



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Comparativa de costos entre dos
configuraciones diferentes de la
bomba de calor geotérmica**

Tesis

Que para obtener el título de

Ingeniera mecánica

P R E S E N T A

Mayari Yamareli Martínez Rodríguez

DIRECTOR(A) DE TESIS

DR. Héctor Miguel Aviña Jiménez



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2023

Resumen

La contaminación ambiental es uno de los principales problemas que se está dando a nivel global desde ya hace mucho tiempo, afectando a todo el planeta, a su biodiversidad y a la salud de las personas. Se tiene la creencia que los mayores contaminantes y causantes de las emisiones de gases de efecto invernadero es el sector energético, la industria y el transporte, sin embargo, el mayor causante de emisiones totales de gases de efecto invernadero es el sector residencial y servicios, los cuales alcanzan una contribución del 14% según datos del el Inventario de emisiones GEI publicado en IHOBE. Esto se debe a que nuestro actual modo de vida se basa en un modelo energético centrado en el consumo de combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón) y en el uso irracional de la energía. Según la CFE en México los aparatos que más consumen energía eléctrica dentro del sector residencial y servicios son los aires acondicionados y refrigeradores.

En el mundo el uso de sistemas de acondicionamiento térmico de espacios mediante aires acondicionados operadas con combustibles fósiles representa el 20% de emisiones de GEI, en México representa el 71%. La implementación de la energía geotérmica para la climatización de espacios permitiría la reducción del 45% de GEI. Con la fabricación de las bombas de calor geotérmicas se pretende disminuir el uso de la energía eléctrica en el sector residencial y servicios. Esto es debido a que la bomba de calor geotérmica aprovecha las temperaturas del subsuelo para climatizar cualquier lugar, esto mediante intercambiadores de calor subterráneos, los cuales son aquellos que realizan la transferencia de calor entre el recurso geotérmico y el refrigerante, y entre el refrigerante y el aire. En el laboratorio de grupo iiDEA actualmente se están desarrollando equipos de climatización de 3TR operados con energía geotérmica que permitirán implementarse en aplicaciones de climatización del sector hotelero, así como preservación de alimentos en zonas del trópico.

En este trabajo se hablará de los costos de la manufactura artesanal de una BCG, así como los diseños que se han realizado de manera artesanal en el laboratorio de grupo iiDEA, los tipos de procesos de manufactura que se utilizaron para su construcción, los materiales y componentes que integran a este sistema termodinámico.

Objetivos generales y específicos

Objetivo General

- Se realizará la comparativa de estudio económico entre dos diseños diferentes de bombas de calor geotérmicas, manufacturadas en grupo iiDEA.

Objetivos Específicos

- Se realizará una investigación del incremento del uso de la bomba de calor geotérmica a nivel nacional e internacional.
- Conocer los tipos de manufactura que existen en la industria
- Se compararán los elementos de dos diseños diferentes de una bomba de calor geotérmica para observar la diferencia del funcionamiento de cada una.
- Se realizará un análisis y comparación de costos entre los dos diseños de la bomba de calor geotérmica.
- Se mencionarán los procesos de manufactura que se realizaron al hacer la bomba de calor geotérmica

Tabla de Contenido

Resumen	2
Objetivos generales y específicos.....	3
Nomenclatura.....	14
Capítulo 1 Estado del arte de la bomba de calor	14
Introducción	14
1.1.- Definición de la bomba de calor.....	14
1.1.2.- Clasificación de una bomba de calor	15
1.1.3.- Funcionamiento de una bomba de calor	16
1.1.4. Coeficiente de rendimiento	22
1.2.- Bomba de calor a nivel mundial.....	23
1.2.1.- Bombas de calor en México	25
1.3.- Mercado global de las bombas de calor geotérmicas.	27
1.3.1.- Inversión total en geotérmica tanto para energía eléctrica como uso para directo durante el periodo 2015-2019	32
1.3.2.- Empresas en el mercado de la bomba geotérmica	34
1.2.3.- Capacidades de bombas de calor. BTU/h por m²	37
1.4.- Conclusiones.....	38
Capítulo 2 Procesos de manufactura	39
Introducción.....	39
2.1.- Manufactura.....	39
2.1.1.- Tipos de manufactura	39
2.2.- Procesos de manufactura	42
2.2.1.- Definición	42

2.2.2.- Clasificación de los procesos de manufactura	42
2.2.3.- Tipos de proceso de manufactura	43
2.3.- Diagramas de procesos.	44
2.3.1.- Simbología de los diagramas de procesos.	46
2.4.- Proceso de fabricación industrial de las bombas de calor	47
2.5.- Proceso de fabricación de los intercambiadores de calor	52
2.6.- Conclusiones.....	53
Capítulo 3 Análisis comparativo de elementos de diseño.	54
Introducción	54
3.1.- Definición y características de los equipos de la bomba de calor	54
3.1.1.- Compresor tipo Scroll	54
3.1.2.- Válvula de 4 vías	56
3.1.3.- Intercambiador de calor de placas planas interno (Condensador)	56
3.1.4.- Filtro	57
3.1.5.- Mirilla	58
3.1.6.- Válvula de expansión	59
3.1.7.- Distribuidor de refrigerante	60
3.1.8.- Intercambiador de calor externo flujo cruzado (Evaporador)	61
3.1.9.- Ventilador centrífugo	62
3.2.- Diseños de la bomba de calor geotérmica	64
3.2.1.- Primer diseño de la bomba de calor geotérmica	64
3.2.2.- Segundo diseño de la bomba de calor geotérmica	80
3.3.- Pruebas de presiones y temperaturas de los prototipos	85
3.3.1.- Pruebas en el primer diseño	85
3.3.2.- Pruebas en el segundo diseño	88

3.3.3.- Comparación entre el primer diseño y segundo diseño en las pruebas	90
3.4.- Conclusión	91
Capítulo 4 Análisis económico de la manufactura manual de la bomba de calor	91
Introducción	91
4.1.- Definiciones de costos	92
4.1.1.- Costos	92
4.1.2.- Costo de producción	92
4.1.3.- Catálogo de conceptos	93
4.2.- Costos de producción de la bomba de calor geotérmica de grupo iiDEA	95
4.2.1.- Costos del primer diseño de la bomba de calor geotérmica	99
4.2.2.- Costos del segundo diseño de la bomba de calor geotérmica	107
4.2.3.- Catálogo de conceptos del primer diseño de la bomba de calor geotérmica	112
4.2.4.- Catálogo de conceptos del segundo diseño de la bomba de calor geotérmica	113
4.2.5.- Costos a granel del primer diseño de la bomba de calor geotérmica	114
4.2.6.- Costos a granel del segundo diseño de la bomba de calor geotérmica	115
4.3.- Conclusión	116
Capítulo 5 Proceso de manufactura de la bomba de calor de grupo iiDEA	117
Introducción	117
5.1.- Definiciones.....	117
5.1.1.- Corte de lámina	117
5.1.2.- Taladrado	118
5.1.3.- Soldadura	120
5.2.- Procesos de manufactura realizados en la bomba de calor geotérmica grupo iiDEA	123

5.2.1.- Primera configuración de la BCG	124
5.2.2.- Segunda configuración de la BCG	132
5.3.- Conclusión	140
Capítulo 6 Conclusiones	141
ANEXOS	143
Anexo A	144
Anexo B	145
Anexo C	146
Anexo D	147
Bibliografía	148

Lista de Figuras

FIGURA 1-1. DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE UNA BOMBA DE CALOR (ALFONSO GARCÍA GUTIÉRREZ E IGNACIO MARTÍNEZ ESTRELLA, 2012)	17
FIGURA 1-2. PEÑA, A. (2021). ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE LA BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA. RECUPERADO DE HTTPS://WWW.CALORYFRIO.COM/ENERGIAS-RENOVABLES/GEOTERMIA/BOMBA-DE-CALOR-GEOTERMICA-FUNCIONAMIENTO-INSTALACION.HTML	18
FIGURA 1-3. DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE UNA BCG (GARCÍA, A. & MARTÍNEZ, I. (2012). ESTADO ACTUAL DE DESARROLLO DE LAS BOMBAS DE CALOR GEOTÉRMICO.....	19
FIGURA 1-4. GRUPO VISIONA. (2020). FUNCIONAMIENTO DE LA BOMBA DE CALOR EN INVIERNO (CALOR). RECUPERADO DE HTTP://WWW.GRUPOVISIONA.COM/ES/GEOTERMIA/APLICACIONES-GEOTERMIA	20
FIGURA 1-5. GRUPO VISIONA. (2020). FUNCIONAMIENTO DE LA BOMBA DE CALOR EN VERANO (FRÍO). RECUPERADO DE HTTP://WWW.GRUPOVISIONA.COM/ES/GEOTERMIA/APLICACIONES-GEOTERMIA	22

FIGURA 1-6. COMPARACIÓN DEL USO DIRECTO MUNDIAL DE ENERGÍA GEOTÉRMICA EN TJ/AÑO DE 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 Y 2020. (JOHN W. LUND AND ANIKO N. TOTH, 2021).	24
FIGURA 1-7. RESUMEN DE LOS USOS DIRECTOS EN LOS QUE SE EMPLEA GENERALMENTE LA GEOTERMIA (2021).....	26
FIGURA 1-8. EVOLUCIÓN MUNDIAL DE LA CAPACIDAD INSTALADA (IZQUIERDA) Y GENERACIÓN DE ENERGÍA TÉRMICA (DERECHA) DE LAS BCG HASTA EL AÑO 2010. (GEOTERMIA, 2012)	28
FIGURA 1-9. MAPA DONDE MUESTRA LAS TASAS DE CRECIMIENTO EN EL MERCADO DE LAS BOMBAS DE CALOR EN EL MUNDO. (MORDOR INTELLIGENCE, 2022).....	29
FIGURA 1-10. GRÁFICA POR APLICACIÓN DE LA BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA A NIVEL GLOBAL. (MARKET ANALYSIS REPORT, 2021).....	30
FIGURA 1-11. GRÁFICA DEL CONSUMO ENERGÉTICO HASTA EL AÑO 2050 EN EUROPA.....	31
FIGURA 1-12. INVERSIONES EN LA ENERGÍA GEOTÉRMICA POR CONTINENTE.....	33
FIGURA 1-13. VENTAS GLOBALES DE LA BOMBA DE CALOR. (JOSH GABBATISS, 2019).....	33
FIGURA 3-1. PARTES QUE CONFORMAN A UN COMPRESOR TIPO SCROLL.....	55
FIGURA 3-2. FUNCIONAMIENTO DE LA VÁLVULA REVERSIBLE O VÁLVULA DE 4 VÍAS EN LA BOMBA DE CALOR. A) CICLO DE CALEFACCIÓN. B) CICLO DE ENFRIAMIENTO. (CLIMAS MONTERREY, 2022).....	56
FIGURA 3-3. FUNCIONAMIENTO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE PLACAS PLANAS. (ALFA LAVAL, 2022).....	57
FIGURA 3-4. FILTRO DESHIDRATADOR DE LÍQUIDOS UNIDIRECCIONAL.....	57
FIGURA 3-5. MIRILLA INDICADORA DE HUMEDAD LÍQUIDO.....	59
FIGURA 3-6. PARTES DE UNA VÁLVULA DE EXPANSIÓN TERMOSTÁTICA (CERO GRADOS, 2017)	60
FIGURA 3-7. DISTRIBUIDOR DE REFRIGERANTE.....	60
FIGURA 3-8. INTERCAMBIADOR DE CALOR DE FLUJO CRUZADO, TAMBIÉN LLAMADO RADIADOR O BATERIA DE INTERCAMBIO.....	62
FIGURA 3-9. TIPOS DE VENTILADORES CENTRÍFUGOS.....	64
FIGURA 3-10. DISEÑO EN CAD DEL PRIMER DISEÑO DE LA BOMBA DE CALOR.....	65

FIGURA 3-11. DIAGRAMA DEL PRIMER DISEÑO DE LA BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA (DISEÑO PROPIO)	65
FIGURA 3-12. LÁMINAS DE ACERO AL CARBÓN (PANEL Y ACANALADOS MONTERREY, 2020)	67
FIGURA 3-13. LÁMINAS DE ACERO ALEADO.....	67
FIGURA 3-14. LÁMINAS DE ACERO INOXIDABLE.	68
FIGURA 3-15. LÁMINAS DE ACERO GALVANIZADO	70
FIGURA 3-16. COMPRESOR RECRIPROCANTE O ALTERNO (AIRE ACONDICIONADO, 2017).....	71
FIGURA 3-17. COMPRESOR ROTATIVO. (AIRE ACONDICIONADO, 2017)	72
FIGURA 3-18. COMPRESOR CENTRÍFUGO. (AIRE ACONDICIONADO, 2017).....	72
FIGURA 3-19. COMPRESOR DE TORNILLO. (AIRE ACONDICIONADO, 2017).....	73
FIGURA 3-20. COMPRESOR TIPO SCROLL	74
FIGURA 3-21. TABLA DE LA SELECCIÓN DEL COMPRESOR TIPO SCROLL	74
FIGURA 3-22. TABLA DE SELECCIÓN DE VÁLVULA DE EXPANSIÓN TERMOSTÁTICA.....	75
FIGURA 3-23. TABLA DE LA SELECCIÓN DE LA VÁLVULA DE 4 VÍAS.....	75
FIGURA 3-24. TABLA DE LA SELECCIÓN DEL FILTRO DESHIDRATADOR.	76
FIGURA 3-25. TABLA DE LA SELECCIÓN DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR DE PLACAS PLANAS	77
FIGURA 3-26. TABLA DE LA SELECCIÓN DEL DISTRIBUIDOR DEL REFRIGERANTE	77
FIGURA 3-27. TABLA DE LA SELECCIÓN DEL VENTILADOR CENTRÍFUGO.....	78
FIGURA 3-28. DISEÑO EN CAD DEL SEGUNDO DISEÑO DE LA BCG.	80
FIGURA 3-29. DISEÑO EN SOLIDWORKS DEL SISTEMA DE LA BOMBA DE CALOR CON DOS VET Y DOS VÁLVULAS CHECK, MODO VERANO. (VER ANEXO D Y C).....	81
FIGURA 3-30. TABLA DE LA SELECCIÓN DE DOS VÁLVULAS DE EXPANSIÓN	82
FIGURA 3-31. TABLA DE LA SELECCIÓN DEL FILTRO DESHIDRATANTE.....	83
FIGURA 3-32. VÁLVULA CHECK UTILIZADA EN LA BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA	83
FIGURA 3-33. COMPARACIÓN DE DISEÑO DEL SISTEMA DE LA BCG ENTRE EL PRIMERO Y LA SEGUNDA CONFIGURACIÓN.....	85
FIGURA 3-34. DIAGRAMA DE COLOCACIÓN DE LOS SENSORES DE PREIÓN ALTA Y BAJA DEL PRIMER DISEÑO DE LA BOMBA DE CALOR.....	86
FIGURA 3-35. GRÁFICA DE PRESIÓN BAJA (PROMEDIO) – PRESIÓN ALTA (PROMEDIO) Y TABLA DE DATOS DE LAS TEMPERATURAS Y HUMEDAD (PROMEDIO)	87

FIGURA 3-36. DIAGRAMA DE COLOCACIÓN DE LOS SENSORES DE PREIÓN ALTA Y BAJA DEL SEGUNDO DISEÑO DE LA BOMBA DE CALOR	88
FIGURA 3-37. MUESTRA DE LOS DATOS DE ALGUNAS PRUEBAS REALIZADAS EN EL SEGUNDO DISEÑO DE LA BOMBA DE CALOR, LOS CUALES INCLUYEN PRESIONES, TEMPERATURAS Y CAUDALES.....	89
FIGURA 3-38. GRÁFICA DE PRESIÓN BAJA (PROMEDIO) – PRESIÓN ALTA (PROMEDIO) Y TABLA DE DATOS DE LAS TEMPERATURAS, FLUJO DEL AGUA Y HUMEDAD (PROMEDIO).	90
FIGURA 3-39. COMPARACIÓN DE PRESIONES DE ALTA Y BAJA DEL PRIMER (A) Y SEGUNDO DISEÑO (B).....	90
FIGURA 4-1. EJEMPLO DE UN FRAGMENTO DE UN CATÁLOGO DE CONCEPTOS (ESTUDIO METRO, 2018).....	95
FIGURA 4-2. PRIMER DISEÑO DE LA BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA EN GRUPO IIDEA.	107
FIGURA 4-3. SEGUNDO DISEÑO DE LA BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA MANUFACTURADA EN IIDEA.....	107
FIGURA 5-1. DIAGRAMA DE LOS TANQUES DE LA SOLDADURA DE OXIACETILENO.	123
FIGURA 5-2. PRIMERA CONFIGURACIÓN DE LA BCG HECHA EN GRUPO IIDEA	124
FIGURA 5-3. PLANO DE LA ESTRUCTURA DE LA BCG PARA 3 TR	125
FIGURA 5-4. PTR EN PROCESO DE SER SOLDADO (DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA 3 TR, 2022).....	125
FIGURA 5-5. SIERRA DE DISCO O TRONZADORA DE METAL (DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA 3 TR, 2022)	126
FIGURA 5-6. PLANO DE LAS TAPAS DE ACERO GALVANIZADO PARA LA ESTRUCTURA DE LA BCG (PARA UNA MEJOR VISTA SE PRESENTARÁN LOS PLANOS EN LOS ANEXOS DE ESTE TRABAJO)	126
FIGURA 5-7. CORTE DE LÁMINA DE ACERO GALVANIZADO CON AYUDA DE LA SIERRA CALADORA (DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA 3 TR, 2022).....	127
FIGURA 5-8. TAPAS DE ACERO GALVANIZADO COLOCADAS EN LA ESTRUCTURA DE PTR (DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA 3 TR, 2022).....	127

FIGURA 5-9. PLANO DEL ACOMODO DE LOS COMPONENTES EN TODA LA CARCASA EN DIFERENTES VISTAS. (DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA 3 TR, 2022).....	128
FIGURA 5-10. COLOCACIÓN DEL AISLANTE TÉRMICO EN EL INTERIOR DE LAS TAPAS DE ACERO GALVANIZADO. (DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA 3 TR, 2022).....	128
FIGURA 5-11. CAD DEL DISEÑO DE TUBERÍAS DE LA BCG 3 TR.	129
FIGURA 5-12. CORTATUBO. COMO SU NOMBRE LO DICE SIRVE PARA CORTAR TUBOS DE COBRE	130
FIGURA 5-13. INTERCONEXIÓN Y ACOMODAMIENTO DE LOS TRAMOS DE TUBERÍA DE COBRE. (DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA 3 TR, 2022).....	130
FIGURA 5-14. TUBERÍA DE COBRE SOLDADA CON SOLDADURA DE PLATA Y OXI-ACETILENO. (DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA 3 TR, 2022).....	131
FIGURA 5-15. BCG FINAL. (DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA 3 TR, 2022).....	132
FIGURA 5-16. SEGUNDA CONFIGURACIÓN DE LA BCG HECHA EN GRUPO IIIDEA	132
FIGURA 5-17. PTR DE LA SEGUNDA CONFIGURACIÓN SOLDADO.....	133
FIGURA 5-18. CORTE DE LÁMINA DE ACERO GALVANIZADO CON ESMERIL.	134
FIGURA 5-19. BASE DE LA CARCASA REMACHADA Y PAREDES LATERALES CON LÁMINA DOBLA Y ATORNILLADA EN LA PARTE INFERIOR EN PERFIL ANGULAR.....	134
FIGURA 5-20. DIVISIÓN DE LA BCG.	135
FIGURA 5-21. COLOCACIÓN DEL AISLANTE TÉRMICO EN EL INTERIOR DE LAS TAPAS DE ACERO GALVANIZADO.....	136
FIGURA 5-22. CORTE DE AISLANTE TÉRMICO.....	136
FIGURA 5-23. CAD DEL DISEÑO DE TUBERÍAS DE LA BCG 3 TR.	137
FIGURA 5-24. CORTATUBO. COMO SU NOMBRE LO DICE SIRVE PARA CORTAR TUBOS DE COBRE	138
FIGURA 5-25. INTERCONEXIÓN Y ACOMODAMIENTO DE LOS TRAMOS DE TUBERÍA DE COBRE	138
FIGURA 5-26. TUBERÍA DE COBRE SOLDADA CON SOLDADURA DE PLATA Y OXI-ACETILENO.	139

Lista de Tablas

TABLA 1-1. TABLA DE PRECIOS DE LA BOMBA DE CALOR EN EL MERCADO CON CAPACIDADES DE 3 TON (36,000 BTUs) Y 10 TON (120,000 BTUs). LOS PRECIOS FUERON OBTENIDOS DEL PROVEEDOR CLIMAS MONTERREY.	35
TABLA 1-2. PRECIO DE MINISPLIT INVERTER DE 3 TON DE DIFERENTES MARCAS.	36
TABLA 1-3. APROXIMACIONES DE CAPACIDADES DE LA BOMBA DE CALOR. BTU/H POR M2 (TOTAL CLIMA, 2018).	37
TABLA 2-1. CLASIFICACIÓN DE LOS PROCESOS DE MANUFACTURA.	44
TABLA 2-2. SIMBOLOGÍA USADA EN LOS DIAGRAMAS DE PROCESOS.	47
TABLA 3-1. DIMENSIONAMIENTO, NÚMERO DE TUBOS Y ALETAS PARA EL INTERCAMBIADOR DE CALOR REFRIGERADO POR AIRE	78
TABLA 3-2. COMPONENTES SELECCIONADOS PARA EL SISTEMA DE LA BOMBA DE CALOR Y MATERIAL UTILIZADO PARA LA CARCASA DEL PRIMER DISEÑO.	79
TABLA 3-3. COMPONENTES SELECCIONADOS PARA EL SISTEMA DE LA BOMBA DE CALOR Y MATERIAL UTILIZADO PARA LA CARCASA DEL SEGUNDO DISEÑO.	84
TABLA 3-4. PRESIONES EXPERIMENTALES DE LA BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA PRIMER DISEÑO	86
TABLA 4-1. TABLA GENERAL DE ELEMENTOS UTILIZADOS PARA LA MANUFACTURA DE LOS DIFERENTES DISEÑOS DE LA BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA	98
TABLA 4-2. LISTA DE COMPONENTES Y ACCESORIOS UTILIZADOS EN LA MANUFACTURA DEL PRIMER DISEÑO DE LA BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA.	100
TABLA 4-3. LISTA DE CONSUMIBLES UTILIZADOS EN LA MANUFACTURA DEL PRIMER DISEÑO DE LA BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA.	101
TABLA 4-4. LISTA DE COMPONENTES ELÉCTRICOS BÁSICA DE LA BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA	103
TABLA 4-5. LISTA DE COMPONENTES ELÉCTRICOS COMPLETOS DE LA BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA	105

TABLA 4-6. COSTOS COMPARATIVOS DE LA BOMBA DE CALOR SIN PARTE ELÉCTRICA, CON PARTE ELÉCTRICA BÁSICA Y CON PARTE ELÉCTRICA COMPLETA.	106
TABLA 4-7. LISTA DE COMPONENTES Y ACCESORIOS UTILIZADOS EN LA MANUFACTURA DEL SEGUNDO DISEÑO DE LA BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA.	109
TABLA 4-8. LISTA DE CONSUMIBLES UTILIZADOS EN LA MANUFACTURA DEL SEGUNDO DISEÑO DE LA BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA.	110
TABLA 4-9. TABLA DE COSTOS DEL SEGUNDO DISEÑO DE LA BCG SIN PARTE ELÉCTRICA, CON PARTE ELÉCTRICA BÁSICA Y PARTE ELÉCTRICA COMPLETA.	111
TABLA 4-10. COMPARATIVA DE COSTOS ENTRE AMBOS DISEÑOS.	111
TABLA 4-11. CATÁLOGO DE CONCEPTOS DEL PRIMER DISEÑO DE LA BOMBA DE CALOR.	112
TABLA 4-12. CATÁLOGO DE CONCEPTOS DEL SEGUNDO DISEÑO DE LA BOMBA DE CALOR...	113
TABLA 4-13. COMPARATIVA DE COSTOS DEL CATÁLOGO DE CONCEPTOS ENTRE DISEÑOS...	114
TABLA 4-14. TABLA COMPARATIVA DE COSTOS DE 1 BOMBA VS COSTOS DE 200 BOMBAS DE CALOR.	115
TABLA 4-15. COMPARATIVA DE COSTOS DE 1 BOMBA VS COSTOS DE 200 BOMBAS DE CALOR	115
TABLA 4-16. COMPARACIÓN DE COSTOS A GRANEL ENTRE EL PRIMER Y SEGUNDO DISEÑO.	116

Nomenclatura

BC – Bomba de calor	IT – Importe total
BCG – Bomba de calor geotérmica	Subíndices
ACS – Agua caliente sanitaria	CO – Condensador
COP – Coeficiente de rendimiento	EV – Evaporador
Q – Calor	H – Alta
W – Trabajo del compresor	L – Baja
P – Presión	MM – Lista de materiales para la manufactura de la BCG 3TR
T – Temperatura	Cn – Lista de consumibles
H – Humedad	el – Parte eléctrica
CT – Costo total	

Capítulo 1 Estado del arte de la bomba de calor

Introducción

En este capítulo se hablará sobre el avance que ha tenido la energía geotérmica a nivel nacional e internacional, pero enfocándose más al uso directo de esta energía, como lo son las bombas de calor. También se hará una breve mención sobre la definición de una bomba de calor, su funcionamiento y su clasificación, así como las empresas que lo fabrican y los costos de las bombas de calor geotérmicas que se manejan en el mercado europeo, estadounidense y en México.

1.1.- Definición de la bomba de calor.

Una bomba de calor (BC) es una máquina térmica que enfría o calienta el aire según el clima del exterior, es decir, en invierno extrae el calor del exterior depositándolo en el interior del recinto (lugar que se quiera climatizar), mientras que en verano extrae el calor

del recinto depositándolo o liberándolo en el exterior. En otras palabras, la BC está diseñada para propósitos de calentamiento y de enfriamiento, extrayendo calor de una fuente a una cierta temperatura, y la entrega a una temperatura de confort¹. (A. García-Gutiérrez, R.M. Barragán-Reyes y V. Arellano-Gómez , 2008)

Otra definición que se podría dar sobre una bomba de calor es la siguiente. La bomba de calor es una maquina térmica que se caracteriza por ser calefactor y aire acondicionado, consiguiendo así la temperatura perfecta o temperatura de confort tanto en invierno, como en verano, también con ella se puede obtener agua caliente sanitaria, todo con un mismo equipo de una forma sencilla, económica y respetuosa con el medio ambiente. (Asociación de fabricantes de equipos de climatización, 2020).

1.1.2.- Clasificación de una bomba de calor

Las bombas de calor se pueden clasificar fundamentalmente en tres tipos según la naturaleza del medio con el que intercambian calor en el exterior:

1. Bomba de calor aerotérmica: obtienen el calor de la energía contenida en el aire ambiente.
2. Bombas de calor hidrotérmica: extraen el calor de la energía de aguas superficiales, como lagos, mares y ríos.
3. Bomba de calor geotérmica: las bombas de calor geotérmicas obtienen el calor de la energía del subsuelo.

Las bombas de calor geotérmicas y las bombas de calor hidrotérmicas están encasilladas bajo el mismo tipo, puesto que suelen utilizar agua como fluido caloportador para el intercambio de calor con el exterior; si bien en las bombas de calor geotérmicas circula por dentro de un intercambiador cerrado que penetra en el terreno (sonda geotérmica), mientras que las bombas de calor hidrotérmicas pueden realizar un intercambio abierto directamente con el medio hidráulico (aunque no es lo habitual). Consecuentemente ambas utilizan

¹ La temperatura de confort es una correlación entre la satisfacción de una persona y el ambiente térmico en el interior de una vivienda o edificio, este se sitúa entre los 18°C y los 26°C. La temperatura de confort en verano es de 23°C - 26°C y la de invierno es de 20°C – 23.5°C.

intercambiadores gas refrigerante – agua, que suelen ser del tipo “de placas,” multitubulares” o “coaxiales”. Pero ambas son prácticamente las mismas versiones de los equipos y como tal suelen considerarse bajo la denominación de bombas de calor geotérmicas. (Asociación de fabricantes de equipos de climatización, 2020).

1.1.3.- Funcionamiento de una bomba de calor

En este apartado se hablará del funcionamiento de una Bomba de Calor de manera general, para después pasar al funcionamiento técnico de la Bomba de Calor Geotérmica (BCG).

El funcionamiento de una bomba de calor se basa en la termodinámica, es decir, en el transporte de energía en forma de calor de un ambiente a otro, para ello, la bomba de calor toma la energía del entorno natural (ya sea del aire, el agua o la tierra) y la transporta al interior de los recintos calentándolos, es decir, en invierno, capta el calor del exterior y lo transfiere a los espacios interiores para calefactarlos y en verano lleva el calor del interior de los recintos hacia el exterior, refrescándolos.

La bomba de calor está formada por un circuito cerrado que contiene refrigerante que absorbe y cede calor en sus cambios de fase, es decir, pasa de estado gaseoso a líquido y viceversa. Este circuito se denomina circuito frigorífico y está formado por los siguientes componentes principales:

- Evaporador: Es un intercambiador de calor en el que se produce el cambio de fase del refrigerante de líquido a vapor absorbiendo calor.
- Compresor: Es una máquina que, utilizando un trabajo exterior, comprime fluidos compresibles, incrementando su presión.
- Condensador: Es un intercambiador de calor en el que se produce el cambio de fase del refrigerante de vapor a líquido cediendo calor.
- Válvula de Expansión: Es un regulador de la entrada al evaporador del refrigerante líquido procedente del condensador.
- Válvula Reversible: Permite que la bomba de calor pueda utilizarse como calefactor o como aire acondicionado.

A continuación, se muestra un esquema de una bomba de calor con sus tres partes principales: 1) el espacio acondicionado, 2) la bomba de calor misma y 3) la fuente/sumidero de calor. (Alfonso García Gutiérrez e Ignacio Martínez Estrella, 2012)

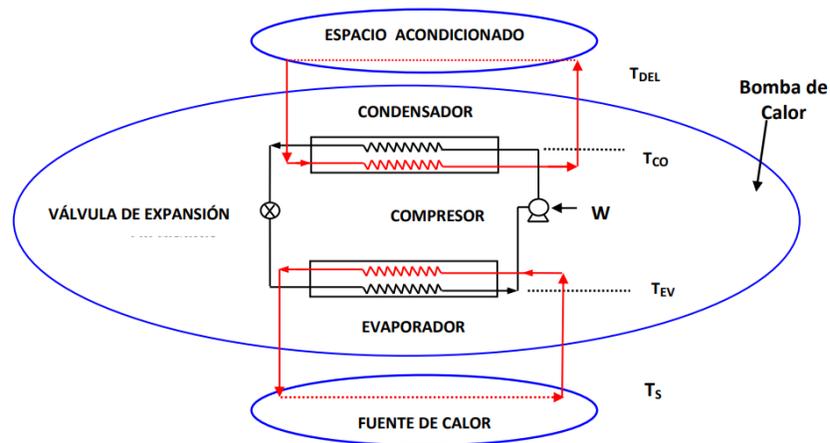


Figura 1-1. Diagrama esquemático de una Bomba de Calor (Alfonso García Gutiérrez e Ignacio Martínez Estrella, 2012)

- 1) El espacio que será acondicionado puede ser una edificación donde ya hay un sistema de distribución de aire, alimentado a las condiciones de temperatura y humedad requeridas.
- 2) La BC es una máquina térmica que proporciona temperaturas de confort en los recintos: en el evaporador se provoca un efecto de enfriamiento y en el condensador un efecto de calentamiento. La BC puede operarse para proporcionar enfriamiento o aire acondicionado y calefacción de espacios habitados y para calentamiento de agua doméstica.
- 3) La fuente o sumidero de calor puede ser aire, agua o el subsuelo. En este último caso, a la BC se le denomina Bomba de Calor Geotérmico (BCG o GHP (Ground Heat Pump) por sus siglas en inglés).

Como ya se mencionó anteriormente la Bomba de Calor es un equipo que mueve la energía térmica de un punto A a un punto B. Las Bombas de Calor (BCG) son equipos que, utilizando un gas refrigerante en un ciclo termodinámico cerrado, transfieren calor entre dos

focos a diferente nivel térmico, haciendo que el citado calor fluya de una temperatura más baja a más alta.

Es decir, las Bombas de Calor Geotérmicas son capaces de captar energía del subsuelo, disponible en la naturaleza e inagotable (renovable), permitiendo utilizarla para la climatización de los espacios ocupados por las personas.

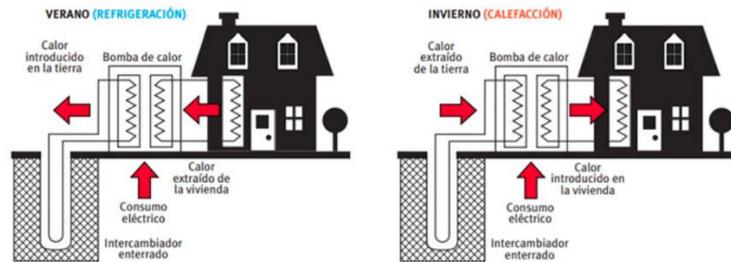


Figura 1-2. Peña, A. (2021). Esquema de funcionamiento de la Bomba de Calor Geotérmica. Recuperado de <https://www.caloryfrio.com/energias-renovables/geotermia/bomba-de-calor-geotermica-funcionamiento-instalacion.html>

El suelo se encuentra a una temperatura constante de unos 15 °C desde los 5 m hasta los 20 m de profundidad. Esto se debe a la inercia térmica del suelo, que almacena el calor del sol. A partir de los 20 m, la temperatura se incrementa en un orden de 3 °C cada 100 m.

Las BCG constituyen una alternativa interesante ya que se trata de una tecnología comercial existente que tiene un costo competitivo, permitiendo ahorros de energía y evitando las emisiones de gases de invernadero, especialmente cuando se usan tanto para enfriamiento como para calefacción, y pueden ser instaladas en prácticamente cualquier parte.

La operación reversible de la BCG es posible gracias al uso de una válvula reversible, y su conexión al subsuelo se hace en circuito cerrado, vertical u horizontal (GCHP), el fluido que conecta el subsuelo con la BCG es agua con o sin anticongelante, o en circuito abierto a un pozo de agua subterránea (GWHP) o a un cuerpo de agua superficial estática o corriente, por ejemplo, un lago o un río (SWHP), como se puede apreciar en la Figura 1.3. (Alfonso García Gutiérrez e Ignacio Martínez Estrella, 2012)

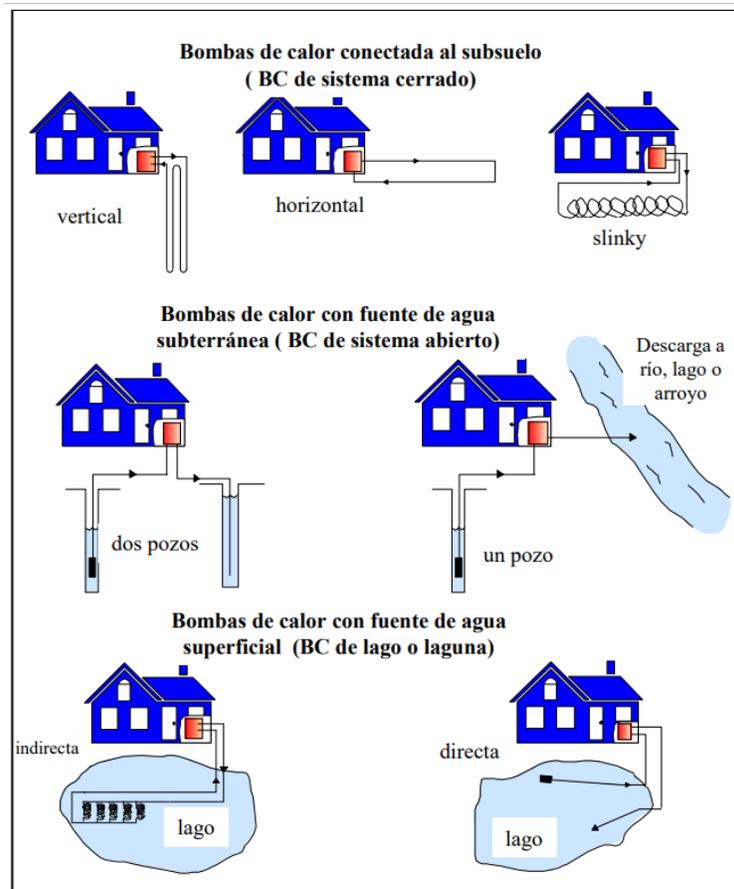


Figura 1-3. Diagrama esquemático de una BCG (García, A. & Martínez, I. (2012). Estado actual de desarrollo de las Bombas de Calor Geotérmico

- ❖ Fases de la generación de calor de una bomba de calor geotérmica
 - Extracción del calor del subsuelo con líquido geotérmico: El líquido caloportador que circula por las tuberías enterradas en el subsuelo, también llamado intercambiador de calor geotérmico, absorbe la temperatura del terreno, que puede ser de unos 15 °C aproximadamente. Este líquido pasará por el evaporador, cediendo el calor al refrigerante haciendo que éste se evapore por completo.
 - Evaporador del fluido refrigerante: Como el líquido del intercambiador de calor geotérmico está más caliente que el fluido refrigerante, se produce un intercambio de calor, haciendo que el fluido refrigerante se caliente y se evapore. Los dos líquidos

nunca llegan a tocarse, sino que intercambian el calor por la cercanía de las tuberías o placas. Entrando el refrigerante en estado gaseoso al compresor.

- Aumento de presión del fluido: El fluido refrigerante, en estado gaseoso pasa por un compresor que, accionado con energía eléctrica, aumenta la presión del vapor refrigerante, consiguiendo así que incremente su temperatura hasta 50 – 60 °C.
- Traspaso de calor en el condensador: El fluido en estado gaseoso entra en el condensador, por el que también pasa el aire del medio ambiente, el cual es succionado por un ventilador centrífugo. El refrigerante cede calor al aire, haciendo que este se caliente y proporcione calefacción a la vivienda.
- Disminución de presión y temperatura del fluido refrigerante: Una vez que se ha calentado el aire, el refrigerante que entró al condensador en estado gaseoso, ahora sale de éste en estado líquido, pasando por una válvula de expansión para reducir su presión y su temperatura, convirtiendo al refrigerante líquido en saturado para llegar al evaporador y volver a iniciar el ciclo.

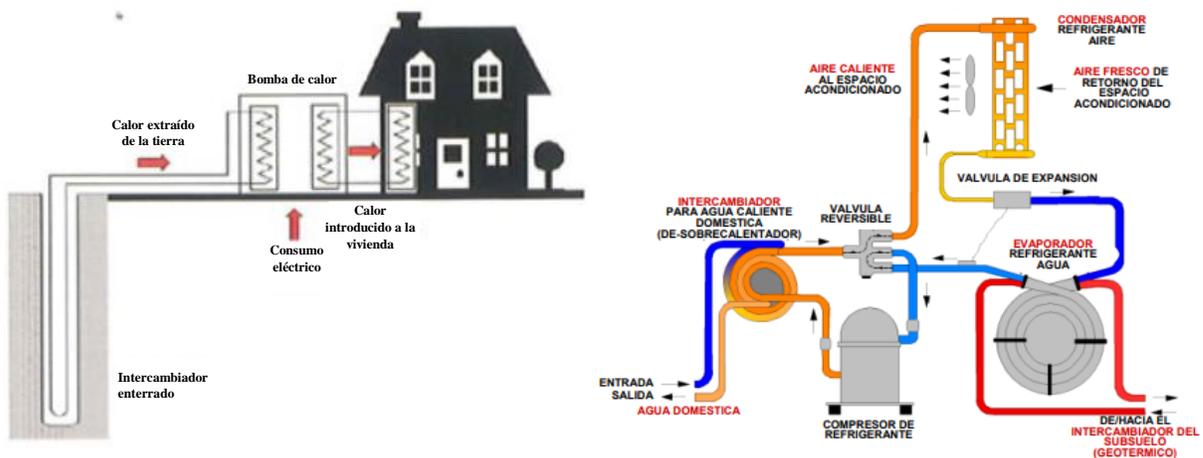


Figura 1-4. Grupo Visiona. (2020). Funcionamiento de la Bomba de Calor en Invierno (Calor). Recuperado de <http://www.grupovisiona.com/es/geotermia/aplicaciones-geotermia>.

