2.875	0.125	3.67	...	...	65	73.0	3.18	5.48
2½	2.875	0.141	4.12	...	...	65	73.0	3.58	6.13
2½	2.875	0.156	4.53	...	...	65	73.0	3.96	6.74
2½	2.875	0.172	4.97	...	...	65	73.0	4.37	7.40
2½	2.875	0.188	5.40	...	30	65	73.0	4.78	8.04
2½	2.875	0.203	5.80	STD	40	65	73.0	5.16	8.63
2½	2.875	0.216	6.14	...	...	65	73.0	5.49	9.14
2½	2.875	0.250	7.02	...	...	65	73.0	6.35	10.44
2½	2.875	0.276	7.67	XS	80	65	73.0	7.01	11.41
2½	2.875	0.375	10.02	...	160	65	73.0	9.53	14.92
2½	2.875	0.552	13.71	XXS	...	65	73.0	14.02	20.39
3	3.500	0.083	3.03	...	5	80	88.9	2.11	4.52
3	3.500	0.109	3.95	...	...	80	88.9	2.77	5.88
3	3.500	0.120	4.34	...	10	80	88.9	3.05	6.46
3	3.500	0.125	4.51	...	...	80	88.9	3.18	6.72
3	3.500	0.141	5.06	...	...	80	88.9	3.58	7.53
3	3.500	0.156	5.58	...	...	80	88.9	3.96	8.30
3	3.500	0.172	6.12	...	...	80	88.9	4.37	9.11
3	3.500	0.188	6.66	...	30	80	88.9	4.78	9.92
3	3.500	0.216	7.58	STD	40	80	88.9	5.49	11.29
3	3.500	0.250	8.69	...	...	80	88.9	6.35	12.93
3	3.500	0.281	9.67	...	...	80	88.9	7.14	14.40
3	3.500	0.300	10.26	XS	80	80	88.9	7.62	15.27
3	3.500	0.438	14.34	...	160	80	88.9	11.13	21.35
3	3.500	0.600	18.60	XXS	...	80	88.9	15.24	27.68
3½	4.000	0.083	3.48	...	5	90	101.6	2.11	5.18
3½	4.000	0.109	4.53	...	...	90	101.6	2.77	6.75
3½	4.000	0.120	4.98	...	10	90	101.6	3.05	7.41
3½	4.000	0.125	5.18	...	...	90	101.6	3.18	7.72
3½	4.000	0.141	5.82	...	...	90	101.6	3.58	8.65
3½	4.000	0.156	6.41	...	...	90	101.6	3.96	9.54
3½	4.000	0.172	7.04	...	...	90	101.6	4.37	10.48
3½	4.000	0.188	7.66	...	30	90	101.6	4.78	11.41

Anexo 8 Tabla Valores de y

ASME B31.1-2007

Table 104.1.2(A) Values of y

Temperature, °F	900 and Below	950	1,000	1,050	1,100	1,150	1,200	1,250 and Above
Temperature, °C	482 and Below	510	538	566	593	621	649	677 and Above
Ferritic steels	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Austenitic steels	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7
Nickel alloys UNS Nos. N06617, N08800, N08810, N08825	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7

Table A-1 Carbon Steel

Maximum Allowable Stress Values in Tension, ksi, for Metal Temperature, °F, Not Exceeding											
-20 to 100	200	300	400	500	600	650	700	750	800	Grade	Spec. No.
Seamless Pipe and Tube											
13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	12.5	10.7	9.0	A	A 53
17.1	17.1	17.1	17.1	17.1	17.1	17.1	15.6	13.0	10.8	B	
13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	12.5	10.7	9.0	A	A 106
17.1	17.1	17.1	17.1	17.1	17.1	17.1	15.6	13.0	10.8	B	
20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	19.8	18.3	14.8	12.0	C	
13.4	13.4	13.4	13.4	13.4	13.3	12.8	12.4	10.7	9.2	...	A 179
13.4	13.4	13.4	13.4	13.4	13.3	12.8	12.4	10.7	9.0	...	A 192
17.1	17.1	17.1	17.1	17.1	17.1	17.1	15.6	13.0	10.8	A-1	A 210
20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	19.8	18.3	14.8	12.0	C	
15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.3	14.8	...	...	...	1	A 333
17.1	17.1	17.1	17.1	17.1	17.1	17.1	15.6	...	...	6	
13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	12.5	10.7	9.0	FPA	A 369
17.1	17.1	17.1	17.1	17.1	17.1	17.1	15.6	13.0	10.8	FPB	
13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	12.5	10.7	9.0	A	API 5L
17.1	17.1	17.1	17.1	17.1	17.1	17.1	15.6	13.0	10.8	B	
Furnace Butt Welded Pipe											
8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	7.5	...	...	...	A 53
7.7	7.7	7.7	7.7	...	...	...	...	...	...	A25	API 5L
Electric Resistance Welded Pipe and Tube											
11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	10.6	9.1	7.7	A	A 53
14.6	14.6	14.6	14.6	14.6	14.6	14.6	13.3	11.1	9.2	B	
11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	10.6	9.1	7.9	A	A 135
14.6	14.6	14.6	14.6	14.6	14.6	14.6	13.3	11.1	9.2	B	
11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.3	10.9	10.5	9.1	7.7	A	A 178
14.6	14.6	14.6	14.6	14.6	14.6	14.6	13.3	11.1	9.2	C	
11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.3	10.9	10.5	9.1	7.8	...	A 214
11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.3	10.9	10.5	9.1	7.8	...	A 226
13.4	13.4	13.4	13.4	13.4	13.0	12.6	...	...	...	1	A 333
14.6	14.6	14.6	14.6	14.6	14.6	14.6	13.3	...	...	6	

