



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE MECÁNICA**

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO MECÁNICO**

**TEMA:**

---

**“ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO DE LA FABRICACIÓN E  
INSTALACIÓN DE BOMBAS DE CALOR EN EL ECUADOR”**

---

**Autor:** David Ismael Maldonado Hurtado

**Tutor:** Ing. José Luis Yunapanta Velastegui, MSc.

**AMBATO - ECUADOR**

**Septiembre – 2023**

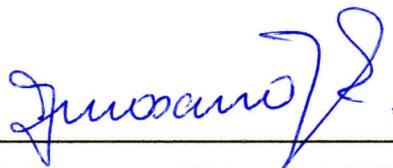
## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema: **“ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO DE LA FABRICACIÓN E INSTALACIÓN DE BOMBAS DE CALOR EN EL ECUADOR”**, elaborado por el Sr. David Ismael Maldonado Hurtado, portador de la cédula de ciudadanía C.I. 1850209097, estudiante de la Carrera de Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente trabajo experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes:
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, septiembre 2023



---

**Ing. José Luis Yunapanta Velastegui, MSc.**

**TUTOR**

## **AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, **David Ismael Maldonado Hurtado**, portador de la cédula de ciudadanía C.I. 1850209097 declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente Trabajo Experimental con el tema **“ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO DE LA FABRICACIÓN E INSTALACIÓN DE BOMBAS DE CALOR EN EL ECUADOR”**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, septiembre 2023



---

**David Ismael Maldonado Hurtado**

**C.I. 1850209097**

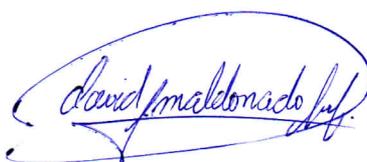
**AUTOR**

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, septiembre 2023



---

**David Ismael Maldonado Hurtado**

**C.I. 1850209097**

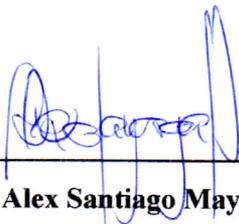
**AUTOR**

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante David Ismael Maldonado Hurtado de la Carrera de Mecánica bajo el tema: **“ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO DE LA FABRICACIÓN E INSTALACIÓN DE BOMBAS DE CALOR EN EL ECUADOR”**.

Ambato, septiembre 2023

Para constancia firman:



---

**Ing. Mg. Alex Santiago Mayorga Pardo**  
**MIEMBRO CALIFICADOR**



---

**Ing. Mg. Santiago Paúl Cabrera Anda**  
**MIEMBRO CALIFICADOR**

## AGRADECIMIENTO

*A mis padres, Jimena y Adrián. Gracias a ellos soy quien soy.*

*A mi hermana, Adriana. Por ser mi mejor amiga.*

– *David Maldonado*

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiii
RESUMEN EJECUTIVO .....	xv
ABSTRACT .....	xvi
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1.    Antecedentes investigativos .....	1
1.1.1.    Antecedentes .....	1
1.1.2.    Justificación.....	2
1.2.    Objetivos .....	5
1.2.1.    Objetivo General .....	5
1.2.2.    Objetivos Específicos.....	6
1.3.    Fundamentación teórica .....	6
1.3.1.    Emisiones de carbono y el calentamiento global .....	6
1.3.2.    Tecnología de calefacción.....	8
1.3.3.    Bombas de calor .....	9
1.3.3.1. Principio de funcionamiento .....	9
1.3.3.2. Clasificación.....	11
1.3.3.2.1. Bombas de calor de fuente de aire.....	11