❖ Fases de la generación de frío de una bomba de calor geotérmica

Además de proporcionar calor en invierno, la bomba de calor con energía geotérmica tiene la posibilidad de utilizarse en el sentido inverso, es decir, absorber el calor del hogar en verano y depositarlo en el subsuelo como se ha mencionado antes, la temperatura del subsuelo se mantiene constante aproximadamente de unos 15 °C hasta los 20 m. Este proceso se conoce como frío pasivo y funciona de la siguiente manera:

- Cedencia del calor del líquido geotérmico en el subsuelo: Debido a que en verano la temperatura del subsuelo es menor a la del ambiente, el líquido caloportador, al llegar a las sondas de captación enterradas (intercambiador de calor geotérmico), cede el calor al subsuelo, es decir, se enfría y llega al condensador de la bomba de calor.
- Traspaso de calor en el condensador: En el condensador se encuentra el fluido refrigerante en forma gaseosa, a alta presión y temperatura. Este le cede el calor al líquido caloportador que circula por las sondas de captación y que acaba de llegar del suelo, consiguiendo así condensarse y enfriarse, teniendo un cambio de fase de gaseoso a líquido.
- Disminución de presión y temperatura del fluido refrigerante: El fluido refrigerante, ya más frío, entra en la válvula de expansión, donde se le disminuye la presión y, por tanto, también la temperatura, teniendo así refrigerante saturado.
- Traspaso de frío en el evaporador: El fluido refrigerante entra en el evaporador, donde el aire el cual es succionado por el ventilador centrífugo cede el calor al refrigerante, haciendo que éste se evapore en su totalidad, entrando de forma gaseosa al compresor. Mientras que el aire al pasar por el evaporador y ceder su calor, disminuye su temperatura refrescando el interior del recinto a una temperatura de confort.

- Aumento de temperatura del fluido: Una vez que el fluido refrigerante se ha evaporado, debe pasar por el compresor. Este aumenta su presión y temperatura para volver al condensador y comenzar de nuevo el ciclo.

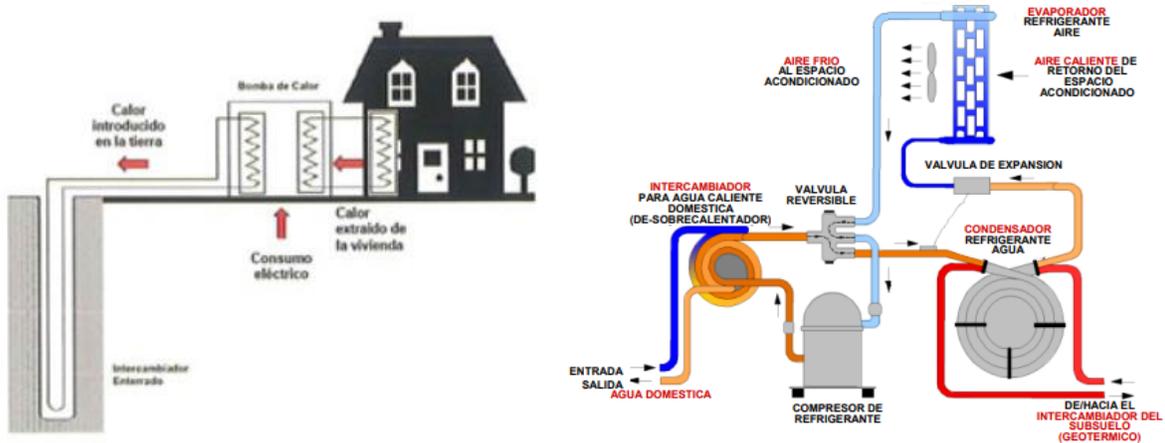


Figura 1-5. Grupo Visiona. (2020). Funcionamiento de la Bomba de Calor en Verano (Frío). Recuperado de <http://www.grupovisiona.com/es/geotermia/aplicaciones-geotermia>

1.1.4. Coeficiente de rendimiento

Para medir la eficiencia de una bomba de calor por compresión mecánica operando a ciertas condiciones se utiliza el Coeficiente de Comportamiento o de rendimiento (Coefficient of Performance, COP, por sus siglas en inglés) y se define como el cociente entre la energía térmica cedida por la bomba de calor y el trabajo realizado por el compresor.

En el modo de calefacción

$$COP = \frac{Q_{CO}}{W} = \frac{Q_{CO}}{Q_{CO} - Q_{EV}}$$

En el modo de enfriamiento

$$COP = \frac{Q_{EV}}{W} = \frac{Q_{EV} + W}{W}$$

donde Q_{CO} es el calor entregado por el condensador de la bomba de calor al espacio acondicionado, Q_{EV} es el calor transferido de la fuente de calor al fluido de trabajo en el evaporador de la bomba de calor y W es la energía eléctrica suministrada al compresor. (Alfonso García Gutiérrez e Ignacio Martínez Estrella, 2012)

Los valores típicos del COP son de 3.5, aunque se han reportado valores de hasta 10. Esto quiere decir que por cada unidad de energía alimentada (usualmente electricidad) se entregan 3.5 unidades de energía térmica, de las cuales 2.5 son de energía geotérmica, esto quiere decir, que el 71% de energía utilizada es de energía geotérmica, la cual es esencialmente gratis. (Alfonso García Gutiérrez e Ignacio Martínez Estrella, 2012).

1.2.- Bomba de calor a nivel mundial

A nivel mundial, las bombas de calor geotérmicas o acopladas al subsuelo (BCG) se han convertido en el segmento de tecnología geotérmica con el más rápido crecimiento. En 2005 32 países usaron BCG para calentamiento, enfriamiento y aprovisionamiento doméstico de agua caliente. La capacidad instalada de las BCGs aumentó un 730% en los últimos 10 años y el uso de energía para calefacción creció en 500%. Los principales desarrollos se realizaron en algunos países de Europa y en EUA. (A. García-Gutiérrez, R.M. Barragán-Reyes y V. Arellano-Gómez , 2008)

Las bombas de calor geotérmicas (fuente terrestre) tienen el mayor uso geotérmico en todo el mundo, lo que representa el 71,6 % de la capacidad instalada y el 59,2 % del uso anual de energía. La capacidad instalada de 77.547 MWt y el uso de energía es de 599.981 TJ/año, con un factor de capacidad de 0,245 en el modo calefacción. Aunque la mayoría de las instalaciones ocurren en América del Norte, Europa y China, el número de países con instalaciones aumentó de 26 en 2000, a 33 en 2005, a 43 en 2010, a 48 en 2015 y a 54 en 2020. (John W. Lund and Aniko N. Toth, 2021).

El número equivalente de las unidades de 12 kW instaladas (típicas de los hogares de EE. UU. y Europa occidental) es de aproximadamente 6,46 millones. Este es un aumento del 54% sobre la cantidad de unidades instaladas reportadas en 2015, y más del doble de la cantidad de unidades reportadas en 2010. Sin embargo, el tamaño de las unidades individuales varía

desde 5.5 kW para uso residencial hasta unidades grandes de más de 150 kW para uso comercial. e instalaciones institucionales. (John W. Lund and Aniko N. Toth, 2021).

Los líderes en unidades instaladas (MWt) son: China, Estados Unidos, Suecia, Alemania y Finlandia con el 77,4% de estas unidades, y los líderes en energía producida (TJ/año) también son: China, Estados Unidos, Suecia, Alemania y Finlandia, que representa el 83,5% de la producción. (John W. Lund and Aniko N. Toth, 2021).

En la Figura 1.6 se muestra una gráfica en el cual se realiza la comparativa del uso directo de la geotermia a nivel mundial en los años 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 y 2020.

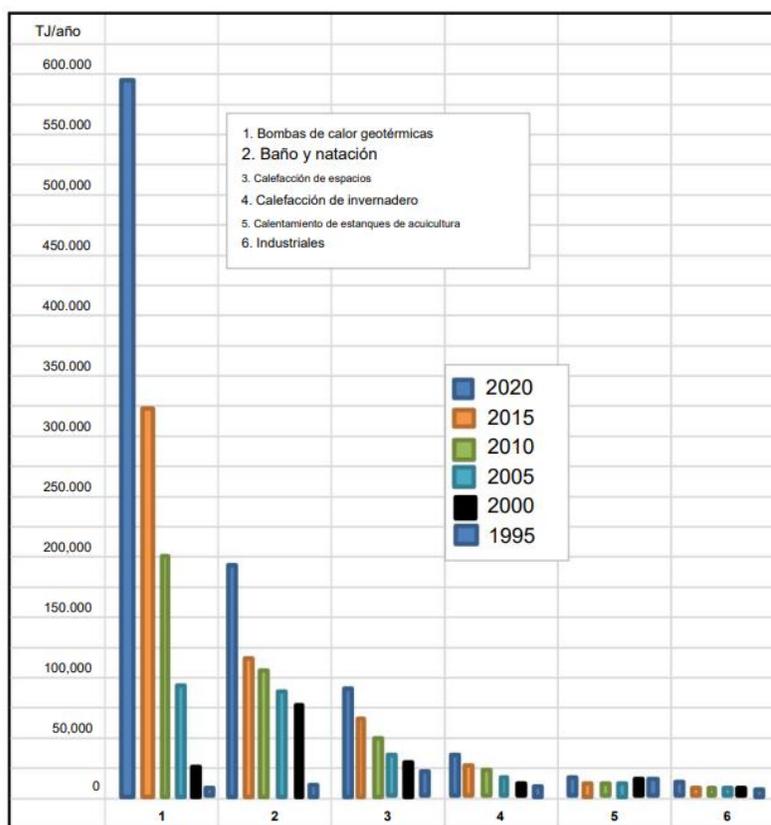


Figura 1-6. Comparación del uso directo mundial de energía geotérmica en TJ/año de 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 y 2020. (John W. Lund and Aniko N. Toth, 2021).

En la Figura 1.6 se puede observar que las bombas de calor geotérmicas tuvieron un incremento alrededor del 45% en el 2020 comparado con el 2015.

1.2.1.- Bombas de calor en México

Los recursos geotérmicos para la generación de electricidad en México se empezaron a aprovechar desde 1959, en el campo (que ya no opera) de Pathé en Hidalgo; siendo la primera planta en el Continente Americano, antes incluso que las de Estados Unidos; por lo que a nivel internacional México es un buen referente en el tema de geotermia. (Petroquimex, 2018).

En México se han identificado más de 1,600 lugares con temperaturas bajas a medias que se pueden agrupar en más de 900 sistemas geotérmicos en los 26 estados diferentes del país. El 50% de estos sistemas tienen temperaturas entre 62 y 100°C, el 40% entre 100 y 149°C, y el 10% restante tienen temperaturas inferiores a 62°C (5%) o superiores a 149°C (5%). (John W. Lund and Aniko N. Toth, 2021).- Sin embargo, la energía geotérmica de México se utiliza casi en su totalidad para producir electricidad, mientras que los usos directos de la geotermia se encuentran escasamente desarrollados y están limitados a balneología. Existen principalmente instalaciones para bañarse y nadar con propósitos recreativos y en algunos casi con propósitos terapéuticos. Estas instalaciones son operadas principalmente por inversionistas privados y sólo unas pocas son operadas por gobiernos federales, estatales o municipales. (Zafra, 2018). Algunos usos que se tiene de la energía geotérmica en el país son las siguientes. En el año 2015 fue desarrollada la calefacción espacial geotérmica por la Comisión Federal de Electricidad CFE, en el campo geotérmico Los Azufres, en el que actualmente proporciona calefacción a oficinas, laboratorios y otras instalaciones, así como agua caliente sanitaria. Es un proyecto de calentamiento de espacio individual con el aprovechamiento de un remanente térmico. Este proyecto representa una capacidad instalada de 0.47MWt y un consumo anual de 4.5 TJ/año. Otros de los usos de la energía geotérmica es el secado agrícola el cual es proporcionado por un deshidratador instalado en el campo geotérmico Domo San Pedro, capaz de producir hasta 200 kg de fruta seca por día, utilizando salmuera geotérmica de pozos antes de la reinyección.

Como ya se mencionó anteriormente, uno de los usos directos de la energía geotérmica son las bombas de calor. Las primeras bombas de calor geotérmicas (GHP, por sus siglas en inglés) se instalaron alrededor de 2014. (John W. Lund and Aniko N. Toth, 2021). En el año 2018 el Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias (INEEL) instaló el primer

Sistema de Bomba de Calor Geotérmica (BCG) para la climatización de espacios habitacionales, el cual fue desarrollado en colaboración con la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y aportes del Fondo Sectorial CONACYT -SENER Sustentabilidad Energética a través del proyecto P13 del Centro Mexicano para la Innovación en Energía Geotérmica (CeMIEGeo). (Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias, 2019). Actualmente, hay 11 unidades GHP con una capacidad combinada de 133 kWt operando como proyectos de demostración en los estados de Puebla, Baja California y Michoacán. Estas unidades han sido instaladas en una pequeña escuela y clínica de salud, en invernaderos, en laboratorios, en la Universidad Politécnica de Mexicali y en Michoacán en la Universidad de Morelia. Todas estas unidades están acopladas a tierra con arreglos tanto verticales como horizontales.

En México afloran a la superficie alrededor de 15.721 t/h de fluido geotérmico, de las cuales 13.442 t/h se utilizan para uso directo, con una capacidad instalada de poco más de 156 MWt. (John W. Lund and Aniko N. Toth, 2021).

Los totales en los usos directos de la geotermia son: 0.115 MWt y 3.627 TJ/año para calefacción de espacios individuales, 0.518 MWt y 13.230 TJ/año para secado o

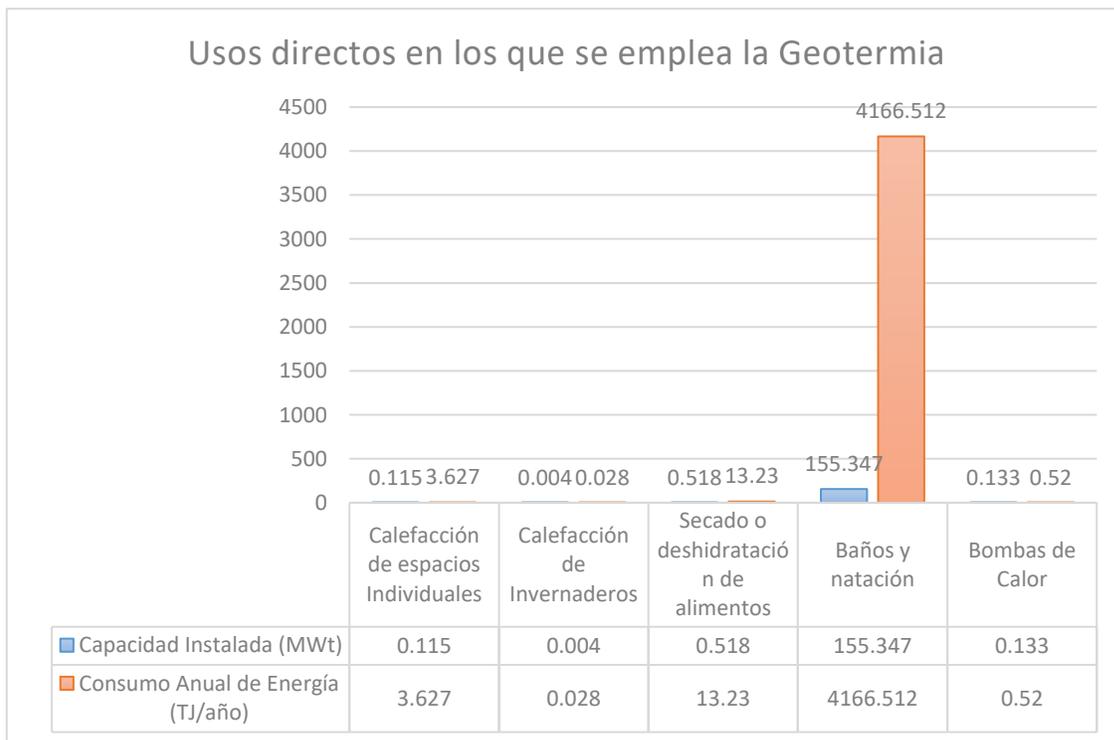


Figura I-7. Resumen de los usos directos en los que se emplea generalmente la geotermia (2021).

deshidratación de alimentos, 0.004 MWt y 0.028 TJ/año para calefacción de invernaderos, 155.347 MWt y 4,166.512 TJ/año para baño y natación y 0.133 MWt y un estimado de 0.520 TJ/año para geotermia bombas de calor por un total de 156,117 MWt y 4,183.917 TJ/año. Como se muestra en la Figura 1.7.

1.3.- Mercado global de las bombas de calor geotérmicas.

La creciente necesidad de fuentes de energía renovables junto con un amplio apoyo gubernamental en forma de subsidios, incentivos y otros beneficios monetarios proyectados para impulsar el mercado durante el período de pronóstico. El crecimiento de la población, junto con la rápida industrialización, ha dado lugar a un consumo masivo de energía en todo el mundo. (Market Analysis Report, 2021).

El creciente consumo de combustibles fósiles, como el carbón, el petróleo y el gas natural, para cumplir con los requisitos de calefacción tiene un impacto dañino en el medio ambiente. Se espera que la creciente conciencia sobre el cambio climático y las emisiones de gases de efecto invernadero impulse la demanda de productos y tecnologías energéticamente eficientes. Además, se proyecta que las regulaciones gubernamentales y las normas de emisión aumentarán la demanda de productos de ahorro de energía, como las bombas de calor geotérmicas, en los sectores industrial y residencial, apoyando así el crecimiento del mercado. (Market Analysis Report, 2021).

Aunque las bombas de calor geotérmicas, conocidas por sus siglas en inglés GHP (Geothermal Heat Pump) dependen de la electricidad para funcionar, son considerablemente más eficientes para la calefacción y refrigeración que los acondicionadores de aire y otras soluciones tradicionales. Si bien no desplazan directamente a la energía basada en combustibles fósiles, los sistemas de GHP puede reducir su dependencia en hasta un 71%. Las bombas de calor por sí solas ofrecen grandes ahorros en el consumo energético y en los picos de demanda de los edificios. Ofrecen beneficios aún mayores cuando se utilizan con fuentes renovables en el conjunto de las edificaciones.

El mercado mundial de bombas de calor geotérmicas tiene un futuro alentador debido a la tendencia creciente del uso de energías renovables como la geotermia para calentar y

refrigerar los edificios. Al aprovechar la temperatura constante y moderada del subsuelo, los sistemas GHP desempeñan un papel vital en las estrategias globales para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

A nivel mundial los usos directos de la energía geotérmica en 2010 ascendieron a 423,830 TJ/año (117,740 GWh/año) de energía y 48,893 MWt de capacidad instalada, y de todos estos usos, las BCG poseen la mayor utilización (47.2%) y capacidad instalada (68.3%). Así, la creciente concientización y popularidad de las BCG ha tenido el mayor impacto en el uso directo de la energía geotérmica, de manera que las BCG son hoy en día el sector de la tecnología geotérmica con el mayor crecimiento. Entre 2005 y 2010, su utilización de energía geotérmica creció 2.29 veces a un ritmo anual de 18%, y su capacidad instalada creció 2.15 veces a un ritmo anual 16.6%. En 2010, la capacidad instalada mundial mediante BCG fue de 33,134 MWt y el uso anual de energía ascendió a 200,149 TJ/año, con un factor de capacidad de 0.19 en modo calefacción. Las BCG se utilizan en 43 países, principalmente en Norteamérica, Europa y China. (Geotermia, 2012)

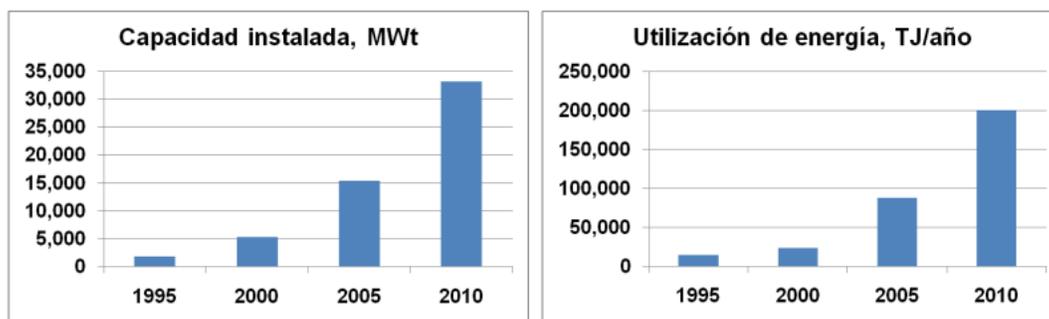


Figura 1-8. Evolución mundial de la capacidad instalada (izquierda) y generación de energía térmica (derecha) de las BCG hasta el año 2010. (Geotermia, 2012)

La bomba de calor de tipo de circuito cerrado tuvo la mayor cuota en el mercado con un 85% en 2019, esto debido a la alta demanda de estos productos gracias a su eficiencia, bajo costo de mantenimiento y alta durabilidad. (Market Analysis Report, 2021). En las aplicaciones residenciales lideró el mercado al representar una participación en los ingresos del 49.7% en 2019 debido a la creciente demanda de productos de eficiencia energética que están diseñados para aplicaciones de calefacción, refrigeración y generación de agua caliente en hogares y apartamentos. (Market Analysis Report, 2021).

El mercado mundial de bombas de calor se valoró en 6.04 mil millones de USD para el año 2020 (Market Analysis Report, 2021), sin embargo, para el año 2021 se valoró en 3.5 mil millones de USD (Mordor Intelligence, 2022), presentando una disminución significativa de un año a otro, esto se debe a una agitación económica en las industrias de pequeña, mediana y gran escala a nivel mundial causado por el brote pandémico de COVID-19, si bien es realista esperar un crecimiento lento en los próximos años, ya que se prevé que crezca a una tasa compuesta anual de más del 4% de 2022 a 2028. (Market Analysis Report, 2021)

Tasa de Crecimiento del Mercado de las Bombas de Calor por Región 2021-2026

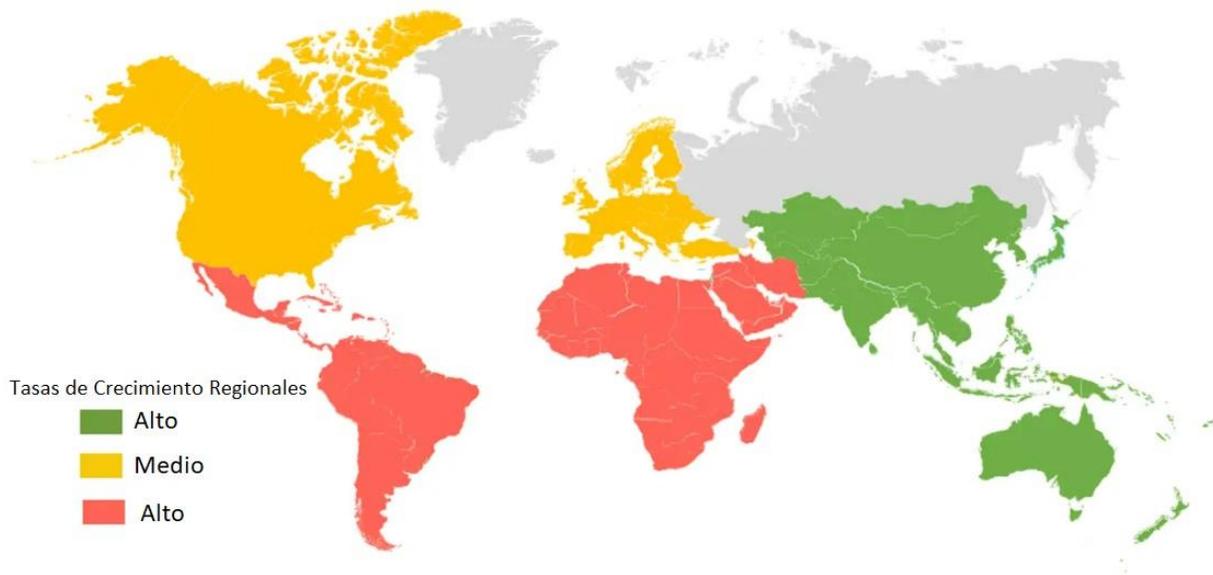


Figura 1-9. Mapa donde muestra las tasas de crecimiento en el mercado de las bombas de calor en el mundo. (Mordor Intelligence, 2022)

Proyección del mercado de la bomba de calor geotérmica en Asia

Asia (la parte de Asia que se encuentra cerca del Pacífico) tuvo la mayor participación en los ingresos del 37,1% en 2019. Se prevé que la mejora de las condiciones económicas y la rápida industrialización y comercialización aumenten el crecimiento del mercado en los próximos años. Una sólida base de consumidores de la región ha llevado a un aumento en la demanda de GHP. Además, es uno de los sectores manufactureros más grandes con una población densa, que se proyecta que tendrá un impacto positivo en el crecimiento del mercado. (Market Analysis Report, 2021)

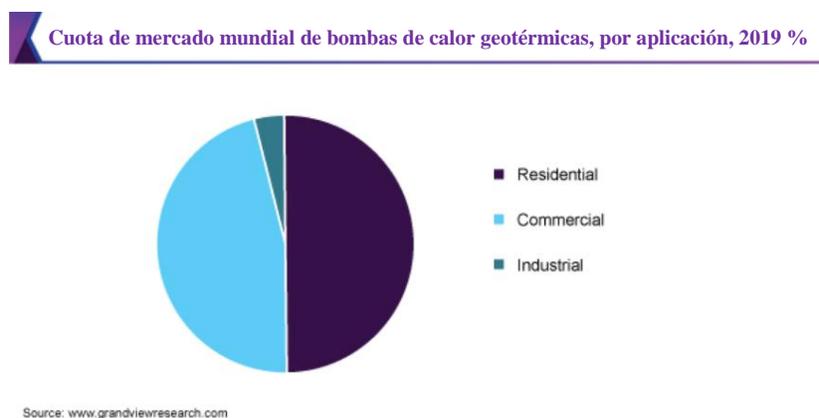


Figura 1-10. Gráfica por aplicación de la bomba de calor geotérmica a nivel global. (Market Analysis Report, 2021)

Proyección del mercado de la bomba de calor geotérmica en Europa

Se proyecta que Europa será el segundo mercado regional más grande durante el período de pronóstico. Se prevé que las iniciativas gubernamentales favorables asociadas con la reducción del consumo de energía aumenten la demanda de productos, que el sector de la construcción en recuperación contribuya al crecimiento del mercado en un futuro próximo y que las iniciativas gubernamentales y los descuentos previstos en la incorporación de tecnologías ecológicas y de ahorro de energía aumenten la demanda de GHP mejorados en la región. (Market Analysis Report, 2021)

Las bombas de calor representan uno de los nuevos segmentos de demanda más significativos en la energía de Europa, con una demanda del segmento que se disparará 8 veces de 77 teravatios hora (TWh) en 2022 a 611 TWh para 2050. (Roca, 2022)

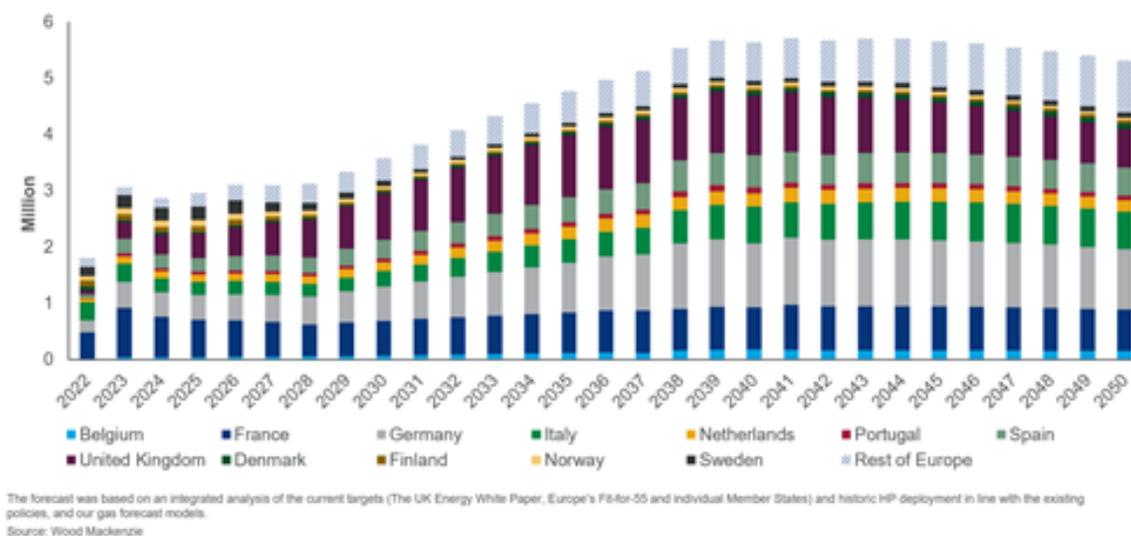


Figura 1-11. Gráfica del consumo energético hasta el año 2050 en Europa.

El mercado europeo de las bombas de calor geotérmicas se mantuvo estable en 2020, si bien las ventas cayeron significativamente en algunos mercados, como Polonia, debido a la pandemia. Se trata, en cualquier caso, de un mercado bastante concentrado, con mayoría de las ventas en algunos países clave, los nórdicos sobre todo. (Energías Renovables, 2022)

Proyección del mercado de la bomba de calor geotérmica en América

Se proyecta que el creciente requerimiento de calefacción de espacios y calentamiento de agua en América del Norte impulsará el crecimiento del mercado en esta región, se espera que el creciente sector comercial impulse la demanda de soluciones avanzadas de calefacción y refrigeración y se confía que la recuperación de las condiciones del mercado en América Central y del Sur impulse la producción industrial y el mercado regional de GHP. (Market Analysis Report, 2021)

Se tiene la expectativa que el creciente consumo de energía en países, como Brasil y Argentina, impulse la demanda de soluciones de calefacción energéticamente eficientes, aumentando así el crecimiento del mercado. (Market Analysis Report, 2021)

1.3.1.- Inversión total en geotérmica tanto para energía eléctrica como uso para directo durante el periodo 2015-2019

Aproximadamente US \$22.262 millones fueron reportados como invertidos en energía geotérmica por 53 países durante el período 2015-2019, esta inversión fue tanto para energía eléctrica con el 64%, como para su uso directo con el 36%, teniendo así alrededor de 11.1% más que el monto de 2010-2014 para 49 países. El promedio fue de US \$420 millones por país, siendo los países que invirtieron más de US \$500 millones Indonesia, Turquía, China, Taiwán, Kenia, República de Corea, México, Chile e Italia, esto en orden descendente. En términos de categorías de inversión: el 27,9 % fue para uso de energía eléctrica en 16 países, el 15,4 % fue para uso directo en 30 países, el 32,4 % fue para desarrollo de campos, incluida la perforación de producción y equipos de superficie en 33 países, y el 24,3 % para investigación y desarrollo incluyendo exploración de superficie y perforación exploratoria en 47 países por un total de \$22,262 mil millones.

En las gráficas siguientes (Gráfica 1.4 y 1.5) se muestra la inversión en el uso de la geotermia, tanto en su uso directo como de manera eléctrica por continente y las ventas de la bomba de calor que han tenido por continente desde el 2010 hasta el 2018.

Inversión en el uso de la geotermia (\$/mil millones)

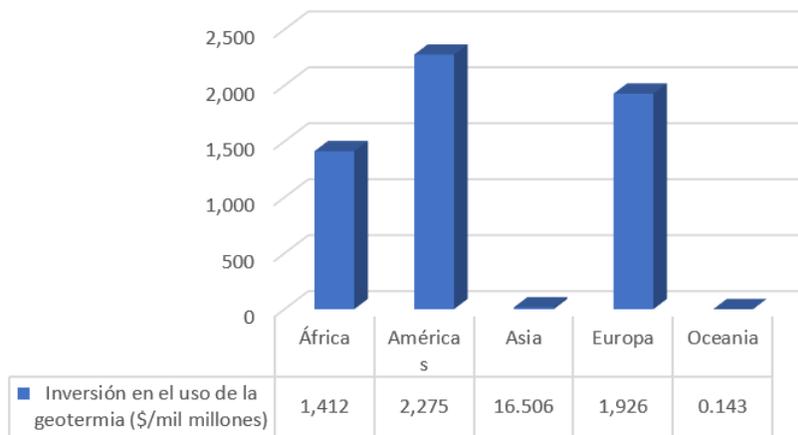


Figura 1-12. Inversiones en la energía geotérmica por continente

Global heat pump sales

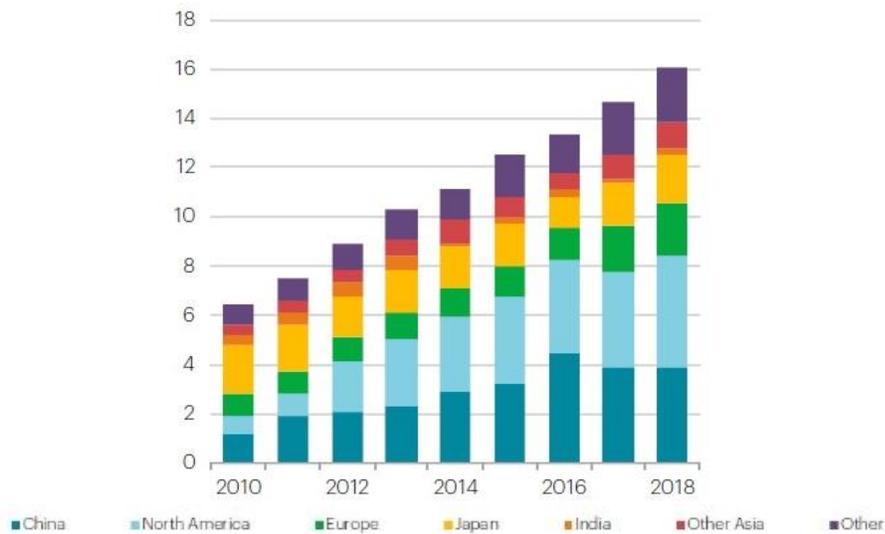


Figura 1-13. Ventas globales de la bomba de calor. (Josh Gabbatiss, 2019)

En México se realizó un análisis de los sectores residencial y comercial en los estados de las zonas norte y centro del país, identificando a usuarios que en sus procesos sustantivos o requerimientos de operación son consumidores intensivos de energía eléctrica para climatizar espacios.

Se consideró el monto de la inversión inicial, el cual estima que el mercado potencial para los sistemas BCG está conformado por viviendas del tipo residencial y residencial plus,

centros comerciales, tiendas departamentales, cines, teatros, escuelas, espacios para preservar obras de arte, archivos históricos, hoteles, clínicas y hospitales.

Se realizó un estudio de mercado potencial donde también permitió identificar la necesidad de diseñar e implementar una plataforma que integre un marco regulatorio y normativo, con apoyos financieros orientados a detonar el desarrollo de la cadena de valor a nivel industrial, para derribar algunas de las barreras de entrada; se considera necesario implantar programas específicos para apoyar la migración de tecnologías convencionales a los sistemas BCG, que permitirán ahorros en el consumo de energía eléctrica de hasta un 75% y apoyará la reducción de gases de efecto invernadero al requerir una menor cantidad de energía eléctrica generada a partir de combustibles fósiles.

1.3.2.- Empresas en el mercado de la bomba geotérmica

Las empresas en el mercado han emprendido estrategias, como innovaciones tecnológicas, investigación y desarrollo, asociaciones y fusiones y adquisiciones, para expandir su cartera de productos, así como para fabricar productos rentables, altamente eficientes y superiores. Las empresas regionales forman asociaciones estratégicas con los principales actores internacionales para promover el desarrollo de productos con estándares internacionales. Los principales fabricantes de bombas de calor también se están concentrando en mejorar y expandir su red de postventa y servicio a través de fusiones y adquisiciones. Algunas de las empresas prominentes en el mercado de bombas de calor geotérmicas incluyen: WOLF GmbH, Viessmann, Weishaupt Group, Trane, Vaillant, GLEN DIMPLEX GROUP, STIEBEL ELTRON GmbH & Co. KG, Danfoss, Modine Manufacturing Company, Mitsubishi Materials Techno Co., Daikin, NIBE Industrier AB, Carrier, Bard HVAC, Green Planet Supply Technologies, OCHSNER, CLIMATEMASTER, Inc, Bosch Thermotechnology Corp., Nortek Global HVAC, Bryant Heating & Cooling Systems, WaterFurnace International Inc., Kensa Heat Pumps, De Dietrich y FINN GEOTHERM UK Limited.

En México no se tienen empresas nacionales que realicen las bombas de calor geotérmico, sin embargo, hay proveedores que venden las bombas de calor geotérmicas, así

como refacciones de las mismas. Algunas de las empresas prominentes en el mercado de bombas de calor geotérmicas incluyen: D. Grosa Industrial, JC Comercializadora, Procesos Hidraulicos, ClimasMonterrey, Drachen de México, IRL Refrigeration, Génesis Adición Hidráulica, Rheem, AIR ENERGY, Water Equipments, Daikin México, Trane.

En México el uso de la bomba de calor geotérmica comúnmente es para albercas, sin embargo, se está desarrollando para el uso de climatización de interiores. El precio de las bombas de calor geotérmicas varía de la capacidad de éstas. A continuación, en la Tabla 1.1 se mostrará el precio de una serie de bombas de calor de una capacidad de 3 ton y 10 ton que se pueden encontrar en el mercado.

BOMBA DE CALOR 3 TON			BOMBA DE CALOR 10 TON		
Bomba de Calor	PRECIO		Bomba de Calor	PRECIO	
 3 Ton, 220/3/60, 14 SEER, Frío/Calor, YORK YMGE36BNU--MSWX	\$54,806.00	MXN	 Paquete Mirage Inverter 10 Ton, Frío - Calor 220-3-60 - MQ1203M	\$230,703.00	MXN
 3 Ton, 36000 BTUs, R410A, 13 SEER, Tubo y Aleta, Solo Frío y Frío/Calor c/ Bomba, 220V, 1F, 60Hz, RhinoAirPro	\$89,431.00	MXN	 BOMBA DE CALOR REVERSIBLE HC ECO-KAL 120,000 BTU'S (Monofásico)	\$89,500.00	MXN
			 10Ton, 220V/3/60, Descarga Vertical - CTH103T	\$288,131.00	MXN
			 Bomba de Calor, 120.000 BTUs, 230/1/60, Hidro Control EKN120/1230-C	\$112,723.00	MXN

Tabla 1-1. Tabla de precios de la bomba de calor en el mercado con capacidades de 3 ton (36,000 BTUs) y 10 ton (120,000 BTUs). Los precios fueron obtenidos del proveedor Climas Monterrey.

En la Tabla 1.1 se puede observar que en la bomba de calor de 3 toneladas solo hay dos ejemplos de precios, esto se debe a dos cosas. La primera es que para obtener el precio de las bombas de calor de ciertas capacidades se tiene que pedir por medio de cotizaciones al proveedor, tardando así hasta una semana o más en contestar o mandar las cotizaciones requeridas, y la segunda es porque las bombas de calor de 3 ton no se venden en el mercado tal cual, sino que se venden con el nombre de **Minisplit Inverter**.

Los Minisplit Inverter tienen una funcionalidad igual que la bomba de calor, solo que su capacidad es de 3 toneladas o menores y generalmente son de uso residencial.