Table A-3 Stainless Steels

Maximum Allowable Stress Values in Tension, ksi, for Metal Temperature, °F, Not Exceeding																			
-20 to 100	200	300	400	500	600	650	700	750	800	850	900	950	1,000	1,050	1,100	1,150	1,200	Type or Grade	Spec. No.
Seamless Pipe and Tube Austenitic																			
20.0	16.7	15.0	13.8	12.9	12.3	12.0	11.7	11.5	11.2	11.0	10.8	10.6	10.4	10.1	9.8	7.7	6.1	TP304	A 213
20.0	20.0	18.9	18.3	17.5	16.6	16.2	15.8	15.5	15.2	14.9	14.6	14.3	14.0	12.4	9.8	7.7	6.1	TP304	
20.0	16.7	15.0	13.8	12.9	12.3	12.0	11.7	11.5	11.2	11.0	10.8	10.6	10.4	10.1	9.8	7.7	6.1	TP304H	
20.0	20.0	18.9	18.3	17.5	16.6	16.2	15.8	15.5	15.2	14.9	14.6	14.3	14.0	12.4	9.8	7.7	6.1	TP304H	
16.7	14.3	12.8	11.7	10.9	10.4	10.2	10.0	9.8	9.7	...	...	...	...	...	...	...	...	TP304L	A 213
16.7	16.7	16.7	15.8	14.7	14.0	13.7	13.5	13.3	13.0	...	...	...	...	...	...	...	...	TP304L	
22.9	19.1	16.7	15.1	14.0	13.3	13.0	12.8	12.5	12.3	12.1	11.8	11.6	11.3	11.0	9.8	7.7	6.1	TP304N	
22.9	22.9	21.7	20.3	18.9	17.9	17.5	17.2	16.9	16.6	16.3	16.0	15.6	15.2	12.4	9.8	7.7	6.1	TP304N	
24.9	24.7	22.0	19.9	18.5	17.7	17.4	17.2	17.0	16.8	16.6	16.4	16.2	14.9	11.6	9.0	6.9	5.2	...	A 213
24.9	24.7	23.3	22.4	21.8	21.4	21.2	21.0	20.8	20.6	20.3	20.0	19.1	14.9	11.6	9.0	6.9	5.2	...	
20.0	20.0	20.0	20.0	19.4	18.8	18.5	18.2	18.0	17.7	17.5	17.2	16.9	13.8	10.3	7.6	5.5	4.0	TP309H	A 213
20.0	17.5	16.1	15.1	14.4	13.9	13.7	13.5	13.3	13.1	12.9	12.7	12.5	12.3	10.3	7.6	5.5	4.0	TP309H	
20.0	20.0	20.0	19.9	19.3	18.5	18.2	17.9	17.7	17.4	17.2	16.9	16.7	13.8	10.3	7.6	5.5	4.0	TP310H	
20.0	17.6	16.1	15.1	14.3	13.7	13.5	13.3	13.1	12.9	12.7	12.5	12.3	12.1	10.3	7.6	5.5	4.0	TP310H	
20.0	17.3	15.6	14.3	13.3	12.6	12.3	12.1	11.9	11.8	11.6	11.5	11.4	11.3	11.2	11.1	9.8	7.4	TP316	A 213
20.0	20.0	20.0	19.3	18.0	17.0	16.6	16.3	16.1	15.9	15.7	15.6	15.4	15.3	15.1	12.4	9.8	7.4	TP316	
20.0	17.3	15.6	14.3	13.3	12.6	12.3	12.1	11.9	11.8	11.6	11.5	11.4	11.3	11.2	11.1	9.8	7.4	TP316H	
20.0	20.0	20.0	19.3	18.0	17.0	16.6	16.3	16.1	15.9	15.7	15.6	15.4	15.3	15.1	12.4	9.8	7.4	TP316H	
16.7	14.1	12.7	11.7	10.9	10.4	10.2	10.0	9.8	9.6	9.4	9.2	8.9	8.8	8.0	7.9	6.5	6.4	TP316L	A 213
16.7	16.7	16.0	15.6	14.8	14.0	13.8	13.5	13.2	13.0	12.7	12.4	12.0	11.9	10.8	10.2	8.8	6.4	TP316L	
22.9	20.7	19.0	17.6	16.5	15.6	15.2	14.9	14.5	14.2	13.9	13.7	13.4	13.2	12.9	12.3	9.8	7.4	TP316N	
22.9	22.9	22.0	21.5	21.2	21.0	20.5	20.0	19.6	19.2	18.8	18.5	18.1	17.8	15.8	12.3	9.8	7.4	TP316N	
20.0	18.0	16.5	15.3	14.3	13.5	13.2	13.0	12.7	12.6	12.4	12.3	12.1	12.0	9.6	6.9	5.0	3.6	TP321	A 213
20.0	20.0	19.1	18.7	18.7	18.3	17.9	17.5	17.2	16.9	16.7	16.5	16.4	16.2	9.6	6.9	5.0	3.6	TP321	
20.0	18.0	16.5	15.3	14.3	13.5	13.2	13.0	12.7	12.6	12.4	12.3	12.1	12.0	11.9	9.1	6.9	5.4	TP321H	
20.0	20.0	19.1	18.7	18.7	18.3	17.9	17.5	17.2	16.9	16.7	16.5	16.4	16.2	12.3	9.1	6.9	5.4	TP321H	
20.0	18.4	17.1	16.0	15.0	14.3	14.0	13.8	13.7	13.6	13.5	13.4	13.4	13.4	12.1	9.1	6.1	4.4	TP347	A 213
20.0	20.0	18.8	17.8	17.2	16.9	16.8	16.8	16.8	16.8	16.8	16.7	16.6	16.0	12.1	9.1	6.1	4.4	TP347	
20.0	18.4	17.1	16.0	15.0	14.3	14.0	13.8	13.7	13.6	13.5	13.4	13.4	13.4	13.4	13.3	10.5	7.9	TP347H	
20.0	20.0	18.8	17.8	17.1	16.9	16.8	16.8	16.8	16.8	16.8	16.7	16.6	16.4	16.2	14.1	10.5	7.9	TP347H	
20.0	18.4	17.1	16.0	15.0	14.3	14.0	13.8	13.7	13.6	13.5	13.4	13.4	13.4	12.1	9.1	6.1	4.4	TP348	A 213
20.0	20.0	18.8	17.8	17.2	16.9	16.8	16.8	16.8	16.8	16.8	16.7	16.6	16.0	12.1	9.1	6.1	4.4	TP348	
20.0	18.4	17.1	16.0	15.0	14.3	14.0	13.8	13.7	13.6	13.5	13.4	13.4	13.4	13.4	13.3	10.5	7.9	TP348H	
20.0	20.0	18.8	17.8	17.1	16.9	16.8	16.8	16.8	16.8	16.8	16.7	16.6	16.4	16.2	14.1	10.5	7.9	TP348H	
20.0	16.7	15.0	13.8	12.9	12.3	12.0	11.7	11.5	11.2	11.0	10.8	10.6	10.4	10.1	9.8	7.7	6.1	TP304	A 312
20.0	20.0	18.9	18.3	17.5	16.6	16.2	15.8	15.5	15.2	14.9	14.6	14.3	14.0	12.4	9.8	7.7	6.1	TP304	
20.0	16.7	15.0	13.8	12.9	12.3	12.0	11.7	11.5	11.2	11.0	10.8	10.6	10.4	10.1	9.8	7.7	6.1	TP304H	
20.0	20.0	18.9	18.3	17.5	16.6	16.2	15.8	15.5	15.2	14.9	14.6	14.3	14.0	12.4	9.8	7.7	6.1	TP304H	