1.3.3.2.2.	Bombas de calor de fuente de agua .....	11
1.3.3.2.3.	Bombas de calor de fuente de suelo .....	11
1.3.3.2.4.	Bombas de calor de doble etapa .....	12
1.3.3.3.	Componentes.....	13
1.3.3.3.1.	Evaporador .....	13
1.3.3.3.2.	Compresor .....	13
1.3.3.3.3.	Condensador.....	13
1.3.3.3.4.	Válvula de expansión .....	13
1.3.3.4.	Costo .....	14
1.3.4.	Potencia eléctrica .....	14
1.3.5.	Consumo eléctrico.....	14
1.3.6.	Calor.....	15
1.3.7.	Análisis económico .....	15
1.3.8.	Subsidios .....	15
1.3.9.	Evaluación de proyectos .....	15
1.3.10.	Flujo de caja .....	16
1.3.11.	Inflación.....	16
1.3.12.	TMAR.....	16
1.3.13.	VAN .....	16
1.3.14.	TIR.....	17
CAPÍTULO II	.....	18
METODOLOGÍA	.....	18
2.1.	Diseño de la investigación .....	18
2.2.	Enfoque .....	18
2.3.	Alcance.....	18
2.4.	Hipótesis de estudio .....	18
2.4.1.	Señalamiento de variables.....	18

2.5.	Hipótesis nula.....	19
2.6.	Hipótesis alternativa.....	19
2.7.	Operacionalización de variables .....	19
2.7.1.	Variable dependiente.....	19
2.7.2.	Variable independiente.....	19
2.8.	Recolección de datos.....	20
2.9.	Materiales.....	20
2.10.	Población y muestra .....	20
2.11.	Diagrama de metodología .....	22
2.12.	Identificación de las bombas de calor .....	24
2.13.	Tabulación de datos de catálogo .....	24
2.14.	Procesamiento de datos y análisis .....	25
2.14.1.	Apartado técnico.....	25
2.14.1.1.	Capacidad de calentamiento .....	25
2.14.1.2.	Consumo eléctrico.....	27
2.14.2.	Apartado económico.....	28
2.14.2.1.	Costo de los equipos en Ecuador.....	28
2.14.2.2.	Costo anual del servicio eléctrico.....	31
2.14.2.3.	Costo anual del cilindro de GLP .....	31
2.14.2.4.	Análisis financiero.....	33
2.14.2.4.1.	Ítem BC 1 .....	34
2.14.2.4.2.	Ítem BC 2 .....	38
2.14.2.4.3.	Ítem BC 3 .....	42
CAPÍTULO III.....		46
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		46
3.1.	Análisis termodinámico .....	46
3.2.	Consumo energético.....	47

3.3.	Resultados de viabilidad económica .....	47
3.3.1.	Ítem BC 1 .....	48
3.3.2.	Ítem BC 2 .....	50
3.3.3.	Ítem BC 3 .....	52
3.4.	Discusión.....	54
3.5.	Verificación de hipótesis.....	54
3.6.	Propuesta.....	56
CAPÍTULO IV.....		69
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		69
4.1.	Conclusiones .....	69
4.2.	Recomendaciones.....	71
BIBLIOGRAFÍA.....		72

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Comparación de las tecnologías para suministro de energía en el sector residencial para calentamiento de espacios [8] .....	4
Figura 2. Identificación y ubicación de los agentes por clases de ingreso [8] .....	5
Figura 3. Evolución de la demanda de energía por sector [12].....	7
Figura 4. Consumo energético por fuente [12] .....	7
Figura 5. Consumo energético por sector [12].....	8
Figura 6. Emisiones por fuente y contaminante [12] .....	8
Figura 7. Demanda energética en las edificaciones para calentamiento mediante el uso combustibles de 2021 a 2030 con el escenario cero emisiones netas [13].....	9
Figura 8. Diagrama temperatura – entropía del ciclo invertido de Carnot [7].....	9
Figura 9. Refrigerador de Carnot [7].....	10
Figura 10. Esquema del uso de agua subterránea [15].....	11
Figura 11. Esquema del diagrama de un intercambiador de calor vertical de suelo en una bomba de calor [15].....	12
Figura 12. Ciclo de compresión de doble etapa con inyección de vapor [1] .....	12
Figura 13. Esquema simplificado de un sistema de refrigeración/bomba de calor. [16] .....	13
Figura 14. Población y muestra.....	21
Figura 15. Ciclo termodinámico por compresión de vapor [39].....	26
Figura 16. Partida 84.19. de la Nomenclatura Arancelaria Común de la Comunidad Andina [43] .....	29
Figura 17. Datos de préstamo para el ítem BC 1 .....	34
Figura 18. Datos de préstamo para el ítem BC 2 .....	38
Figura 19. Datos de préstamo para el ítem BC 3 .....	42
Figura 20. Flujos de dinero proyectados ítem BC 1, escenario 1 .....	48
Figura 21. Flujos de dinero proyectados ítem BC 1, escenario 2 .....	49
Figura 22. Flujos de dinero proyectados ítem BC 2, escenario 1 .....	50
Figura 23. Flujos de dinero proyectados ítem BC 2, escenario 2 .....	51
Figura 24. Flujos de dinero proyectados ítem BC 3, escenario 1 .....	52
Figura 25. Flujos de dinero proyectados ítem BC 3, escenario 2 .....	53
Figura 26. Interpretación del coeficiente de Pearson [51] .....	55