MINISPLIT 3 TON		
	PRECIO	
 <p>MINISPLIT INVERTER 3 TONELADAS 220 V FRÍO/CALOR</p>	\$38,999.00	MXN
 <p>Set MiniSplit Inverter Mirage Magnum 17 SEER, 3 Toneladas, Frio/Calor, 220 V - SETCMC361N</p>	\$33,287.00	MXN
 <p>Minisplit Lennox Alta Eficiencia R410a 3tr 36,000 Btu 220v</p>	\$18,560.00	MXN
 <p>Minisplit Gree Tipo Inverter 3 Ton 220v Frio/calor</p>	\$45,908.00	MXN
 <p>Minisplit York 3 Ton 36000 Btu S/frio Inverter 410a 220v</p>	\$48,900.00	MXN
 <p>Minisplit Daikin Mcquay 3ton 36000 Solo Frío R410a 220v</p>	\$45,000.00	MXN

Tabla 1-2. Precio de MiniSplit Inverter de 3 ton de diferentes marcas.

En Europa el precio de la bomba de calor de 3 toneladas se encuentra alrededor de 2,110.00 y 3,165.00 euros, mientras que en Estados Unidos están alrededor de 30.00 USD a 800.00 USD aproximadamente. Para el precio de las bombas de calor geotérmicas de 10 toneladas en Europa está alrededor de 7,032.00 euros a 10,548.00 euros, mientras que en Estados Unidos está arriba de los 1000 USD. (Alibaba, 2009).

1.2.3.- Capacidades de bombas de calor. BTU/h por m²

A pesar de que en la literatura se manejan tablas y aproximaciones de cuantos BTU/h se necesitan por cada m² para acondicionar un lugar, la realidad es que no es suficiente para determinar la capacidad real de la Bomba de Calor que se requiere para acondicionar de manera óptima dicho lugar, ya que depende de varios factores, tales como largo, ancho y alto del espacio a climatizar, si es un ambiente cerrado o abierto, si está expuesto al sol directo, o si existen fuentes de calor o frío cercanas como por ejemplo en cocinas, así como también considerar el número de personas y cantidad de artefactos eléctricos entre otros.

Área en m ²	Ambiente residencial BTU/h	Ambiente Comercial BTU/h
9	7,000	7,000
12	7,000	9,000
15	9,000	12,000
20	12,000	16,000
25	15,000	20,000
30	18,000	24,000
35	21,000	28,000
40	24,000	32,000
45	27,000	36,000
50	30,000	40,000
60	36,000	48,000
70	42,000	56,000

Tabla 1-3. Aproximaciones de capacidades de la bomba de calor. BTU/h por m² (Total Clima, 2018).

En la Tabla 1-3 se muestran aproximaciones de las capacidades de Bombas de Calor en BTU/h por cada m² que se necesitan tanto en ambiente residencial como en ambiente comercial, pero como ya se mencionó anteriormente se requiere de un cálculo para determinar la carga térmica y saber con certeza cuanta capacidad de BTU/h se requieren para un lugar en específico.

1.4.- Conclusiones.

Al analizar el avance que actualmente México está teniendo en el desarrollo de los diferentes usos de la energía geotérmica, se encontró que en los usos directos de esta energía (como lo son las bombas de calor, en el secado y deshidratación de alimentos, baño y natación, calefacción de espacios, entre otros) se está teniendo un gran avance, ya que en el año 2021 se tuvo una capacidad instalada total de 156,117 MWt y un consumo anual de energía de 4,183.917 TJ/año, sin embargo, el uso directo de la geotermia en la actualidad se sigue utilizando más en el uso de albercas, con una capacidad instalada de 155,347 MWt y un consumo anual de energía de 4,166.512 TJ/año, por lo que se puede notar que el 99.5% de la capacidad instalada total corresponde al uso en las albercas.

Se realizó una investigación para saber cuánto se tuvo de avance en estos usos directos de la geotermia en el país, sin embargo, no se encontraron datos en años anteriores a este, ya que solo manejan el avance de la energía geotérmica de manera global, esto es debido a que anteriormente solo se usaba la energía geotérmica para de la energía eléctrica.

Cabe mencionar que este tipo de energía (energía geotérmica) en el país todavía no se explota o no se aprovecha como debería y a consecuencia de esto varias empresas extranjeras están aprovechando este recurso, adueñándose de los pozos geotérmicos que existen en el país. Un ejemplo claro de esto es que México aún no manufactura sus propias bombas de calor, sino que solo existen empresas que son proveedores de esta tecnología, por lo que en el país solo se venden las bombas de calor o sus componentes.

Capítulo 2 Procesos de manufactura

Introducción.

La manufactura es un proceso esencial para la industrialización de cualquier planta. Estos procesos pueden ser manuales, simples, elaborados o pueden implicar la intervención de máquinas y nuevos avances tecnológicos, llegando a construir así líneas de ensamble.

En este capítulo se menciona de manera general la fabricación industrial de una bomba de calor y de un intercambiador de calor geotérmico, presentando un diagrama de proceso de dichos sistemas, se mencionará también conceptos de manufactura y de procesos de manufactura para poder entender de manera óptima los diagramas que se presentan.

2.1.- Manufactura

La manufactura es un proceso de fabricación donde se convierte la materia prima en un producto elaborado o semielaborado, que posteriormente son destinados al mercado. Involucra dentro de su proceso una serie de elementos organizados, tales como: materiales, el uso de herramientas, el esfuerzo humano, maquinaria y tecnología. (Chavez, 2021)

Las organizaciones que realizan esta actividad son llamadas empresas manufactureras, y estas trabajan en conjunto con empresas extractivas². (Chavez, 2021)

Por lo general la manufactura se refiere a un **proceso industrial**, o sea de grandes maquinarias y producción a gran escala, este concepto puede aludir también al **proceso artesanal**, quiere decir que su desarrollo sea manual utilizando herramientas simples, y de elaboración individual. (Chavez, 2021).

2.1.1.- Tipos de manufactura

Existen diferentes tipos de manufactura que a continuación se mencionaran.

- *Manufactura Esbelta*. La manufactura esbelta surge en Japón con el fin de hacer más eficiente cada proceso que se rige bajo la filosofía de “kaizen”, “mejora continua”.

² Empresas extractivas: Son las encargadas de extraer y enviar la materia prima a las empresas manufactureras.

Este proceso propone la eliminación de desperdicios, aprovechamiento al máximo de recursos, aumento de productividad y calidad en los productos y procesos en el día a día. Un ejemplo de la adopción de esta filosofía se encuentra en Toyota donde al optar por este método desarrollaron grandes ventajas competitivas, optimizando procesos, controlando inventarios, aumentando la participación de sus empleados y ofreciendo productos con un gran valor agregado.

- *Manufactura Industrial.* Va destinado a la producción en masa donde también se pueden involucrar productos semi-facturados o semielaborados.

La manufactura industrial cuenta con distintos procesos para la transformación, ya sean continuos o discretos, los cuales se explicarán a continuación:

- ✓ Procesos Continuos. Es aquel que no es interrumpido, se basa en producción de lotes y es de flujo continuo, por lo general operan las 24 horas del día los 7 días de la semana, los insumos deben de utilizarse bajo un estándar. Un ejemplo sería la creación de gasolina, el acero, ladrillos, extrusión de bolsas de plástico, entre otros. Donde las propiedades de los insumos cuentan con distintas variables clave como el peso, resistencia, densidad, entre otros.
- ✓ Procesos Discretos. Los procesos discretos, van dentro de una secuencia de tiempo que puede acelerar o frenar sin tener tantas complicaciones, a diferencia de un proceso continuo. Estos procesos por lo general van por partes creando piezas y ensamblajes.
- *Manufactura Flexible.* Se conoce con las siglas FMS, consiste en la utilización de máquinas, por lo general son CNC (Control Numérico por Computador) interconectadas entre sí para realizar múltiples operaciones de forma automática, estos sistemas son muy versátiles y flexibles, pero requieren de su monitoreo en tiempo real para asegurarse de que estén operando correcta y eficientemente.
- *Manufactura de Clase Mundial.* Está centrada en las empresas que compiten a nivel mundial, debido a la creciente económica en el rango internacional, se espera que la mayor parte del mercado quede en manos de las empresas globales.

Este concepto se encuentra dentro de la teoría de administración de operaciones, donde es fundamental la consideración de la mejora de la calidad, estructura de la organización con base en principios como Kaizen o Just in Time (justo a tiempo), que implementan las organizaciones de talla internacional para brindar valor, calidad y mejora continua dentro de sus organizaciones para llegar a la excelencia.

- *Manufactura Textil.* Abarca el proceso de fabricación de textiles con materia prima como fibras, algodón, lana, cuero, lino, entre otros materiales, el proceso puede ser manual o con el empleo de maquinaria. El resultado final es telas, hilaturas o productos como ropa, calzado y accesorios como bolsos.
- *Manufactura Celular.* Se enfoca en la agrupación de máquinas que operan en secuencia para la fabricación de productos sin tantos movimientos de transporte, logrando la reducción de inventarios y de tiempos con procesos ininterrumpidos mejorando los flujos de producción.

Existen dos tipos de diseño de célula:

- ✓ Células de Ensamble Manual. Son aquellas tareas manuales en su mayoría o en su totalidad.
 - ✓ Células Mecanizadas. Son aquellas tareas de menor complejidad que son automatizadas.
- *Manufactura Artesanal.* Este tipo de manufactura se realiza por medio de trabajo manual, donde el creador transforma las materias primas con sus propias manos utilizando técnicas y procesos que en su mayoría pasan de generación en generación, dando como resultado piezas únicas e irrepetibles.

2.2.- Procesos de manufactura

2.2.1.- Definición

Los procesos de manufactura son actividades y operaciones relacionadas, ordenadas y consecutivas, a través del uso de máquinas-herramientas o equipos, con el fin de transformar materiales para la obtención de un producto industrial. (Procesos de Manufactura en Ingeniería Industrial, 2008).

Este procedimiento comenzó a funcionar de forma totalmente manual, pues en los tiempos pasados no se incorporaban las maquinarias. Posteriormente se comenzaron a implementar para agilizar las labores y reducir los costos, al principio siendo un sistema híbrido en donde el factor humano y la maquinaria trabajaba en conjunto, pero con los resultados que iban mostrando fueron automatizando los procesos cada vez más hasta, en algunos casos, de no necesitar la intervención humana. (Myriam Quiroa, 2022)

2.2.2.- Clasificación de los procesos de manufactura

El proceso de manufactura ha pasado por las siguientes etapas:

- Proceso de Manufactura elaborado a mano

Al principio, cuando se iniciaron las actividades de manufactura todo el proceso era realizado de forma manual. Por esa razón cuando se habla de un producto manufacturado se piensa en un producto elaborado a mano.

Sin embargo, este proceso en forma manual solo logró funcionar cuando se elaboraban productos sencillos, de bajo precio y cuando existía poca demanda de este. (Myriam Quiroa, 2022)

- Proceso de manufactura elaborado a mano y con máquinas

Con el paso del tiempo los productos se hicieron más complejos y con más valores agregados, por lo que se incrementó notablemente la demanda y, en consecuencia, su precio.

Sin duda, esto llevo a que se mejorara el proceso de manufactura, por lo que ahora este proceso se hace en forma manual o con el auxilio de máquinas. Sobre todo, porque se requiere producir estos productos en grandes cantidades. De este modo, el proceso de manufactura se ha convertido en un proceso que utiliza la tecnología de forma innovadora.

En consecuencia, el proceso de manufactura cada vez se va perfeccionando más porque se ha ido acumulando experiencia y pericia dentro de cada etapa. Lo que ha contribuido a la reducción de los costos de producción y a que los productos se puedan adquirir a precios más bajos dentro del mercado. (Myriam Quiroa, 2022)

2.2.3.- Tipos de proceso de manufactura

Al fabricar los productos se pasa por varios procesos que reúnen y transforman las materias primas. Iniciando con el ingreso de las materias, las cuáles se van paulatinamente trabajando y haciendo las combinaciones necesarias hasta lograr el producto final. (Myriam Quiroa, 2022)

Los procesos de manufactura se pueden clasificar de la siguiente forma:

- Procesos Primarios
 - Métodos de Fundición
 - Métodos de Moldeo
 - Métodos de formado
 - Método especial
- Procesos Secundarios
 - Mecanizados
 - Tratamientos térmicos
- Procesos Terciarios
 - Uniones
 - Tratamientos Superficiales

Existe otra manera de clasificar los procesos de manufactura y es la que se muestra en la tabla 2-1, la cual esquematiza la organización de los procesos en categorías.

P r o c e s o s	M a n u f a c t u r a	1° Categoría	2° Categoría	Proceso
		Conformación por desprendimiento de Material	Maquinado	Torneado
				Taladrado
				Fresado
				Cepillado
				Aserrado
				Mandrinado
				Brochado
				[De Engranajes] [Escopleado]
		Conformación Forzada	Conformación Plástica Mecánica	Embutido Profundo
Laminado				
Forjado				
Extrusión				
Trefilado				
Pulvimetalurgia	Aleaciones Especiales			
Conformación Térmica	Fundición			
	Soldadura			
Materiales Sintéticos	Extrusión			
	Soplado			
Complementarios	Dureza	Tratamientos Térmicos		
	Acabados	Superficies		
	Ensamblados	Armados		

Tabla 2-1. Clasificación de los procesos de manufactura.

2.3.- Diagramas de procesos.

Para mejorar un trabajo se debe saber exactamente en qué consiste y, excepto en el caso de trabajos muy simples y cortos, rara vez se tiene la certeza de conocer todos los detalles de la tarea realizada. Por lo tanto, se deben observar todos los detalles y registrarlos. De esta forma se inicia el estudio de las diferentes técnicas que sirven para registrar y analizar cada

uno de los niveles del trabajo, en otras palabras, se inicia el análisis de los procesos. (Roberto García Criollo, 2008).

El análisis de los procesos trata de eliminar las principales deficiencias existentes en ellos y lograr la mejor distribución posible de la maquinaria, equipo y área de trabajo dentro de la planta.

En el análisis y mejora de métodos se usan generalmente ocho diagramas de proceso, cada uno tiene aplicaciones específicas. Ellos son:

- Diagrama de operaciones de proceso.
- Diagrama de curso o flujo de proceso.
- Diagrama de recorrido de actividades
- Diagrama de interrelación hombre-maquina
- Diagrama para grupo o cuadrilla
- Diagrama de proceso para operario
- Diagrama de viajes de material
- Diagrama PERT

Sin embargo, para esta investigación únicamente se utilizarán 2 diagramas, el diagrama de operaciones de proceso y el diagrama de curso o flujo de proceso.

- **Diagrama de operaciones de proceso.** Este diagrama muestra la secuencia cronológica de todas las operaciones de taller o en máquinas, inspecciones, márgenes de tiempo y materiales a utilizar en un proceso de fabricación o administrativa. Es la representación gráfica de los puntos en los que se introducen materiales en el proceso y del orden de las inspecciones y de todas las operaciones, excepto las incluidas en la manipulación de los materiales; además puede comprender cualquier otra información que se considere necesaria para el análisis como, por ejemplo, el tiempo requerido, la situación de cada paso o si los ciclos de fabricación son los adecuados. (Roberto García Criollo, 2008).

Los objetivos de este diagrama son proporcionar una imagen clara de toda la secuencia de los acontecimientos del proceso. Por lo tanto, permite estudiar las fases del proceso en forma sistemática o mejorar la disposición de los locales y el manejo

de los materiales con el fin de disminuir las demoras, comparar dos métodos y estudiar las operaciones para eliminar el tiempo improductivo y además otorga la posibilidad de estudiar las operaciones y las inspecciones interrelacionadas dentro de un mismo proceso.

- **Diagrama de flujo o circulación.** Es un método gráfico para describir la secuencia de actividades comprendidas en un trabajo. Además de registrar las operaciones y las inspecciones, el diagrama de flujo muestra los traslados o transportes, demoras y almacenamientos (Procedimiento PAPIME, 2022)

2.3.1.- Simbología de los diagramas de procesos.

Como se mencionó anteriormente los diagramas de procesos son una herramienta de análisis, es una representación gráfica de los pasos que se siguen en una secuencia de actividades que constituyen un proceso o un procedimiento, identificándolos mediante símbolos de acuerdo con su naturaleza; además, incluye toda la información que se considera necesaria para el análisis, tal como distancias recorridas, cantidad considerada y tiempo requerido.

Con fines analíticos y como ayuda para descubrir y eliminar ineficiencias, es conveniente clasificar las acciones que tienen lugar durante un proceso dado en cinco categorías, conocidas bajo los términos de operaciones, transportes, inspecciones, retrasos o demoras y almacenajes, mostrando a continuación su simbología respectiva. (Roberto García Criollo, 2008).

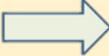
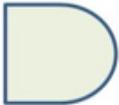
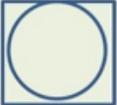
SÍMBOLO	NOMBRE	DESCRIPCIÓN	EJEMPLO
	Operación	Indica las principales fases del proceso. Se añade un círculo para cada fase del proceso y se unen entre sí por líneas. Entre una fase y la otra pueden ser necesarias otras acciones como el transporte, inspecciones, esperas, almacenamientos o varias acciones a la vez. Una operación también ocurre cuando da o se recibe información o se planea algo	Tornear una pieza, tiempo de secado de una pintura, cambio en un proceso, apretar una tuerca, barrenar una placa, dibujar un plano.
	Inspección	Ocurre cuando un objeto o grupo de ellos son examinados para su identificación o para comprobar y verificar la calidad o cualesquiera de sus características. Verifica la calidad y/o cantidad, fichas de control de calidad, punto de control de calidad.	Revisar las botellas que salen de un horno, pesar un rollo de papel, contar cierto número de piezas, leer instrumentos medidores de presión, temperatura.
	Transporte	Se coloca cuando un objeto o grupo de ellos son movidos de un lugar a otro, excepto cuando tales movimientos forman parte de una operación o inspección.	Mover material a mano, en una plataforma en monorraíl, en una banda transportadora. Si es una operación tal como pasteurizado o un recorrido en un horno, los materiales van avanzando sobre una banda y no se consideran como transporte.
	Demora	Indica retraso entre dos fases de proceso o paro momentáneo.	Esperar un elevador, o cuando una serie de piezas hace cola para ser pesada o hay varios materiales en una plataforma esperando el nuevo paso del proceso.
	Almacenaje	Indica guardar el subproducto o producto en un acopio. Cuando un objeto o grupo de ellos son retenidos y protegidos contra movimientos o usos no autorizados.	Almacén general, cuarto de herramientas, bancos de almacenaje entre las máquinas. Si el material se encuentra depositado en un cuarto para sufrir alguna modificación necesaria para el proceso, no se considera almacenaje sino operación; tal sería el caso de curar tabaco, madurar cerveza.
	Actividad combinada	Se presenta cuando se desea indicar actividades conjuntas por el mismo operador en el mismo punto de trabajo.	

Tabla 2-2. Simbología usada en los diagramas de procesos.

2.4.- Proceso de fabricación industrial de las bombas de calor

Cada una de las empresas que existen en el mundo que se dedican a fabricar bombas de calor tienen sus propios procesos y líneas de ensamble. Por lo que en esta sección se les hablará de manera general de cómo es el proceso de fabricación de una bomba de calor.

Se debe de recordar que, para una bomba de calor geotérmica, el diseño y fabricación de esta es la misma, lo único que cambia es la energía que se utiliza para que estas funcionen.

El proceso de fabricación de una bomba de calor contiene una serie de líneas de ensamble las cuales se describirán a continuación.

- ❖ Línea de ensamble de la Carcasa y base de la bomba de calor
 - Las placas de chapa galvanizada de acero se encuentran en un almacén las cuales son trasladadas con un medio de transporte hacia la máquina de corte.
 - La chapa galvanizada de acero se corta por medio de una máquina automatizada previamente programada.
 - Una vez cortada las placas son trasladadas por medio de una banda transportadora hacia la máquina de perforación.
 - Ya perforadas son transportadas por otra banda a la máquina de doblado, aquí en esta máquina doblan la base, la carcasa, el área donde estarán los componentes electrónicos y la lámina que separa el compresor del ventilador e intercambiador de calor.
 - Las láminas dobladas son transportadas por medio de la banda hacia el taller de pintura, la pintura utilizada en esta sección es con recubrimiento anti-UV, anticorrosión y anti-neblina salina.
 - Ya finalizado pasan al área de inspección para verificar que efectivamente las placas cortadas están correctamente pintadas.
 - La base de la bomba de calor es transportada por medio de otra banda hacia la sección del compresor para que coloquen el silenciador atornillándolo de manera manual por un técnico especializado.
 - Las otras láminas dobladas (carcasa) son trasladadas para ser colocadas encima de la base una vez que los componentes de la bomba ya están soldados y revisados, al igual que los componentes electrónicos.
 - De manera manual un técnico especializado atornilla la carcasa y la base.
- ❖ Línea de ensamble del Compresor
 - De un almacén transportan de manera manual el compresor hacia la sección donde será revisada por medio de una computadora, esto para verificar que no tenga ninguna anomalía y pueda tener un funcionamiento correcto, cabe mencionar que las que no pasaban esta inspección eran recopilados y regresados al almacén.
 - Con una máquina robótica trasladan el compresor hacia un tipo escáner para ser analizado y revisado.

- Con una mano robótica se trasladó el compresor sobre el bloque silencioso el cual fue previamente colocado sobre la base de la carcasa de la bomba de calor.
 - Por medio de una banda transportadora es trasladado a en donde de manera manual colocan el intercambiador de calor.
 - Una vez colocados son trasladados por la banda al área de soldadura.
- ❖ Línea de ensamble de la soldadura de tubos
- Los tubos de cobre son transportados hacia la máquina que se encarga de cortar los tubos de manera automatizada.
 - Una vez cortados los tubos, con una mano robótica son trasladados a una máquina que se encarga de doblar tubos de manera automática.
 - Ya doblados son trasladado por una banda transportadora hacia el área de soldadura.
 - De manera manual un técnico especializado une y suelda los tubos de cobre con las válvulas, codos, el intercambiador, el compresor y las llaves de toma de entrada.
 - Finalizado el proceso es transportado por la banda hacia la prueba de calidad.
 - Un técnico especializado de manera manual coloca unas mangueras en las llaves para inyectar refrigerante y así poder revisar si estas conexiones tenían fugas tanto en las uniones y en el intercambiador y compresor.
- ❖ Línea de ensamble electrónico
- Una vez realizada la prueba de fugas de refrigeración es trasladada al área de electrónica.
 - De manera manual los operadores especializados realizan el alambrado, colocando todos los componentes electrónicos y conectando el ventilador.
 - Por medio de la banda es trasladado a revisión de manera manual para inspeccionar que las conexiones estuvieran bien conectadas.
 - Después son trasladados por medio de la banda al área donde colocan la carcasa y de manera manual es atornillado por un operador especializado.
 - Son trasladados por una banda transportadora mientras un brazo robótico inspecciona los componentes electrónicos de la bomba.

- Una vez pasando esta prueba son trasladados por la misma banda transportadora a un examen de seguridad y eficiencia, el cual dura 30 min.
- ❖ Línea de ensamble de Empaquetado.
 - Una vez armada ya la bomba de calor y pasando el examen de seguridad y eficiencia, son transportados por la banda hasta donde hay un operador especializado colocando una base de cartón en la base de la bomba de calor como protección, esto sin detenerse la banda.
 - Sigue la bomba de calor en la banda transportadora, llegando a la sección de empaquetado, donde se encuentran las cajas de cartón ya previamente armadas.
 - Por medio de una mano robótica metieron las bombas de calor en la caja.
 - De manera manual llevan las bombas ya empaquetadas a una máquina de vibraciones para pruebas.
 - Son colocadas nuevamente en la banda transportadora para trasladarlas a una sección donde le ponen un cincho sujetable.
 - Siguen trasladándose en la banda hasta llegar a una mano robótica quien agarra las bombas para trasladarlas a un elevador y al juntar cierto número de bombas empaquetadas, el elevador los sube a un almacén en donde de manera manual lo descargan y acomodan las bombas, listas para distribuir y vender.

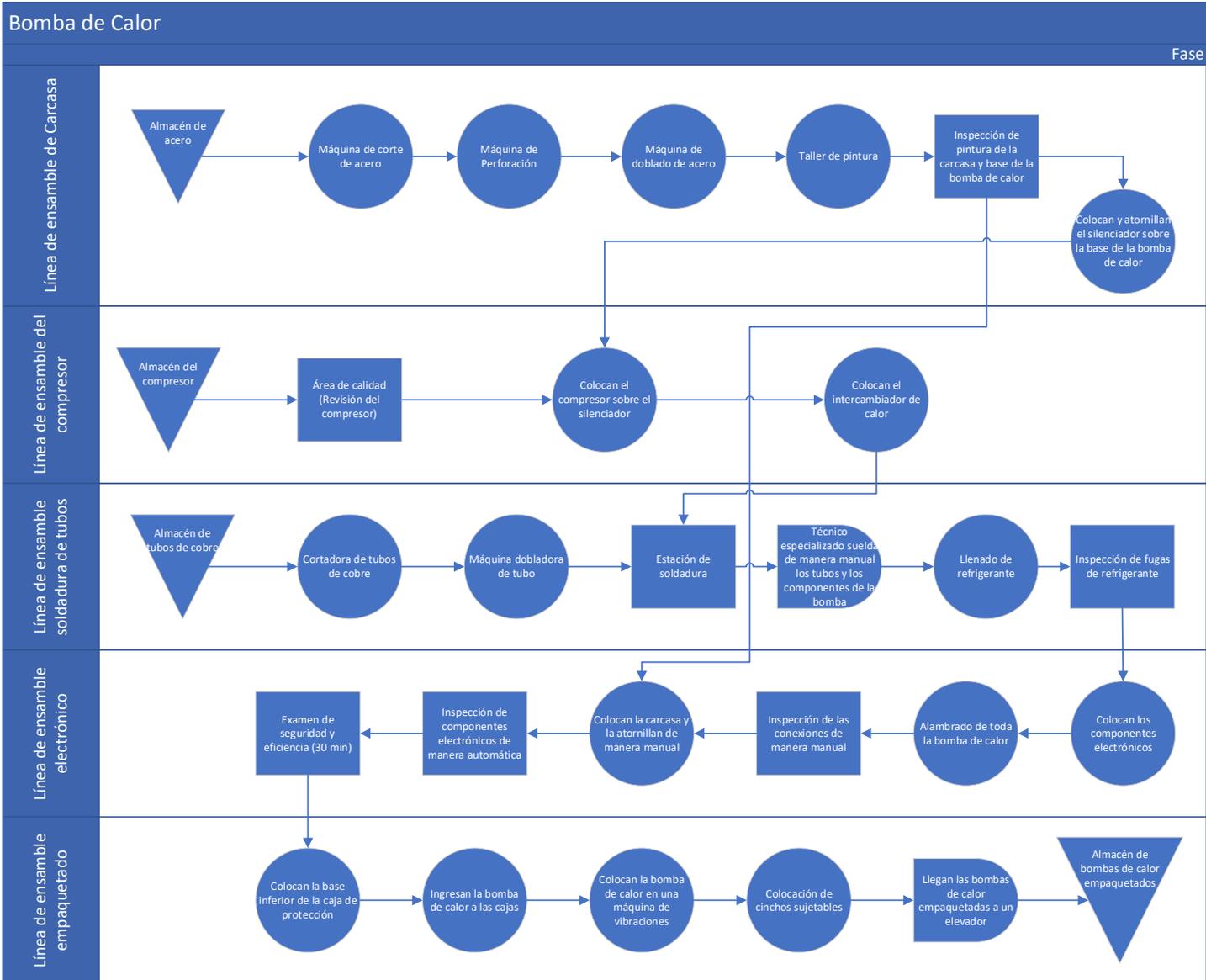


Figura 2.1. Diagrama de proceso de fabricación de la bomba de calor

2.5.- Proceso de fabricación de los intercambiadores de calor

- ❖ Línea de ensamble de los tubos de cobre
 - Los tubos tanto alados como lisos son llevados del almacén hacia la máquina que corta tubos.
 - Los tubos lisos son transportados a una máquina dobladora de tubos.
 - Ambos tubos cortados se preparan para pasarlos al área de soldadura.
- ❖ Línea de ensamble de la lámina de acero galvanizada
 - Con una máquina se cortan las placas de acero galvanizado.
 - De manera manual en las placas se realizan los orificios del tamaño de los tubos aletados.
 - Doblan la placa de acero, a manera que quede en rectángulo.
 - Suel dan las placas de acero galvanizado en las esquinas, como refuerzo.
- ❖ Línea de ensamble del intercambiador de calor
 - Colocan los tubos aletados en un par de placas de acero galvanizado.
 - Suel dan los tubos doblados en los tubos aletados colocados en las placas.
 - Colocan y vuel dan el otro par de placas de acero galvanizado.
 - Suel dan los tubos de cobre doblados y los tubos de menor diámetro al principio y final del intercambiador de calor.
 - Pasa a una sección de inspección en donde le inyectan fluidos para verificar fugas del fluido.
 - Finalizado la inspección se almacena.

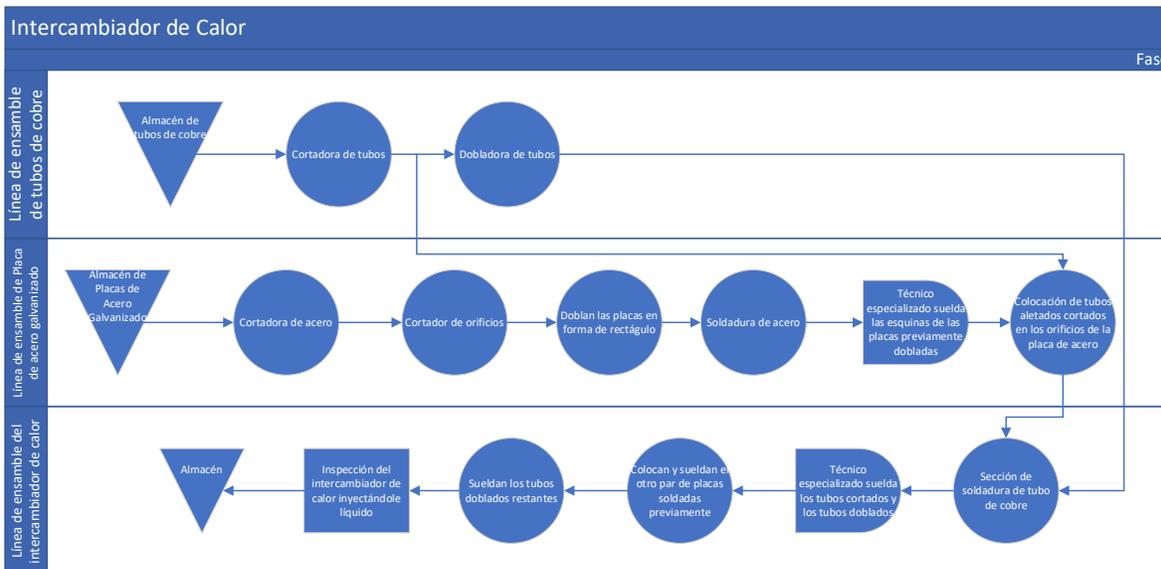


Figura 2-2. Diagrama de proceso de fabricación de un intercambiador de calor geotérmico.

2.6.- Conclusiones

La manufactura y los procesos de manufactura, son parte importante en la ingeniería, ya que se encuentran basados totalmente en la aplicación de conocimientos científicos, técnicos y administrativos, enfocados a la obtención de productos en condiciones óptimas de uso para la sociedad, aunque actualmente también se realiza en beneficio de nuestro medio ambiente.

Actualmente todas las actividades que el ser humano realiza, están presentes toda clase de subproductos y productos manufacturados, que han sido obtenidos a partir de materias primas y mediante procesos específicos ya sea de manera artesanal o en una empresa automatizada, estos se modifican para crear un artículo de uso o un bien satisfactor.

Es importante incluir diagramas de procesos en los proyectos que tengan como uno de sus objetivos la manufactura de cualquier producto, ya que puede funcionar como una guía para manufacturar de manera correcta el producto, no importando si este proyecto apenas inicie o ya se encuentre a nivel industrial.

Capítulo 3 Análisis comparativo de elementos de diseño.

Introducción

Es importante entender y comprender el funcionamiento de una bomba de calor geotérmica, así como tener muy en claro la finalidad de su uso, con esto dependerá que tipo de refrigerante y que tipos de componentes se usaran para su manufactura, así como sus características de los mismos. Ya que no es igual una bomba de calor utilizada para aire acondicionado y/o calefacción que una bomba de calor utilizada para refrigeración de cargas, ya que los refrigerantes que utilizan son diferentes y por ende sus componentes cambiarán.

En el presente capítulo se realizará el análisis de dos diferentes configuraciones de la BCG que se han realizado en grupo iiDEA, así como el material con el que estos fueron manufacturados, su importancia y justificación por el cual fueron utilizados.

Se mencionará la importancia y el impacto que se tuvo en la BCG al cambiar de un primer diseño a un segundo, mencionando los componentes y materiales que se cambiaron o se mantuvieron, esto mediante unas tablas.

3.1.- Definición y características de los equipos de la bomba de calor

3.1.1.- Compresor tipo Scroll

Los compresores tipo scroll tienen mayor capacidad de desplazamiento volumétrico, y una gran diferencia en el consumo de energía comparada con otros compresores, lo que representa bajos costos de operación durante el proceso de arranques y puestas en marchas. (Luis Vega, 2022)

El compresor tiene dos funciones en el ciclo de refrigeración por compresión. En primer lugar, succiona el vapor refrigerante y reduce la presión en el evaporador a un punto en el que puede ser mantenida la temperatura de evaporación deseada. (Luis Vega, 2022)

En segundo lugar, el compresor eleva la presión del vapor refrigerante a un nivel lo suficientemente alto, de modo que la temperatura de saturación sea superior a la del medio de enfriamiento disponible para la condensación del vapor refrigerante. (Luis Vega, 2022)

El compresor Scroll se puede considerar como la última generación de los compresores rotativos de paletas, en los cuales éstas últimas han sido sustituidas por un rotor en forma de espiral, excéntrico respecto al cigüeñal, que rueda sobre la superficie del estator, que en lugar de ser circular tiene forma de espiral, concéntrica con el cigüeñal del motor. (Luis Vega, 2022).

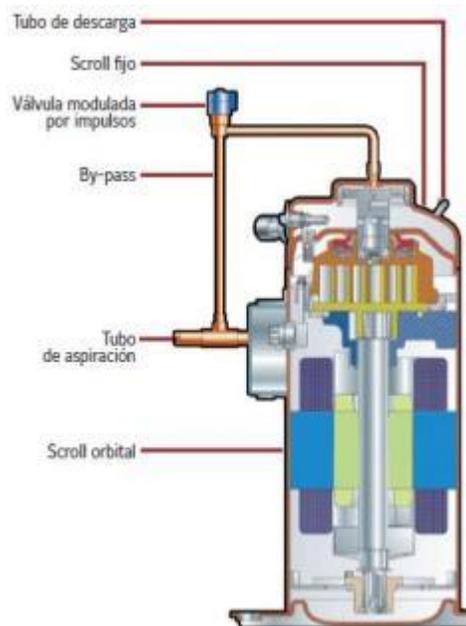


Figura 3-1. Partes que conforman a un compresor tipo Scroll.

3.1.2.- Válvula de 4 vías

Se conocen comúnmente como válvulas reversibles. Su uso es casi exclusivamente en bombas de calor, para seleccionar ya sea el ciclo de enfriamiento o el de calefacción, dependiendo del requerimiento. Estas válvulas tienen tres salidas y una entrada común. (Climas Monterrey, 2022)

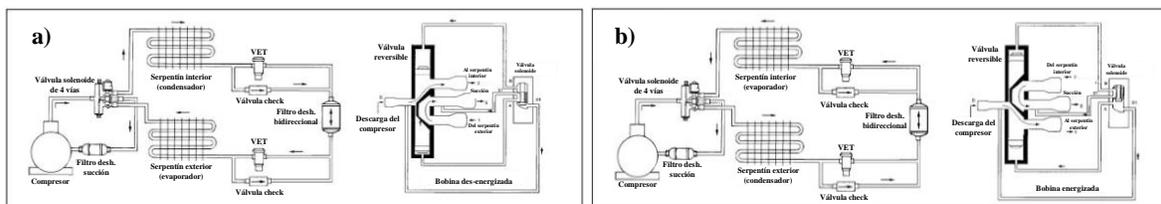


Figura 3-2. Funcionamiento de la válvula reversible o válvula de 4 vías en la bomba de calor. a) Ciclo de Calefacción. b) Ciclo de Enfriamiento. (Climas Monterrey, 2022)

3.1.3.- Intercambiador de calor de placas planas interno (Condensador)

Los intercambiadores de calor de placas (PHE) o portadores de calor de placas (PHC) son un tipo especial de intercambiadores de calor diseñados para utilizar placas de metal dispuestas en paralelo. Al igual que otros intercambiadores de calor, permiten transportar energía térmica entre dos materiales. Se utilizan en tecnología convencional de calefacción y refrigeración, así como en sistemas de calefacción y refrigeración de energía renovable. Los intercambiadores de calor de placas también se utilizan para la preparación de agua caliente.

El intercambiador de calor de placas consta de múltiples placas conductoras de calor que están soldadas o atornilladas entre sí y consisten en cámaras onduladas superpuestas dispuestas en capas. Las sustancias circulan en los espacios entre estas cámaras. La dirección del flujo en forma de contracorriente, co-corriente y flujo cruzado determina la magnitud de la transferencia de energía. La transferencia de energía es más alta con el flujo a contracorriente, en el que las dos corrientes fluyen entre sí. La energía térmica se transfiere de la sustancia que emite calor a la sustancia que absorbe el calor. (Vaillant, 2022)

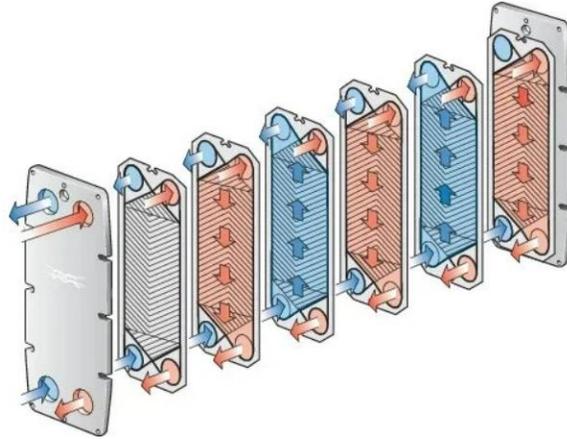


Figura 3-3. Funcionamiento de un intercambiador de calor de placas planas. (Alfa Laval, 2022)

3.1.4.- Filtro

Un filtro deshidratador por definición, es un dispositivo que contiene material desecante y material filtrante para remover la humedad y otros contaminantes de un sistema de refrigeración.

La aplicación de los desecantes en los sistemas de refrigeración, se hace encapsulándolos en unos dispositivos mecánicos llamados filtros deshidratadores. Un filtro deshidratador está diseñado para mantener seca la mezcla de refrigerante y aceite, adsorbiendo los contaminantes líquidos disueltos, tales como humedad y ácidos; y también, para retener por medio de filtración todas las partículas sólidas que estén siendo arrastradas a través del sistema por la mezcla de refrigerante aceite. (Climas Monterrey, 2022)



Figura 3-4. Filtro deshidratador de líquidos unidireccional

3.1.5.- Mirilla

La Mirilla (también llamada Visor), es un dispositivo auxiliar en los sistemas de Aire Acondicionado y Refrigeración que nos permite observar la condición del refrigerante en el lugar de su ubicación. Es un indicador de la condición del refrigerante cuyas funciones son determinar su estado líquido y su contenido de humedad.

Indicador de Líquido

El Indicador de Líquido se aplica en los casos en que nos permite la visibilidad del refrigerante en estado líquido, entre sus usos tenemos los siguientes:

- En medio de la válvula de expansión y la unidad condensadora, nos provee de una indicación de la carga de refrigerante del sistema.
- Después del separador de aceite, nos permite observar y así asegurar el adecuado retorno de aceite al compresor.
- Indica el aceite retornando al compresor en la línea de succión.