Anexo 9 Ganancias estimadas de una planta geotermoeléctrica de 25 MW

Año	Factor de planta	Generación neta (Gwh)	Régimen termico neto (kJ/kWh)	Ingresos S/C (USD)	Costos O&M (USD)	Costo equivalente de Combustibles	Resultado Neto USD
2021	0.85	179.79	20949.00	\$ 16,024,818.98	\$ 2,114,273.47	\$ 4,516,203.20	\$ 9,394,342.31
2022	0.84	177.48	20900.82	\$ 15,819,701.30	\$ 2,087,210.77	\$ 4,458,395.80	\$ 9,274,094.73
2023	0.83	175.21	20852.75	\$ 15,617,209.12	\$ 2,060,494.47	\$ 4,401,328.33	\$ 9,155,386.32
2024	0.82	172.97	20804.78	\$ 15,417,308.85	\$ 2,034,120.14	\$ 4,344,991.33	\$ 9,038,197.37
2025	0.81	170.76	20756.93	\$ 15,219,967.29	\$ 2,008,083.41	\$ 4,289,375.44	\$ 8,922,508.45
2026	0.80	168.57	20709.19	\$ 15,025,151.71	\$ 1,982,379.94	\$ 4,234,471.43	\$ 8,808,300.34
2027	0.79	166.41	20661.56	\$ 14,832,829.77	\$ 1,957,005.48	\$ 4,180,270.20	\$ 8,695,554.09
2028	0.78	164.28	20614.04	\$ 14,642,969.55	\$ 1,931,955.81	\$ 4,126,762.74	\$ 8,584,251.00
2029	0.77	162.18	20566.63	\$ 14,455,539.54	\$ 1,907,226.77	\$ 4,073,940.18	\$ 8,474,372.59
2030	0.76	160.10	20519.32	\$ 14,270,508.63	\$ 1,882,814.27	\$ 4,021,793.74	\$ 8,365,900.62
2031	0.75	158.05	20472.13	\$ 14,087,846.12	\$ 1,858,714.25	\$ 3,970,314.78	\$ 8,258,817.09
2032	0.74	156.03	20425.04	\$ 13,907,521.69	\$ 1,834,922.70	\$ 3,919,494.76	\$ 8,153,104.23
2033	0.73	154.03	20378.07	\$ 13,729,505.41	\$ 1,811,435.69	\$ 3,869,325.22	\$ 8,048,744.50
2034	0.72	152.06	20331.20	\$ 13,553,767.74	\$ 1,788,249.32	\$ 3,819,797.86	\$ 7,945,720.57
2035	0.71	150.12	20284.43	\$ 13,380,279.52	\$ 1,765,359.73	\$ 3,770,904.45	\$ 7,844,015.35
2036	0.70	148.19	20237.78	\$ 13,209,011.94	\$ 1,742,763.12	\$ 3,722,636.87	\$ 7,743,611.95
2037	0.69	146.30	20191.23	\$ 13,039,936.59	\$ 1,720,455.75	\$ 3,674,987.12	\$ 7,644,493.72
2038	0.68	144.42	20144.79	\$ 12,873,025.40	\$ 1,698,433.92	\$ 3,627,947.28	\$ 7,546,644.20
2039	0.67	142.58	20098.46	\$ 12,708,250.67	\$ 1,676,693.96	\$ 3,581,509.56	\$ 7,450,047.15
2040	0.67	140.75	20052.23	\$ 12,545,585.06	\$ 1,655,232.28	\$ 3,535,666.24	\$ 7,354,686.55
2041	0.66	138.95	20006.11	\$ 12,385,001.58	\$ 1,634,045.31	\$ 3,490,409.71	\$ 7,260,546.56
2042	0.65	137.17	19960.10	\$ 12,226,473.56	\$ 1,613,129.53	\$ 3,445,732.46	\$ 7,167,611.56
2043	0.64	135.42	19914.19	\$ 12,069,974.69	\$ 1,592,481.47	\$ 3,401,627.09	\$ 7,075,866.14
2044	0.63	133.68	19868.39	\$ 11,915,479.02	\$ 1,572,097.71	\$ 3,358,086.26	\$ 6,985,295.05
2045	0.62	131.97	19822.69	\$ 11,762,960.89	\$ 1,551,974.86	\$ 3,315,102.76	\$ 6,895,883.27

Anexo 10 Factores para el cálculo del proyecto de una planta geotermoeléctrica de 25MW

MW	kw
25.416	25416

Horas al año	Horas efectivas
8760	7446

Energía producida MWh	GWe	Usos propios
179785.1592	179.79	5.00%

Costos de inversión COPAR 2015		
ISC	ISC + ADP	CAIO 10%
1543.00	1821.00	2038.00

Costos de operación & Mtto. COPAR 2015				
	Fijo anual	Total (USD/MWh)	USD /MWh	FP
\$	87,118.00	11.76	65.12	0.85

Inversión total			
ISC+ADP	CAIO 10%	Suma USD	Por año USD
\$	\$	\$	\$
46,282,536.00	51,797,808.00	98,080,344.00	32,693,448.00

Costo de Recurso Geotérmico (USD/MWh)	25.12	DAE	0.0023
---------------------------------------	-------	-----	--------

DAFP	0.0128	Nodo 03TXP-115 PML (\$/MWh)	1693.53
------	--------	-----------------------------	---------

Anexo 11 VPN Centro de Recursos Geotérmicos

	VPN	n	Año
-	385,363.98	0	-1
-	385,363.98	1	0
-	606,870.12	2	1
-	635,674.61	3	2
-	458,838.45	4	3
-	62,473.30	5	4
	568,321.81	6	5
	751,140.83	7	6
	931,406.09	8	7
	1,109,153.27	9	8
	1,284,417.53	10	9
	18,486,034.13	11	10
	20,231,246.57	12	11
	21,952,080.52	13	12
	23,648,876.54	14	13
	25,321,970.39	15	14
	26,971,693.17	16	15
	28,598,371.34	17	16
	30,202,326.81	18	17
	31,783,876.98	19	18
	33,343,334.84	20	19
	34,881,008.98	21	20
	36,397,203.69	22	21
	37,892,219.02	23	22
	39,366,350.81	24	23
	40,819,890.79	25	24

Anexo 12 Equipos principales

Numero	Proceso	Nombre	Tag	Cantidad	Modelo	Capacidad	Material	Costo (USD)	MXN
1	Circuito cerrado de agua	Intercambiador de calor	Hep - 01	1	M6 - MFG	211.5 kW	ALLOY 316	\$ 3,886.00	\$ 84,287.34
2	Circuito cerrado de agua	Bomba centrífuga	Pump - 01	1				\$ 5,000.00	
3	Refrigeración	Sistema de refrigeración por absorción	Absorp - 01	1	WFC - SC5	4 ton	N/A	\$ 35,000.00	\$ 759,150.00
4	Refrigeración	Torre de enfriamiento	Tower - 01	1	494G	328 kW	N/A	\$ 12,930.67	\$ 280,466.23
5	Refrigeración	Ventilador de refrigeración (Fan coil)	Ref - 01	1	HFCF	4 ton	N/A	\$ 682.34	\$ 14,800.00
6	Refrigeración	Bomba centrífuga de recirculación de agua helada	Pump - 02	1					
7	Secador	Ventilador de secado	Vent - 01	1				\$ 750.00	\$ 14,800.00
8	Secador	Intercambiador de calor agua - aire	Hep - 02	1				\$ 1,225.00	\$ 24,500.00
9	Secador	Cámara de deshidratado	Chamb - 01	1				\$ 182.00	\$ 24,500.00
10	Acuicultura	Intercambiador de calor acuicultura	Hep - 03	1	T5-MFG			\$ 1,663.00	\$ 36,070.47
11	Acuicultura	Bomba de circulación de agua acuicola	Pump - 03	1				\$ 500.00	\$ 10,845.00
12	Acuicultura	Tanques de membrana	AcuaT - 01	1	Geotank	22 m3	HDPE	\$ 945.80	\$ 20,514.40
13	Acuicultura	Tanques de membrana	AcuaT - 02	1	Geotank	22 m3	HDPE	\$ 945.80	\$ 20,514.40
14	Acuicultura	Tanques de membrana	AcuaT - 03	1	Geotank	22 m3	HDPE	\$ 945.80	\$ 20,514.40
15	Acuicultura	Sistema de filtración de agua	Filt - 01	1	Fuera del alcance				
16	Acuicultura	Sistema de oxigenación	Oxi - 01	2	Gzling	1 hp	N/A	\$ 1,266.94	\$ 27,479.93
18	CRG	Tanque de reabastecimiento	TR-001	1	Fuera del alcance		-	-	-
19	CRG	Tanque de reabastecimiento acuicultura	TR-002	1	Rotoplas	5,000	Polietileno de alta densidad	\$ 677.10	\$ 13,542.00
20	CRG	Tanque CRG	TR-003	1	Gauris	25,000	FPP	\$ 7,500.00	\$ 150,000.00