Figura 27. Componentes de una bomba de calor aire - agua con tanque reservorio [53] .....	57
Figura 28. Diagrama de proceso de producción de una bomba de calor .....	59
Figura 29. Diagrama de montaje [52] .....	59

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de la variable dependiente.....	19
Tabla 2. Operacionalización de la variable independiente.....	19
Tabla 3. Equipos seleccionados [33]–[35].....	24
Tabla 4. Propiedades de los equipos escogidos .....	24
Tabla 5. Datos específicos del ciclo en la región Sierra .....	27
Tabla 6. Datos específicos del ciclo en la región Costa y Oriente.....	27
Tabla 7. Datos de los equipos escogidos.....	28
Tabla 8. Precio en aduana .....	28
Tabla 9. Costos totales (Valores en \$ USD) .....	30
Tabla 10. Tarifas del servicio eléctrico en Ecuador [45] .....	31
Tabla 11. Costos a domicilio del cilindro de GLP.....	32
Tabla 12. Subsidios del GLP según el Presupuesto General del Estado [46].....	32
Tabla 13. Costo anual del uso del GLP para una familia de cuatro personas .....	33
Tabla 14. Costos de operación y valores a favor .....	33
Tabla 15. Amortización de la deuda del ítem BC 1 .....	35
Tabla 16. Flujos de efectivo ítem BC 1, escenario 1 .....	36
Tabla 17. Flujos de efectivo ítem BC 1, escenario 2 .....	37
Tabla 18. Amortización de la deuda del ítem BC 2.....	39
Tabla 19. Flujos de efectivo ítem BC 2, escenario 1 .....	40
Tabla 20. Flujos de efectivo ítem BC 2, escenario 2 .....	41
Tabla 21. Amortización de la deuda del ítem BC 3.....	43
Tabla 22. Flujos de efectivo ítem BC 3, escenario 1 .....	44
Tabla 23. Flujos de efectivo ítem BC 3, escenario 2 .....	45
Tabla 24. Resultados técnicos de los equipos en la región Sierra.....	46
Tabla 25. Resultados técnicos de los equipos en las regiones Costa y Oriente .....	46
Tabla 26. Consumo y gasto eléctrico de cada equipo .....	47
Tabla 27. Evaluación financiera ítem BC 1, escenario 1 .....	48
Tabla 28. Evaluación financiera ítem BC 1, escenario 2 .....	49
Tabla 29. Evaluación financiera ítem BC 2, escenario 1 .....	50
Tabla 30. Evaluación financiera ítem BC 2, escenario 2.....	51
Tabla 31. Evaluación financiera ítem BC 3, escenario 1 .....	52

Tabla 32. Evaluación financiera ítem BC 3, escenario 2 .....	53
Tabla 33. Datos de correlación de factibilidad y costos.....	55
Tabla 34. Costos de fabricación de una bomba de calor.....	60
Tabla 35. Preferencias de equipos para calentamiento según agentes .....	62
Tabla 36. Uso del GLP en las residencias.....	62
Tabla 37. Cronograma de instalación de bombas de calor por sector.....	63
Tabla 38. Venta de bombas de calor a la población en general y recuperación de la inversión (capital financiado a 36 meses) .....	64
Tabla 39. Venta de bombas de calor a la población en general y recuperación de la inversión (intereses sobre el capital financiado al 10% anual) .....	65
Tabla 40. Evolución del subsidio al GLP.....	66
Tabla 41. Flujos de efectivo para el programa de calentamiento de agua eficiente...	67
Tabla 42. Evaluación financiera del programa de calentamiento de agua eficiente ..	68

## RESUMEN EJECUTIVO

La presente investigación surge de la necesidad de implementar tecnologías innovadoras que aporten a la descarbonización en el país. La inexistencia de la fabricación de las bombas de calor de fuente de aire para calentamiento de agua sanitaria ha dado paso a proyectos técnicos de diseño que han demostrado el potencial que posee la industria nacional. En ese contexto, se busca analizar la factibilidad de la obtención de estos equipos conforme a la realidad económica de grupos sociales representativos del país y, por último, evaluar su rendimiento técnico en las diferentes regiones del Ecuador.