Entre sus usos más importante del Indicador de Líquido (llamado comúnmente “Mirilla” ó “Visor”) es el de proporcionarnos una indicación visual de que la carga de refrigerante del sistema es correcta:

Si el indicador de Líquido se ubica en el recibidor cerca de la Unidad Condensadora y existe burbujeo en ella, se determinará que el sistema no tiene suficiente carga de refrigerante. Sin embargo, durante arranques con grandes cargas térmicas del sistema, puede ocurrir burbujeo temporal en el indicador de líquido. Si el tubo de salida del recibidor presenta obstrucción o es pequeño, la situación del burbujeo ocurrirá la mayor parte del tiempo, aún con la carga correcta de refrigerante del sistema, esta situación es necesario observarla con cuidado para no llegar a la conclusión errónea de que el sistema está bajo de carga.



Figura 3-5. Mirilla indicadora de humedad líquido

3.1.6.- Válvula de expansión

La válvula de expansión es un elemento que se encarga de controlar el paso de refrigerante a través de la compresión o la expansión, en función de la presión requerida por el sistema de aire acondicionado. Esta presión es la que enfría el refrigerante al circular a través de las bobinas del evaporador. (Cero Grados, 2017)

La válvula de expansión termostática (o válvula de termo-expansión) es un dispositivo de medición de flujo de líquido refrigerante instalado a la entrada del evaporador, cuya función es abastecer al evaporador con la cantidad de líquido correcta que garantice que a la salida de éste sólo exista vapor. (Cero Grados, 2017)

Este componente, también conocido como TXV, genera una caída de presión del fluido refrigerante al ser una división entre el lado de alta y baja presión del sistema de refrigeración. A la entrada, la válvula recibe el refrigerante ciento por ciento en estado líquido, mientras que a la salida entregará una mezcla de líquido y gas (también conocida como líquido saturado) que se convertirá en gas en su paso por el evaporador. (Cero Grados, 2017)

La válvula de expansión termostática tiene como objetivo garantizar que exista sobrecalentamiento constante, es decir, que el fluido se encuentre en forma gaseosa con el mismo sobrecalentamiento cuando el sistema está trabajando en el punto de operación para el cual fue diseñado. (Cero Grados, 2017)

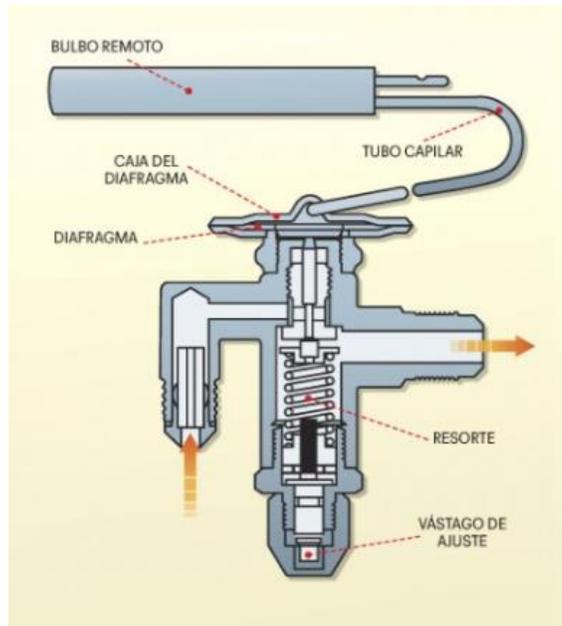


Figura 3-6. Partes de una válvula de expansión termostática (Cero Grados, 2017)

3.1.7.- Distribuidor de refrigerante

Un distribuidor de refrigerante (Figura 3-17) es un dispositivo conectado a la salida de una válvula de expansión termostática (VET). La salida del distribuidor está preparada para aceptar tubos que conectan el distribuidor a todos los circuitos de la batería del evaporador.



Figura 3-7. Distribuidor de refrigerante.

3.1.8.- Intercambiador de calor externo flujo cruzado (Evaporador)

Un equipo de intercambio de calor es el que transfiere energía térmica desde una fuente o un fluido a alta temperatura hacia un fluido a baja temperatura con ambos fluidos moviéndose a través del aparato. Esta transferencia puede realizarse por contacto directo entre los fluidos o a través de una pared que separa la fuente y el fluido o los fluidos. (Cero Grados celsius, 2018)

Un intercambiador de calor de flujo cruzado se utiliza en un sistema de refrigeración y ventilación que requiere la transferencia de calor de una corriente de aire a otra. Los intercambiadores de calor de flujo cruzado están fabricados con paneles metálicos delgados, normalmente de aluminio. La energía térmica se intercambia a través de los paneles. Un intercambiador de calor de flujo transversal tradicional tiene una sección transversal cuadrada. Tiene una eficiencia térmica del 40-65%. Se puede usar un intercambiador de calor de contracorriente o doble flujo cruzado si se requiere una mayor eficiencia térmica (normalmente hasta 75-85%). (Grundfos, 2022)

Todos los intercambiadores de calor refrigerado por aire son equipos que usa el aire como el medio de enfriamiento, y el aire atraviesa el exterior del tubo con aletas para enfriar o condensar el fluido de proceso a alta temperatura dentro del tubo con aletas. Es llamado para abreviar “Refrigerador por Aire”, e “Intercambiador de Calor Refrigerado por Aire”. (HACST, 2019)

Un intercambiador de calor enfriado por aire cuenta con haces de tubos con aletas, ventilador, rejilla, marco, plataforma de mantenimiento y otros componentes requeridos por los usuarios. (HACST, 2019)

Cuando el enfriador de aire está funcionando, el material a enfriar entra en el tubo y el aire ambiente sale del tubo bajo la acción del ventilador, y la diferencia de temperatura entre los dos se usa para enfriar. La ventaja de usar un enfriador de aire en lugar de un enfriador de agua para enfriar o condensar el medio es que no solo ahorra valiosos recursos hídricos, sino que también reduce la contaminación. Además, tiene las ventajas de un bajo costo de mantenimiento, un funcionamiento seguro y una larga vida útil. Especialmente en

algunas áreas con escasez de agua, los enfriadores de aire tienen grandes ventajas ambientales y de costo sobre otros equipos de intercambio de calor. (HACST, 2019)

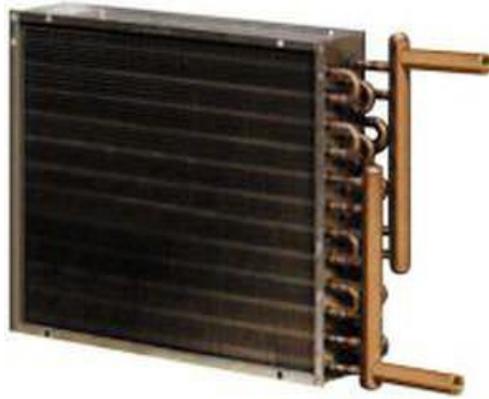


Figura 3-8. Intercambiador de calor de flujo cruzado, también llamado radiador o batería de intercambio

3.1.9.- Ventilador centrífugo

Los ventiladores centrífugos son los ventiladores en los que el aire es impulsado por una turbina o rodete que lo aspira por el centro y lo expulsa a través de sus álabes o palas. Así pues el aire entra al rodete de forma paralela a su eje y sale en dirección perpendicular al mismo, es decir en la dirección de un radio. (Soler & Palau, 2017)

Según el tipo de turbina o rodete que empleen, distinguiremos tres tipos de ventiladores centrífugos: de pala radial, de álabe adelantado (forward) y de pala atrasada (backward). (Soler & Palau, 2017)

- Centrífugos con rodete de pala radial

En estos centrífugos las palas del rodete son rectas y alineadas según un radio, son el tipo menos usado de centrífugos debido a unas pobres prestaciones en términos de eficiencia y ruido, sin embargo son muy adecuados para el trasiego de materiales granulares o pulverulentos porque los álabes, al ser rectos no retienen esos tipos de materiales y permanecen limpios. (Soler & Palau, 2017)

- Centrífugos con rodete de álabe adelantado (forward)

También conocido como tipo de jaula de ardilla, este tipo de ventiladores centrífugos dan más caudal y menos presión que los del tipo pala atrasada y su eficiencia en términos de consumo energético tampoco es tan buena. Son muy utilizados en ventiladores de tamaño pequeño y medio (hasta potencias de motor de 3-5 kw) especialmente en usos residenciales y comerciales donde el ruido sea un factor a tener en cuenta, en efecto, estos ventiladores al disponer de muchos álabes producen relativamente poco ruido. (Soler & Palau, 2017)

- Centrífugos con rodete de pala atrasada (backward)

Los rodetes de estos ventiladores disponen de pocas palas curvadas en el sentido opuesto al giro del rodete, de ahí el nombre de atrasadas.

Por contraposición a los de pala adelantada, ya han quedado reflejadas las principales características de estos rodetes. Son el tipo más usado de los centrífugos, se puede decir que prácticamente es el único tipo de rodete que se usa en potencias grandes dada la alta eficiencia que llegan a conseguir.

Una característica favorable de estos rodetes es que son auto limpiantes (algo similar a los de pala recta) por lo que cuando el aire no es demasiado limpio, no se acumula suciedad en las palas, algo que sí suele ocurrir con los de álabe adelantado.

Los ventiladores centrífugos se usan en multitud de aplicaciones: renovación de aire de viviendas y locales, en unidades de tratamiento de aire, en recuperadores de calor, en agitación y recirculación de aire en hornos y secaderos, en todo tipo de quemadores, para vehicular materiales pulverulentos, entre otros. (Soler & Palau, 2017)



Figura 3-9. Tipos de ventiladores centrífugos

3.2.- Diseños de la bomba de calor geotérmica

En las instalaciones de grupo iiDEA se llevó a cabo el diseño, la selección de componentes del sistema y la construcción de dos bombas de calor de 3 TR de diferente diseño. La primera bomba de calor que se construyó fue con algunos componentes importados de estados unidos, mientras que la segunda bomba de calor se construyó con componentes nacionales.

3.2.1.- Primer diseño de la bomba de calor geotérmica

Para la primer bomba de calor geotérmica de 3 TR (Figura 3-9) que se diseñó y construyó en grupo iiDEA, se realizó un estudio previo de cada uno de los elementos, equipos e insumos disponibles en el mercado nacional y extranjero, los cuales la conforman para poder realizar su selección y finalmente su compra.

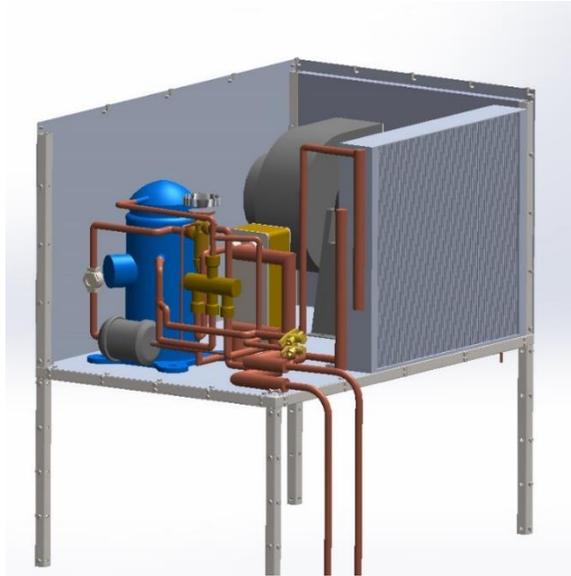


Figura 3-10. Diseño en CAD del primer diseño de la bomba de calor.

Configuración

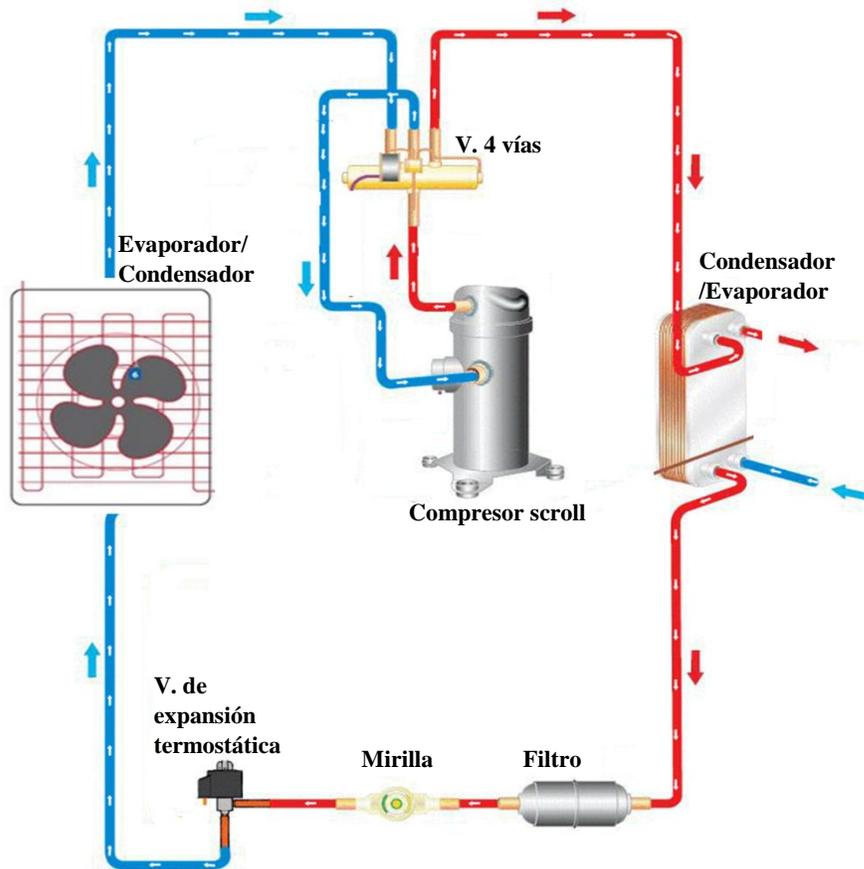


Figura 3-11. Diagrama del primer diseño de la bomba de calor geotérmica (diseño propio)

Selección de material y equipo

Para realizar un mejor desglose y dar una mejor explicación de este apartado se dividirá en tres; 1) Selección del material para la carcasa; 2) Selección de equipos; 3) Selección del material y diámetro de la línea de tubería de la bomba de calor.

1) Selección del material, para la carcasa

Para el diseño de la carcasa se realizó una breve investigación sobre los diferentes tipos de acero que se pueden encontrar en el mercado, solo por mencionar algunos se encuentran:

- Acero al carbón
- Acero aleado
- Acero inoxidable
- Acero galvanizado

Acero al carbón

El acero al carbón, conocido también como acero de construcción o acero maleable, es un material compuesto por carbono y otros elementos como el silicio y el manganeso (Panel y acanalados monterrey, 2020), tiene un aspecto mate y es conocido por ser sensible a la corrosión. En total, existen tres subtipos de este acero: acero con bajo, medio y alto contenido de carbono, con un bajo contenido de alrededor de un 0,30% de carbono, medio con un 0,60% y alto con un 1,5%. Son excepcionalmente fuertes, por lo que a menudo se utilizan para fabricar objetos como cuchillos, cables de alto voltaje, piezas de automóviles, láminas, piezas estructurales y otros objetos similares. (Weerg staff, 2020)

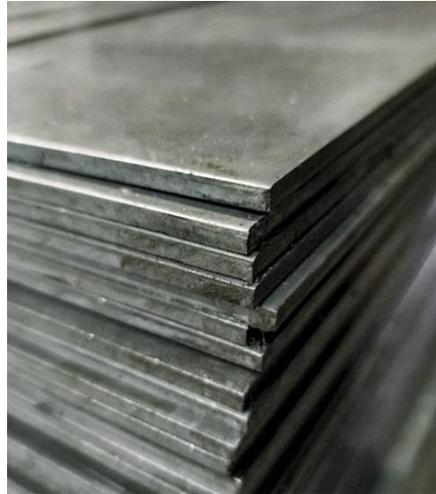


Figura 3-12. Láminas de acero al carbón (Panel y acanalados monterrey, 2020)

Acero aleado:

Los aceros aleados son una mezcla de diferentes metales, como el níquel, el cobre y el aluminio. Estos tienden a ser más baratos, más resistentes a la corrosión y se prefieren para la fabricación de algunas piezas de automóviles, tuberías, cascos de barcos y proyectos mecánicos. Por lo tanto, las características mecánicas de los aceros aleados dependen de la concentración de los elementos que contienen. (Weerg staff, 2020)

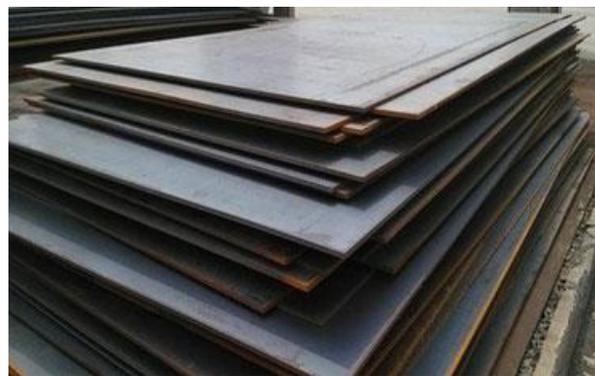


Figura 3-13. Láminas de acero aleado

Acero inoxidable

Los aceros inoxidables son probablemente el tipo más conocido en el mercado. Estos aceros son pulidos y generalmente contienen alrededor de un 10-20% de cromo, su principal elemento de aleación. Esta combinación permite que el acero sea resistente a la corrosión y fácilmente moldeable en varias formas. Debido a su fácil manipulación, flexibilidad y calidad, los aceros inoxidables se pueden utilizar para equipos quirúrgicos, electrodomésticos, cuberterías e incluso implementarse como recubrimiento externo para edificios comerciales / industriales. (Weerg staff, 2020)



Figura 3-14. Láminas de acero inoxidable.

Acero galvanizado

El acero galvanizado es un tipo de acero que se recubre con varias capas de zinc, por lo cual cuenta con una protección contra la oxidación a causa de las condiciones de humedad e inclemencias del clima que hacen que aparezca corrosión en el metal. Esto hace que sea un material más duradero y resistente. Este acero recubierto tiene una variedad de aplicaciones, en las que se incluye su uso en la construcción y fabricación de componentes industriales. (Panel y Acanalados Monterrey, 2019)

El metal galvanizado al estar constituido por varias capas de aleaciones zinc-hierro, cuenta con una cobertura en la totalidad de la superficie de la pieza, por lo cual dispone de las siguientes propiedades:

- Resistencia a la abrasión.
- Resistencia a la corrosión atmosférica, de agua dulce y agua de mar.
- Alta fuerza y durabilidad ante daños mecánicos.
- Límite elástico.
- Resistencia a tracción.
- Alargamiento total
- Coeficiente de endurecimiento.
- Ductilidad.

Ventajas del acero galvanizado

- Resistencia a la corrosión que se produce en la atmósfera, que evita que la humedad, cloruros y sulfuros afecten al acero.
- Es un tipo de acero que tiene una alta durabilidad.
- Apariencia estética y brillante.
- Sin mantenimiento, lo que se ve reflejado en el coste-beneficio.
- Es fácil de manejar, puede ser soldado, atornillado, pintado y combinado con todo tipo de piezas.
- En un material reciclable

Resistencia del acero galvanizado

El acero galvanizado tiene una gran resistencia al calor, además puede durar y conservarse en perfectas condiciones hasta más de 70 años lo que hace que sea un material muy rentable. (Panel y Acanalados Monterrey, 2019)

- En entornos rurales se considera que cuenta con una vida útil de hasta 150 años.
- En ambientes industriales y costa tiene una durabilidad de entre 50-100 años.
- En entornos muy corrosivos puede durar hasta 25 años.



Figura 3-15. Láminas de Acero Galvanizado

Teniendo en cuenta estas características, el acero seleccionado fue el galvanizado, como se sabe este tipo de acero es resistente a la corrosión, y las zonas en donde se pretende su instalación es en ambientes húmedos y calurosos por lo que protegería de forma adecuada los componentes que conforman la bomba de calor, sin mencionar que es de los más económicos y accesibles del mercado.

2) Selección de equipos

Para la selección de equipos de la bomba de calor se investigó previamente los equipos que comúnmente se utilizaban en las comerciales. teniendo así la siguiente selección.

Selección del Compresor

Para la selección del compresor a pesar de que en todas las comerciales tienen compresor tipo scroll se decidió investigar todos los tipos de compresores que se podían utilizar para aire acondicionado y conocer sus características para seleccionar el mejor en la relación de beneficio-costo, teniendo los siguientes.

- Reciprocante o alterno
- Rotativo
- Centrífugos
- Tornillo
- Scroll

Compresor recíprocante o alterno

Es aquel que recibe un movimiento rotativo y lo convierte en alterno. Básicamente un compresor recíprocante está constituido de pistones y cilindros siendo esto por la forma de trabajar lo que le da el nombre. El movimiento es aplicado a un cigüeñal o un equivalente en función y este lo transfiere al pistón o pistones a través de la biela. (Mundo HVAC&R, 2015)

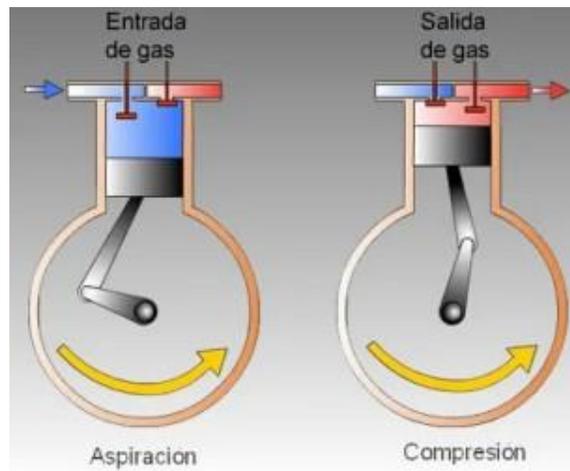


Figura 3-16. Compresor recíprocante o alterno (Aire acondicionado, 2017)

Compresor rotativo

Los compresores de aire acondicionado rotativos poseen acoplamiento directo del motor y no tienen válvulas de admisión, circulando el gas siempre en el mismo sentido. Admiten elevadas relaciones de compresión ya que el abundante aceite del mismo ayuda a lubricar y además ayuda a eliminar el calor producido por el propio compresor. Estos están sujetos a mucha menos vibración mecánica que los compresores alternativos.

El eje motor y el eje del estator son concéntricos, mientras que el eje del rotor es excéntrico.

Son más comunes en aplicaciones domésticas pequeñas tales como refrigeradores, acondicionadores de aire de ventana, sistemas mini-partidos de acondicionamiento de aire y bombas de calor hasta cinco toneladas.

Hay dos tipos básicos de compresores rotativos: el de una sola hoja fija y el de hojas que rotan. (Mundo HVAC&R, 2015)

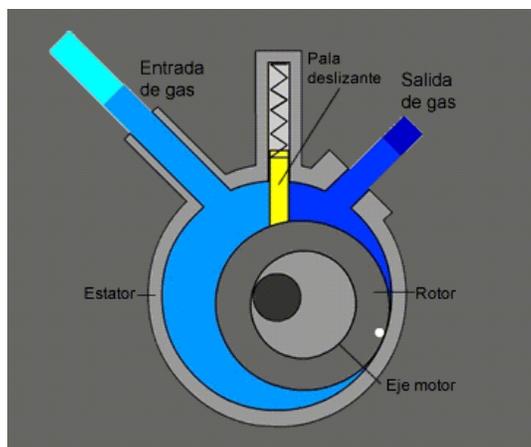


Figura 3-17. Compresor rotativo. (Aire acondicionado, 2017)

Compresor centrífugo

Son diseñados con la finalidad de ser utilizados en sistemas de grandes capacidades que van desde las cincuenta hasta las cinco mil toneladas de refrigeración. En este tipo de compresor, el refrigerante en vapor se mueve hacia afuera según se mueve la turbina rápidamente. Esta acción es llamada fuerza centrífuga (sin embargo el término correcto es fuerza centrípeta).

Su gama de potencia frigorífica se extiende de 350 kW a 12.000 kW y las temperaturas de vaporización pueden variar de +10 C a -160 C. Se utilizan para climatización como enfriadoras de agua. (Mundo HVAC&R, 2015)



Compresor de tornillo

Figura 3-18. Compresor Centrífugo. (Aire acondicionado, 2017)

Son utilizados en sistemas de gran capacidad que van desde las veinte hasta las trescientas toneladas de refrigeración. Vienen abiertos o herméticos. Los compresores abiertos son mayormente utilizados en sistemas con refrigerante en armonía. Los herméticos son utilizados con refrigerantes halogenados.

El compresor de tornillo consta de dos partes principales que son dos rotores de forma helical conocidos como el macho y la hembra. El macho tiene cuatro dientes mientras que la hembra tiene seis dientes. El motor mueve al macho y este a su vez mueve a la hembra. (Mundo HVAC&R, 2015)

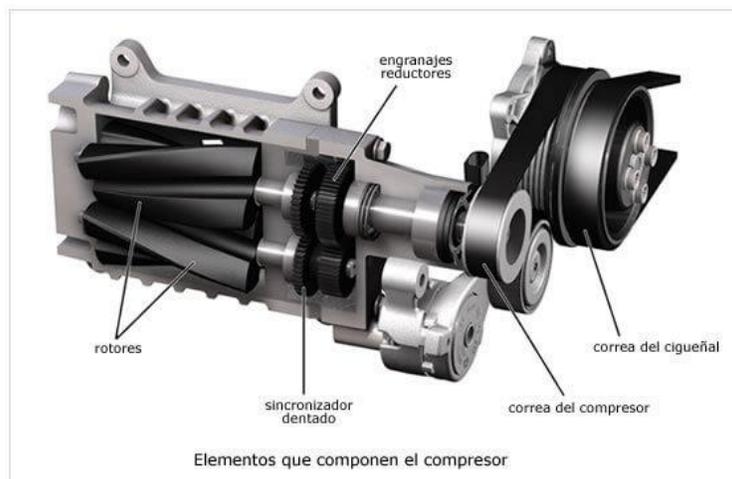


Figura 3-19. Compresor de tornillo. (Aire acondicionado, 2017)

Compresor scroll

Como ya se había mencionado al inicio de este capítulo, los compresores tipo scroll tienen mayor capacidad de desplazamiento volumétrico, y una gran diferencia en el consumo de energía comparada con otros compresor (su consumo de energía es menor), lo que representa bajos costos de operación durante el proceso de arranques y puestas en marchas. (Luis Vega, 2022)



Figura 3-20. Compresor tipo scroll

Finalmente teniendo en cuenta esta información y comparación se decidió elegir el compresor tipo scroll ya que es más económico, con menos refrigerante nos proporciona mayores temperaturas y presiones alcanzando las que se requieren para aire acondicionado y es óptimo para su uso en interiores domésticos debido a que su funcionamiento es silencioso.

Para su selección se requirió la capacidad de la bomba de calor, los Hz (50 o 60 Hz, en este caso como estamos en México tiene que ser de 60 Hz) y si se requería que el compresor fuera monofásico o trifásico (Figura 3-20).

Compresor											
Modelos	Capacidad frigorífica (kW)			CdR*	Desplazamiento (cm ³)	Conexión de aspiración (pulgadas)	Conex. Descarga (pulgadas)	Cantidad de aceite (l)	Largo/Ancho/Alto (mm)	Peso neto (kg)	Presión sonora a 1 m dB(A)**
	Mín	Máx	Nominal								
XPV0182E	1,3	10,4	8,2	3,1	18,0	3/4	1/2	0,7	194/216/335	16	n.a.
XPV0252E	1,8	14,5	11,1	3,1	25,0	3/4	1/2	0,7	194/216/335	16	62
XPV0303E	2,2	17,4	13,0	3,1	30,0	3/4	1/2	1,2	218/198/379	19	62
XPV0383E	2,7	22,5	17,0	3,2	38,0	3/4	1/2	1,2	218/198/379	20	73
XPV0462E	6,2	24,0	20,5	3,2	46,0	3/4	1/2	1,2	229/198/388	22	n.a.
ZPV0662E	8,5	39,0	29,0	3,1	63,0	1 1/2	7/8	2,50	273/262/559	40	73
ZPV0962E	13,0	58,1	43,5	3,1	96,0	1 1/2	7/8	2,50	273/262/559	44	75

Figura 3-21. Tabla de la selección del compresor tipo scroll

Selección de la válvula de expansión

La válvula de expansión que se seleccionó en este diseño fue importada de Estados Unidos, debido a que la característica bidireccional que se buscaba en este tipo de válvula no se encuentra en el mercado mexicano (Figura 3-21).

Table 10: R410A, Range K -25 – 10 °C / -15 – 50 °F with MOP 15 °C / 60 °F, OS = 4 K / 7.2 °F

Valve type	Orifice no.	Rated capacity		Connections solder ODF		Code no. Multi pack
		[KW]	[TR]	Inlet x Outlet [inch]	Pressure equalization [inch]	
TGE 10	3	12	3.5	3/8 x 5/8	1/4	067N3000
TGE 10	3	12	3.5	1/2 x 5/8	1/4	067N3001
TGE 10	4	16	4.5	1/2 x 7/8	1/4	067N3002
TGE 10	6	24	6.5	1/2 x 5/8	1/4	067N3003
TGE 10	6	24	6.5	5/8 x 7/8	1/4	067N3005

Figura 3-22. Tabla de selección de válvula de expansión termostática.

Selección de la válvula de 4 vías

La selección de la válvula de 4 vías estuvo limitada a una sola marca existente en México haciendo que su selección fuera difícil porque no cumplía con ciertos requisitos que se necesitaban como por ejemplo que el solenoide fuera de 24 V, únicamente se encontró de 220 V.

Model	Packing format	Danfoss code	Capacity [kW] R290/R410A	Style	Discharge	Suction	Media temperature	MWP	Approval
					[in]	[in]	[°C]	[bar]	
STF-H0167	45	061L1348	4.8	A	5/16	3/8	130	45	CE
STF-H0267	32	061L1349	9.5	A	3/8	1/2	130	45	CE
STF-H0321	32	061L1350	9.5	E	1/2	5/8	130	45	CE
STF-H0351	32	061L1351	13.7	B	1/2	5/8	130	45	CE
STF-H0429	24	061L1352	18.2	F	1/2	3/4	130	45	CE
STF-H0651	24	061L1353	25.1	B	1/2	3/4	130	45	CE
STF-H0731	6	061L1354	31.2	F	3/4	7/8	130	45	CE
STF-H0951	6	061L1355	38.12	B	3/4	7/8	160	49	CE
STF-H0954	6	061L1356	38.12	F	7/8	11/8	160	49	CE
STF-2028G	1	061L1357	41.8	F	11/8	13/8	160	49	CE
STF-2525G	1	061L1358	63.2	G	11/8	13/8	160	49	CE
STF-3015G	1	061L1345	89.4	G	11/8	15/8	160	49	CE
STF-4016G	1	061L1346	125.5	G	15/8	15/8	160	49	CE
STF-5017G	1	061L1360	161.3	G	15/8	2 1/2	160	49	CE
STF-6009G	1	061L1361	265.8	G	15/8	2 3/8	160	49	CE
STF-25U25G	1	061L1365	63.2	G	11/8	13/8	160	49	UL
STF-30U15G	1	061L1366	89.4	G	11/8	15/8	160	49	UL
STF-40U16G	1	061L1367	125.5	G	15/8	15/8	160	49	UL
STF-50U16G	1	061L1368	161.3	G	15/8	2 1/2	160	49	UL
STF-60U9G	1	061L1369	265.8	G	15/8	2 1/3	160	49	UL

Figura 3-23. Tabla de la selección de la válvula de 4 vías

Selección del filtro deshidratador

En la selección del filtro deshidratante se investigó que para su selección unicamente debe de cumplir que éste sea para el tipo de refrigerante que se ocupará (en este caso es el R-410A), el diámetro de entrada y salida de la línea de tubería en la que estará instalado (ya sea de succión o descarga) en este caso estará en la línea de descarga y su capacidad tiene que ser igual o mayor (de preferencia mayor) a las toneladas de refrigerante que será la bomba de calor , en este caso la bomba de calor tiene una capacidad de 3 TR por lo que se eligió un filtro que tiene una capacidad de 3.4 TR. (Figura 3-24).

Modelo	Conexión	Capacidad de Flujo Tons @ 1 psi ΔP 1, 4 (Para kW, multiplique las tons por 3.5)			Capacidad de Retención de Humedad (en gotas de agua) 3					
		R-22	R-407C	R-410A	R-22		R-410A		R-407C	
					75°F (24°C)	125°F (52°C)	75°F (24°C)	125°F (52°C)	75°F (24°C)	125°F (52°C)
BFK-052	1/4 SAE	1.6	1.6	1.6	73	66	58	42	39	35
BFK-052S	1/4 ODF	2.2	2.2	2.2						
BFK-053	3/8 SAE	3.5	3.5	3.4						
BFK-053S	3/8 ODF	4	4	3.9	159	144	106	79	85	75
BFK-083	3/8 SAE	4.5	4.5	4.4						
BFK-083S	3/8 ODF	5.1	5.1	5						
BFK-084	1/2 SAE	6.4	6.4	6.3						
BFK-084S	1/2 ODF	6.7	6.7	6.6						
BFK-085	5/8 SAE	7.2	7.2	7						
BFK-085S	5/8 ODF	8.1	8.1	7.9						
BFK-163	3/8 SAE	4.6	4.6	4.5	323	294	237	179	178	160
BFK-163S	3/8 ODF	5.2	5.2	5.1						
BFK-164	1/2 SAE	7.7	7.7	7.6						
BFK-164S	1/2 ODF	8.1	8.1	7.9						
BFK-165	5/8 SAE	8.3	8.3	8.1						
BFK-165S	5/8 ODF	8.7	8.7	8.5						
BFK-167S	7/8 ODF	9	9	8.9						
BFK-303S	3/8 ODF	5.8	5.8	5.7	585	532	452	345	415	293
BFK-304	1/2 SAE	7.6	7.6	7.5						
BFK-304S	1/2 ODF	9.7	9.7	9.5						
BFK-305	5/8 SAE	10.3	10.3	10.1						
BFK-305S	5/8 ODF	14.2	14.2	13.9						
BFK-306S	3/4 ODF	16	16	15.7						
BFK-307S	7/8 ODF	16.7	16.7	16.4						
BFK-309S	1 1/8 ODF	18	18	17.5						

Figura 3-24. Tabla de la selección del filtro deshidratador.

Selección del intercambiador de placas planas (condensador)

Para esta selección se realizó el cálculo del número de placas necesarios para su correcto intercambio de calor con el fluido geotérmico y el área total, llegando a la siguiente selección (Figura 3-24)

Modelo	L1 (mm)	L2 (mm)	W1 (mm)	W2 (mm)	Espesor H (mm)	Peso (kg)	Área de transferencia de calor / placa (m2)	Área total de transferencia de calor (m2)	Volumen / Canal (litro)	Volumen total (litro)
K025S	205	172	73	42	7.30+2.27*N	0.51+0.040*N	0.012	(N-2)*0.0120	0.025	(N-1)*0.025
K030S	194	154	80	40	11.0+2.20*N	0.96+0.047*N	0.0117	(N-2)*0.0117	0.025	(N-1)*0.025
K040S	311	278	73	40	9.00+2.30*N	0.84+0.070*N	0.0195	(N-2)*0.0195	0.04	(N-1)*0.040
K050S	306	250	106	50	12.0+2.38*N	2.39+0.116*N	0.0255	(N-2)*0.0255	0.055	(N-1)*0.055
K060S	466	432	74	40	10.0+2.30*N	1.23+0.100*N	0.0302	(N-2)*0.0302	0.064	(N-1)*0.064
K070S	304	250	124	70	12.0+2.38*N	2.52+0.134*N	0.03	(N-2)*0.0300	0.065	(N-1)*0.065
K095S	522	466	106	50	13.0+2.38*N	3.77+0.204*N	0.0475	(N-2)*0.0475	0.095	(N-1)*0.095
K105S	504	444	124	64	13.0+2.38*N	5.47+0.237*N	0.0533	(N-2)*0.0533	0.107	(N-1)*0.107
K200S	613	519	186	92	17.0+2.40*N	12.12+0.404*N	0.0945	(N-2)*0.0945	0.206	(N-1)*0.206
K205S	528	456	246	174	16.5+2.40*N	13.36+0.480*N	0.1099	(N-2)*0.1099	0.232	(N-1)*0.232
K215S	529	449	247	167	16.0+2.40*N	13.80+0.473*N	0.1103	(N-2)*0.1103	0.22	(N-1)*0.220

Figura 3-25. Tabla de la selección del intercambiador de calor de placas planas

Selección del distribuidor de refrigerante

En la selección del distribuidor del refrigerante se utiliza la temperatura del evaporador y su capacidad de refrigerante, esto para saber cuantas líneas de distribución serán y el diámetro de éstas. Para este distribuidor se seleccionó uno de 3 salidas con un diámetro de 1/4" cada una y un diámetro de entrada de 5/8"(Figura 3-26).

Cantidad de circuitos y tamaño de tubos disponibles	Números de orificios de boquillas disponibles	Boquilla y tamaño del aro de retención	Conexiones de entrada-pulgadas
Tipo D260			
2 a 6 - 3/16"	1/9 hasta 8	L	ODMSoldar 1/2
2 a 4 - 1/4"			
Tipo D262			
7 a 9 - 3/16"	1/9 hasta 8	L	ODMSoldar 1/2
5 a 6 - 1/4"			
2 a 4 - 5/16"			
Tipo 1620			
2 a 6 - 3/16"	1/9 hasta 10	L	ODMSoldar 5/8
2 a 4 - 1/4"			
Tipo 1622			
7 a 9 - 3/16"	1/9 hasta 10	L	ODMSoldar 5/8
5 a 7 - 1/4"			
2 a 4 - 5/16"			
Tipo 1112			
5 a 7 - 3/16"	1/6 hasta 20	L	ODMSoldar 7/8
4 a 6 - 1/4"			
2 a 4 - 5/16"			
2 - 3/8"			
Tipo 1113			
8 a 12 - 3/16"	G - 1/6 hasta 20	G	ODMSoldar 7/8
7 a 8 - 1/4"			
5 a 6 - 5/16"			
3 a 4 - 3/8"			
Tipo 1135			
13 a 17 - 3/16"	2 hasta 20	G	ODMSoldar 7/8
9 a 8 - 1/4"			

Figura 3-26. Tabla de la selección del distribuidor del refrigerante

Selección del ventilador centrífugo

Para la selección del ventilador centrífugo se requirió su caudal en m^3/h y la presión. Seleccionando así un ventilador el cual tiene un caudal de $3783.28 \text{ m}^3/\text{h}$. (Figura 3-27)

Código Producto	Descripción	Punto de trabajo %	Caudal	Psf	Ptot	RPM (rpm)	Diámetro impulsión (mm)
5CET-5000	CET-5000	108	3783.28212	585.216005	585.216005	1760	214
5CET-4000	CET-4000	93	3251.03149	432.13664	432.13664	1760	179
5CET-5000	CET-5000	108	3783.28212	585.216005	585.216005	1760	214
5CET-4000	CET-4000	93	3251.03149	432.13664	432.13664	1760	179

Figura 3-27. Tabla de la selección del ventilador centrífugo

Selección del intercambiador de calor refrigerado por aire (evaporador)

Este tipo de intercambiadores de calor se calcula y se diseña de manera particular para que pueda satisfacer las condiciones de trabajo necesarias. Una vez diseñado y calculado se manda a manufacturar con empresas dedicadas a estos intercambiadores de calor.

En la tabla (Tabla 3-3) siguiente se muestra el número de tubos totales y aletas con sus respectivas dimensiones que se necesita para manufacturar el intercambiador de calor refrigerado por aire para esta bomba de calor.