Job/Project:	Representative:	
ESP-Systemwize: WIZE-339691	Created On: 08/15/2021	Phone:
Location/Tag:	Email:	
Engineer:	Submitted By:	Date:
Contractor:	Approved By:	Date:

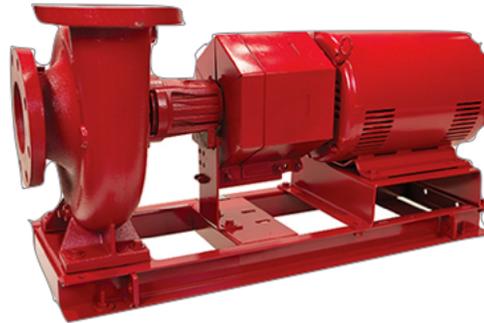
Base Mounted End Suction Pump

Series: e-1510

Model: 1.25BC

Features & Design

- ANSI/OSHA Coupling Guard
- Center Drop Out Spacer Coupling
- Fabricated Heavy Duty Baseplate
- Internally Self-Flushing Mechanical Seal



*The Bell & Gossett Series e-1510 is available in 26 sizes and a variety of configuration options that enable customization and flexibility to fit a broad range of operating conditions.

<http://bellgossett.com/pumps-circulators/end-suction-pumps/e-1510/>

Pump Selection Summary

Duty Point Flow	63.4 US gpm
Duty Point Head	322.68 ft
Control Head	0 ft
Duty Point Pump Efficiency	43.9 %
Part Load Efficiency Value (PLEV)	0.0 %
Impeller Diameter	8.625 in
Motor Power	25 hp
Duty Point Power	12.3 bhp
Motor Speed	3600 rpm
RPM @ Duty Point	3525 rpm
NPSHr	11.2 ft
Minimum Shutoff Head	340 ft
Minimum Flow at RPM	29.5 US gpm
Flow @ BEP	148 US gpm
Fluid Temperature	68 °F
Fluid Type	Water
Weight (approx. - consult rep for exact)	473 lbs
Pump Floor Space Calculation	5.42 ft ²

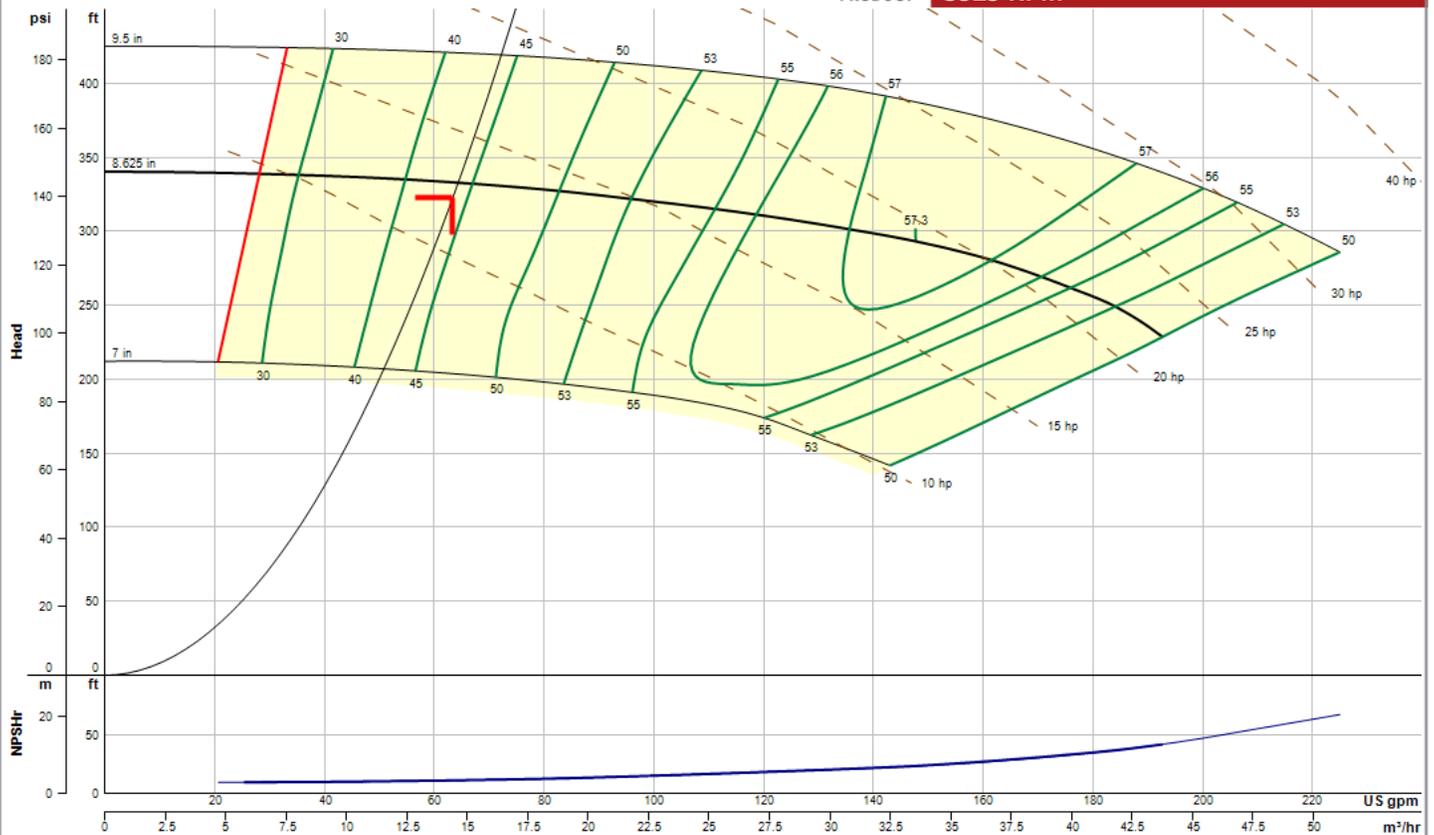
Performance Curve

Energy Efficiency Ratings:

Pump & Motor PEIc: 0.8 ERcI: 20
Pump, Motor & Drive: PEIv: 0.41 ERvI: 59



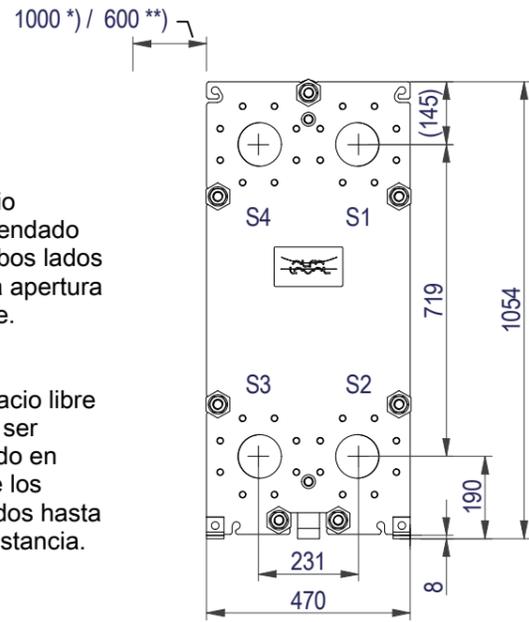
e-1510
1.25BC
3525 RPM



Performance curve meets 14.6 / ISO 9906 acceptance criteria

WIZE-339691

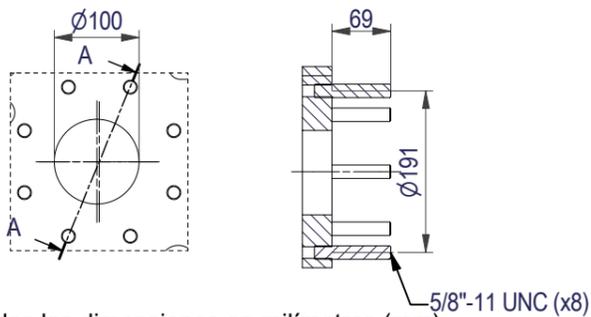
PLACA DE BASTIDOR



*) Espacio recomendado en ambos lados para la apertura y cierre.

**) El espacio libre puede ser reducido en uno de los dos lados hasta esta distancia.

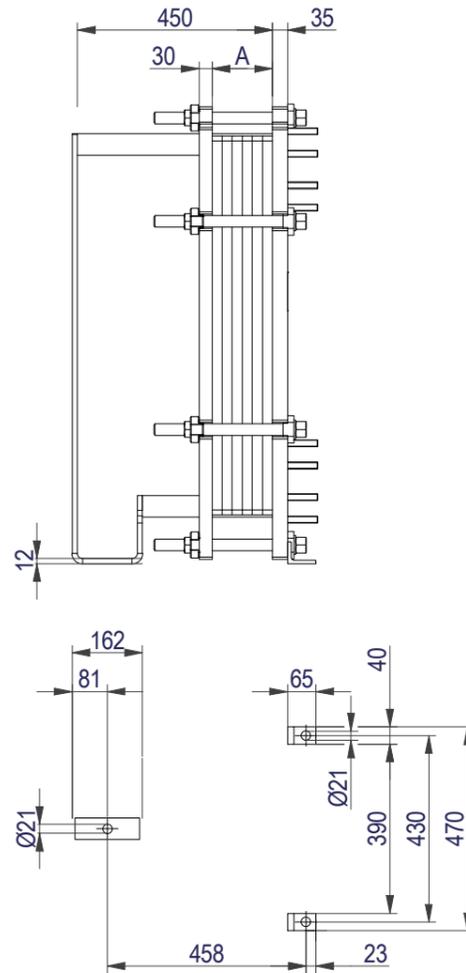
ASME B16.5 Class 150 NPS 4
S1, S2, S3, S4 A-A:



Todas las dimensiones en milímetros (mm)

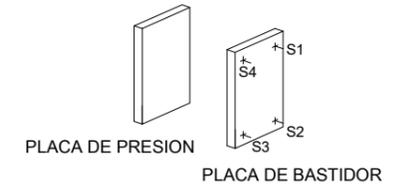
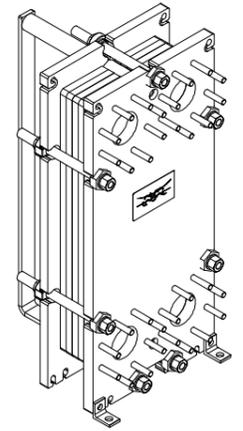
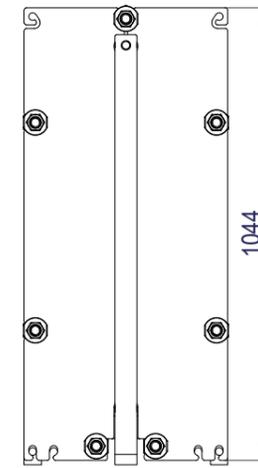
POTENCIA		250.0 kW		NUMERO DE UNIDADES		1		PRESION DE DISEÑO		TEMP. DE DISEÑO		PRESION	TEMP. MAX.
LADO	FLUIDO	ENTRADA	TEMP.	SALIDA	TEMP.	CAUDAL	PERD. CARGA	MAX.	MIN.	MAX.	MIN.	PRUEBA	DE FUNCION
1	Water	S1	Wi 85.0 °C	S2	Wi 81.4 °C	61.92 m³/h	88.8 kPa	10.0 bar	0.0 bar	85.0 °C	0.0 °C	13.0 bar	85.0 °C
2	Water	S3	Na 67.0 °C	S4	Na 82.3 °C	14.40 m³/h	9.3 kPa	10.0 bar	0.0 bar	85.0 °C	0.0 °C	13.0 bar	82.3 °C

¡El espacio entre la placa de presión y la columna de soporte debe mantenerse libre en instalaciones fijas!



PLACA DE PRESION

(MOVIBLE)



PERNOS DE APRIETE 4 x M24, L = 327 mm
3 x M24, L = 327 mm

DIMENSIONES EXTERIORES
 LARGO 570 mm
 ANCHO 480 mm
 ALTO 1050 mm
 PESO APROX. 276 kg
 PESO NETO VACIO 292 kg
 PESO CON AGUA 292 kg
 MAT. DE PLACAS ALLOY 316
 ESPESOR PLACAS 0.5 mm
 JUNTA EPDM Glued
 AREA 5.98 m²



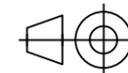
www.alfalaval.com

PLANO INTERCAMBIADOR DE CALOR DE PLACAS Y JUNTAS

T10-BFG

ASME Code Section VIII Div.1

MAWP 10.0 bar at 85.0 °C
 MDMT 0.0 °C at 10.0 bar
 Diseñado y construido acorde a la norma ASME 2019.



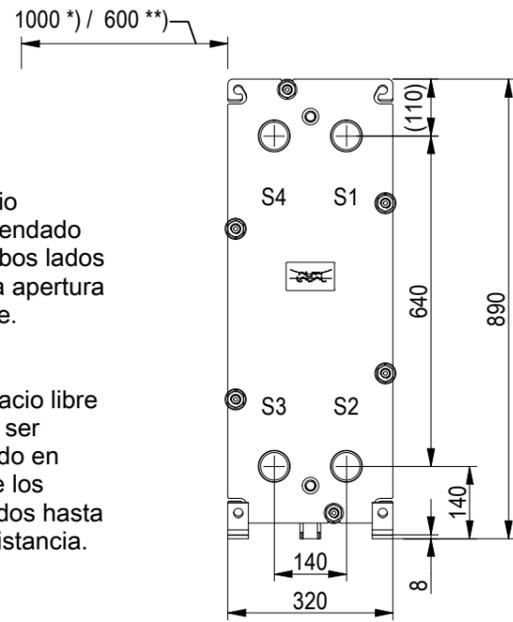
ICP-001

No utilice este dibujo para la instalación de pernos o tuberías.