Inicialmente, se realizó el cálculo del coeficiente de rendimiento según el clima en el que las bombas de calor serían instaladas, diferenciado en Costa y Oriente, y por último Sierra. Por su parte, la evaluación económica consideró los costos de la obtención y utilización del equipo, los cuales comprenden la compra, impuestos de bienes importados y un endeudamiento a tres años.

Se determinó una factibilidad técnica positiva con respecto al uso de los equipos, con reducciones mínimas de rendimiento en el grupo Sierra. El análisis económico presentó resultados negativos para el proyecto de inversión en las residencias. Para solventar las dificultades observadas en la obtención de equipos de producción extranjera, se propone un programa que incentive la fabricación nacional de bombas de calor de fuente de aire para calentamiento de agua sanitaria. De ser realizado, el programa permitirá optimizar los recursos del Estado y facilitará la adquisición de una tecnología amigable con el ambiente.

**Palabras clave:** factibilidad, bombas de calor, calentamiento de agua, subsidio económico.

## ABSTRACT

This research arises from the need to implement innovative technologies that contribute to the country's decarbonization. The lack of manufacture of air source heat pumps for sanitary water heating has given way to technical design projects that have demonstrated the potential of the national industry. In this context, it is sought to analyze the feasibility of obtaining this equipment according to the economic reality of representative social groups of the country and, finally, to evaluate its technical performance in the different regions of Ecuador.

Initially, the calculation of the coefficient of performance was carried out according to the climate in which the heat pumps would be installed, differentiated in Coast and Amazon, and finally Highlands. Furthermore, the economic evaluation considered the costs of obtaining and using the equipment, which include the purchase, taxes on imported goods and a three-year debt.

A positive technical feasibility was determined regarding the use of the equipment, with minimal performance reductions in the Highlands group. The economic analysis presented negative results for the investment project in residences. In order to solve the difficulties observed in obtaining foreign production equipment, a program that encourages national manufacture of air source heat pumps for domestic water heating is proposed. If carried out, the program will make it possible to optimize State resources and will facilitate the acquisition of environmentally friendly technology.

**Keywords:** feasibility, heat pumps, water heating, economic subsidy.

# CAPÍTULO I

## MARCO TEÓRICO

### 1.1. Antecedentes investigativos

#### 1.1.1. Antecedentes

Para la realización de este proyecto se requirió de una investigación bibliográfica de alcance tanto regional como internacional. Actualmente en Ecuador la investigación por energías alternativas y amigables con el ambiente sigue creciendo. Mientras que internacionalmente estos estudios se presentan con una frecuencia exponencial con el pasar del tiempo, además de tener muy fácil acceso.

Las bombas de calor son equipos de calefacción que, gracias a la aplicación de un ciclo de refrigeración invertido o ciclo de compresión de vapor, permiten brindar energía de calentamiento que se puede aprovechar con una eficiencia destacable [1]. Estos equipos tienen configuraciones que varían en el modo de obtención de calor a entregar: existen bombas de calor geotérmicas, bombas de calor de fuente de aire, bombas de calor de fuente de agua e incluso existen bombas de calor asistidas por energía solar [2]. Estos equipos eliminan el uso de combustibles fósiles para calefacción, por lo que garantizan una reducción significativa de contaminantes ambientales.