Intercambiador de calor			
Área del intercambiador de calor requerida	Ap	0.353	m ²
Largo de la cara frontal	L	0.58	m
Altura	h	0.61	m
Ancho	Lw	0.08	m
Tubos			
Material		Cobre	
Largo de tubo	Lt	0.58	m
Diámetro exterior	Do	0.0127	m
Diámetro nominal	Dn	3/8	in
Número de tubos por fila	Nt	19	tubos/fila
Número de filas	Nr	3	filas
Número total de tubos	Ntt	57	tubos
Forma		Triangular	
Aletas			
Material		Aluminio	
Altura de aletas	hf	0.51	m
Ancho de aletas	wf	0.03	m
Espesor de aletas	δf	0.0001	m
Número de aletas	Nf	290	aletas
Paso entre aletas	pf	0.002	m

Tabla 3-1. Dimensionamiento, número de tubos y aletas para el intercambiador de calor refrigerado por aire

Finalmente los equipos y el material para la carcasa seleccionados se muestran en la siguiente tabla (Tabla 3-2).

Componentes utilizados para el sistema de la bomba de calor	Cantidad	Unidad
Compresor Danfoss Scroll 1/2" x 3/4" 3TR, 220V	1	Pieza
Válvula reversora de 4 vías 3 TR 220 v 1/2" x 5/8"	1	Pieza
Intercambiador de calor de placas planas 32 placas, 3 TR, 5/8" x 3/4"	1	Pieza
Deshidratador Sporlan 3.4 TR bidireccional, 3/8"	1	Pieza
Válvula de expansión Danfoss 3 TR 3/8" x 5/8" bidireccional	1	Pieza
Distribuidor de refrigerante 5/8", 3 orificios 1/4"	1	Pieza
Intercambiador de calor refrigerado por aire (diseñado por grupo iiDEA)	1	Pieza
Ventilador Soler & Palau CET - 5000 (caudal max. 4225 m ³ /h)	1	Pieza
Tubería de cobre 7/8", 5/8", 1/2", 3/8", 3/4".	1	Rollo/cu
Material utilizado para la carcasa de la bomba de calor	Cantidad	Unidad
Acero galvanizado	2	Pieza
Tornillos	109	Pieza
PTR galvanizado verde	3	Pieza
Aislante térmico acústico de fibra de vidrio	2	Pieza

Tabla 3-2. Componentes seleccionados para el sistema de la bomba de calor y material utilizado para la carcasa del primer diseño.

3.2.2.- Segundo diseño de la bomba de calor geotérmica

Para el segundo diseño de la bomba de calor geotérmica de 3 TR (Figura 3-27), se utilizaron algunos componentes del primer diseño, se seleccionaron algunos otros como lo fueron la válvula de expansión y el filtro y se agregaron otros como la válvula check, cabe resaltar que todos los componentes seleccionados en este diseño se encuentran en el mercado nacional.

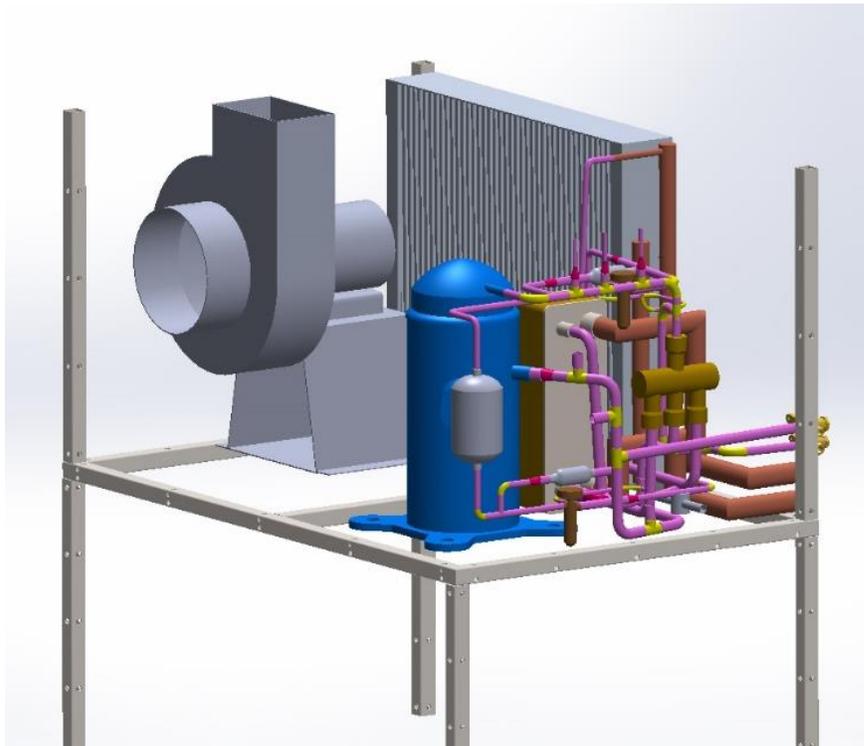


Figura 3-28. Diseño en CAD del segundo diseño de la BCG.

Configuración

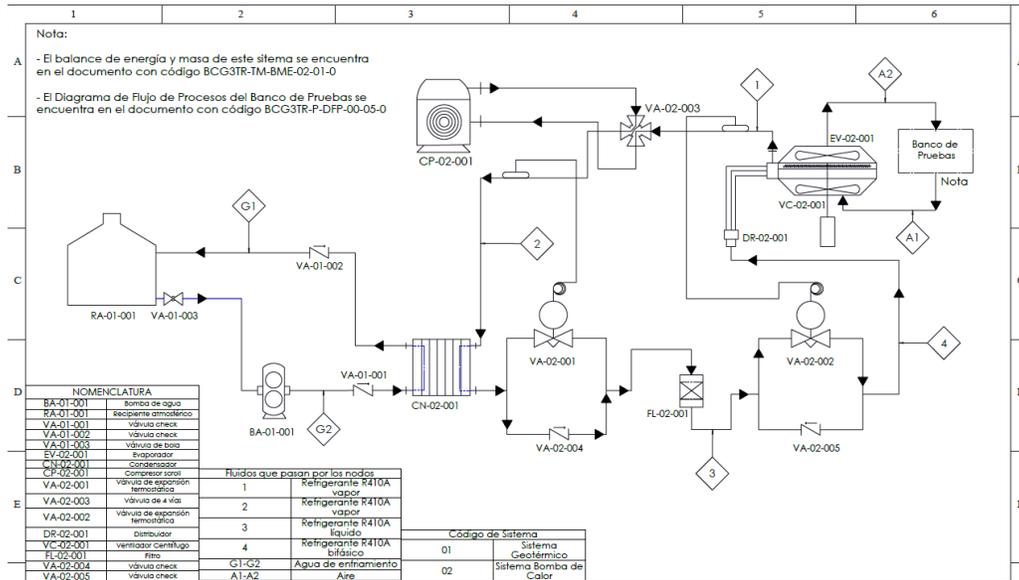


Figura 3-29. Diseño en solidworks del sistema de la bomba de calor con dos VET y dos válvulas check, modo verano. (Ver Anexo D y C)

Selección de la válvula de expansión termostática

En la selección de la válvula de expansión para este segundo diseño se eligieron dos válvulas de diferente capacidad como se muestra en la Figura 3-30, esto es debido a que en el mercado mexicano no se encuentran las válvulas de expansión bidireccionales por lo que en la configuración de la bomba de calor para su debido funcionamiento se tienen que colocar dos válvulas de expansión.

En esta selección se eligió una válvula con una capacidad de 3.5 TR y otra de 4.5 TR, ambas con un diámetro de entrada de 1/2", diámetro de salida de 5/8" y un ecualizador de 1/4".

Tipo de válvula	Número de orificio	Range N, K, MAH		Conecciones. ODF solder inlet x outlet x ecualizador		Largo del tubo capilar [mm]
		R410A		[in.]	[mm]	
		KW	TR			
TGE 10	3	12	3.5	3/8 x 5/8 x 1/4	10 x 16 x 6	1.5
	4	16	4.5	1/2 x 5/8 x 1/4	12 x 16 x 6	1.5
	6	24	6.5	1/2 x 7/8 x 1/4	12 x 22 x 6	1.5
	8	32	9	5/8 x 5/8 x 1/4	16 x 16 x 6	1.5
	9	37	11	5/8 x 7/8 x 1/4	16 x 22 x 6	1.5
	11	45	13	5/8 x 1 1/8 x 1/4	16 x 28 x 6	1.5
	12.5	50	14	7/8 x 7/8 x 1/4	22 x 22 x 6	1.5
TGE 20	12.5	54	15	5/8 x 5/8 x 1/4	16 x 16 x 6	1.5
				5/8 x 7/8 x 1/4	16 x 22 x 6	1.5
	16	68	19	5/8 x 1 1/8 x 1/4	16 x 28 x 6	1.5
				7/8 x 7/8 x 1/4	22 x 22 x 6	1.5
	20	79	23	7/8 x 1 1/8 x 1/4	22 x 28 x 6	1.5
				7/8 x 1 3/8 x 1/4	22 x 35 x 6	1.5
	21	91	26	1 1/8 x 1 1/8 x 1/4	28 x 28 x 6	1.5
1 1/8 x 1 3/8 x 1/4				28 x 35 x 6	1.5	
TGE 40	26	110	31	7/8 x 7/8 x 1/4	22 x 22 x 6	3
	30	125	35	7/8 x 1 1/8 x 1/4	22 x 28 x 6	3
	40	161	46	7/8 x 1 3/8 x 1/4	22 x 35 x 6	3
				1 1/8 x 1 1/8 x 1/4	28 x 28 x 6	3
42	182	52	1 1/8 x 1 3/8 x 1/4	28 x 35 x 6	3	

Figura 3-30. Tabla de la selección de dos válvulas de expansión

Selección del filtro deshidratante

Como se mencionó anteriormente en la selección del filtro del primer diseño se recomienda que el filtro sea de una capacidad igual o mayor que la capacidad de la bomba de calor, sin embargo, investigando un poco más a fondo se menciona que el filtro deshidratante entre mayor capacidadad tenga comparada con el de la bomba de calor tendrá una mayor absorción de humedad y de detención de partículas sólidas, haciendo que el filtro tarde más para ser cambiado del sistema.

Para esta selección se eligió un filtro deshidratador de 3 a 6.6 TR y un diámetro de entrada y salida de 1/2". (Figura 3-31)

Modelo	Conexión	Capacidad de Flujo Tons @ 1 psi ΔP 1, 4 (Para kW, multiplique las tons por 3.5)			Capacidad de Retención de Humedad (en gotas de agua) ³					
					R-22		R-410A		R-407C	
		R-22	R-407C	R-410A	75°F (24°C)	125°F (52°C)	75°F (24°C)	125°F (52°C)	75°F (24°C)	125°F (52°C)
BFK-052	1/4 SAE	1.6	1.6	1.6	73	66	58	42	39	35
BFK-052S	1/4 ODF	2.2	2.2	2.2						
BFK-053	3/8 SAE	3.5	3.5	3.4						
BFK-053S	3/8 ODF	4	4	3.9	159	144	106	79	85	75
BFK-083	3/8 SAE	4.5	4.5	4.4						
BFK-083S	3/8 ODF	5.1	5.1	5						
BFK-084	1/2 SAE	6.4	6.4	6.3	323	294	237	179	178	160
BFK-084S	1/2 ODF	6.7	6.7	6.6						
BFK-085	5/8 SAE	7.2	7.2	7						
BFK-085S	5/8 ODF	8.1	8.1	7.9	585	532	452	345	415	293
BFK-163	3/8 SAE	4.6	4.6	4.5						
BFK-163S	3/8 ODF	5.2	5.2	5.1						
BFK-164	1/2 SAE	7.7	7.7	7.6	16	16	15.7	16.4	18	18
BFK-164S	1/2 ODF	8.1	8.1	7.9						
BFK-165	5/8 SAE	8.3	8.3	8.1						
BFK-165S	5/8 ODF	8.7	8.7	8.5	16.7	16.7	16.4	18	18	17.5
BFK-167S	7/8 ODF	9	9	8.9						
BFK-303S	3/8 ODF	5.8	5.8	5.7						
BFK-304	1/2 SAE	7.6	7.6	7.5	16	16	15.7	16.4	18	18
BFK-304S	1/2 ODF	9.7	9.7	9.5						
BFK-305	5/8 SAE	10.3	10.3	10.1						
BFK-305S	5/8 ODF	14.2	14.2	13.9	16.7	16.7	16.4	18	18	17.5
BFK-306S	3/4 ODF	16	16	15.7						
BFK-307S	7/8 ODF	16.7	16.7	16.4						
BFK-309S	1 1/8 ODF	18	18	17.5						

Figura 3-31. Tabla de la selección del filtro deshidratante

Selección de válvula check

En esta selección únicamente fueron necesarios saber los diámetros de las tuberías en las que estarían colocadas y en este caso fueron dos válvulas check con un diámetro de 1/2".



Figura 3-32. Válvula check utilizada en la bomba de calor geotérmica

Finalmente, en la siguiente tabla (Tabla 3-3) se enlistan los componentes que se utilizaron en la segunda configuración de la bomba de calor geotérmica y los materiales usados para crear la carcasa.

Componentes utilizados para el sistema de la bomba de calor	Cantidad	Unidad
Compresor Danfoss Scroll 1/2" x 3/4" 3TR, 220V	1	Pieza
Válvula reversora de 4 vías 3 TR 220 v 1/2 x 5/8"	1	Pieza
Intercambiador de calor de placas planas 32 placas, 3 TR, 5/8" x 3/4"	1	Pieza
Deshidratador Sporlan 3 a 6.6 TR bidireccional 1/2"	1	Pieza
Válvula de expansión Emerson 3.5 TR 1/2" x 5/8" x 1/4" unidireccional	1	Pieza
Válvula de expansión Emerson 4.5 TR 1/2" x 5/8" x 1/4" unidireccional	1	Pieza
Distribuidor de refrigerante 5/8", 3 orificios 1/4"	1	Pieza
Intercambiador de calor de refrigeración por aire (diseñado por grupo iiDEA)	1	Pieza
Mirilla indicador de líquido	1	Pieza
Válvulas check 1/2"	2	Pieza
Ventilador Soler & Palau CET - 5000 (caudal max. 4225 m ³ /h)	1	Pieza
Tubería de cobre 3/4", 5/8", 1/2"	1	Pieza
Material utilizado para la carcasa de la bomba de calor	Cantidad	Unidad
Acero galvanizado	190	m ²
PTR galvanizado verde	28	Pieza
Aislante térmico acústico de fibra de vidrio	2	Pieza
Soldadura FLUX core	1	Pieza

Tabla 3-3. Componentes seleccionados para el sistema de la bomba de calor y material utilizado para la carcasa del segundo diseño.

En la Tabla 3-2 y 3-3 se observa que el número de componentes incrementaron comparando el segundo diseño con el primer diseño (Figura 3-33), esto debido a que varios componentes de la bomba de calor que comunmente se usan son bidireccionales, los cuales no se encuentran en el mercado nacional, por lo que se tuvo que utilizar otra configuración para obtener un funcionamiento adecuado y eficiente en la bomba de calor. Hay que recordar que uno de los objetivos en la creación de esta bomba de calor es que todos los componentes usados sean fabricados en México.

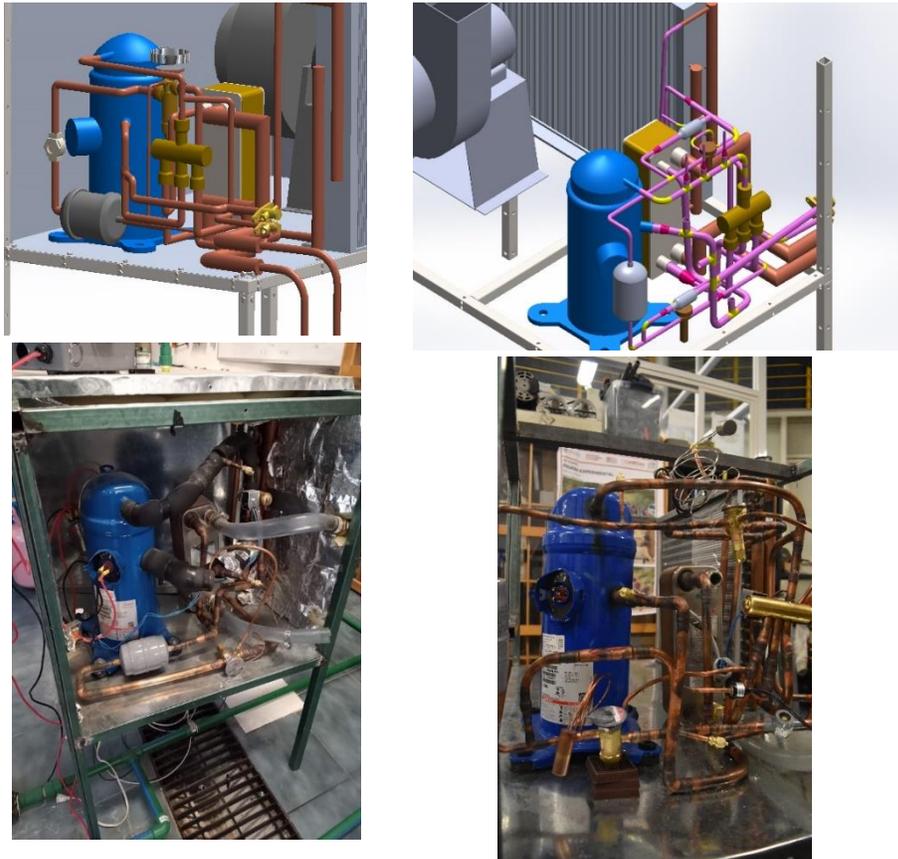


Figura 3-33. Comparación de diseño del sistema de la BCG entre el primero y la segunda configuración

3.3.- Pruebas de presiones y temperaturas de los prototipos

En ambos diseños se realizaron una serie de pruebas (en modo verano) para obtener las presiones y temperaturas, y así poder determinar el COP de ambos diseños y compararlos.

3.3.1.- Pruebas en el primer diseño

Para poder obtener las presiones y temperaturas en el sistema se colocaron unos sensores en la entrada y salida del compresor, los cuales corresponden a las presiones de baja y alta respectivamente, y los sensores de temperatura se colocaron en la entrada y salida del

compresor y en la salida del ventilador centrífugo para medir la temperatura de salida del aire y la humedad (Figura 3-34).

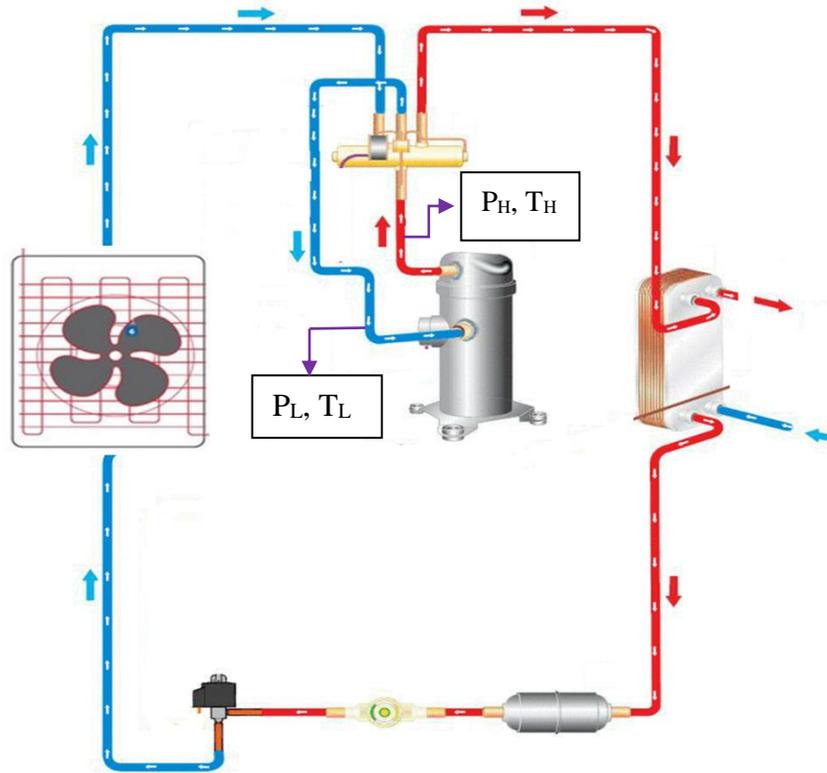


Figura 3-34. Diagrama de colocación de los sensores de presión alta y baja del primer diseño de la bomba de calor

Se realizaron en total 6 pruebas del primer diseño y por medio de los sensores se obtuvieron los siguientes datos (Tabla 3-4).

Pruebas en la BC de 3 TR			
Prueba 1		Prueba 2	
Presión de alta - psi	250	Presión de alta psi	245
Presión de baja - psi	55	Presión de baja psi	50
Temperatura del compresor - °C	67.5	Temperatura del compresor - °C	65
Inyección de Refrigerante			
Peso de la boya antes de inyectar kg	12.90	Peso de la boya después de inyectar kg	12.08
Prueba 3		Prueba 4	
Presión de alta - psi	325 ~ 350	Presión de alta - psi	325 ~ 350
Presión de baja - psi	75	Presión de baja - psi	90
Temperatura del compresor - °C	63	Temperatura del compresor - °C	60
Prueba 5		Rango de Presiones permitidas para el refrigerante R410a	
Presión de alta - psi	385		
Presión de baja - psi	85 ~ 90		
Temperatura del compresor - °C	58	Presión de alta - psi	375 ~ 380
		Presión de baja - psi	105 ~ 130

Tabla 3-4. Presiones experimentales de la bomba de calor geotérmica primer diseño

En laTabla 3-4 se puede observar como la presión de alta y de baja se van incrementando después de inyectarle refrigerante R410A al sistema, llegando a la quinta prueba con una presión de 90 psi en la de baja y 385 psi en la de alta, mientras que la temperatura del compresor va disminuyendo conforme aumenta la presión llegando a sus rangos de trabajo.

En la última prueba que se realizó en este primer diseño (Figura 3-34) se pueden apreciar unas presiones y unas temperaturas más cercanas a las óptimas de trabajo.

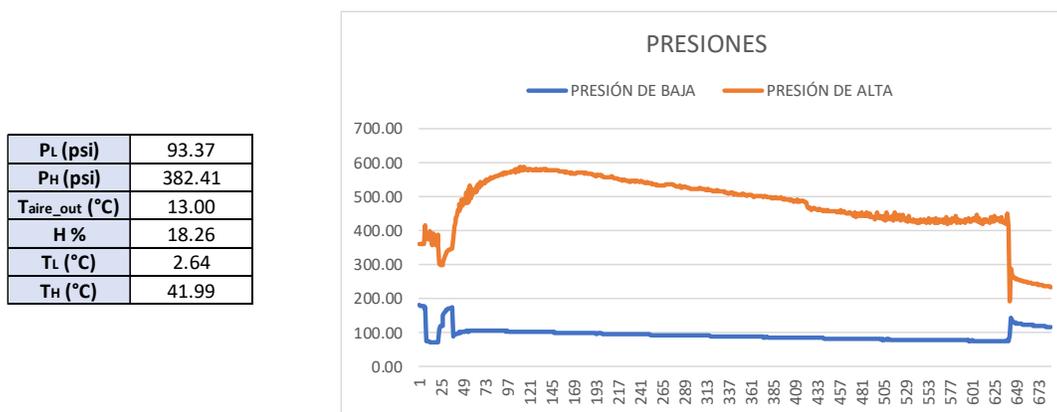


Figura 3-35. Gráfica de presión baja (promedio) – presión alta (promedio) y tabla de datos de las temperaturas y humedad (promedio)

Como se puede observar en la gráfica de la Figura 3-35 la presión de baja se mantiene más constante que la presión de alta, esto es debido que cuando se le inyectó refrigerante la presión de alta tarda más en estabilizarse por las presiones y temperaturas altas que maneja comparada con la presión de baja . Hasta el final se ve como esta presión ya comienza a estabilizarse.

En este primer diseño se obtuvo un COP³ de 4.8 en refrigeración y 5.8 en calefacción.

³ Los valores típicos del COP van de 2 en adelante según la UNE-EN 14511-1:2019 (Cofrico, 2022)

3.3.2.- Pruebas en el segundo diseño

Para tener un un mejor panorama en el funcionamiento de la bomba de calor se colocaron más sensores de presión y de temperatura, por ejemplo, se colocaron sensores de presión y temperatura en la entrada y salida del condensador, en la entrada y salida de la válvula de expansión, en la entrada y salida del evaporador y se colocaron sensores de temperatura en la entrada y salida del agua que pasa por el condensador (Figura 3-36).

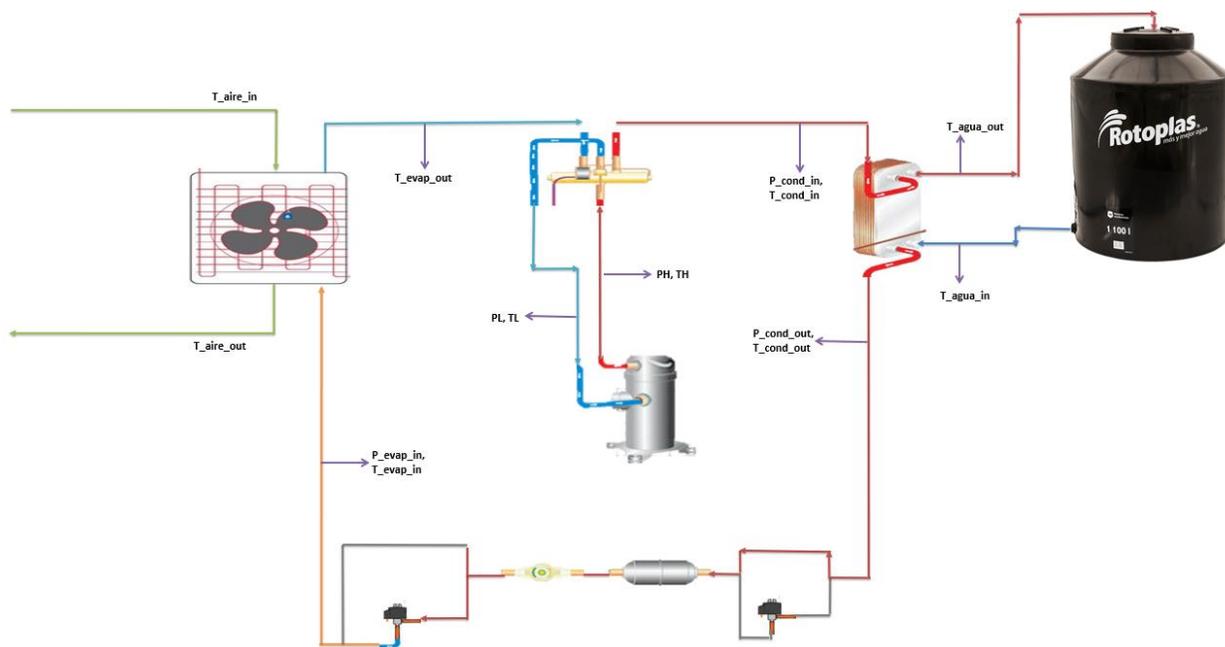


Figura 3-36. Diagrama de colocación de los sensores de presión alta y baja del segundo diseño de la bomba de calor

En este segundo diseño se realizaron varias pruebas, en donde se observa como las presiones se mantienen más constantes. A continuación se muestran solo algunas pruebas con su respectiva gráfica de presiones de alta y baja. (Figura 3-37).

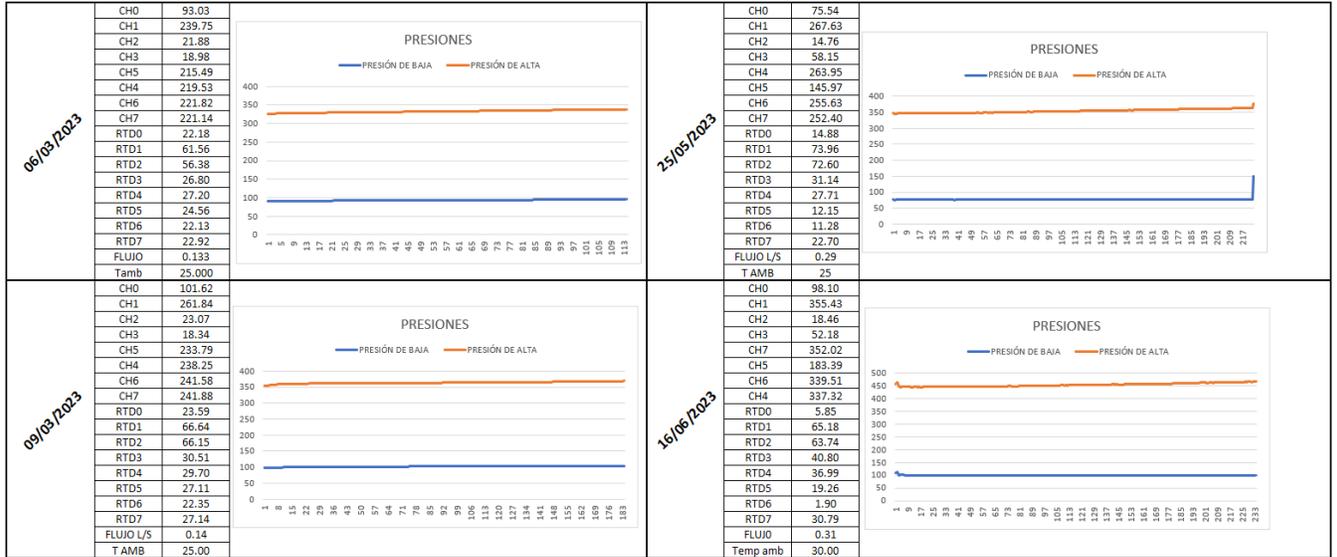


Figura 3-37. Muestra de los datos de algunas pruebas realizadas en el segundo diseño de la bomba de calor, los cuales incluyen presiones, temperaturas y caudales.

En la Figura 3-37 se puede observar como la presión de baja se mantiene constante mientras que la presión de alta va incrementando de manera lineal pero de manera significativa comparada con el primer diseño. Aunque las presiones no están dentro del rango de trabajo óptimo se puede observar como estas tienen un comportamiento regular.

En la última prueba que se realizó en este segundo diseño (Figura 3-38) se pueden apreciar como las presiones de alta (CH1) y de baja (CH0) mejoraron acercándose a las óptimas de trabajo.

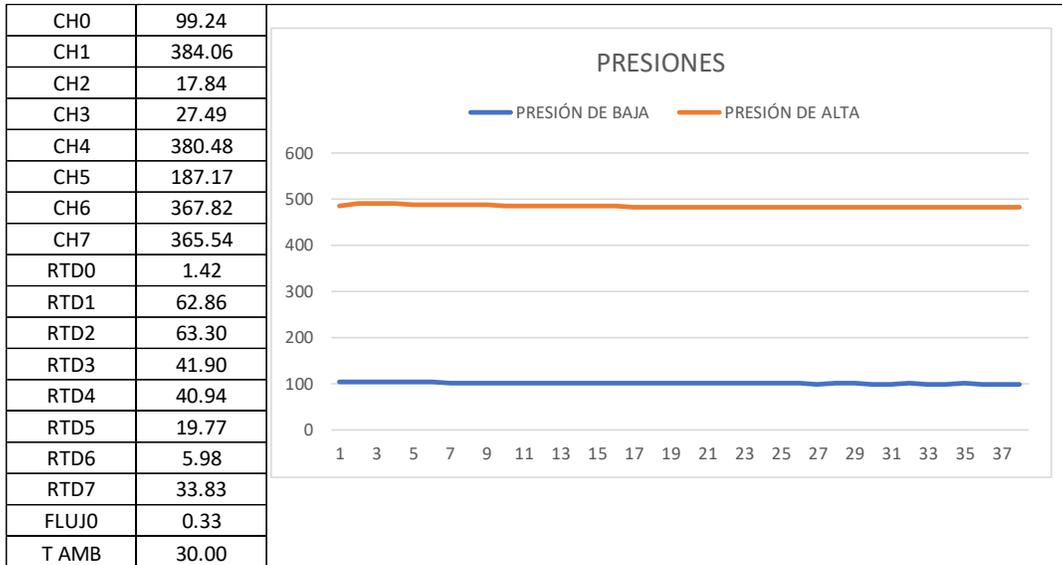


Figura 3-38. Gráfica de presión baja (promedio) – presión alta (promedio) y tabla de datos de las temperaturas, flujo del agua y humedad (promedio).

En este segundo diseño se obtuvo un COP de 5.6 en refrigeración y 6.6 en calefacción.

3.3.3.- Comparación entre el primer diseño y segundo diseño en las pruebas

Realizando un resumen de las pruebas de los dos diseños se tiene lo siguiente Figura 3-39.

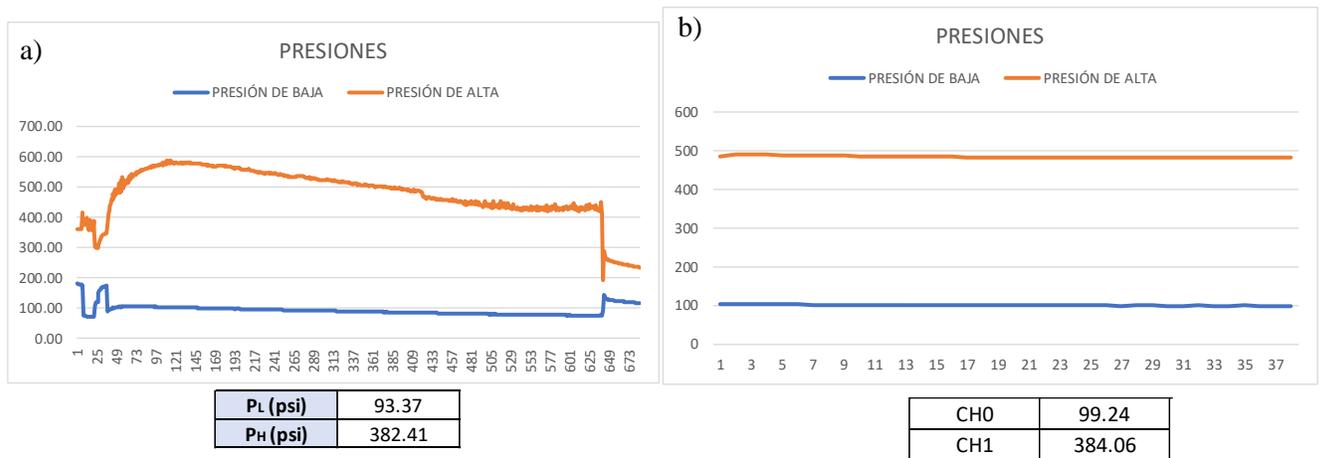


Figura 3-39. Comparación de presiones de alta y baja del primer (a) y segundo diseño (b)

Se puede apreciar como trabaja mejor el segundo diseño con la configuración de dos válvulas de expansión termostática que solo teniendo una reversible, de igual manera se

aprecia como el COP de refrigeración del segundo diseño incremento de 4.8 a 5.6, esto quiere decir que por 1kWh de energía eléctrica nos da 5.6 kWh de calor.

3.4.- Conclusión

Ambos diseños de la BCG que se llevaron a cabo en el laboratorio de grupo iiDEA son funcionales, sin embargo, aunque las bombas de calor de calor tienen la misma finalidad (brindar confort a los recintos) cambiando su configuración estos pueden ser más eficientes o menos eficientes.

Al realizar este cambio de diseño se logró el incremento del COP de la BCG de un 4.8 a un 5.6, para tener un mejor panorama de este dato, se sabe que las BCG o aires acondicionados deben de tener un COP mayor a 2, y un mejor funcionamiento, teniendo presiones tanto de alta como de baja constantes.

Capítulo 4 Análisis económico de la manufactura manual de la bomba de calor

Introducción

Los costos de un proyecto comprenden todo su ciclo vital, es decir, comprenden desde la planificación inicial hasta su entrega o venta, pasando por los diferentes análisis intermedios que se realicen.

Este tipo de estudios es muy importante ya que con esto se puede saber el costo inicial de inversión, así como los gastos que se tendrán para realizar el proyecto.

Es importante para establecer la estructura de costos del proyecto, considerar como mínimo los costos directos; costos indirectos; costos propios del proyecto: bonificaciones, contratación de recursos por demanda, estudios especiales, manejo de gastos de viaje, atención cliente, riesgos, adquisiciones, partida de contingencias o reservas, estipendio o ganancia esperada, entre otros.

En este capítulo sólo se expondrá de los costos unitarios, como a granel, la mano de obra y el catalogo de conceptos de la BCG, así como la comparación de costos entre el primer y segundo diseño.

4.1.- Definiciones de costos

4.1.1.- Costos

Los costos son todos aquellos gastos en los que incurre una empresa para realizar una tarea, un trabajo o un proyecto determinado. Se refiere al valor del consumo de los recursos que han sido necesarios para poder producir productos o prestar servicios.

Las dos principales clases de costos que se conocen son los costos directos e indirectos. (OBS Business School, 2021)

4.1.2.- Costo de producción

El costo de producción o costo de operación o también llamados costos totales de manufactura son esencialmente un análisis de gastos que calcula cómo contribuyó cada uno de los departamentos de su empresa a fabricar un producto terminado. Esto considera todas las etapas del proceso de manufactura, desde las materias primas hasta el trabajo en curso y el resultado final. (QAD, 2022)

De esta forma, el costo de producción está relacionado con aquellos gastos necesarios para la fabricación de un bien o un servicio, quedando fuera otros costos como los financieros. Suele incluir la materia prima y aprovisionamientos, la mano de obra directa e indirecta y otros costes de gestión como amortizaciones, alquileres o gastos de asesoramiento. (Economipedia, 2022).

Para calcular los costos de producción se consideran tres elementos claves:

- Materiales directos
- Mano de obra directa

- Gastos generales de manufactura

Materiales Directos: Los materiales directos son todos los materiales que se compran y utilizan para hacer su producto final. Esto incluye materias primas, componentes y cualquier pieza utilizada directamente en la producción. Para calcular sus costos totales de materiales directos, se debe de incluir todos los gastos necesarios. Estos pueden ser transportes, seguros, aduanas, tributos no deducibles y otros similares. Para el cálculo conviene conocer el coste por unidad producida. Es necesario conocer la cantidad que se tiene de estos materiales directos, sumar el costo total de materiales directos nuevos y luego restar el inventario final al término del período financiero. (QAD, 2022)

Mano de Obra Directa: La mano de obra directa consiste simplemente en los costos asociados con pagar a personas que están involucradas en el proceso productivo. Se centra únicamente en aquellos trabajadores directamente involucrados en la fabricación de productos, como los empleados que trabajan en la línea de ensamblaje, los inspectores de calidad y los gerentes que los supervisan. No se involucra a los de RR. HH.

Para calcular los costos de mano de obra directa, se sumará lo que se paga en salarios, beneficios, fondo de retiro, pago de vacaciones, impuestos sobre la nómina, seguro de indemnización para trabajadores, etc. (QAD, 2022)

Gastos Generales de Manufactura: Los gastos generales de manufactura es “todo lo demás” que se necesita para mantener su producción en funcionamiento, a estos se le conocen como *gastos indirectos o costos indirectos de producción*. Algunos ejemplos de gastos generales son: (QAD, 2022)

- El costo de mantener el equipo en funcionamiento (mantenimiento, agua, electricidad, papelería, etc.)
- Depreciación de equipos
- Inspecciones de calidad de productos
- Impuestos y depreciación de las instalaciones

4.1.3.- Catálogo de conceptos

Es la traducción de los planos y memorias del proyecto ejecutivo en un listado que contiene todas las actividades (conceptos) necesarias para realizar la obra. Las actividades en este listado se agrupan por capítulos (partidas) y subcapítulos (subpartidas) de acuerdo a disciplinas, etapas, asignación de trabajos o cualquier otra forma de agrupar que facilite la cotización y ejecución de cada actividad. Cuando a este listado se le asignan costos se considera que es el presupuesto de obra. (Estudio Metro, 2018)

Los conceptos del catálogo de conceptos deben ser lo suficientemente claros como para que sea posible entender a la perfección la actividad sin necesidad de ver los planos o visitar la obra. (Estudio Metro, 2018)

Cada concepto del Catálogo se compone de:

- *Clave de identificación:* Combinación de números y letras único para cada concepto que permita distinguirlo de los demás.
- *Descripción:* Es una redacción que describe la actividad lo más detallada posible pero que esté 100% apegada al proyecto ejecutivo, Mientras más completa sea la descripción del concepto, se podrá integrar mejor el precio unitario. La descripción debe contestar las siguientes preguntas:
 - **¿Qué?** Descripción de la actividad a realizar con especificaciones completas de materiales y equipos (marcas, modelos, tipos, presentación del producto, dimensiones, capacidades, colores etc.)
 - **¿Cómo?** Características particulares del trabajo (distancia de desplazamiento de materiales, altura o nivel donde se realizará el trabajo, herramienta y equipo a utilizar)
 - **¿Quien?** Los recursos humanos que van a realizar el trabajo (albañiles, pintores, carpinteros, ayudantes etc.) y mandos medios (Maestros de obra)
- *Unidad:* Unidad de medición que permita cuantificar el trabajo (metros cuadrados, metros lineales, kilogramos, etc.) Se tiene que evitar en la medida de lo posible utilizar unidades infinitivas, como «lote» o «salida» pues abren la puerta a la interpretación subjetiva de quien presupuesta, quien supervisa y quien paga.
- *Cantidad:* Es el total de las unidades del concepto que se pretende ejecutar

- *Precio unitario:* Es el valor que se asigna a la unidad del concepto. Este precio es producto de un análisis que puede ser muy complejo, pero siempre está basado en la descripción del concepto, es decir, mientras más completa es la descripción del concepto, más preciso es el precio unitario que se cobra por él.
- *Total:* Es el producto de la multiplicación de la cantidad por el precio unitario.