FECHA 5/6/21
 REVISION 0

El presente documento y su contenido son propiedad de Alfa Laval Corporate AB y están protegidos por las leyes de propiedad intelectual y los derechos relacionados con ellas. El usuario de este documento será responsable de cumplir todas las leyes de propiedad intelectual que sean de aplicación. Sin limitar ninguno de los derechos relacionados con este documento, no se puede copiar, reproducir o transmitir ninguna parte del documento, en ningún formato ni por ningún medio (sea este electrónico, mecánico, por fotocopia, grabación o de cualquier otra índole), ni con ningún tipo de propósito, sin el consentimiento expreso de Alfa Laval Corporate AB. Alfa Laval Corporate AB hará respetar los derechos relacionados con este documento con cuantas acciones judiciales correspondan en derecho, incluida la causa criminal.

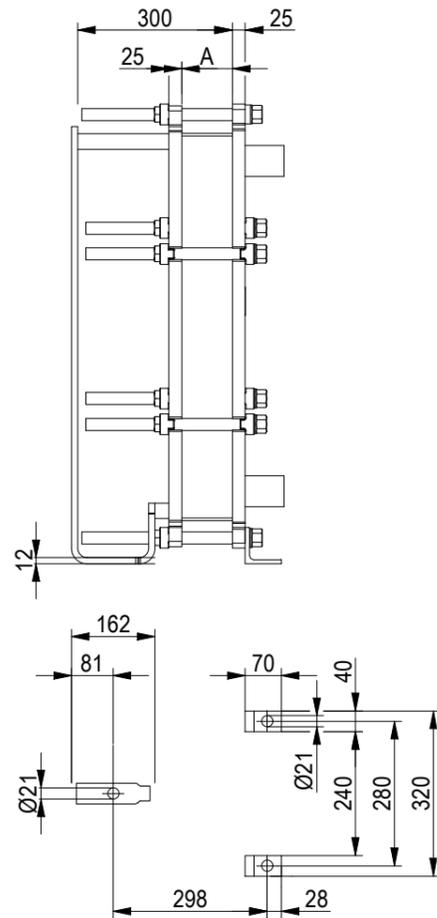
PLACA DE BASTIDOR



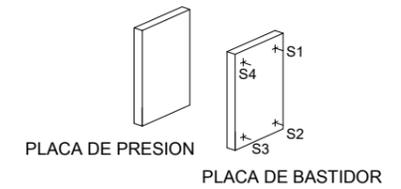
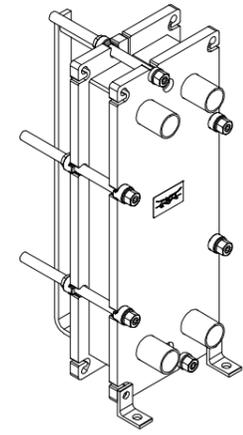
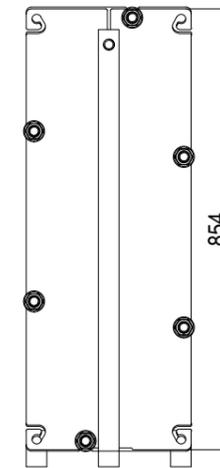
*) Espacio recomendado en ambos lados para la apertura y cierre.

**) El espacio libre puede ser reducido en uno de los dos lados hasta esta distancia.

¡El espacio entre la placa de presión y la columna de soporte debe mantenerse libre en instalaciones fijas!

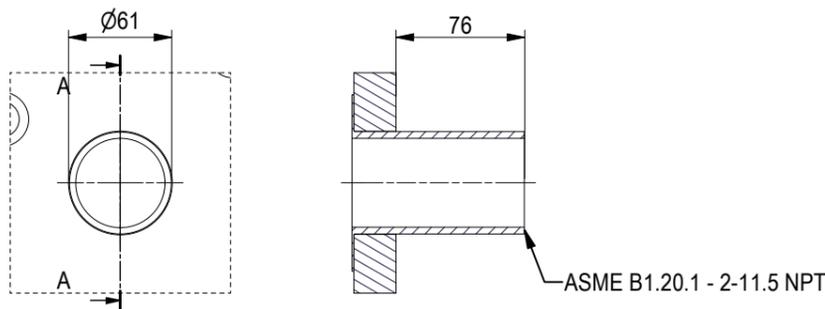


PLACA DE PRESION (MOVIBLE)



ASME B1.20.1 - 2-11.5 NPT, ALLOY 316L, 101 mm
S1, S2, S3, S4

A-A:



PERNOS DE APRIETE 4 x M20, L = 180 mm
2 x M20, L = 180 mm

DIMENSIONES EXTERIORES
 LARGO 440 mm
 ANCHO 330 mm
 ALTO 880 mm
 PESO APROX. 120 kg
 PESO NETO VACIO 123 kg
 PESO CON AGUA 123 kg
 MAT. DE PLACAS ALLOY 304
 ESPESOR PLACAS 0.4 mm
 JUNTA EPDMC ClipGrip™
 AREA 1.80 m²

Todas las dimensiones en milímetros (mm)

POTENCIA		NUMERO DE UNIDADES		PRESION DE DISEÑO		TEMP. DE DISEÑO		PRESION	TEMP. MAX.				
200.0 kW		1		MAX.	MIN.	MAX.	MIN.	PRUEBA	DE FUNCION				
LADO	FLUIDO	ENTRADA	TEMP.	SALIDA	TEMP.	CAUDAL	PERD. CARGA						
1	Water	S1	85.0 °C	S2	72.7 °C	14.40 m³/h	93.4 kPa	10.0 bar	0.0 bar	85.0 °C	0.0 °C	13.0 bar	85.0 °C
2	Water	S3	20.0 °C	S4	44.0 °C	7.20 m³/h	39.1 kPa	10.0 bar	0.0 bar	65.6 °C	0.0 °C	13.0 bar	44.0 °C



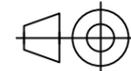
www.alfalaval.com

PLANO INTERCAMBIADOR DE CALOR DE PLACAS Y JUNTAS

T6-BFG

ASME Code Section VIII Div.1

MAWP 10.0 bar at 85.0 °C
 MDMT 0.0 °C at 10.0 bar
 Diseñado y construido acorde a la norma ASME 2019.