En 2018, H. Yousefi et al. [3] realizó un estudio de factibilidad y de evaluación de las bombas de calor geotérmicas en Irán. Para poder ubicar las bombas de calor en el mejor sitio posible, se partió por la división de los sectores de Irán tanto por niveles de temperatura como de humedad; además definió un edificio con características específicas que albergaría el equipo; por último, se calcularon los costos y capacidades del equipo para cada área en específico. El resultado de los indicadores financieros de factibilidad demostró que, sin la legislación gubernamental del proyecto de bombas de calor, solo una ciudad poseería un periodo de retorno, siendo este de 4 años. Con la ayuda del incentivo gubernamental, el proyecto se convierte en factible en dos ciudades más. En cualquier caso, la instalación de las bombas de calor geotérmicas en sectores con alto consumo de gas doméstico resulta en una reducción significativa de gases contaminantes.

En 2022, Tello-Oquendo et al. [1] realizó una comparación directa entre la eficiencia de la configuración convencional de bomba de calor de simple etapa y la eficiencia de la bomba de calor con compresión de doble etapa con inyección de vapor para la producción de agua caliente sanitaria. El estudio consideró las condiciones del clima de la sierra ecuatoriana en las que la temperatura disminuye hasta los 3 °C. Además, se estableció la temperatura de 65 °C como el objetivo al que debería llegar el agua caliente. El estudio concluyó que la bomba de calor de etapa doble poseía un coeficiente de desempeño (COP) mayor que la bomba de calor de etapa simple con el uso de varios refrigerantes como el R-134a, el R-407C o el R-32.

En 2010, E. Kinab et al. [4] presenta un modelo que simula las características termodinámicas de una bomba de calor aire-agua para varias configuraciones posibles de la temperatura, el flujo de aire y agua y el flujo másico del refrigerante a lo largo de una temporada específica de calefacción y enfriamiento. El estudio presenta la variación en los parámetros necesarios para el cálculo del rendimiento estacional, tanto de calefacción como de enfriamiento, a lo largo de una temporada específica. El resultado proporciona información sobre las elecciones más factibles en torno a los componentes y opciones técnicas para maximizar la eficiencia en periodos anuales.

### **1.1.2. Justificación**

La tecnología de calefacción para sectores residenciales mediante bombas de calor se encuentra ampliamente usada en Norteamérica, Europa, Japón y China, con alrededor de 190 millones de unidades de bombas de calor instaladas a nivel mundial [5]. En 2021, el aumento de las ventas en la Unión Europea se estableció en un 35%, excediendo las 2.2 millones de unidades vendidas. Estados Unidos, Japón y China tuvieron un aumento del 13% cada uno [5]. Con el uso de estas tecnologías, no sólo se obtiene un ciclo de calefacción de alta eficiencia reduciendo el gasto energético en comparación al uso de los métodos convencionales de calentamiento, sino que también se reducen las emisiones de carbono contribuyendo a la conservación ambiental a futuro.

La eficiencia termodinámica energética de una bomba de calor no solo supera la unidad, sino que oscila entre valores de 5 o 6. Esto representa un desempeño superior al de la mayoría de los calentadores utilizados actualmente [6], lo cual se consigue gracias a que las bombas de calor logran generar unidades de energía para el

calentamiento de espacios muy superiores a las unidades de energía que requieren para funcionar [7]. La alta eficiencia energética de las bombas de calor se traduce en valores de ahorro energético considerable.

En Ecuador, el consumo energético en el sector residencial por calentamiento y ventilación de espacios representa cerca del 44%. Tomando como ejemplo el año 2020, de la demanda total de energía en el sector residencial (86.05 PJ), 37.51 PJ corresponden a calentamiento y ventilación de espacios [8]. Debido al crecimiento poblacional, estos consumos también aumentarán.

A pesar de lo mencionado, no existen procesos industrializados para la manufactura de bombas de calor y su posterior instalación en áreas residenciales. De ahí se observa la evidente falta de sistemas de calefacción en la mayoría de hogares. El mercado que las bombas de calor pueden alcanzar en el país se puede definir a partir de investigaciones previamente realizadas.

Moya D. [9] definió grupos de consumo energético en el sector residencial con características específicas nombrados Q1, Q2, Q3, Q4 y Q5. Cada grupo responde a una clasificación socioeconómica diferente, así como a su preferencia tecnológica relacionada con la modernización y reducción de impacto ambiental, y por último a la inversión que estos grupos estarían dispuestos a llevar a cabo. Copara D. [8], a partir de la definición de estos grupos, realiza simulaciones a futuro que muestran la comparación del suministro y el consumo de energía en el sector residencial para calentamiento de espacios utilizando diferentes tecnologías. De esto resultan proyecciones en las que tanto los agentes Q3 y Q4, llamados ECU3 y ECU4 en la investigación de Copara D., serán potenciales usuarios de bombas de calor de fuente de aire. Por tanto, son grupos de interés para la presente investigación.