El catálogo de conceptos es muy importante ya que menciona el alcance y costo de los trabajos de la obra, es un documento que se integra al contrato de los servicios que el constructor ofrece al cliente. Permite al cliente dar seguimiento al avance físico y financiero de la construcción. Por eso es muy importante que el catálogo de conceptos este bien analizado y muy completo desde el principio. (Estudio Metro, 2018)

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Total: 562,719.80
CASA TIPO					
PRELIMINARES					
					11,047.50
010302	Limpeza y desentrañe a mano de	m2	250.00	3.65	912.50
10401	Trazo y nivelación en terreno plano,	m2	250.00	2.42	605.00
010207	Acarreo de tierra en carretilla a 20.00	m3	250.00	38.12	9,530.00
II CIMENTACIONES					
204,050.70					
020101	Excavación a mano en cepas en terreno	m3	450.00	73.96	33,282.00
020727	Dala de desplante en cimentación con	ml	150.00	189.87	28,480.50
020731	Dala de desplante en cimentación con	ml	150.00	157.07	23,560.50
020202	Plantilla de concreto fc= 100 kg/cm2,	m2	120.00	80.85	9,702.00
020303	Mampostería en cemento de piedra	m3	78.00	854.80	66,674.40
020801	Relleno producto de excavación en	m3	194.00	148.55	28,818.70
010207	Acarreo de tierra en carretilla a 20.00	m3	355.00	38.12	13,532.60
III MUROS Y CASTILLOS					
347,621.60					
050130	Muro de tabique 6 x 12 x 24 cms hecho	m2	310.00	219.77	68,128.70
050131	Muro de tabique 6 x 12 x 24 cms hecho	m2	178.00	310.60	55,286.80
050130	Muro de tabique 6 x 12 x 24 cms hecho	m2	210.00	219.77	46,151.70

Figura 4-1. Ejemplo de un fragmento de un catálogo de conceptos (Estudio Metro, 2018)

4.2.- Costos de producción de la bomba de calor geotérmica de grupo iiDEA

Como ya se mencionó en el capítulo 3 al diseñar estos prototipos de la bomba de calor geotérmica se realizó una serie de estudios e investigaciones para seleccionar los componentes que la conformarían, por ejemplo, que tipo de compresor sería, la configuración de los intercambiadores de calor, modelo de válvula de expansión, etc. Una vez que se seleccionaron los componentes se cotizaron.

Se realizó una tabla general (Tabla 4-1) en donde se colocaron todas las herramientas, equipos, tuberías, accesorios, etc. que se necesitarían para la manufactura de la bomba de calor, tanto del sistema como de la carcasa.

La tabla se divide en tuberías y accesorios; componentes de la BCG; material y equipos para la manufactura de la BCG; consumibles y equipos complementarios que se usa en la BCG. En las columnas se colocó el proveedor, la cantidad de elementos que se compraron, la unidad, el precio unitario y el precio total o importe total de cada elemento.

El costo total para poder manufacturar estos diseños de la bomba de calor fue de **\$198,874.53 MXN.**

LISTA GENERAL DE COSTOS DE LA BCG

No.	Descripción	Proveedor	Precio total			
			Cantidad	Unidad	Precio Unitario MXN	Importe MXN
TUBERIAS Y ACCESORIOS						
1	Tubo flexible de cobre tipo L de 5/8"x15.24m (rollo)	OXIPACO	15.24	m	\$ 122.44	\$ 1,866.00
2	Tubo flexible de cobre tipo L de 3/4"x15.24m (rollo)	OXIPACO	15.24	m	\$ 183.74	\$ 2,800.20
3	Tubo flexible de cobre tipo L de 1/4"x15.24m (rollo)	OXIPACO	15.24	m	\$ 50.33	\$ 767.03
4	Tubo flexible de cobre tipo L de 3/8"x15.24m (rollo)	OXIPACO	15.24	m	\$ 80.33	\$ 1,224.23
5	Tubo flexible de cobre tipo L de 1/2"x15.24m (rollo)	OXIPACO	15.24	m	\$ 115.79	\$ 1,764.64
6	TEE 1/2"	MERETI	8	Pieza	\$ 11.12	\$ 88.96
7	TEE 3/8"	MERETI	8	Pieza	\$ 49.11	\$ 392.88
8	Codo 90° 1/2"	MERETI	8	Pieza	\$ 8.50	\$ 68.00
9	Codo 90° 5/8"	MERETI	10	Pieza	\$ 23.20	\$ 232.00
10	Cople 3/8"	MERETI	8	Pieza	\$ 13.62	\$ 108.96
11	Reducción campana de cobre 5/8" x 3/8"	OXIPACO	5	Pieza	\$ 22.00	\$ 110.00
12	Reducción campana de cobre 3/4" x 5/8"	OXIPACO	5	Pieza	\$ 39.00	\$ 195.00
13	Reducción campana de cobre 7/8" x 5/8"	OXIPACO	5	Pieza	\$ 28.00	\$ 140.00
15	Reducción campana de cobre 1/2" x 3/8"	OXIPACO	5	Pieza	\$ 19.00	\$ 95.00
17	Válvula de servicio soldable (Pivote) 1/4" x 10 CM	OXIPACO	10	Pieza	\$ 20.00	\$ 200.00
EQUIPOS DE LA BCG						
17	Válvula reversora de 4 vías 3TR R-410 1/2" x 5/8" ODF	OXIPACO	1	Pieza	\$ 3,548.00	\$ 3,548.00
18	Compresor Danfoss Scroll HRH036U1 3HP-10 220/1/60 (AC)	OXIPACO	1	Pieza	\$ 18,327.00	\$ 18,327.00
19	Intercambiador de calor placas Brazed Plate Heat Exchanger R410, 3 TON, 1 circuito, marca "FC" (aplicación agua-refrigerante), 32 placas	OXIPACO	1	Pieza	\$ 11,920.00	\$ 11,920.00
20	Deshidratador 3 a 5 TR 3/8" Sporlan	OXIPACO	1	Pieza	\$ 1,149.00	\$ 1,149.00
21	Válvula de expansión SPORLAN 3TR R-410a	REFRIGERACIÓN CUITLAHUAC	1	Pieza	\$ 1,568.25	\$ 1,568.25
22	Válvula de expansión EMERSON 4TR R-410a	REFRIGERACIÓN CUITLAHUAC	1	Pieza	\$ 1,769.00	\$ 1,769.00
23	Válvula de expansión CAREL 3TR R-410a	QUECALOR	1	Pieza	\$ 18,655.29	\$ 18,655.29
24	Válvula check 1/2"	REFRIGERACIÓN CUITLAHUAC	1	Pieza	\$ 395.65	\$ 395.65
25	Distribuidor de refrigerante, 1/2" x 5/16", 3 orificios	REFRIGERACIÓN CUITLAHUAC	1	Pieza	\$ 307.50	\$ 307.50
26	Ventilador Soler & Palau 5CET-5000	OXIPACO	1	Pieza	\$ 18,846.00	\$ 18,846.00
27	Fabricación de evaporador de cobre y aluminio	OXIPACO	1	Pieza	\$ 24,970.00	\$ 24,970.00
28	Filtro de aire plisado 20"x 20"x 2" MERV8 Capacidad std., material de la microfibras flujo de aire a 300PPM 1000 PCM	OXIPACO	3	Pieza	\$ 463.00	\$ 1,389.00
MATERIAL Y EQUIPOS PARA LA MANUFACTURA DE LA BCG						
29	Perfil Zintro 1"x1" Cal. 16 x6.10 m	OXIPACO	6	Pieza	\$ 960.00	\$ 5,760.00
30	Lámina galvanizada cal.24 (1.22x2.44m)	OXIPACO	6	Pieza	\$ 1,300.00	\$ 7,800.00
31	Relleno de cilindro tipo "M" para Nitrogeno industrial	TRUPPER	1	Pieza	\$ 1,020.00	\$ 1,020.00
32	Esmeriladora	OXIPACO	1	Pieza	\$ 1,212.32	\$ 1,212.32
33	Sierra de disco para cortar metal 14" DeWalt	OXIPACO	1	Pieza	\$ 10,592.00	\$ 10,592.00
34	Cortadora y Dobladora de acero Kayka industrial cal. 24	OXIPACO	1	Pieza	\$ 6,499.00	\$ 6,499.00
35	Aislante térmico acústico de fibra de vidrio 1.22 m x 1.00 m	MERCADO LIBRE	2.44	m2	\$ 200.82	\$ 490.00
36	Tanque de oxiacetileno	INFRA	1	Pieza	\$ 23,654.00	\$ 23,654.00
37	Insultube 7/8" x 1/2" Espesor x 1.80 m Cerrado	OXIPACO	1.8	m	\$ 166.67	\$ 300.00
38	Insultube 3/8" x 1/2" Espesor x 1.80 m Negro	OXIPACO	1.8	m	\$ 154.44	\$ 278.00
CONSUMIBLES						
39	Soldadura de plata, Diámetro 1/16" para soldar cobre tipo "L". OXIWELD 600. BAg-2a Plata 30% Varilla desnuda	INFRA	8	Pieza	\$ 132.00	\$ 1,056.00
40	Soldadura de plata, Diámetro 1/16" para soldar cobre tipo "L". Plata 0% Varilla desnuda	INFRA	20	Pieza	\$ 22.50	\$ 450.00
41	Electrodo revestido 6013 de 1/16" Convertida a 3/32" (20 kg)	INFRA	20	kg	\$ 95.00	\$ 1,900.00
42	Microalambre MIG WELD 316 LSI 0.035"	INFRA	14.968	kg	\$ 658.58	\$ 9,857.63
43	Refrigerante Gefrieren 140 Boya de 11.3 kg	OXIPACO	11.3	kg	\$ 164.25	\$ 1,856.00
44	Broca para metal de 5/16" (7.90 mm)	OXIPACO	5	Pieza	\$ 54.00	\$ 270.00
45	Disco de corte para acero inoxidable de 14"	OXIPACO	2	Pieza	\$ 270.00	\$ 540.00
COMPLEMENTARIOS PARA LA BCG						
46	Manifold Yellow Jacket R-410 Mangueras de 60"	OXIPACO	1	Pieza	\$ 6,162.00	\$ 6,162.00
47	Bomba de vacío Redco 6CFM 1/2 HP 115/220 V 2Etapas	OXIPACO	1	Pieza	\$ 6,200.00	\$ 6,200.00
48	Válvulas de servicio para llenado de refrigerante	OXIPACO	2	Pieza	\$ 40.00	\$ 80.00
	TOTAL				\$ 162,262.45	\$ 198,874.53

Tabla 4-1. Tabla general de elementos utilizados para la manufactura de los diferentes diseños de la bomba de calor geotérmica

4.2.1.- Costos del primer diseño de la bomba de calor geotérmica

El primer diseño de la BCG se fabricó con la válvula de expansión importada del extranjero.

Para obtener los costos totales de la BCG del primer diseño primero se calcularon los materiales directos. Recordemos que los materiales directos “*son todos los materiales que se compran y utilizan para hacer su producto final. Esto incluye materias primas, componentes y cualquier pieza utilizada directamente en la producción*”.

Los costos de materiales directos se dividieron en tres: Lista de componentes y accesorios (Tabla 4-2), lista de consumibles (Tabla 4-3) y lista de dispositivos eléctricos (Tabla 4-4 y Tabla 4-5).

En la Tabla 4-2 se muestra la lista de todos los componentes y accesorios que se utilizaron para manufacturar tanto el sistema como la carcasa de la bomba de calor. Esta tabla muestra dos costos totales, el primero es el costo total unitario el cual es de **\$100,087.52 MXN (\$5,905.16 USD)** y el segundo costo que corresponde al importe total, este tiene una cantidad de **\$102,701.71 MXN (\$6,059.40 USD)**.

La Tabla 4-3 corresponde a la lista de consumibles, estos también forman parte del costo total de la manufactura de la bomba de calor geotérmica, de igual manera que la Tabla 4-2 se divide en dos costos, costo total unitario el cual tiene una cantidad de **\$1,115 MXN (\$65.80 USD)** y el importe total, este tiene un costo de **\$1,021.07 MXN (\$60.24 USD)**.

Por lo que sumando las dos cantidades del importe total tanto de la Tabla 4-2 y Tabla 4-3 se tiene que el costo total de manufactura de la bomba de calor geotérmica sin contar la parte eléctrica, el cual tuvo un costo de **\$103,722.78 MXN equivalente a \$6,119.64 USD**.

$$CT = IT_{MM} + IT_{Cn}$$

$$CT = \$102,701.71 + \$1,021.07$$

$$CT = \$103,722.78 \text{ MXN}$$

LISTA DE MATERIALES PARA LA MANUFACTURA DE LA BCG 3 TR									
No.	Descripción	Cantidad	Unidad	Precio unitario MXN	Cantidad Utilizada	Unidad2	Importe MXN	Equivalencia de Piezas Usadas	Bombas que saldrían del material
1	Tubo flexible de cobre tipo L de 5/8"x15.24m (rollo)	15.24	m	\$ 122.44	1	m	\$ 122.44		15
2	Tubo flexible de cobre tipo L de 3/4"x15.24m (rollo)	15.24	m	\$ 183.74	0.2	m	\$ 36.75		76
3	Tubo flexible de cobre tipo L de 1/4"x15.24m (rollo)	15.24	m	\$ 50.33	1	m	\$ 50.33		15
4	Tubo flexible de cobre tipo L de 3/8"x15.24m (rollo)	15.24	m	\$ 80.33	1.2	m	\$ 96.40		12
5	Tubo flexible de cobre tipo L de 1/2"x15.24m (rollo)	15.24	m	\$ 115.79	0.5	m	\$ 57.90		30
6	TEE 1/2"	8	Pieza	\$ 11.12	3	Pieza	\$ 33.36		2
7	TEE 3/8"	8	Pieza	\$ 49.11	3	Pieza	\$ 147.33		2
8	Codo 90° 1/2"	8	Pieza	\$ 8.50	1	Pieza	\$ 8.50		8
9	Codo 90° 5/8"	10	Pieza	\$ 23.20	5	Pieza	\$ 116.00		2
10	Cople 3/8"	8	Pieza	\$ 13.62	1	Pieza	\$ 13.62		8
11	Reducción campana de cobre 5/8" x 3/8"	5	Pieza	\$ 22.00	2	Pieza	\$ 44.00		2
12	Reducción campana de cobre 3/4" x 5/8"	5	Pieza	\$ 39.00	1	Pieza	\$ 39.00		5
13	Reducción campana de cobre 7/8" x 5/8"	5	Pieza	\$ 28.00	1	Pieza	\$ 28.00		5
14	Reducción campana de cobre 1/2" x 3/8"	5	Pieza	\$ 19.00	1	Pieza	\$ 19.00		5
15	Válvula de servicio soldable (Pivote) 1/4" x 10 CM	10	Pieza	\$ 20.00	2	Pieza	\$ 40.00		5
16	Válvula reversora de 4 vías 3TR R-410 1/2" x 5/8" ODF	1	Pieza	\$ 3,548.00	1	Pieza	\$ 3,548.00		1
17	Compresor Danfoss Scroll HRH036U1 3HP-10 220/1/60 (AC)	1	Pieza	\$ 18,327.00	1	Pieza	\$ 18,327.00		1
18	Intercambiador de calor placas Brazed Plate Heat Exchanger R410, 3 TON, 1 circuito, marca "FC" (aplicación agua-refrigerante), 32 placas	1	Pieza	\$ 11,920.00	1	Pieza	\$ 11,920.00		1
19	Deshidratador 3 a 5 TR 3/8" Sporlan	1	Pieza	\$ 1,149.00	1	Pieza	\$ 1,149.00		1
20	Válvula de expansión CAREL 3TR R-410a	1	Pieza	\$ 18,655.29	1	Pieza	\$ 18,655.29		1
21	Distribuidor de refrigerante, 1/2" x 5/16", 3 orificios	1	Pieza	\$ 307.50	1	Pieza	\$ 307.50		1
22	Ventilador Soler & Palau 5CET-5000	1	Pieza	\$ 18,846.00	1	Pieza	\$ 18,846.00		1
23	Fabricación de evaporador de cobre y aluminio	1	Pieza	\$ 24,970.00	1	Pieza	\$ 24,970.00		1
24	Filtro de aire plisado 20"x 20"x 2" MERV8 Capacidad std., material de la microfibras flujo de aire a 300PPM 1000 PCM	3	Pieza	\$ 463.00	1	Pieza	\$ 463.00		3
25	Perfil Zintro 1"x1" Cal. 16 x6.10 m	36.6	m	\$ 157.38	11.566	m	\$ 1,820.22	3	3
26	Lámina galvanizada cal.24 (1.22x2.44m)	17.86	m2	\$ 436.24	2.857	m2	\$ 1,246.34	2	6
27	Insultube 7/8" x 1/2" Espesor x 1.80 m Cerrado	1.8	m	\$ 166.67	0.9	m	\$ 150.00		2
28	Insultube 3/8" x 1/2" Espesor x 1.80 m Negro	1.8	m	\$ 154.44	0.5	m	\$ 77.22		3
29	Aislante térmico acústico de fibra de vidrio 1.22 m x 1.00 m	2.44	m2	\$ 200.82	1.84	m2	\$ 369.51		1
TOTAL				\$100,087.52			\$ 102,701.71		

Tabla 4-2. Lista de componentes y accesorios utilizados en la manufactura del primer diseño de la bomba de calor geotérmica.

LISTA DE CONSUMIBLES

No.	Descripción	Cantidad	Unidad	Precio unitario MXN	Cantidad Utilizada	Unidad2	Importe MXN
1	Soldadura de plata, Diámetro 1/16" para soldar cobre tipo "L". Plata 0% Varilla desnuda	20	Pieza	\$ 22.50	10	Pieza	\$ 225.00
2	Microalambre MIG WELD 316 LSI 0.035"	14.968	kg	\$ 658.58	0.3	kg	\$ 197.57
3	Disco de corte para acero inoxidable de 14"	2	Pieza	\$ 270.00	1	Pieza	\$ 270.00
4	Refrigerante Gefrieren 140 Boya de 11.3 kg	11.3	kg	\$ 164.25	2	kg	\$ 328.50
Total				\$ 1,115.33			\$ 1,021.07

Tabla 4-3. Lista de consumibles utilizados en la manufactura del primer diseño de la bomba de calor geotérmica.

Para la parte eléctrica de la bomba de calor se dividió en dos: La parte eléctrica básica y la parte eléctrica completa (Tabla 4-4 y Tabla 4-5 respectivamente).

El motivo por el cual la parte eléctrica se dividió en dos es porque al principio no se sabía exactamente que componentes llevaba y solo se cotizaron en la primera ronda los más básicos como el transformador 120/240 VA, Timer, termostato, sensor de temperatura, interruptor, controlador de temperatura. Conforme se fue investigando más sobre la parte eléctrica del proyecto se agregaron más componentes para poder realizar las pruebas de manera más efectiva y controlada.

En la Tabla 4-4 y en la Tabla 4-5 se muestran los costos tanto unitarios como los importes de los componentes eléctricos. Para la parte eléctrica básica se tiene un costo unitario total de **\$21,584.70 MXN (1,081.94 USD)** y para el importe total se tiene una cantidad de **\$21,866.00 MXN (1,096.04 USD)**. Mientras que para la parte completa eléctrica tiene un costo unitario total de **\$42,503.87 MXN** el cual es equivalente a **\$2,130.52 USD**, y para el importe total se tiene una cantidad de **\$76,291.19 MXN**, el cual es equivalente a **\$3,824.12 USD**.

Se debe de tener en cuenta que para la conversión de dólar a peso se tomó la cantidad de \$19.95 MXN.

Eléctrica básica para la BCG								
No.	Descripción	Proveedor	Modelo	Cantidad	Precio unitario DLS	Precio unitario MXN	Importe (DLS)	Importe (MXN)
1	Switch de presión de alta	SDI	MPS25-1C-P1000A	1	\$ 130.00	\$ 2,593.50	\$ 130.00	\$ 2,593.50
2	Switch de presión de baja	SDI	MPS25-1C-P500A	1	\$ 130.00	\$ 2,593.50	\$ 130.00	\$ 2,593.50
3	Transformador 120/240 va - 12/24 va	SDI	PH100PG	1	\$ 103.50	\$ 2,064.83	\$ 103.50	\$ 2,064.83
4	Contactores 32 a con bobina 24 vac	SDI	WDP30-1L-24	2	\$ 14.10	\$ 281.30	\$ 28.20	\$ 562.59
5	Timer on delay	SDI	RK7817-81-61	1	\$ 48.70	\$ 971.57	\$ 48.70	\$ 971.57
6	Lock out relay	SDI	52111	1	\$ 31.30	\$ 624.44	\$ 31.30	\$ 624.44
7	Piloto rojo 24 vac	SDI	ECX1051-24	1	\$ 7.40	\$ 147.63	\$ 7.40	\$ 147.63
8	Termostato programable honeywell	AMAZON	th4110u2005/U T4	1	\$ 43.86	\$ 875.01	\$ 43.86	\$ 875.01
9	Sensor temperatura sumergible	OMEGA	PR-26E-3-100-A-M6-0150-M12-1	1	\$ 165.01	\$ 3,291.95	\$ 165.01	\$ 3,291.95
10	Controlador temperatura	OMEGA	CNi3222	1	\$ 377.27	\$ 7,526.54	\$ 377.27	\$ 7,526.54
11	Interruptor termomagnético	SDI	FAZ-C30-2	1	\$ 30.80	\$ 614.46	\$ 30.80	\$ 614.46
TOTAL					\$ 1,081.94	\$ 21,584.70	\$ 1,096.04	\$ 21,866.00

Tabla 4-4. Lista de componentes eléctricos básica de la bomba de calor geotérmica

Eléctrica completa para la BCG

No.	Descripción	Proveedor	Modelo	Cantidad	Precio unitario DLS	Precio unitario MXN	Importe (DLS)	Importe (MXN)
1	Contactor principal 18a	SDI	CWB18-11-30V24	1	\$ 48.13	\$ 960.19	\$ 48.13	\$ 960.19
2	Interruptor electromagnético 3a	SDI	FAZ-C3-1-NA-SP	1	\$ 30.50	\$ 608.48	\$ 30.50	\$ 608.48
3	Arrancador directo monofásico pdwm	SDI	PESW-B9V24AX-R60	1	\$ 115.63	\$ 2,306.82	\$ 115.63	\$ 2,306.82
4	Carcaza interruptor	SDI	SA103SL	1	\$ 10.00	\$ 199.50	\$ 10.00	\$ 199.50
5	Interruptor principal	SDI	GCX3300	1	\$ 9.70	\$ 193.52	\$ 9.70	\$ 193.52
6	Relevadores de estado sólido	SDI	AD-SSR230-22-DCZ	3	\$ 76.40	\$ 1,524.18	\$ 229.20	\$ 4,572.54
7	Relevador de estado sólido	SDI	AD-SSR210-22-DCZ	2	\$ 51.50	\$ 1,027.43	\$ 103.00	\$ 2,054.85
8	PLC brx do-more	SDI	BX-DM1E-18ED13	1	\$ 496.00	\$ 9,895.20	\$ 496.00	\$ 9,895.20
9	Fuente 24vdc 60w	SDI	PSB24-060-P	1	\$ 38.80	\$ 774.06	\$ 38.80	\$ 774.06
10	Módulos input termopar brx	SDI	BX-08THM	1	\$ 247.40	\$ 4,935.63	\$ 247.40	\$ 4,935.63
11	Módulos input analógicos	SDI	BX-08AD-1	1	\$ 235.30	\$ 4,694.24	\$ 235.30	\$ 4,694.24
12	Bloques terminales módulos	SDI	BX-RTB10	2	\$ 15.80	\$ 315.21	\$ 31.60	\$ 630.42
13	Bloques terminales plc	SDI	BX-RTB18	1	\$ 25.50	\$ 508.73	\$ 25.50	\$ 508.73
14	HMI 3inch	SDI	EA3-S3ML-RN	1	\$ 132.20	\$ 2,637.39	\$ 132.20	\$ 2,637.39
15	Termopar contacto	SDI	THMJ-B02L06-02	8	\$ 33.30	\$ 664.34	\$ 266.40	\$ 5,314.68
16	Sensor presión transmisor	SDI	SPT25-20-0500A	4	\$ 152.80	\$ 3,048.36	\$ 611.20	\$ 12,193.44
17	Sensor presión transmisor	SDI	SPT25-20-1000A	4	\$ 152.80	\$ 3,048.36	\$ 611.20	\$ 12,193.44
18	Dinector single-level terminal	SDI	DN-T12-A	1	\$ 58.20	\$ 1,161.09	\$ 58.20	\$ 1,161.09
19	Cable gland "pasacables"	SDI	BMX-11-W	16	\$ 3.10	\$ 61.85	\$ 49.60	\$ 989.52
20	Cables tipo m12 hembra	SDI	7000-12221-0240200	10	\$ 10.40	\$ 207.48	\$ 104.00	\$ 2,074.80
21	Conector tipo m12 macho	SDI	7000-12481-0000000	7	\$ 12.50	\$ 249.38	\$ 87.50	\$ 1,745.63
22	Conector termopar hembra	SDI	THMJ-MJ	8	\$ 4.50	\$ 89.78	\$ 36.00	\$ 718.20
23	Conector termopar macho	SDI	THMJ-MP	8	\$ 3.90	\$ 77.81	\$ 31.20	\$ 622.44
24	Cable usb- usb tipo b y módulo	SDI	BX-PGM-CBL	1	\$ 41.70	\$ 831.92	\$ 41.70	\$ 831.92
25	Dinector bracket	SDI	DN-EB35	1	\$ 60.30	\$ 1,202.99	\$ 60.30	\$ 1,202.99
26	Cable termopar	SDI	THMWJ-20-1UP-1	100	\$ 0.30	\$ 5.99	\$ 30.00	\$ 598.50
27	Higrómetro	STEREN	TER-150	2	\$ 20.00	\$ 399.00	\$ 40.00	\$ 798.00
28	Caja pelican	EBENSKRAFT	1460	1		\$ -	\$ -	\$ -
29	Termostato programable honeywell	AMAZON	th4110u2005/U T4	1	\$ 43.86	\$ 875.01	\$ 43.86	\$ 875.01
TOTAL					\$ 2,130.52	\$ 42,503.87	\$ 3,824.12	\$ 76,291.19

Tabla 4-5. Lista de componentes eléctricos completos de la bomba de calor geotérmica

Para calcular el material directo total de la bomba de calor se suman el importe total de la lista de materiales para la manufactura, el importe total de la lista de consumibles y el importe total de la parte eléctrica, teniendo la siguiente ecuación.

$$MD = IT_{MM} + IT_{Cn} + IT_{el}$$

Donde:

MD = Material Directo

IT_{MM} = Importe total de la lista de materiales para la manufactura de la BCG 3TR

IT_{Cn} = Importe total de la lista de consumibles

IT_{el} = Importe total de la parte eléctrica

Se obtuvieron dos costos de materiales directos, uno incluyendo la parte eléctrica básica y otro incluyendo la parte eléctrica completa, la cual se muestra a continuación en la Tabla 4-6.

Material directo de la BCG 3TR primer diseño		
	Importe total MXN	Importe total USD
BCG	\$ 103,722.78	\$ 6,119.64
BCG más parte eléctrica	\$ 125,588.77	\$ 7,215.68

Tabla 4-6. Costos comparativos de la bomba de calor sin parte eléctrica, con parte eléctrica básica y con parte eléctrica completa.

Para este primer diseño de la bomba de calor se obtuvo un costo de material directo de **\$125,588.77 MXN (\$7,215.68 USD)**.

En la figura 4-2 se muestra el prototipo final del primer diseño de la bomba de calor geotérmica, la cual fue diseñada y manufacturada en las instalaciones de grupo iiDEA.



Figura 4-2. Primer diseño de la bomba de calor geotérmica en grupo iiDEA.

4.2.2.- Costos del segundo diseño de la bomba de calor geotérmica

Como ya se mencionó anteriormente, se realizó un segundo diseño acorde a los materiales que se podían adquirir en nuestro país, ya que componentes como la válvula de expansión que se requería no se encuentra en venta en nuestro país, sino que, se tiene que importar incrementando el costo del producto y el tiempo, tardando en llegar de 3 semanas a 1 mes por lo que no sería factible para el diseño o una futura producción.



Figura 4-3. Segundo diseño de la bomba de calor geotérmica manufacturada en iiDEA.

Para los costos de materiales directos del segundo diseño, al igual que el primer diseño se dividieron en tres: Lista de componentes y accesorios (Tabla 4-7), lista de consumibles (Tabla 4-8) y lista de dispositivos eléctricos (Tabla 4-4 y Tabla 4-5), las listas de los dispositivos eléctricos son iguales que los del primer diseño.

En la Tabla 4-7 se muestra la lista de todos los componentes y accesorios que se utilizaron para manufacturar tanto el sistema como la carcasa de la bomba de calor. Esta tabla muestra dos costos totales, el primero es el costo total unitario el cual es de **\$85,209.31 MXN (\$5,027.34 USD)** y el segundo costo que corresponde al importe total, este tiene una cantidad de **\$88,335.10 MXN (\$5,211.77 USD)**.

La Tabla 4-10 corresponde a la lista de consumibles, estos también forman parte del costo total de la manufactura de la bomba de calor geotérmica, de igual manera que la Tabla 4-9 se divide en dos costos, costo total unitario el cual tiene una cantidad de **\$1,224.83 MXN (\$72.26 USD)** y el importe total, este tiene un costo de **\$1,521.93 MXN (\$89.79 USD)**.

Por lo que sumando las dos cantidades del importe total tanto de la Tabla 4-7 y Tabla 4-8 se tiene que el costo total de manufactura de la bomba de calor geotérmica sin contar la parte eléctrica, el cual tuvo un costo de **\$90,877.02 MXN equivalente a \$5,361.74 USD**.

$$CT = IT_{MM} + IT_{Cn}$$

$$CT = \$88,335.10 + \$1,521.93$$

$$CT = \$90,877.02 \text{ MXN}$$

LISTA DE MATERIALES PARA LA MANUFACTURA DE LA BCG 3 TR

No.	Descripción	Cantidad	Unidad	Precio unitario MXN	Cantidad Utilizada	Unidad2	Importe MXN	Equivalencia de Piezas Usadas
1	Tubo flexible de cobre tipo L de 5/8"x15.24m (rollo)	15.24	m	\$ 122.44	2	m	\$ 244.88	
2	Tubo flexible de cobre tipo L de 3/4"x15.24m (rollo)	15.24	m	\$ 183.74	0.2	m	\$ 36.75	
3	Tubo flexible de cobre tipo L de 1/4"x15.24m (rollo)	15.24	m	\$ 50.33	1	m	\$ 50.33	
4	Tubo flexible de cobre tipo L de 3/8"x15.24m (rollo)	15.24	m	\$ 80.33	2.5	m	\$ 200.83	
5	Tubo flexible de cobre tipo L de 1/2"x15.24m (rollo)	15.24	m	\$ 115.79	0.5	m	\$ 57.90	
6	TEE 1/2"	8	Pieza	\$ 11.12	2	Pieza	\$ 22.24	
7	TEE 3/8"	8	Pieza	\$ 49.11	2	Pieza	\$ 98.22	
8	Codo 90° 1/2"	8	Pieza	\$ 8.50	1	Pieza	\$ 8.50	
9	Codo 90° 5/8"	10	Pieza	\$ 23.20	5	Pieza	\$ 116.00	
10	Cople 3/8"	8	Pieza	\$ 13.62	1	Pieza	\$ 13.62	
11	Reducción campana de cobre 5/8" x 3/8"	5	Pieza	\$ 22.00	2	Pieza	\$ 44.00	
12	Reducción campana de cobre 3/4" x 5/8"	5	Pieza	\$ 39.00	1	Pieza	\$ 39.00	
13	Reducción campana de cobre 7/8" x 5/8"	5	Pieza	\$ 28.00	1	Pieza	\$ 28.00	
14	Reducción campana de cobre 1/2" x 3/8"	5	Pieza	\$ 19.00	3	Pieza	\$ 57.00	
15	Válvula de servicio soldable (Pivote) 1/4" x 10 CM	10	Pieza	\$ 20.00	6	Pieza	\$ 120.00	
16	Válvula reversora de 4 vías 3TR R-410 1/2" x 5/8" ODF	1	Pieza	\$ 3,548.00	1	Pieza	\$ 3,548.00	
17	Compresor Danfoss Scroll HRH036U1 3HP-10 220/1/60 (AC)	1	Pieza	\$ 18,327.00	1	Pieza	\$ 18,327.00	
18	Intercambiador de calor placas Brazed Plate Heat Exchanger R410, 3 TON, 1 circuito, marca "FC" (aplicación agua-refrigerante), 32 placas	1	Pieza	\$ 11,920.00	1	Pieza	\$ 11,920.00	
19	Deshidratador 3 a 5 TR 3/8" Sporlan	1	Pieza	\$ 1,149.00	1	Pieza	\$ 1,149.00	
20	Válvula de expansión SPORLAN 3TR R-410a	1	Pieza	\$ 1,568.25	1	Pieza	\$ 1,568.25	
21	Válvula de expansión EMERSON 4TR R-410a	1	Pieza	\$ 1,769.00	1	Pieza	\$ 1,769.00	
22	Válvula check 1/2"	1	Pieza	\$ 395.65	2	Pieza	\$ 791.30	
23	Distribuidor de refrigerante, 1/2" x 5/16", 3 orificios	1	Pieza	\$ 307.50	1	Pieza	\$ 307.50	
24	Ventilador Soler & Palau 5CET-5000	1	Pieza	\$ 18,846.00	1	Pieza	\$ 18,846.00	
25	Fabricación de evaporador de cobre y aluminio	1	Pieza	\$ 24,970.00	1	Pieza	\$ 24,970.00	
26	Filtro de aire plisado 20"x 20"x 2" MERV8 Capacidad std., material de la microfibra flujo de aire a 300PPM 1000 PCM	3	Pieza	\$ 463.00	1	Pieza	\$ 463.00	
27	Perfil Zintro 1"x1" Cal. 16 x6.10 m	1	m	\$ 157.38	11.566	m	\$ 1,820.22	7
28	Lámina galvanizada cal.24 (1.22x2.44m)	1	m2	\$ 436.24	2.857	m2	\$ 1,246.34	2
29	Insultube 7/8" x 1/2" Espesor x 1.80 m Cerrado	1.8	m	\$ 166.67	0.9	m	\$ 150.00	
30	Insultube 3/8" x 1/2" Espesor x 1.80 m Negro	1.8	m	\$ 154.44	0.5	m	\$ 77.22	
31	Aislante térmico acústico de fibra de vidrio 1.22 m x 1.00 m	2.44	m2	\$ 200.82	1.84	m2	\$ 369.51	
	TOTAL			\$ 85,165.13			\$ 88,459.61	

Tabla 4-7. Lista de componentes y accesorios utilizados en la manufactura del segundo diseño de la bomba de calor geotérmica.

LISTA DE CONSUMIBLES							
No.	Descripción	Cantidad	Unidad	Precio unitario MXN	Cantidad Utilizada	Unidad2	Importe MXN
1	Soldadura de plata, Diámetro 1/16" para soldar cobre tipo "L". OXIWELD 600. BAg-2a Plata 30% Varilla desnuda	8	Pieza	\$ 132.00	5	Pieza	\$ 660.00
2	Microalambre MIG WELD 316 LSI 0.035"	14.968	kg	\$ 658.58	0.4	kg	\$ 263.43
3	Disco de corte para acero inoxidable de 14"	2	Pieza	\$ 270.00	1	Pieza	\$ 270.00
4	Refrigerante Gefrieren 140 Boya de 11.3 kg	11.3	kg	\$ 164.25	2	kg	\$ 328.50
Total				\$ 1,224.83			\$ 1,521.93

Tabla 4-8. Lista de consumibles utilizados en la manufactura del segundo diseño de la bomba de calor geotérmica.

Incluyendo la parte eléctrica como en el primer diseño, se tienen los siguientes costos (Tabla 4-9).

Material directo de la BCG 3TR				
	Importe total MXN		Importe total USD	
BCG	\$	91,001.53	\$	5,369.09
BCG más parte eléctrica	\$	92,097.57	\$	6,465.13

Tabla 4-9. Tabla de costos del segundo diseño de la BCG sin parte eléctrica, con parte eléctrica básica y parte eléctrica completa.

En la Tabla 4-9 se observan las cantidades de la BCG con y sin la parte eléctrica, por lo que podemos ver que la BCG tiene un costo final de **\$91,973.06 MXN (6,457.78 USD)**.

Comparación

A continuación, se hará una comparativa de costos del material directo entre el primer y segundo diseño de la bomba de calor geotérmica (Tabla 4-10)

Comparativa de costos entre diseños				
BCG primer diseño			BCG segundo diseño	
\$	103,722.78	MXN	\$	91,001.53
				MXN
\$	6,119.64	USD	\$	5,369.09
				USD

Tabla 4-10. Comparativa de costos entre ambos diseños.

En la Tabla 4-10 se puede observar que el primer diseño es más costoso que el segundo diseño, teniendo una diferencia de **\$12,721.24 MXN**, a pesar de que el segundo diseño tiene más elementos que el primero la diferencia de costos es grande. Es aquí donde se ve la importancia de la compra de piezas importadas y la compra de piezas nacionales.

4.2.3.- Catálogo de conceptos del primer diseño de la bomba de calor geotérmica

Para tener una mejor visión presupuestal de la manufactura de la bomba de calor y tener un mejor panorama del mismo se realizó un catálogo de conceptos, en donde incluye el tiempo invertido en cada actividad realizada, la mano de obra, los costos indirectos y el costo de las herramientas utilizadas para manufacturarla. En la Tabla 4-11 se muestra solo una parte del catálogo de conceptos en el Anexo B se puede encontrar el catálogo de conceptos completo para este diseño.