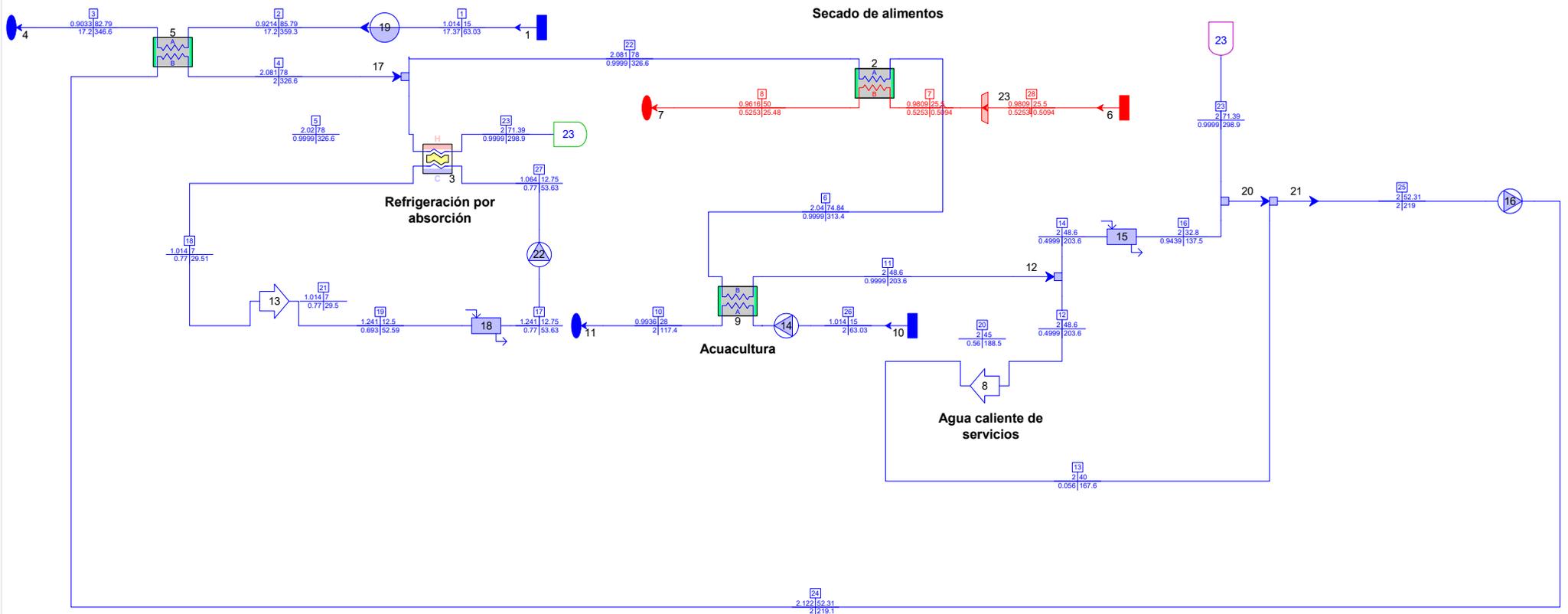


ICP-003
ICP-003

No utilice este dibujo para la instalación de pernos o tuberías.

FECHA 5/6/21
REVISION 0

El presente documento y su contenido son propiedad de Alfa Laval Corporate AB y están protegidos por las leyes de propiedad intelectual y los derechos relacionados con ellas. El usuario de este documento será responsable de cumplir todas las leyes de propiedad intelectual que sean de aplicación. Sin limitar ninguno de los derechos relacionados con este documento, no se puede copiar, reproducir o transmitir ninguna parte del documento, en ningún formato ni por ningún medio (sea este electrónico, mecánico, por fotocopia, grabación o de cualquier otra índole), ni con ningún tipo de propósito, sin el consentimiento expreso de Alfa Laval Corporate AB. Alfa Laval Corporate AB hará respetar los derechos relacionados con este documento con cuantas acciones judiciales correspondan en derecho, incluida la causa criminal.



Net heat rate(HHV)	0 kJ/kWh
Fuel/Heat expense	74.78 USD/hr
Absorption Chiller (Compact) [3] : Current COP	0.67
Absorption Chiller (Compact) [3] : Cooling load	18.58 kW
Absorption Chiller (Compact) [3] : Total heat rejection	46.31 kW
Absorption Chiller (Compact) [3] : Heat stream heat transfer	27.73 kW
General HX-S [2] : Heat transfer	13.11 kW
General HX-S [2] : Actual pinch	28 C
General HX-S [5] : Heat transfer	215.1 kW
General HX-S [5] : Actual pinch	7.794 C
General HX-S [9] : Heat transfer	108.7 kW
General HX-S [9] : Actual pinch	33.6 C
Makeup / Blowdown [15] : Blowdown flow	0 kg/s
Package Boiler [19] : Inlet enthalpy	63.03 kJ/kg
Process w/ Return [13] : Delivery enthalpy	29.5 kJ/kg

Anexo 15 Estimación de inversión en tubería

Línea	Material	Diámetro	Longitud 3 1/2" (m)	Longitud 1 1/2" (m)	Longitud 1" (m)
RAG1	SST316L	3 1/2	8		
RAG2	SST316L	3 1/2	120		
CRG8"	Acero al carbón	1 1/2		70	
CRG3	Acero al carbón	1 1/2		6	
CRG4	Acero al carbón	1 1/2		5	
ABS10	Acero al carbón	1 1/2		5	
ABS11	Acero al carbón	1 1/2		5	
CRG5	Acero al carbón	1	70		
SEC12	Acero al carbón	1	5		
SEC13	Acero al carbón	1	5		
CRG6	Acero al carbón	1 1/2"		10	
ACUA15	Acero al carbón	1 1/2"		20	
ACUA14	Acero al carbón	1 1/2"		50	
CRG8	Acero al carbón	1			5
ACS7	Acero al carbón	1			7
CRG8'	Acero al carbón	1 1/2"			5
AREP9	Acero al carbón	1			10
CRG8'3	Acero al carbón	1 1/2"			10

Total metros	208	171	37	Subtotal
Total (USD)	\$ 2,069.60	\$ 1,359.45	\$ 210.90	\$ 3,639.95

Precio unitario (USD m /pz)		
31/2"	Tubería sin costura acero al carbón a-53-gr b de 2" en ced-40	\$ 9.95
1.5"	Tubería sin costura acero al carbón a-53-gr b de 1 1/2" en ced-40	\$ 7.95
1"	Tubería sin costura acero al carbón a-53-gr b de 1" en ced-40	\$ 5.70
Accesorio	Cantidad	Precio
Tee	20	\$ 6.00
Bridas	50	\$ 8.00
Codos	50	\$ 3.00
Total (USD)		\$ 4,309.95