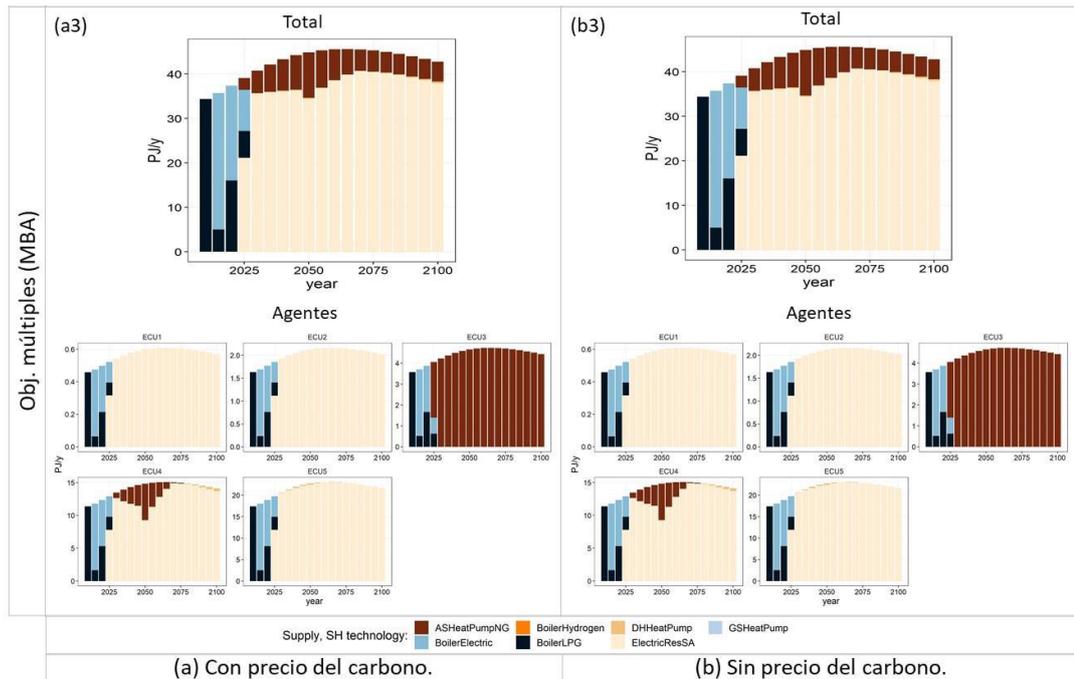


Figura 1. Comparación de las tecnologías para suministro de energía en el sector residencial para calentamiento de espacios [8]

En la Figura 1, Copara D. interpreta la comparación de las tecnologías para suministro de energía en pentajoules por año en el sector residencial para el calentamiento de espacios. Una de estas tecnologías es la bomba de calor de fuente de aire (ASHeatPumpNG). En la figura se puede observar que, a futuro, los agentes ECU3 y ECU4 utilizarán a las bombas de calor como tecnología dominante para calentamiento de espacios.

Los agentes ECU3 conforman el 10.38% de la población nacional, estos perciben un nivel de ingresos que se encuentra en el rango de \$500 - \$1000. Para la reducción del impacto ambiental, consideran invertir en tecnologías ya utilizadas anteriormente que posean el costo más bajo disponible. Los agentes ECU4 conforman el 33.03% de la población nacional, estos perciben un nivel de ingresos que se encuentra en el rango de \$200 - \$500. Estos consideran la inversión en tecnologías innovadoras que no han visto o utilizado previamente, que cuenten con un costo intermedio disponible. La localización espacial de estos agentes a nivel nacional se expone en la siguiente figura:

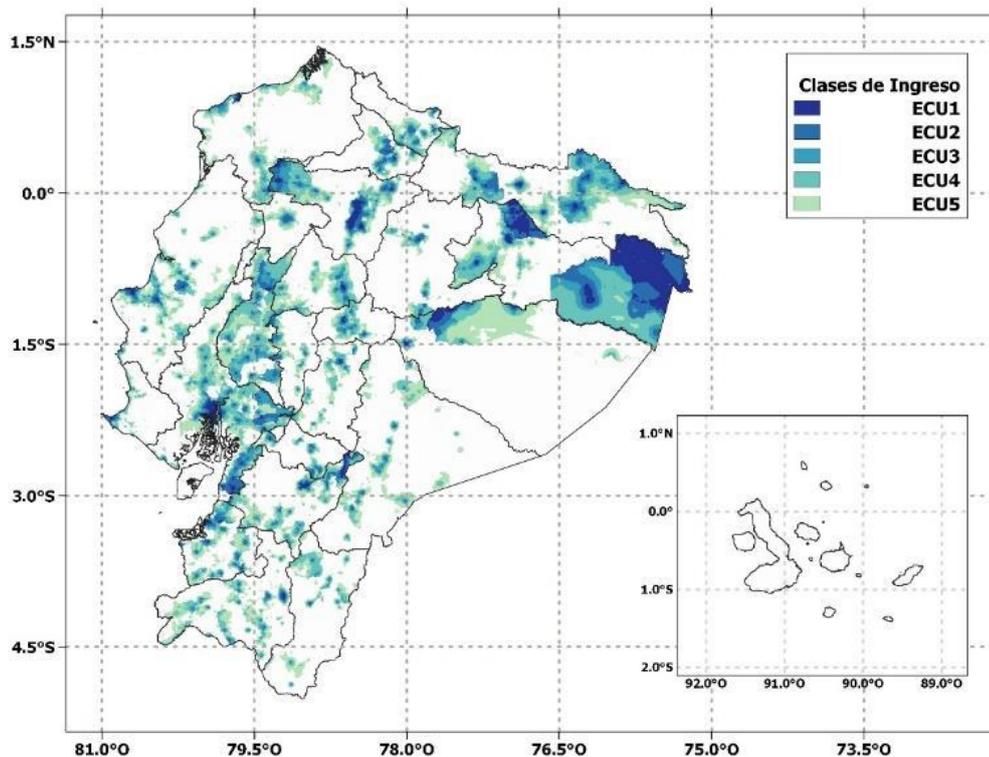


Figura 2. Identificación y ubicación de los agentes por clases de ingreso [8]

La presencia de estos agentes en el país demuestra que es viable realizar análisis técnicos y económicos que evalúen la situación del país y determinen el rendimiento y rango de funcionamiento de las bombas de calor y, además, el requerimiento de inversión que debería llevarse a cabo con la finalidad de brindar un acercamiento de estos equipos a las familias ecuatorianas. De llegar a suceder, la obtención de un medio de calentamiento que asegura un ahorro energético y la disminución de emisiones de carbono en favor del medio ambiente son beneficios a largo plazo que se podrían manifestar en el Ecuador. Por tanto, la investigación presente se enfocará en realizar un estudio de la factibilidad de la fabricación e instalación de bombas de calor en el Ecuador.

## 1.2. Objetivos

### 1.2.1. Objetivo General

Estudiar la factibilidad de la fabricación e instalación de bombas de calor en el Ecuador.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

- Realizar un análisis técnico de la fabricación e instalación de bombas de calor en Ecuador.
- Realizar un análisis económico de la fabricación e instalación de bombas de calor en Ecuador.
- Evaluar la factibilidad de la fabricación e instalación de bombas de calor en el sector residencial utilizando datos de demanda, suministro y consumo energético disponibles en literatura bibliográfica.

### **1.3. Fundamentación teórica**

#### **1.3.1. Emisiones de carbono y el calentamiento global**

El calentamiento global causa estragos evidentes en el medio ambiente. El derretimiento de glaciares, inundaciones debido a lluvias masivas y olas de calor en ciertas regiones son un claro ejemplo de las consecuencias [10]. La emisión de gases contaminantes que afectan la atmósfera de la Tierra aumenta de manera proporcional al crecimiento acelerado del sector industrial.