Catalogo de Conceptos						
Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario MXN	Total MXN	Total USD
Estructura y Cubierta						
EyC-001	Fabricación de soporte de acero para la bomba de calor, de perfil zintro 1x1 calibre 16, marca Oxipaco, el precio incluye: corte, soldadura, mano de obra, herramienta, material, limpieza del área. P.U.O.T.	KG	20.86	\$ 878.50	\$ 18,325.49	\$ 916.27
EyC-002	Habilitado de lámina, acero galvanizado calibre 24, marca Oxipaco, el precio incluye: corte, doblado, taladrado, mano de obra, herramienta, material, limpieza del área. P.U.O.T.	KG	29.62	\$ 489.62	\$ 14,502.44	\$ 725.12
EyC-003	Colocación de aislante térmico acústico de fibra de vidrio (1.22 x 1.00 m) en las láminas de acero galvanizado, el precio incluye: corte, pegado especial, mano de obra, herramienta, limpieza del área. P.U.O.T.	M	1.8423	\$ 498.60	\$ 918.56	\$ 45.93
Mecánico						
M-001	Colocación de equipos sobre las láminas galvanizadas para distribución de peso y esfuerzos, el precio incluye: Taladrado, compresor tipo scroll, ventilador, válvula inversora, válvula termostática, intercambiador de placas, intercambiador aletado, mano de obra, herramienta, limpieza del área. P.U.O.T.	PIEZA	1	\$ 126,252.68	\$ 126,252.68	\$ 6,312.63
M-002	Interconexión de equipos, tubos de cobre flexibles tipo L de 5/8", marca Oxipaco, el precio incluye: soldar, insumos, corte, accesorios de tubería (Tee de cobre 3/8", Tee de cobre 1/2", codos de cobre 90° 3/4"), aislante térmico, mano de obra especializada, herramienta, limpieza del área. P.U.O.T.	M	1	\$ 1,893.96	\$ 1,893.96	\$ 94.70
Eléctrico						
E-001	Conexión de componentes electrónicos, el precio incluye: cortar, soldar, configurar, alambrear, componentes electrónicos, mano de obra especializada, herramienta, limpieza del área. P.U.O.T.	PIEZA	1	\$ 28,511.12	\$ 28,511.12	\$ 1,425.56
Refrigerante						
R-001	Relleno de refrigerante a la bomba de calor, el precio incluye: Retiro de humedad, inyección de refrigerante R410a, bomba de vacío Redco 6CFM, mangueras, mano de obra, herramientas, limpieza del área. P.U.O.T.	KG	2	\$ 6,650.98	\$ 13,301.95	\$ 665.10
Total						
T-001	Costo total de la bomba de calor de 3 TR	PIEZA	1	\$ 165,175.45	\$ 203,706.21	\$10,185.31

Tabla 4-11. Catálogo de conceptos del primer diseño de la bomba de calor.

Se realizó la suma de las cantidades del material directo, mano de obra y los gastos indirectos, esto para obtener el costo total del primer diseño de la bomba de calor geotérmica, la cantidad total es de **\$203.706.21 MXN** a lo que es equivalente en dólares a **\$10,185.31 USD**. Este precio tan elevado se debe a que para manufactura la bomba de calor del primer diseño se tardó aproximadamente 6 meses, entre cortar, doblar y perforar la lámina, cortar, perforar y soldar el PTR, soldar la tubería del sistema con los componentes, que llegaron los componentes importados y aislar el sistema.

4.2.4.- Catálogo de conceptos del segundo diseño de la bomba de calor geotérmica

Al igual que el primer diseño se realizó un catálogo de conceptos para el segundo diseño de la bomba de calor (Tabla 4-12), para una mejor visualización ir al anexo B.

Catálogo de Conceptos						
Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario MXN	Total MXN	Total USD
Estructura y Cubierta						
EyC-001	Fabricación de soporte de acero para la bomba de calor, de perfil zintro 1x1 calibre 16, marca Oxipaco, el precio incluye: corte, soldadura, mano de obra, herramienta, material, limpieza del área. P.U.O.T.	KG	20.86	\$ 788.15	\$ 16,440.80	\$ 822.04
EyC-002	Habilitado de lámina, acero galvanizado calibre 24, marca Oxipaco, el precio incluye: corte, doblado, taladrado, mano de obra, herramienta, material, limpieza del área. P.U.O.T.	KG	29.62	\$ 489.62	\$ 14,502.44	\$ 725.12
EyC-003	Colocación de aislante térmico acústico de fibra de vidrio (1.22 x 1.00 m) en las láminas de acero galvanizado, el precio incluye: corte, pegado especial, mano de obra, herramienta, limpieza del área. P.U.O.T.	M	1.8423	\$ 716.20	\$ 1,319.46	\$ 65.97
Mecánico						
M-001	Colocación de equipos sobre las láminas galvanizadas para distribución de peso y esfuerzos, el precio incluye: Taladrado, compresor tipo scroll, ventilador, válvula inversora, válvula termostática, intercambiador de placas, intercambiador aletado, mano de obra, herramienta, limpieza del área. P.U.O.T.	PIEZA	1	\$ 107,513.18	\$ 107,513.18	\$ 5,375.66
M-002	Interconexión de equipos, tubos de cobre flexibles tipo L de 5/8", marca Oxipaco, el precio incluye: soldar, insumos, corte, accesorios de tubería (Tee de cobre 3/8", Tee de cobre 1/2", codos de cobre 90° 3/4"), aislante térmico, mano de obra especializada, herramienta, limpieza del área. P.U.O.T.	M	1	\$ 2,359.79	\$ 2,359.79	\$ 117.99
Eléctrico						
E-001	Conexión de componentes electrónicos, el precio incluye: cortar, soldar, configurar, alambrear, componentes electrónicos, mano de obra especializada, herramienta, limpieza del área. P.U.O.T.	PIEZA	1	\$ 28,511.12	\$ 28,511.12	\$ 1,425.56
Refrigerante						
R-001	Relleno de refrigerante a la bomba de calor, el precio incluye: Retiro de humedad, inyección de refrigerante R410a, bomba de vacío Redco 6CFM, mangueras, mano de obra, herramientas, limpieza del área. P.U.O.T.	KG	2	\$ 6,650.98	\$ 13,301.95	\$ 665.10
Total						
T-001	Costo total de la bomba de calor de 3 TR	PIEZA	1	\$ 147,029.04	\$ 183,948.75	\$ 9,197.44

Tabla 4-12. Catálogo de conceptos del segundo diseño de la bomba de calor.

Se realizó la suma de las cantidades del material directo, mano de obra y los gastos indirectos, esto para obtener el costo total del segundo diseño de la bomba de calor

geotérmica, la cantidad total es de **\$183,948.75 MXN** a lo que es equivalente en dólares a **\$9,197.44 USD**.

Comparación

En la Tabla 4-13 se muestra la comparativa de los costos finales de ambos diseños, en donde ya incluye la mano de obra, costo directo, costo indirecto, el uso de la herramienta para la manufactura de la BCG.

Comparativa de costos del catálogo de conceptos entre diseños			
BCG primer diseño		BCG segundo diseño	
\$ 203,706.21	MXN	\$ 183,948.75	MXN
\$ 10,185.31	USD	\$ 9,197.44	USD

Tabla 4-13. Comparativa de costos del catálogo de conceptos entre diseños

Analizando la tabla se puede observar que hay una gran diferencia de costos entre el primer diseño y segundo diseño, esta diferencia es de **\$19,757.46 MXN**, esto es debido en primera por los altos costos que presenta el componente importado y en segunda por el mayor tiempo que se tardó en manufacturar el primer diseño, ya que como se mencionó antes la válvula de expansión importada tardó un mes en llegar por lo que atrasó todo el trabajo, incrementándose así los costos.

4.2.5.- Costos a granel del primer diseño de la bomba de calor geotérmica

Los costos a granel son aquellos que se encuentran en productos los cuales se venden en grandes cantidades, también se alude cuando algo se comercializa sin número u orden, aquí se habla de una venta a granel o cuando los productos que no están empaquetados o envasados. (Pérez Porto, 2018)

Se realizó un estudio de los costos a granel de cada componente de la bomba de calor, el motivo por el cual se realizó es para hacer una comparativa de costos entre el unitario y a granel, poder observar cuanto disminuye el costo de cada componente, para un próximo trabajo ver si es rentable o no.

Comparativa de costos entre unitario y granel del primer diseño de 1 bomba de calor			
BCG sin granel		BCG a granel	
\$ 103,722.78	MXN	\$ 88,630.88	MXN
\$ 6,119.64	USD	\$ 5,229.22	USD

Tabla 4-14. Tabla comparativa de costos de 1 bomba vs costos de 200 bombas de calor.

Para realizar este estudio comparativo se tuvo que cotizar con diferentes proveedores, los cuales algunos al vender a granel manejaban del 15 al 20% de descuento en sus productos, generalmente en láminas, PTR, tubos y accesorios de tuberías, sin embargo, en algunos de los componentes de la bomba como lo son el compresor, la válvula de expansión, válvula de 4 vías, etc., solo llegaban a realizar un descuento del 5% en sus productos a granel, mientras que los componentes eléctricos no realizan ningún descuento en sus costos a granel, sus costos de un solo componente lo mantienen fijo así se lleven 1000 o más componentes.

Realizando la comparativa de costos como se puede observar en la Tabla 4-14 entre el costo de 1 bomba de calor vs el costo de 200 bombas de calor se tiene una diferencia de **\$15,091.89 MXN**.

Para que las bombas de calor geotérmicas sean rentables y sean competencia en el mercado se necesita industrializar y automatizar la manufactura de la bomba de calor para que este se realice un mayor número de bombas de calor en menos tiempo y en menores costos.

4.2.6.- Costos a granel del segundo diseño de la bomba de calor geotérmica

Se realizó un estudio de los costos a granel de cada componente de la bomba de calor del segundo diseño, obteniendo las siguientes cantidades (Tabla 4-15).

Comparativa de costos entre unitario y granel del segundo diseño			
BCG sin granel		BCG a granel	
\$ 91,001.53	MXN	\$ 79,653.74	MXN
\$ 5,369.09	USD	\$ 4,699.57	USD

Tabla 4-15. Comparativa de costos de 1 bomba vs costos de 200 bombas de calor

Comparativa de costos entre unitario y granel del segundo diseño			
BCG sin granel		BCG a granel	
\$ 91,001.53	MXN	\$ 79,653.74	MXN
\$ 5,369.09	USD	\$ 4,699.57	USD

Realizando la comparativa de costos como se puede observar en la Tabla 4-13 entre el costo de 1 bomba de calor vs el costo de 200 bombas de calor se tiene una diferencia de **\$11,347.79 MXN**.

Comparación

En la Tabla 4-16 se realizó la comparación de costos a granel entre el primer diseño y el segundo diseño. A continuación, se presenta.

Comparativa de costos a granel entre diseños			
BCG primer diseño		BCG segundo diseño	
\$ 88,630.88	MXN	\$ 79,653.74	MXN
\$ 5,229.22	USD	\$ 4,699.57	USD

Tabla 4-16. Comparación de costos a granel entre el primer y segundo diseño.

En esta comparación entre ambos diseños, aunque no es mucha la diferencia como en los anteriores sigue siendo significativa, ya que esta diferencia es de **\$8,977.14 MXN**

4.3.- Conclusión

Los costos de la BCG del primer diseño mostrados en este trabajo están más elevados, comparados con los del segundo diseño, por lo que manufacturar una BCG con elementos importados eleva su costo 12 mil pesos más que manufacturar una BCG con elementos nacionales, sin embargo, los costos de estas siguen siendo mayores que las comerciales, esto es debido a que las comerciales ya tienen algún acuerdo con proveedores para disminuir más sus costos o que estas mismas fabriquen sus propios componentes ahorrándose algunos miles de pesos.

Cabe recalcar que siempre los costos unitarios serán más elevados ya que los precios de los componentes y materiales de manera unitaria incrementan su costo, en cambio cuando

ya se realizan BCG de manera industrial o en masa estos costos decremantan entrando a competir en el mercado, esto se debe a que muchas empresas manejaan descuentos en sus productos o se pueden llegar a acuerdos con los distribuidores para que los costos bajen.

Actualmente se sigue investigando el diseño y la manufactura de la BCG para poder bajar más sus costos y estas sean más económicas que las que actualmente existen en el mercado y estén más fácilmente al alcance de la población mexicana.

Capítulo 5 Proceso de manufactura de la bomba de calor de grupo iiDEA

Introducción

En el ámbito industrial o artesanal, se han implementado muchas formas de trabajar y se han adaptado otras para su funcionamiento óptimo en la búsqueda de lograr los objetivos y metas establecidas. Si una fábrica o un taller se dedica a la creación de productos, tienen incorporado los procesos de manufactura.

En este capítulo se mencionaran las diferentes actividades de los procesos de manufactura que se llevaron a cabo durante todo el proceso de construcción de ambos diseños de la BCG.

5.1.- Definiciones

En este apartado se mencionaran algunas deficiones de los procesos de manufactura que se llevaron acabo para hacer estas bombas de calor.

5.1.1.- Corte de lámina

El corte de lámina se realiza por una acción de cizalla entre dos bordes afilados, donde el borde superior de corte (el punzón) se mueve hacia abajo sobrepasando el borde estacionario inferior de corte (el dado). (Molduras de Lámina, 2021)

- Corte Láser

La maquinaria de corte láser para lamina y placa permite cortes, con una gran precisión, cortar geometrías complejas en lámina y placa. (Molduras de Lámina, 2021)

- Corte Waterjet

La versatilidad en cuanto a materiales que consigue modificar es muy alta. Gracias al chorro a presión, se puede cortar metales. (Molduras de Lámina, 2021)

El dispositivo consiste en un chorro de agua a presión, cuyo diámetro de la boquilla oscila entre 0,1 mm a 0,4 mm de diámetro, por el cual sale una mezcla de agua y abrasivo lanzado a una presión muy elevada, capaz de cortar cualquier tipo de material.

Las máquinas de corte por chorro de agua trabajan con alta presión y ofrecen mayor seguridad. No obstante, esto no quiere decir que la maquinaria está libre de peligro, pues, trabajar de forma inadecuada puede llegar a ocasionar la muerte. Por lo que, todas aquellas personas que se encuentren encargadas del manejo de la maquinaria deben de contar con el equipo necesario para su protección: ropa, cascos, guantes, calzado anti-deslizante, gafas, etc. (Molduras de Lámina, 2021)

- Corte CNC

Este proceso de desbaste se realiza mediante una broca que gira para cortar el material y darle forma a la pieza. Ésta es una máquina de corte o grabado, que trabaja con una herramienta de fresado o broca que puede tallar con precisión y exactitud los materiales en tres o más dimensiones a la vez. (Molduras de Lámina, 2021)

5.1.2.- Taladrado

El taladrado es un proceso de mecanizado que consiste en hacer un corte en el material haciendo girar una broca. La broca arranca virutas del material y realiza un orificio. Dicho orificio tendrá las características que deseemos: forma, diámetro, etc. (Gestión de Compras, 2022)

La maquinaria destinada al taladrado se denomina taladradora. Sus elementos más importantes son el taladro y la broca. (Gestión de Compras, 2022)

El taladrado puede ser de diferentes formas según su fuente de alimentación, el soporte en el que está sujetado, etc.

Los distintos tipos de taladro son:

- Taladro eléctrico
- Hidráulico
- Neumático
- Magnético
- De mano
- Percutor
- De pedestal
- Fresador
- Columna

La broca es otro elemento clave en el taladrado. Presionando la misma sobre la superficie de la pieza se consigue el taladrado. Al material eliminado se le llama viruta.

Según las características de las brocas, estas se clasifican en distintas series que son Serie P, Serie M, Serie K, Serie N, Serie S, Serie H de acuerdo a las normas ISO/ANSI 01, 10, 20, 30, 40 y 50. (Gestión de Compras, 2022)

Tipos de perforado:

- *Perforación puntual:* Sirve de guía para el siguiente paso del perforado.
- *Perforación centros:* Crea el eje central alrededor del cual se realizan los demás procesos.
- *Taladrado profundo:* Aquel en el que la profundidad del agujero es al menos 10 veces mayor que el diámetro del agujero hecho.
- *Perforado de alta velocidad:* Necesita alta velocidad para el taladrado.
- *Micro-taladrado:* Utilizado para agujeros de pequeño diámetro.
- *Taladrado por vibración:* Utilizamos vibración en frecuencia de 100 a 20000 Hez para fracturar material rocoso.

- *Con interpolación:* Herramientas de corte rotan en sus 2 ejes

5.1.3.- Soldadura

La soldadura se refiere a la unión o fusión de piezas mediante el uso de calor y/o compresión para que las piezas formen un continuo. La fuente de calor en la soldadura suele ser una llama de arco producida por la electricidad de la fuente de potencia de soldadura. La soldadura basada en un arco se llama soldadura por arco. (Kempfi, 2022)

Aunque el proceso general es el explicado anteriormente, existen distintos tipos de soldadura dependiendo del resultado que se quiera obtener. A continuación, detallamos algunos de estos tipos de soldadura y sus características. (CEIF, 2022)

- Soldadura Tig (Gas inerte Tungsteno)

La soldadura de Gas Inerte Tungsteno (TIG) usa el calor generado por un arco eléctrico que golpea entre un electrodo de tungsteno y la pieza en la que se trabaja. Esto permite que en el área de unión se fusione metal. Se puede trabajar sin relleno o agregando el relleno mediante un cable consumible. (CEIF, 2022)

Las soldaduras con TIG son de muy alta calidad y se pueden producir en un amplio conjunto de materiales con grosores que van hasta 8 o 10 milímetros, siendo muy adecuado para material en hojas. (CEIF, 2022)

- Soldadura MIG (Metal Inerte Gas) – MAG (Metal Active Gas)

La soldadura MIG-MAG se llama así porque depende del gas que se inyecte (Metal Inert Gas o Metal Active Gas) y se lleva a cabo por arco bajo gas protector con electrodo consumible. El arco se produce mediante un electrodo formado por un hilo continuo y las piezas y queda protegido por un gas inerte o por un gas activo, de ahí su nombre.

Es un proceso muy productivo y de muy buena calidad y las soldaduras pueden tener espesores desde 0,7 a 6 mm. (CEIF, 2022)

- Soldadura Eléctrica por Arco con Electrodo Revestido

En este tipo de soldadura se produce una diferencia de potencial entre el electrodo y las piezas a soldar. El calor que produce el arco eléctrico funde el extremo del electrodo y el metal de la pieza.

Este tipo de soldadura se utiliza sobre todo para espesores medio-grandes. (CEIF, 2022)

- Soldadura FCAW (Fluxe Cored Arc Welding)

La soldadura flux core es uno de los diferentes procesos de soldadura por arco eléctrico con los que contamos actualmente para unir piezas metálicas. Posee elementos similares a otros procedimientos, como MMA, Arco Sumergido, y MIG/MAG. Las posibilidades que nos da este proceso son diversas, con sus ventajas y desventajas. (DINAMICA, 2022)

Consiste en un proceso que utiliza como elemento principal un alambre tubular relleno de fundente. Este micro alambre se trata de uno de los principales componentes del proceso de soldadura, y la diferencia respecto a MIG/MAG (GMAW), con el cual comparte ciertos aspectos operativos. (DINAMICA, 2022)

- Soldadura por Oxi-Acetileno (OAW)

La soldadura oxiacetilénica es un proceso de soldadura por fusión que utiliza el calor producido por una llama, la cual se obtiene debido a la combustión del gas acetileno con el oxígeno, con el objetivo de fundir un metal. Con éste es posible soldar con o sin material de aporte y el metal de aporte se agrega para cubrir biseles y orificios. A medida que la llama se mueve a lo largo de la unión, el metal base y el metal de aporte se solidifican. (Andira, 2020)

La soldadura oxiacetilénica realiza la combustión del acetileno con oxígeno en un maneral o soplete para producir una flama que funde un material de aporte que permite unir dos metales, ya sean del mismo material e inclusive de materiales diferentes. (HVAC&R, 2020)

Uno de los métodos más utilizados en refrigeración para unir tubería de cobre es la soldadura oxiacetilénica, especialmente para tubería de 7/8” de diámetro y mayores. (HVAC&R, 2020)

Son tres tipos, de acuerdo con la presión de trabajo del acetileno. (Soldadura de oxiacetileno, 2019)

- Alta presión. Cuando el acetileno trabaja a una presión, que varía entre 0.3 a 0.5 kg/cm² (4.26 a 7.1 lb/pulg²)
- Media presión. Cuando el acetileno trabaja a una presión, que varía entre 0.1 a 0.3 kg/cm² (1.42 a 4.26 lb/pulg²)
- Baja presión. Cuando el acetileno trabaja a una presión común descontando la pérdida de las válvulas y los conductos. Prácticamente no tiene aplicación.

Ventajas

- Mediante esta combinación, se alcanza alta temperatura de llama.
- Suelda materiales ferrosos y no ferrosos.

Desventajas

- Es un proceso más caro que el de oxígeno –propano.
- Produce deformaciones por la gran concentración de calor, por lo tanto, no es recomendable para ciertos trabajos.
- La soldadura en espesores gruesos resulta ser no viable económicamente.

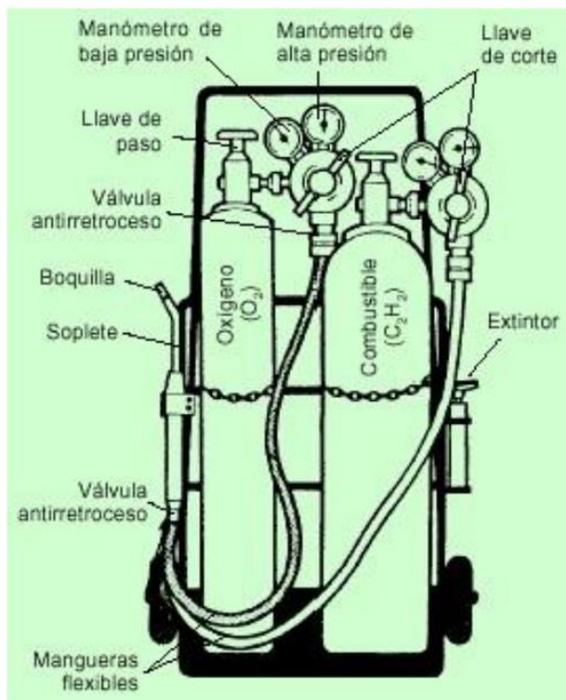
Equipo para soldar con oxiacetileno.

Es el conjunto de elementos que, agrupados, permiten el paso de gases (Oxígeno – Acetileno) hasta un soplete en cuyo interior se produce la mezcla. La misma, en contacto con una chispa, produce una combustión, necesaria en el proceso oxiacetilénico. (Soldadura de oxiacetileno, 2019)

Equipo

1. Cilindro de Oxígeno
2. Cilindro de acetileno
3. Válvulas
4. Regulador para Oxígeno
5. Regulador para acetileno

6. Mangueras
7. Soplete
8. Boquilla
9. Carro Transporte



Cilindros de Oxígeno y Acetileno

Figura 5-1. Diagrama de los tanques de la soldadura de oxiacetileno.

5.2.- Procesos de manufactura realizados en la bomba de calor geotérmica grupo iiDEA

Como se mencionó anteriormente en el laboratorio de grupo iiDEA se han realizado hasta el momento dos diseños o configuraciones del sistema de la bomba de calor geotérmica manufacturadas artesanalmente por los miembros de este grupo.

Los pasos de la manera en cómo se manufacturó se mencionaran a continuación en un listado y posteriormente se presentará en un diagrama para una mejor visualización.

5.2.1.- Primera configuración de la BCG



Figura 5-2. Primera configuración de la BCG hecha en grupo iiDEA

Para esta primera configuración se realizó una estructura con PTR galvanizado 1" x 1", esto para que la BCG tuviera un mayor soporte en su configuración y la lámina de base no se fuera a pandear por el peso de los componentes.

- Manufactura de la estructura

Para realizar la estructura se utilizaron 3 PTR de 6.10 m cada uno, con ayuda de un flexómetro se midieron y se cortaron según la medida que los planos muestran (Figura 5-3), en total se obtuvieron 15 pedazos de perfil, estos perfiles fueron cortados con la ayuda de una sierra de disco para cortar o también llamada tronadora de metal (Figura 5-5).

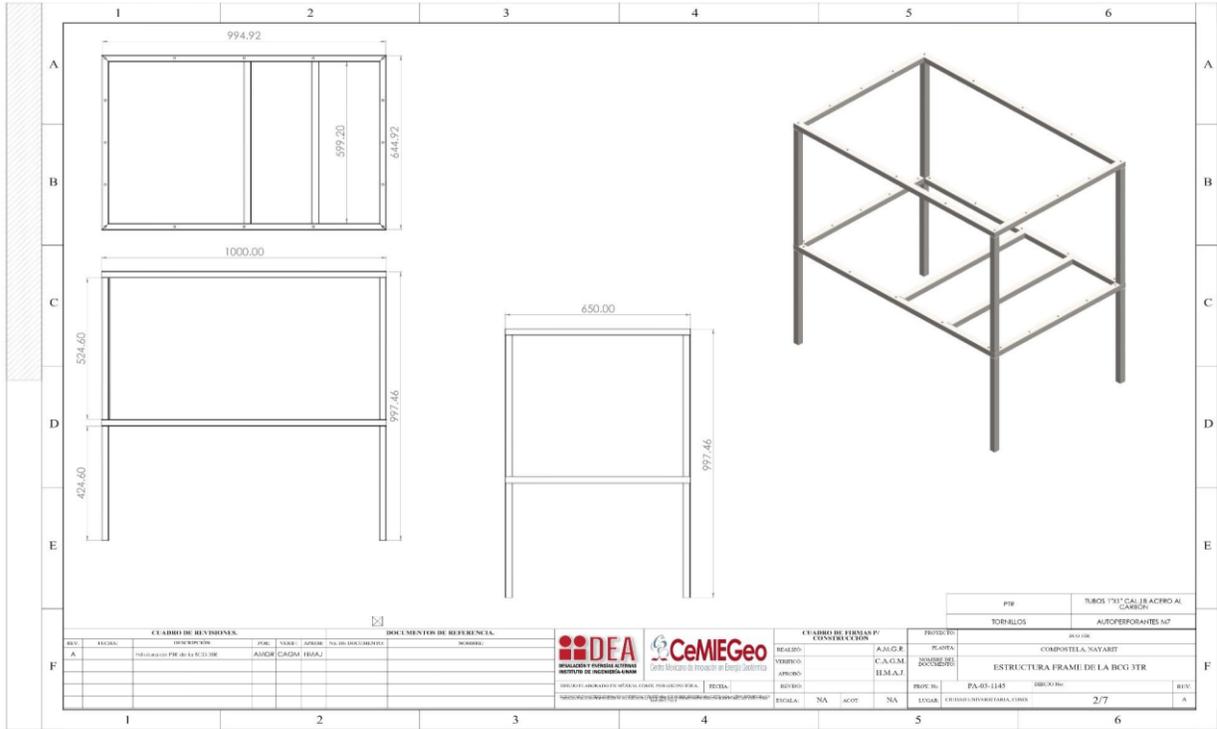


Figura 5-3. Plano de la estructura de la BCG para 3 TR

Una vez cortado el PTR se procedió a soldar cada uno de estos tramos. Para soldar el PTR se utilizó la soldadura por arco con electrodo revestido (Figura 5-4).



Figura 5-4. PTR en proceso de ser soldado (Diseño y construcción de una bomba de calor geotérmica 3 TR, 2022)



Figura 5-5. Sierra de disco o tronzadora de metal (Diseño y construcción de una bomba de calor geotérmica 3 TR, 2022)

- Manufactura de las tapas de la BCG

Después de que se terminó de soldar el PTR se prosiguió con el corte y doblado de las láminas, las cuales serían las tapas de la bomba de calor.

Para manufacturar las tapas se utilizó lámina de acero galvanizado calibre 24 de 1.22 x 2.44 m, con ayuda de una sierra caladora se cortaron las láminas (Figura 5-7) con las medidas que a continuación se muestran en el plano (Figura 5-6).

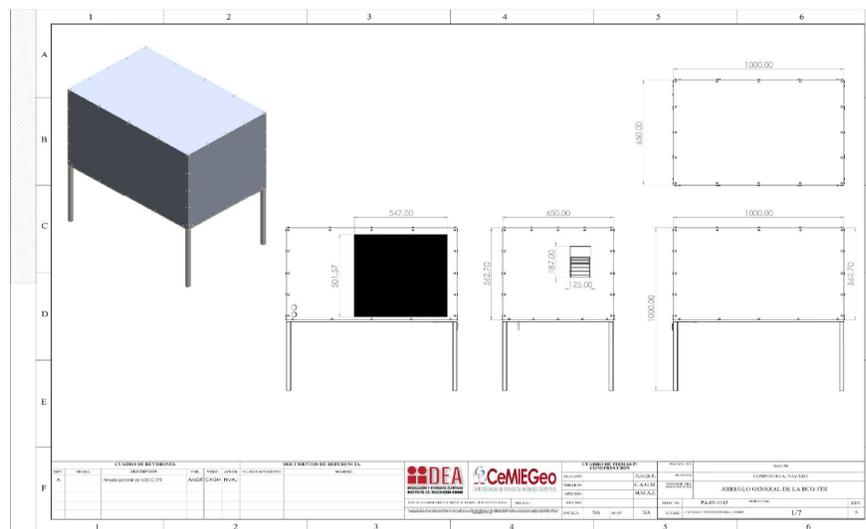


Figura 5-6. Plano de las tapas de acero galvanizado para la estructura de la BCG (Para una mejor vista se presentarán los planos en los Anexos de este trabajo)

Una vez cortadas las láminas se llevaron a doblar a la dobladora (vaya la redundancia) que se encuentra ubicada en los laboratorios del edificio O del anexo de ingeniería.

Para colocar las tapas en la estructura con ayuda de un taladro se perforaron tanto las láminas como el perfil y se colocaron tornillos autoperforantes de acero al carbón No. 8 de $\frac{1}{2}$ ", para así fijar de manera correcta las láminas en la estructura (Figura 5-8).



Figura 5-7. Corte de lámina de acero galvanizado con ayuda de la sierra caladora (Diseño y construcción de una bomba de calor geotérmica 3 TR, 2022)



Figura 5-8. Tapas de acero galvanizado colocadas en la estructura de PTR (Diseño y construcción de una bomba de calor geotérmica 3 TR, 2022)

- Montaje de equipo

Ya terminado de atornillar las láminas de acero galvanizado en la estructura se procedió a montar los equipos sobre la carcasa de la BCG, esto con el motivo de observar la distribución de peso de todos los componentes y aprovechar de manera correcta el espacio de la carcasa.

La carcasa se separó en dos partes, en una parte se colocó el compresor, el intercambiador de placas planas, el filtro, la válvula de 4 vías y la válvula de expansión, y del otro lado se colocó el intercambiador de calor de refrigeración por aire y el ventilador de succión, divididas por una lámina de acero galvanizado como se muestra en el plano de la Figura 5-9.

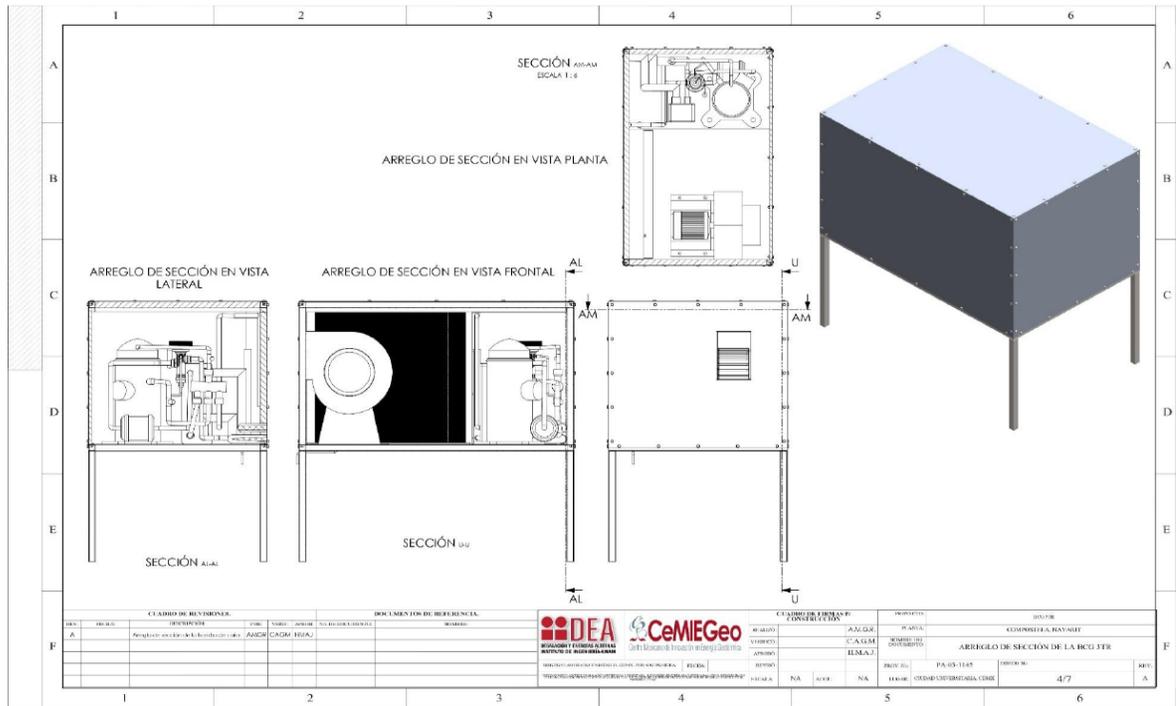


Figura 5-9. Plano del acomodo de los componentes en toda la carcasa en diferentes vistas. (Diseño y construcción de una bomba de calor geotérmica 3 TR, 2022)

- Colocación de Aislante térmico

Al terminar de colocar las piezas sobre la base de la carcasa se colocaron las tapas laterales para después colocar el aislante térmico y pegarlo con cinta de aluminio en el interior de las tapas de acero galvanizado tal y como se muestra en la Figura 5-10.



Figura 5-10. Colocación del aislante térmico en el interior de las tapas de acero galvanizado. (Diseño y construcción de una bomba de calor geotérmica 3 TR, 2022)

Para cortar este aislante térmico primero se obtuvieron las medidas de la parte interna de las tapas para después marcarlas en el aislante con ayuda de un flexómetro, una vez marcado el aislante se utilizaron unas tijeras especiales para cortar metal, esto con el motivo que no se contaba con otra herramienta para cortar y porque el aislante térmico es de fibra de

vidrio. Para pegarlo en las tapas se utilizó cinta de aluminio, el motivo es porque aparte de pegar bien en el acero galvanizado y de adherirse bien al aislante le da una mejor vista.

- Conexión de la tubería de cobre con los equipos

Para realizar la conexión de la tubería de cobre primero se tuvo que realizar un CAD para saber cuál sería la mejor opción para colocar las tuberías y conectar los componentes (Figura 5-11)

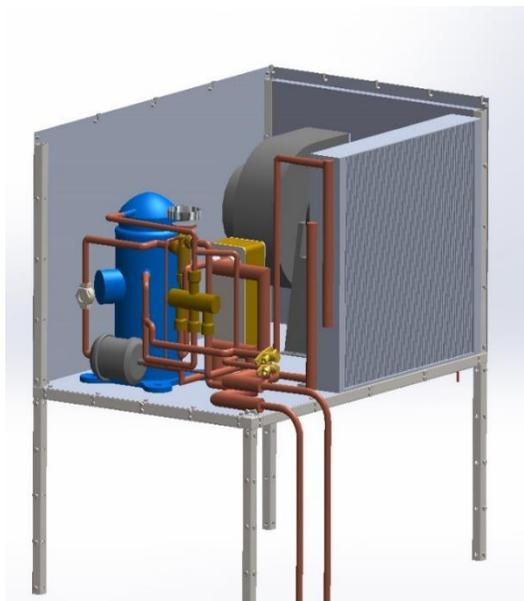


Figura 5-11. CAD del diseño de tuberías de la BCG 3 TR.

Una vez teniendo el CAD y las medidas del sistema de tuberías se comenzó a cortar el tubo con ayuda de un cortador de tubos (Figura 5-12). El tipo de tubo utilizado en ese sistema es tubo de cobre tipo L flexible, se utiliza tipo L ya que es el tipo de tubo que soporta trabajar con presiones altas y es especial para gas o refrigerantes, se utilizó tubería de cobre de las medidas 5/8", 1/2", 3/8" y 7/8", se compraron accesorios como Tee, codos, reductores y coples de las mismas medidas ya mencionadas.



Figura 5-12. Cortatubo. Como su nombre lo dice sirve para cortar tubos de cobre

Ya cortados los tramos de tubos se comenzó a realizar la interconexión de la tubería con los equipos, pero aun sin soldar, esto para verificar que efectivamente los tubos cortados con las medidas del CAD eran las correctas o si se podían presentar modificaciones (Figura 5-13).



Figura 5-13. Interconexión y acomodamiento de los tramos de tubería de cobre. (Diseño y construcción de una bomba de calor geotérmica 3 TR, 2022)

Al finalizar con la interconexión de los tubos se contrató a un técnico especialista en soldadura para cobre para realizar de manera efectiva este proceso.

Para soldar tubería de cobre utilizado para trabajar con presiones altas se utiliza la soldadura oxi-acetileno y soldadura de plata. El motivo por el cual se utiliza la soldadura de plata para soldar la tubería de cobre con el oxi-acetileno es porque le da una mayor resistencia a las uniones sin que estas se boten por las presiones tan altas que se llegan a alcanzar o manejar.



Figura 5-14. Tubería de cobre soldada con soldadura de plata y oxi-acetileno. (Diseño y construcción de una bomba de calor geotérmica 3 TR, 2022)

Para realizar un trabajo de soldadura con oxiacetileno bien hecho, en la tubería que se va a soldar se le tiene que ingresar por medio de una manguera nitrógeno, esto es para que cuando se suelde con el oxi-acetileno el cobre no se oxide (recordando que el oxi-acetileno trabaja con oxígeno y este al estar en contacto con el cobre lo oxida) dejando escoria dentro del sistema y así evitar que las líneas en donde pasará el refrigerante se tapen o llegue al compresor y ese se descomponga o comience a presentar alteraciones en las presiones de alta y baja del sistema.

Terminando de soldar las tuberías con los componentes de la bomba queda listo el sistema para realizarle las pruebas de presurizado ingresando presiones a 400 psi y observar que el sistema no presente fugas. Finalizada esta prueba se procede a aislar la tubería con insul-tube⁴ y a vaciar el sistema con ayuda de la bomba de vacío para después llenar el sistema con refrigerante R410a aproximadamente 2.5 kg y comenzar a realizar pruebas de presiones y temperaturas en este primer diseño de la BCG.

⁴ Es un aislamiento térmico con elastómero flexible, sensible al medio ambiente y libre de CFC. Es de color negro y está disponible en forma de tubo



Figura 5-15. BCG final. (Diseño y construcción de una bomba de calor geotérmica 3 TR, 2022)

5.2.2.- Segunda configuración de la BCG



Figura 5-16. Segunda configuración de la BCG hecha en grupo iiDEA

Para la segunda configuración se realizaron muchos cambios de diseño tanto en la carcasa como en la configuración del sistema, sin embargo, se utilizaron los mismos materiales que en el primer diseño solo que el número de elementos utilizado aumentó incrementando sus costos como se mostró en el capítulo 4.

- Manufactura de la estructura

Para realizar la estructura se utilizaron 3 PTR de 6.10 m cada uno, con ayuda de un flexómetro se midieron y se cortaron según la medida que los planos de la BCG del primero diseño (Figura 5-3). Como se ve en la Figura 5-16 se aumentó un tramo más de PTR para que la parte eléctrica también quedara dentro de la bomba de calor y no por fuera como en el primer diseño. Hasta este momento aún no se realizaban los planos de la estructura de esta segunda configuración, solo fotografías.

Una vez cortado el PTR se procedió a soldar cada uno de estos tramos. Para soldar el PTR se utilizó en esta ocasión soldadura fluxe o también llamada FCAW, quedando la estructura como se muestra en la Figura 5-17.



Figura 5-17. PTR de la segunda configuración soldado.

- Manufactura de las tapas de la BCG

Después de que se terminó de soldar el PTR se prosiguió con el corte y doblado de las láminas, las cuales serían las tapas de la bomba de calor.

Para manufacturar las tapas se utilizó lámina de acero galvanizado calibre 24 de 1.22 x 2.44 m, con ayuda de la sierra caladora y con el esmeril se cortaron las láminas (Figura 5-18). Para las medidas de estas tapas se utilizaron las medidas que se obtuvieron al medir el largo y ancho de la estructura de PTR.



Figura 5-18. Corte de lámina de acero galvanizado con esmeril.

Una vez cortadas las láminas se llevaron a doblar a la dobladora (vaya la redundancia) que se encuentra ubicada en los laboratorios del edificio O del anexo de ingeniería.