Anexo 16 Estimación de inversión en instrumentación

No	Area	Tag	Descripción	type	Modelo	Modelo extendido	Precio (USD)
1	Agua Geotérmica	FIC-01	Medidor de flujo	Electromagnético	5P3B80-11C88/0	5P3B80-AAIBAAAFADAE1K0AA1+ADZ1	\$ 3,331.88
2	Agua Geotérmica	CRG-PI-2	Transmisor de presión // indicador local	Celda Cerámica	PMP21-9667/0	PMP21-AA1B1NFVXJ	\$ 361.00
3	Agua Geotérmica	CRG-PI-3	Transmisor de presión // indicador local	Celda cerámica	PMP21-9667/0	PMP21-AA1B1NFVXJ	\$ 361.00
4	Agua Geotérmica	CRG-TI-3	Transmisor de temperatura // indicador local	RTD PT100	TH13-1A22A2E3Z1AK	TH13-1A22A2E3Z1AK	\$ 907.32
5	Refrigeración	REF-TI-1	Transmisor de temperatura // indicador local	RTD PT100	TH11-B8CE3W1AK1		\$ 647.28
6	Refrigeración	REF-PI-1	Transmisor de presión // indicador local	Celda metálica	PMP21-9667/0	PMP21-AA1B1NFVXJ	\$ 361.00
7	Circuito de recirculación	FIC-02	Medidor de flujo	Electromagnético	5P3B40-PD85/0	5P3B40-AAIBAAAFADAE1KGAA1+ADZ1	\$ 2,950.30
8	Circuito de recirculación	CRG-PI-1	Transmisor de presión // indicador local	Celda metálica	PMP21-9667/0	PMP21-AA1B1NFVXJ	\$ 361.00
9	Circuito de recirculación	CRG-TI-1	Transmisor de temperatura // indicador local	RTD PT100	TH11-B8CE3W1AK1		\$ 647.28
10	Circuito de recirculación	CRG-PI-4	Transmisor de presión // indicador local	Celda metálica	PMP21-9667/0	PMP21-AA1B1NFVXJ	\$ 361.00
11	Secador	SEC-TI-01	Transmisor de temperatura // indicador local	RTD PT100	TH11-B8CE3W1AK1		\$ 647.28
12	Secador	FIC-003	Medidor de flujo	Vortex	6F3B1H-1MN7/0	6F3B1H-AAIBAAAFADSAAASGA2+ADZ1	\$ 7,311.14
13	Secador	SEC-TI-02	Transmisor de temperatura // indicador local	RTD PT100	TH11-B8CE3W1AK1		\$ 647.28
14	Circuito de recirculación	CRG-TI-2	Transmisor de temperatura // indicador local	RTD PT100	TH11-B8CE3W1AK1		\$ 647.28
15	Circuito de recirculación	CRG-PI-5	Transmisor de presión // indicador local	Celda metálica	PMP21-9667/0	PMP21-AA1B1NFVXJ	\$ 361.00
16	Circuito de recirculación	CRG-TI-4	Transmisor de temperatura // indicador local	RTD PT100	TH11-B8CE3W1AK1		\$ 647.28
17	Circuito de recirculación	CRG-PI-6	Transmisor de presión // indicador local	Celda metálica	PMP21-9667/0	PMP21-AA1B1NFVXJ	\$ 361.00
18	Acuicultura	ACUA-TI-1	Transmisor de temperatura // indicador local	RTD PT100	TH11-B8CE3W1AK1		\$ 647.28
19	Acuicultura	ACUA-LT-1	Indicador puntual de nivel	Horquilla vibrante	FTL41-70F2/0	FTL41-AAA8AAHAA1AJA1VBJ+Z1	\$ 427.55
20	Acuicultura	ACUA-LT-1	Indicador puntual de nivel	Horquilla vibrante	FTL41-70F2/0	FTL41-AAA8AAHAA1AJA1VBJ+Z1	\$ 427.55
21	Agua caliente de servicios	ACS-PI-1	Transmisor de presión // indicador local	Celda metálica	PMP21-9667/0	PMP21-AA1B1NFVXJ	\$ 361.00
22	Circuito de recirculación	CRG-LI-1	Indicador puntual de nivel	Horquilla vibrante	FTL41-70F2/0	FTL41-AAA8AAHAA1AJA1VBJ+Z1	\$ 427.55
23	Circuito de recirculación	CRG-TI-5	Transmisor de temperatura // indicador local	RTD PT100	TH11-B8CE3W1AK1		\$ 647.28

24	Acuicultura	ACUA-ANA- 1	Sensores de Oxígeno, pH y conductividad	SSP100B-1056/0	SSP100B-AAFA32	\$ 13,692.45
----	-------------	----------------	---	----------------	----------------	-----------------

Anexo 17 Estimación de costos operativos

			Mensual	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Refrigeración								
Costos de producción	Costo de materia prima	No aplica	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
	Costos de mano de obra		\$ 8,000.00	\$ 96,000.00	\$ 96,000.00	\$ 96,000.00	\$ 96,000.00	\$ 96,000.00
	Costos de electricidad		\$ 3,560.78	\$ 42,729.35	\$ 42,729.35	\$ 42,729.35	\$ 42,729.35	\$ 42,729.35
	Mantenimiento		\$ -	\$ 350.00	\$ 350.00	\$ 350.00	\$ 350.00	\$ 350.00
Total				\$ 139,079.35	\$ 139,079.35	\$ 139,079.35	\$ 139,079.35	\$ 139,079.35
Secado de café								
Costos de producción	Costo de materia prima (Café recién cosechado)		\$ -	\$ 120,000.00	\$ 132,000.00	\$ 145,200.00	\$ 159,720.00	\$ 175,692.00
	Costos de mano de obra		\$ 24,000.00	\$ 288,000.00	\$ 316,800.00	\$ 348,480.00	\$ 383,328.00	\$ 421,660.80
	Costos de electricidad		\$ 15,178.82	\$ 182,145.79	\$ 182,145.79	\$ 182,145.79	\$ 182,145.79	\$ 182,145.79
	Mantenimiento		\$ -	\$ 2,718.77	\$ 2,718.77	\$ 2,718.77	\$ 2,718.77	\$ 2,718.77
	Gastos administrativos y ventas		\$ 10,000.00	\$ 120,000.00	\$ 132,000.00	\$ 145,200.00	\$ 159,720.00	\$ 175,692.00
				\$ 592,864.56	\$ 633,664.56	\$ 678,544.56	\$ 727,912.56	\$ 782,217.36

Acuicultura

Costos de producción	Costo de materia prima (Alevines)	\$ 757.93	\$ 9,095.21	\$ 10,004.73	\$ 11,005.21	\$ 12,105.73	\$ 13,316.30
	Alimento	\$ 2,272.67	\$ 27,272.00	\$ 29,999.20	\$ 32,999.12	\$ 36,299.03	\$ 39,928.94
	Costos de mano de obra	\$ 16,000.00	\$ 192,000.00	\$ 211,200.00	\$ 232,320.00	\$ 255,552.00	\$ 281,107.20
	Costos de electricidad	\$ 8,486.86	\$ 101,842.30	\$ 101,842.30	\$ 101,842.30	\$ 101,842.30	\$ 101,842.30
	Mantenimiento	\$ -	\$ 1,276.00	\$ 1,276.00	\$ 1,276.00	\$ 1,276.00	\$ 1,276.00
	Gastos administrativos y ventas	\$ 10,000.00	\$ 120,000.00	\$ 132,000.00	\$ 145,200.00	\$ 159,720.00	\$ 175,692.00
			\$ 331,485.51	\$ 354,322.23	\$ 379,442.62	\$ 407,075.06	\$ 437,470.73

ACS (Agua caliente de servicios)

Costos de producción	Costo de materia prima	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
	Costos de mano de obra	\$ 8,000.00	\$ 96,000.00	\$ 105,600.00	\$ 116,160.00	\$ 127,776.00	\$ 140,553.60
	Costos de electricidad	\$ 3,610.14	\$ 43,321.73	\$ 43,321.73	\$ 43,321.73	\$ 43,321.73	\$ 43,321.73
	Mantenimiento	\$ -	\$ 1,685.75	\$ 1,685.75	\$ 1,685.75	\$ 1,685.75	\$ 1,685.75
			\$ 141,007.48	\$ 141,007.48	\$ 141,007.48	\$ 141,007.48	\$ 141,007.48

Ocio y recreación

Costos de producción	Costo de materia prima	\$ -	\$ -					
	Gastos administrativos	\$ 8,000.00	\$ 96,000.00	\$ 105,600.00	\$ 115,200.00	\$ 124,800.00	\$ 134,400.00	
	Costos de electricidad	\$ 4,386.02	\$ 52,632.27	\$ 52,632.27	\$ 52,632.27	\$ 52,632.27	\$ 52,632.27	
	Mantenimiento	\$ -	22680	22680	22680	22680	22680	22680
			\$ 171,312.27	\$ 180,912.27	\$ 190,512.27	\$ 200,112.27	\$ 209,712.27	
	Total		\$1,073,833.05	\$1,253,906.49	\$1,450,067.28	\$1,663,924.15	\$1,897,246.70	