Para colocar las tapas en la estructura con ayuda de un taladro se perforaron tanto las láminas como el perfil pero solo la base y se colocaron remaches de $\frac{1}{2}$ " , para así fijar de manera correcta la lámina en la estructura, mientras que para las paredes solo se dobló la lámina y se fijó a unos perfiles de ángulo atornilladas en la base de la carcasa (Figura 5-19).



Figura 5-19. Base de la carcasa remachada y paredes laterales con lámina dobla y atornillada en la parte inferior en perfil angular.

- Montaje de equipo

Ya terminado de colocar las láminas de acero galvanizado en la estructura se procedió a montar los equipos sobre la carcasa de la BCG, esto con el motivo de observar la distribución de peso de todos los componentes y aprovechar de manera correcta el espacio de la carcasa.

Para esta segunda configuración al igual que la primera la carcasa se separó en dos partes, en una parte se colocó el compresor, el intercambiador de placas planas, el filtro, la válvula de 4 vías y la válvula de expansión, y del otro lado se colocó el intercambiador de calor de refrigeración por aire y el ventilador de succión, divididas por una lámina de acero galvanizado como se muestra en la Figura 5-20.

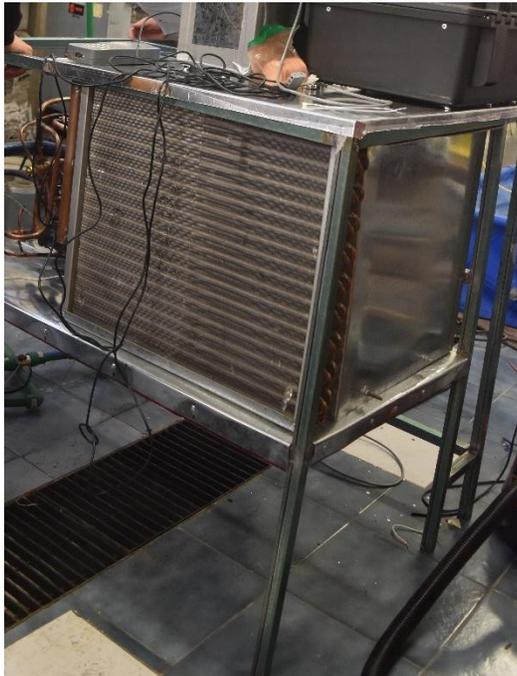


Figura 5-20. División de la BCG.

- Colocación de Aislante térmico

Al terminar de colocar las piezas sobre la base de la carcasa se colocaron las tapas laterales para después colocar el aislante térmico y pegarlo con cinta de aluminio en el interior de las tapas de acero galvanizado tal y como se muestra en la Figura 5-21.

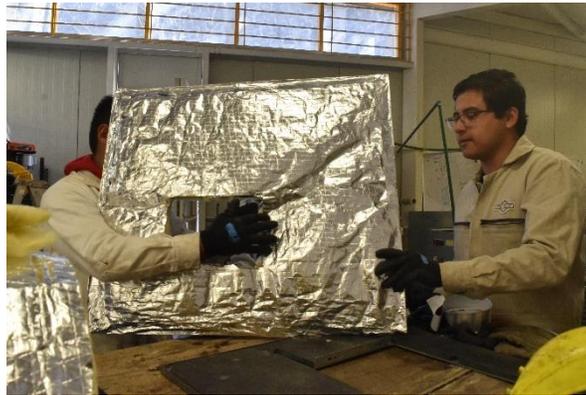


Figura 5-21. Colocación del aislante térmico en el interior de las tapas de acero galvanizado.

Para cortar este aislante térmico primero se obtuvieron las medidas de la parte interna de las tapas para después marcarlas en el aislante con ayuda de un flexómetro, una vez marcado el aislante se utilizaron unas tijeras especiales para cortar metal (Figura 5-22), esto con el motivo que no se contaba con otra herramienta para cortar y porque el aislante térmico es de fibra de vidrio. Para pegarlo en las tapas se utilizó cinta de aluminio, el motivo es porque aparte de pegar bien en el acero galvanizado y de adherirse bien al aislante le da una mejor vista.



Figura 5-22. Corte de aislante térmico

- Conexión de la tubería de cobre con los equipos

Para realizar la conexión de la tubería de cobre primero se tuvo que realizar un CAD para saber cuál sería la mejor opción para colocar las tuberías y conectar los componentes (Figura 5-11).

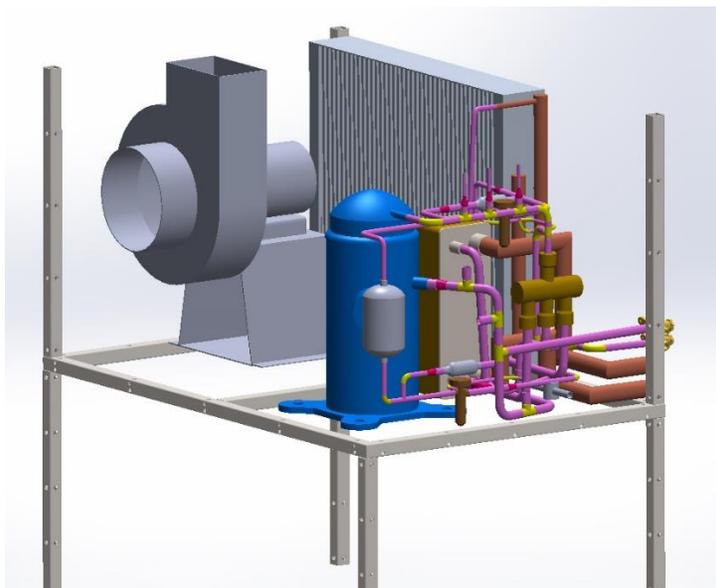


Figura 5-23. CAD del diseño de tuberías de la BCG 3 TR.

Una vez teniendo el CAD y las medidas del sistema de tuberías se comenzó a cortar el tubo con ayuda de un cortador de tubos (Figura 5-24). El tipo de tubo utilizado en ese sistema es tubo de cobre tipo L flexible, se utiliza tipo L ya que es el tipo de tubo que soporta trabajar con presiones altas y es especial para gas o refrigerantes, se utilizó tubería de cobre de las medidas 5/8", 1/2", 3/8" y 7/8", se compraron accesorios como Tee, codos, reductores y coples de las mismas medidas ya mencionadas.



Figura 5-24. Cortatubo. Como su nombre lo dice sirve para cortar tubos de cobre

Ya cortados los tramos de tubos se comenzó a realizar la interconexión de la tubería con los equipos, pero aun sin soldar, esto para verificar que efectivamente los tubos cortados con las medidas del CAD eran las correctas o si se podían presentar modificaciones (Figura 5-25).



Figura 5-25. Interconexión y acomodamiento de los tramos de tubería de cobre

Al finalizar con la interconexión de los tubos se contrató a un técnico especialista en soldadura para cobre para realizar de manera efectiva este proceso (Figura 5-26).

Para soldar tubería de cobre utilizado para trabajar con presiones altas se utiliza la soldadura oxi-acetileno y soldadura de plata. El motivo por el cual se utiliza la soldadura de plata para soldar la tubería de cobre con el oxi-acetileno es porque le da una mayor resistencia

a las uniones sin que estas se boten por las presiones tan altas que se llegan a alcanzar o manejar.



Figura 5-26. Tubería de cobre soldada con soldadura de plata y oxi-acetileno.

Para realizar un trabajo de soldadura con oxiacetileno bien hecho, en la tubería que se va a soldar se le tiene que ingresar por medio de una manguera nitrógeno, esto es para que cuando se suelde con el oxi-acetileno el cobre no se oxide (recordando que el oxi-acetileno trabaja con oxígeno y este al estar en contacto con el cobre lo oxida) dejando escoria dentro del sistema y así evitar que las líneas en donde pasará el refrigerante se tapen o llegue al compresor y ese se descomponga o comience a presentar alteraciones en las presiones de alta y baja del sistema.

Terminando de soldar las tuberías con los componentes de la bomba queda listo el sistema para realizarle las pruebas de presurizado ingresando presiones a 400 psi y observar que el sistema no presente fugas. Finalizada esta prueba se procede a vaciar el sistema con ayuda de la bomba de vacío para después llenar el sistema con refrigerante R410a aproximadamente 2.5 kg y comenzar a realizar pruebas de presiones y temperaturas en este primer diseño de la BCG.



Figura 5-27. Segunda configuración del sistema de la BCG ya soldada.

5.3.- Conclusión

Los procesos de manufactura son muy importantes ya que en cualquier proyecto que implique construir o modificar algo se requiere de estos procesos.

Se debe de mencionar que para los productos que se quieran comercializar es necesario automatizar las herramientas utilizadas en los procesos de manufactura ya que estos productos serán manufacturados en masa, por lo que si se realiza de manera artesanal solo podrán finalizar un producto al día o a la semana, dependiendo del producto que se esté manufacturando.

Los procesos de manufactura de manera artesanal se vuelven muy complicados ya que no se tienen las herramientas necesarias para poder cumplir con los objetivos, ya sea cortar lámina o doblarla o soldarla.

Capítulo 6 Conclusiones

La investigación acerca de los costos de la BCG es bastante amplia por lo que se tuvo que acotar este trabajo a solo costos unitarios, directos, indirectos y a granel, incluyendo el catálogo de conceptos.

Como ya se mencionó anteriormente es muy importante realizar este tipo de estudios ya que para llevar a cabo un proyecto se necesita saber la inversión inicial y los gastos que este proyecto tendrá a lo largo de su operación o venta.

La BCG es un sistema térmico novedoso actualmente en nuestro país, ya que generalmente solo se venden aires acondicionados convencionales o bombas de calor convencionales, esto quiere decir, que usan la luz eléctrica para funcionar, mientras que la BCG como su nombre lo indica utiliza la energía del subsuelo para funcionar. Gracias a esta innovación en México no se tienen fabricantes que realicen algunos componentes que integran la BCG como lo es la VET o distribuidores de refrigerante con ciertas características, este producto es muy limitado, por lo que se tiene que buscar en el extranjero y comprar, aumentando su costo, y su tiempo de entrega puede llegar a tardar de semanas a meses, complicando así la elaboración de la BCG y teniendo el riesgo de no ser competencia en el mercado por sus altos costos.

Otra problemática con la que se encontró con la BCG es el refrigerante que este utiliza. En una investigación que se realizó se encontró que para aires acondicionados y bombas de calor se utiliza el refrigerante R-410a ya que este es amigable con el medio ambiente, no es inflamable ni tóxico, el único problema es que produce el efecto invernadero, pero actualmente estaba siendo reemplazado por el R32 este es un gas refrigerante puro (sin mezclar) que cuenta con un Potencial de Calentamiento Atmosférico (PCA/GWP), una elevada eficiencia energética y alto poder de refrigeración, mencionando que presentaba un bajo costo, el único problema con este refrigerante es que en México no venden ningún componente (compresor, VET, válvula de 4 vías, filtro, etc.), todos tenían que ser importados por lo que su costo incrementaría aún más.

Actualmente se siguen investigando diferentes diseños de BCGs y diferentes materiales que se puedan utilizar en esta, sin bajar su calidad, para poder disminuir cada vez más sus costos y sean más accesibles para nuestro país.

ANEXOS

Anexo A

Catalogo de Conceptos

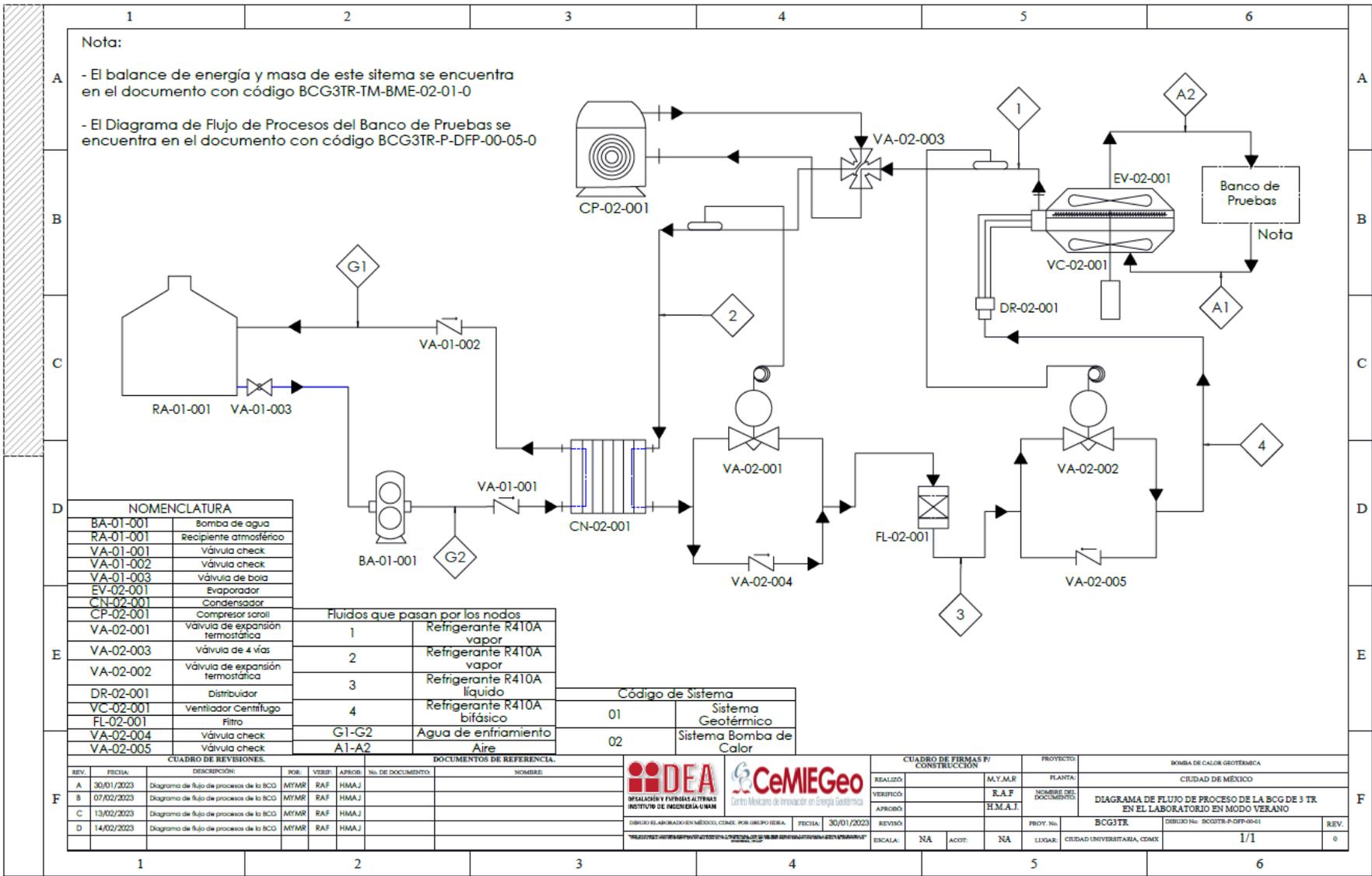
Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario MXN	Total MXN	Total USD
Estructura y Cubierta						
EyC-001	Fabricación de soporte de acero para la bomba de calor, de perfil zintro 1x1 calibre 16, marca Oxipaco, el precio incluye: corte, soldadura, mano de obra, herramienta, material, limpieza del área. P.U.O.T.	KG	20.86	\$ 878.50	\$ 18,325.49	\$ 916.27
EyC-002	Habilitado de lámina, acero galvanizado calibre 24, marca Oxipaco, el precio incluye: corte, doblez, taladrado, mano de obra, herramienta, material, limpieza del área. P.U.O.T.	KG	29.62	\$ 489.62	\$ 14,502.44	\$ 725.12
EyC-003	Colocación de aislante térmico acústico de fibra de vidrio (1.22 x 1.00 m) en las láminas de acero galvanizado, el precio incluye: corte, pegado especial, mano de obra, herramienta, limpieza del área. P.U.O.T.	M	1.8423	\$ 498.60	\$ 918.56	\$ 45.93
Mecánico						
M-001	Colocación de equipos sobre las láminas galvanizadas para distribución de peso y esfuerzos, el precio incluye: Taladrado, compresor tipo scroll, ventilador, válvula inversora, válvula termostática, intercambiador de placas, intercambiador aletado, mano de obra, herramienta, limpieza del área. P.U.O.T.	PIEZA	1	\$ 126,252.68	\$ 126,252.68	\$ 6,312.63
M-002	Interconexión de equipos, tubos de cobre flexibles tipo L de 5/8", marca Oxipaco, el precio incluye: soldar, insumos, corte, accesorios de tubería (Tee de cobre 3/8", Tee de cobre 1/2", codos de cobre 90° 3/4"), aislante térmico, mano de obra especializada, herramienta, limpieza del área. P.U.O.T.	M	1	\$ 1,893.96	\$ 1,893.96	\$ 94.70
Eléctrico						
E-001	Conexión de componentes electrónicos, el precio incluye: cortar, soldar, configurar, alambrear, componentes electrónicos, mano de obra especializada, herramienta, limpieza del área. P.U.O.T.	PIEZA	1	\$ 28,511.12	\$ 28,511.12	\$ 1,425.56
Refrigerante						
R-001	Relleno de refrigerante a la bomba de calor, el precio incluye: Retiro de humedad, inyección de refrigerante R410a, bomba de vacío Redco 6CFM, mangueras, mano de obra, herramientas, limpieza del área. P.U.O.T.	KG	2	\$ 6,650.98	\$ 13,301.95	\$ 665.10
Total						
T-001	Costo total de la bomba de calor de 3 TR	PIEZA	1	\$ 165,175.45	\$ 203,706.21	\$10,185.31

Anexo B

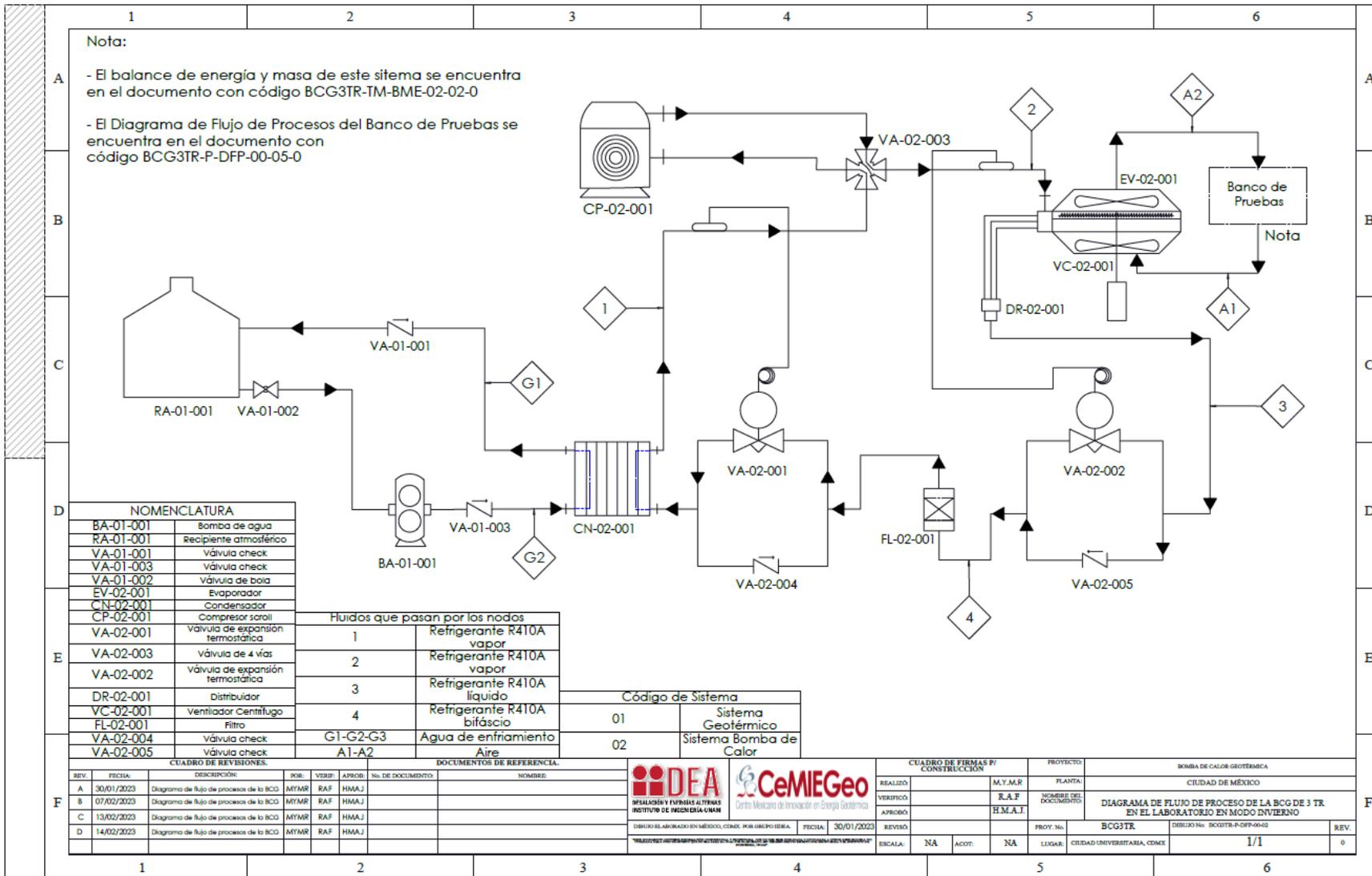
Catalogo de Conceptos

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario MXN	Total MXN	Total USD
Estructura y Cubierta						
EyC-001	Fabricación de soporte de acero para la bomba de calor, de perfil zintro 1x1 calibre 16, marca Oxipaco, el precio incluye: corte, soldadura, mano de obra, herramienta, material, limpieza del área. P.U.O.T.	KG	20.86	\$ 788.15	\$ 16,440.80	\$ 822.04
EyC-002	Habilitado de lámina, acero galvanizado calibre 24, marca Oxipaco, el precio incluye: corte, doblez, taladrado, mano de obra, herramienta, material, limpieza del área. P.U.O.T.	KG	29.62	\$ 489.62	\$ 14,502.44	\$ 725.12
EyC-003	Colocación de aislante térmico acústico de fibra de vidrio (1.22 x 1.00 m) en las láminas de acero galvanizado, el precio incluye: corte, pegado especial, mano de obra, herramienta, limpieza del área. P.U.O.T.	M	1.8423	\$ 716.20	\$ 1,319.46	\$ 65.97
Mecánico						
M-001	Colocación de equipos sobre las láminas galvanizadas para distribución de peso y esfuerzos, el precio incluye: Taladrado, compresor tipo scroll, ventilador, válvula inversora, válvula termostática, intercambiador de placas, intercambiador aletado, mano de obra, herramienta, limpieza del área. P.U.O.T.	PIEZA	1	\$ 107,513.18	\$ 107,513.18	\$ 5,375.66
M-002	Interconexión de equipos, tubos de cobre flexibles tipo L de 5/8", marca Oxipaco, el precio incluye: soldar, insumos, corte, accesorios de tubería (Tee de cobre 3/8", Tee de cobre 1/2", codos de cobre 90° 3/4"), aislante térmico, mano de obra especializada, herramienta, limpieza del área. P.U.O.T.	M	1	\$ 2,359.79	\$ 2,359.79	\$ 117.99
Eléctrico						
E-001	Conexión de componentes electrónicos, el precio incluye: cortar, soldar, configurar, alambrar, componentes electrónicos, mano de obra especializada, herramienta, limpieza del área. P.U.O.T.	PIEZA	1	\$ 28,511.12	\$ 28,511.12	\$ 1,425.56
Refrigerante						
R-001	Relleno de refrigerante a la bomba de calor, el precio incluye: Retiro de humedad, inyección de refrigerante R410a, bomba de vacío Redco 6CFM, mangueras, mano de obra, herramientas, limpieza del área. P.U.O.T.	KG	2	\$ 6,650.98	\$ 13,301.95	\$ 665.10
Total						
T-001	Costo total de la bomba de calor de 3 TR	PIEZA	1	\$ 147,029.04	\$ 183,948.75	\$ 9,197.44

Anexo C



Anexo D



NOMENCLATURA	
BA-01-001	Bomba de agua
RA-01-001	Recipiente atmosférico
VA-01-001	válvula check
VA-01-003	válvula check
VA-01-002	válvula de bola
EV-02-001	Evaporador
CN-02-001	Condensador
CP-02-001	Compresor scroll
VA-02-001	Válvula de expansión termostática
VA-02-003	válvula de 4 vías
VA-02-002	Válvula de expansión termostática
DR-02-001	Distribuidor
VC-02-001	Ventilador Centrifugo
FL-02-001	Filtro
VA-02-004	válvula check
VA-02-005	válvula check

Fluidos que pasan por los nodos	
1	Refrigerante R410A vapor
2	Refrigerante R410A vapor
3	Refrigerante R410A líquido
4	Refrigerante R410A bifásico
G1-G2-G3	Agua de enfriamiento
A1-A2	Aire

Código de Sistema	
01	Sistema Geotérmico
02	Sistema Bomba de Calor

REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN	POC.	VERIF.	APROB.	Nº DE DOCUMENTO	NOMBRE
A	30/01/2023	Diagrama de flujo de procesos de la BCG	MYMR	RAF	HMAJ		
B	07/02/2023	Diagrama de flujo de procesos de la BCG	MYMR	RAF	HMAJ		
C	13/02/2023	Diagrama de flujo de procesos de la BCG	MYMR	RAF	HMAJ		
D	14/02/2023	Diagrama de flujo de procesos de la BCG	MYMR	RAF	HMAJ		

DOCUMENTOS DE REFERENCIA	
FECHA	NOMBRE

DEIA
DISEÑO Y EJECUCIÓN DE SISTEMAS DE ENERGÍA RENOVABLE

CeMIEGeo
Centro Mexicano de Innovación en Energía Geotérmica

CUADRO DE FIRMAS P/ CONSTRUCCIÓN				PROYECTO	
REALIZÓ	M.Y.M.R	PLANTA:	BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA		
VERIFICÓ	R.A.F	NOMBRE DEL DOCUMENTO:	CIUDAD DE MÉXICO		
APROBÓ	H.M.A.J	DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO DE LA BCG DE 3 TR EN EL LABORATORIO EN MODO INVIERNO			
REVISÓ		PROY. No:	BCG3TR	DISEÑO No:	BCG3TR-P-DFP-00-05
ESCALA:	NA	ACOT:	NA	LUGAR:	CIUDAD UNIVERSITARIA, CDMX
					1/1
					REV. 0

1	2	3	4	5	6
---	---	---	---	---	---

Bibliografía

- A. García-Gutiérrez, R.M. Barragán-Reyes y V. Arellano-Gómez . (2008). Investigación sobre bombas de calor en México operando con energía geotérmica y calor de desecho. *Geotermia*, 69.
- Aceros Dicarre. (22 de Noviembre de 2022). *DICARRE*. Obtenido de DICARRE: <https://dicarre.mx/index.php/perfil/perfil-tubular-cuadrado-2-2-2-2-2-2/#:~:text=PTR%20Galvanizado%20verde, PTR%20o%20Perfil%20Tubular%20Estructural%20es%20una%20barra%20de%20acero,la%20medida%20de%20tu%20proyecto>.
- Aire acondicionado. (20 de enero de 2017). *Aire acondicionado*. Obtenido de Aire acondicionado: https://www.aire-acondicionado.com.es/tipos-de-compresores_de_aire_acondicionado/
- Alfa Laval. (2 de Diciembre de 2022). *ALFA LAVAL*. Obtenido de ALFA LAVAL: <https://www.alfalaval.mx/productos-y-soluciones/transferencia-de-calor/intercambiadores-de-calor-de-placas/intercambiador-de-calor-que-es-y-como-funciona/>
- Alfonso García Gutiérrez e Ignacio Martínez Estrella. (2012). Estado actual de desarrollo de las Bombas de Calor Geotérmico. *Geotermia*, 68.
- Alibaba. (20 de Diciembre de 2009). *Alibaba*. Obtenido de Alibaba: https://spanish.alibaba.com/trade/search?IndexArea=product_en&SearchText=heat_pump&CatId=0&pid=PID604_0003_0101&clusterId=6500034697&f0=y
- Andira. (15 de Febrero de 2020). *Andira*. Obtenido de Andira: <https://andira.org.mx/admin/2017/10/24/soldadura-oxiacetilenica/>
- Asociación de fabricantes de equipos de climatización. (18 de Diciembre de 2020). *E-FICIENCIA*. Obtenido de <https://e-ficiencia.com/como-funciona-la-bomba-de-calor-infografia/>
- CEIF. (30 de Diciembre de 2022). *Formación CEIF*. Obtenido de Formación CEIF: <https://formacionceif.es/actualidad/que-es-la-soldadura-y-cuantos-tipos-de-soldadura-existen/>
- Cero Grados. (28 de Julio de 2017). *0Grados celsius*. Obtenido de 0Grados celsius: <https://0grados.com/aplicacion-y-ajuste-de-las-valvulas-de-expansion-termostatica/>
- Cero Grados celsius*. (05 de Julio de 2018). Obtenido de Cero Grados celsius: <https://0grados.com/intercambiadores-de-calor-caracteristicas-y-peculiaridades/>
- Chavez, J. (2021). *CEUPE Magazine*. Recuperado el 01 de 11 de 2022, de <https://www.ceupe.com/blog/manufactura.html#:~:text=Definici%C3%B3n%20de>

%20manufactura,%2C%20personas%2C%20maquinaria%20y%20tecnolog%C3%ADa.

Climas Monterrey. (2 de Diciembre de 2022). *Climas Monterrey*. Obtenido de Climas Monterrey: <https://www.climasmonterrey.com/que-son-las-valvulas-de-cuatro-vias>

Cofrico. (25 de agosto de 2022). *Cofrico*. Obtenido de Cofrico: <https://www.cofrico.com/eficiencia-energetica/cop-coeficiente-de-rendimiento-eer-y-european-seasonal-energy-eficiency-ratio/>

DINAMICA. (30 de Diciembre de 2022). *Dinamica uno*. Obtenido de Dinamica uno: <https://dinamica.uno/soldadura-flux-core-explicacion-basica-959/>

Diseño de un intercambiador de calor. (25 de Marzo de 2022). Obtenido de Diseño de un intercambiador de calor: Design and assembly of Condenser heat exchanger - fusion 360 tutorial - Bing video

Diseño y construcción de una bomba de calor geotérmica 3 TR. (2022). Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Economipedia. (29 de Noviembre de 2022). Obtenido de Economipedia: <https://economipedia.com/definiciones/costo-de-produccion.html>

Energías Renovables. (2022). *Energías Renovables. El periodismo de las energías limpias*. Recuperado el 28 de 11 de 2022, de <https://www.energias-renovables.com/geotermica/la-geotermica-europea-sortea-la-pandemia-y-20210604#:~:text=A%20finales%20de%202020%2C%20Europa,una%20central%20geot%C3%A9rmica%20en%202020>.

Equipo Evidence. (2021). *EVIDENCE*. Recuperado el 01 de 11 de 2022, de <https://www.evidencetec.com/recursos/conocimiento/que-es-la-manufactura?lang=es>

ESM. (21 de Marzo de 2022). *esmlogistic*. Obtenido de esmlogistic: <https://esmlogistics.com.mx/linea-de-ensamble/>

Estudio Metro. (12 de Julio de 2018). *ESTUDIO METRO*. Obtenido de ESTUDIO METRO: <https://www.estudio-metro.com/catalogo-de-conceptos-que-es/>

García Cuesta, X. (2018). *Estudio de viabilidad de la bomba de calor para climatización y producción de ACS*. Bilbao: Universidad del País Vasco.

Geotermia. (2 de 12 de 2012). *BiblatUNAM*. Recuperado el 28 de 11 de 2022, de <https://biblat.unam.mx/hevila/Geotermia/2012/vol25/no2/7.pdf>

Gestión de Compras. (22 de Diciembre de 2022). *Industrial Sourcing*. Obtenido de Industrial Sourcing: <https://www.gestiondecompras.com/es/productos/mecanizado/taladrado/#:~:text=El>

%20taladrado%20es%20un%20proceso,%3A%20forma%2C%20di%20C3%A1metro%2C%20etc.

- Grundfos. (22 de 12 de 2022). *GRUNDFOS*. Obtenido de GRUNDFOS:
<https://www.grundfos.com/mx/learn/research-and-insights/cross-flow-heat-exchanger#:~:text=Un%20intercambiador%20de%20calor%20de%20flujo%20cruzado%20se%20utiliza%20en,met%20C3%A1licos%20delgados%2C%20normalmente%20de%20aluminio.>
- HACST. (23 de Julio de 2019). *Hengan Cooling*. Obtenido de Hengan Cooling:
<https://www.hengancooling.com/es/intercambiador-de-calor-refrigerado-por-aire.html>
- How to make a heat pump*. (24 de Marzo de 2022). Obtenido de How to make a heat pump:
How to make a heat pump by New Energy? - Bing video
- HVAC&R, M. (14 de Junio de 2020). *Mundo HVAC&R*. Obtenido de Mundo HVAC&R:
<https://www.mundohvacr.com.mx/2008/03/seguridad-basica-en-soldadura-oxiacetilénica/>
- Ingenio Empresa. (15 de Marzo de 2022). *Ingenio Empresa*. Obtenido de Ingenio Empresa:
<https://www.ingenioempresa.com/estudio-de-metodos/>
- Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias. (02 de Septiembre de 2019). *Puesta en operación del sistema de climatización mediante Bomba de Calor Geotérmica del CECCAB en el INEEL*. Obtenido de Gobierno de México:
<https://www.gob.mx/ineel/articulos/ineel-inaugura-ceccab-con-aplicacion-de-la-bomba-de-calor-geotermica?tab=>
- John W. Lund and Aniko N. Toth. (2021). Direct Utilization of Geothermal Energy 2020 Worldwide Review. *Proceedings World Geothermal Congress 2020+1*, 39.
- Josh Gabbatiss. (14 de Mayo de 2019). *CarbonBrief Clear on Climate*. Obtenido de CarbonBrief Clear on Climate: <https://www.carbonbrief.org/iea-low-carbon-spending-must-more-than-double-to-meet-climate-goals>
- Juan Orejuela-Cabrera y Andrés Flórez-González. (2019). Balanceo de líneas de producción en la industria farmacéutica mediante Programación por metas. *INGE CUC*, 122.
- Julio Roggero. (2022). Nueva Generación de bombas de calor. *MUNDO HVAC&R*, 20.
- Kemppi. (30 de Diciembre de 2022). *Kemppi*. Obtenido de Kemppi:
<https://www.kemppi.com/es-ES/asistencia/fundamentos-de-soldadura/que-es-la-soldadura/>
- Luis Vega. (25 de Noviembre de 2022). *MUNDO HVACR*. Obtenido de MUNDO HVACR:
<https://www.mundohvacr.com.mx/2008/04/el-compresor-scroll-sinonimo-de-eficiencia-y-de-ahorro-energetico-en-sistemas-hvacr/>

- Market Analysis Report. (2021). Bombas de calor geotérmicas Informe de análisis de tamaño, participación y tendencias por tipo (bucle abierto, circuito cerrado), por aplicación (residencial, comercial, industrial), por región y pronósticos de segmento, 2020 - 2027. *Grand View Reserch*, 126.
- Molduras de Lámina. (03 de Septiembre de 2021). *MOLDURAS DE LAMINA*. Obtenido de MOLDURAS DE LAMINA: [https://moldurasdelamina.com/que-es-el-corte-de-lamina/#:~:text=El%20corte%20de%20l%C3%A1mina%20se,de%20corte%20\(el%20dado\)](https://moldurasdelamina.com/que-es-el-corte-de-lamina/#:~:text=El%20corte%20de%20l%C3%A1mina%20se,de%20corte%20(el%20dado).).
- Mordor Intelligence. (23 de 06 de 2022). *Mordor Intelligence*. Recuperado el 05 de 12 de 2022, de <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/heat-pumps-market>
- Mundo HVAC&R. (07 de diciembre de 2015). *Mundo HVAC&R*. Obtenido de Mundo HVAC&R: <https://www.mundohvacr.com/2011/04/conociendo-al-compresor/>
- Myriam Quiroa. (15 de 12 de 2022). *Economipedia*. Obtenido de Economipedia: <https://economipedia.com/definiciones/proceso-de-manufactura.html>
- OBS Business School*. (18 de Abril de 2021). Obtenido de OBS Business School: <https://www.obsbusiness.school/blog/costos-directos-e-indirectos-de-un-proyecto#:~:text=Los%20costos%20son%20todos%20aquellos,Todas%20las%20empresas%20tienen%20gastos.>
- Panel y Acanalados Monterrey. (18 de Septiembre de 2019). *Panel y Acanalados*. Obtenido de Panel y Acanalados: <https://panelyacanalados.com/blog/acero-galvanizado-ventajas-y-usos/>
- Panel y acanalados monterrey. (03 de Octubre de 2020). *Panel*. Obtenido de Panel: <https://panelyacanalados.com/blog/que-es-el-acero-al-carbon-y-cuales-son-sus-tipos/>
- Pérez Porto, J. M. (17 de Enero de 2018). *Definición de Granel*. Obtenido de Definición de Granel: <https://definicion.de/granel/>
- Petroquimex. (2018). Estado de la Energía Geotérmica en México. *Petroquimex. La revista de la industria Energética*, 30.
- Procedimiento PAPIME. (2022). Diagramas de Procesos. *Procedimiento Diagrama de Flujos*, 19.
- (2008). *Procesos de Manufactura en Ingeniería Industrial*. México: Universidad Nacional Abierta y a Distancia.
- QAD. (15 de Diciembre de 2022). *QAD*. Obtenido de QAD: <https://www.qad.com/es-MX/blog.mx/-/blogs/la-formula-del-costo-total-de-manufactura-metricas-que-importan#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20son%20los%20costos%20totales%20>

de%20manufactura%3F&text=Sus%20costos%20totales%20de%20manufactura,a%20fabricar%20un%20produc

- Raquel Murillo Garcia, Fabian Peñaherrera-Larenas, Ely Borja Salinas y Valentino Vanegas. (2018). Líneas de ensamble y balanceo y su impacto en la productividad de los procesos de manufactura. *Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana*, 19. Obtenido de <https://www.eumed.net/rev/oel/2018/06/ensamble-balanceo-productividad.html>
- Roberto García Criollo. (2008). Estudio de los métodos. En R. G. Criollo, *Estudio del trabajo. Ingeniería de métodos y medición del trabajo* (pág. 459). México: Mc Graw Hill.
- Roca, A. J. (17 de 08 de 2022). Europa instalará 45 millones de bombas de calor en el sector residencial para 2030. *El periódico de la energía*, pág. 2.
- Sin Autor. (2022). LÍNEAS DE ENSAMBLE Y BALANCEO. *Tesis*, 9.
- Soldadura de oxiacetileno. (08 de Agosto de 2019). *Biblio3*. Obtenido de Biblio3: http://biblio3.url.edu.gt/Libros/2013/pro_ma/22.pdf
- Soler & Palau. (21 de abril de 2017). *S&P*. Obtenido de S&P: <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/ventiladores-centrifugos/>
- Total Clima. (2018). *TC Total Clima. Expertos en aire acondicionado*. Recuperado el 01 de 11 de 2022, de <http://www.totalclima.cl/Preguntas-frecuentes/>
- Vaillant. (2 de Diciembre de 2022). *Vaillant*. Obtenido de Vaillant: <https://www.vaillant.es/usuarios/servicios/glosario/intercambiador-de-calor-de-placas/#:~:text=Los%20intercambiadores%20de%20calor%20de,energ%C3%ADa%20t%C3%A9rmica%20entre%20dos%20materiales.>
- Weerg staff. (24 de septiembre de 2020). *Weerg*. Obtenido de Weerg: <https://www.weerg.com/es/guias/cu%C3%A1les-son-los-4-tipos-de-acero>
- Zafra, E. A. (2018). *Análisis de Factibilidad de la Instalación de Bombas de calor geotérmicas en México*. Ciudad de México: UNAM.