Las principales emisiones de  $CO_2$  se dan por el uso de combustibles fósiles. Estos se encuentran principalmente en ámbitos como la generación de energía, la calefacción y el transporte. El aumento en el consumo de energías renovables puede disminuir significativamente las emisiones de  $CO_2$  si son impulsadas por los gobiernos para su uso a largo plazo [11]. Una respuesta para la reducción de emisiones contaminantes fue presentada por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático en el año 2016 bajo la denominación de “El Acuerdo de París”, el cual busca limitar el aumento de la temperatura global a menos de  $2^\circ C$  a largo plazo. [10]

En el Ecuador, de acuerdo al reporte del balance energético nacional elaborado por el Instituto de Investigación Geológico y Energético, en el año 2021 se evidenció un consumo energético de 93.5 millones de barriles equivalentes de petróleo (BEP) [12]. El sector residencial fue el tercer mayor consumidor de energía en el país con un promedio de gasto energético de 12.1 millones de BEP.

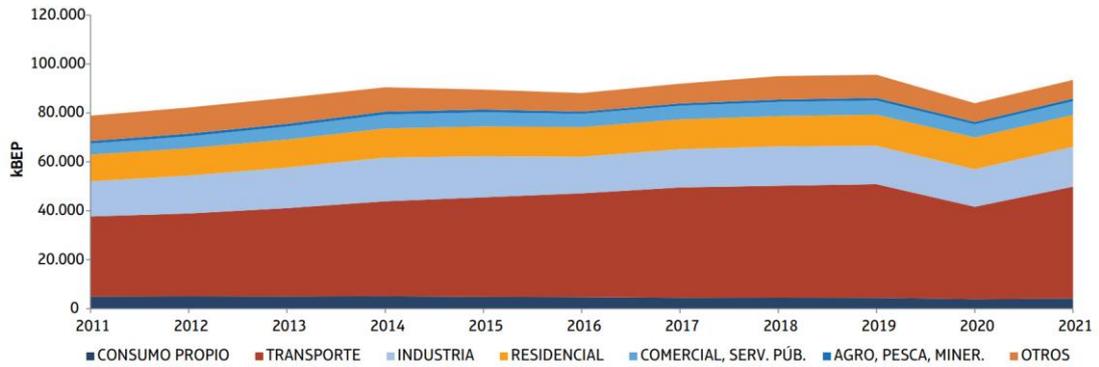


Figura 3. Evolución de la demanda de energía por sector [12]

La demanda energética del sector residencial se presentó en un 13.9% con respecto a la demanda energética total. La fuente de energía más consumida por este sector es el gas licuado de petróleo, que significa un 52.9% de toda la energía utilizada en residencias. El potencial energético del gas licuado de petróleo se emplea principalmente en el calentamiento de agua y cocción de alimentos.

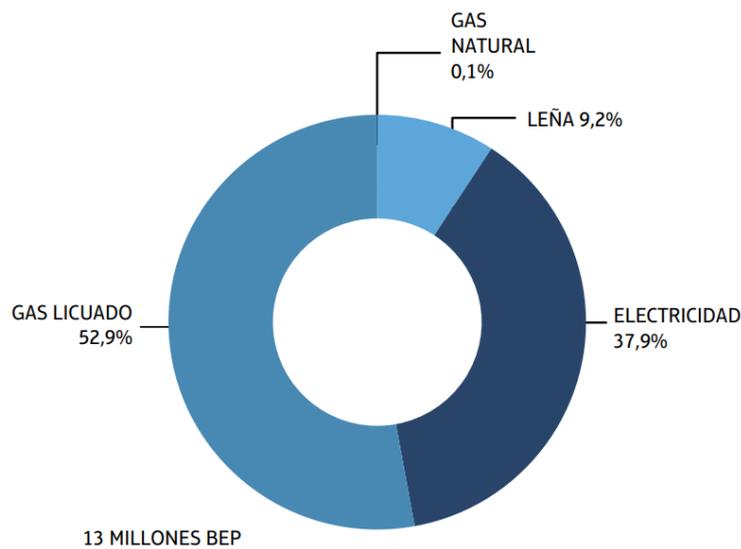


Figura 4. Consumo energético por fuente [12]

El mayor consumo del gas licuado de petróleo se da en las residencias, el cual es de casi  $\frac{3}{4}$  del total consumido en el país, como se muestra en la Figura 5.

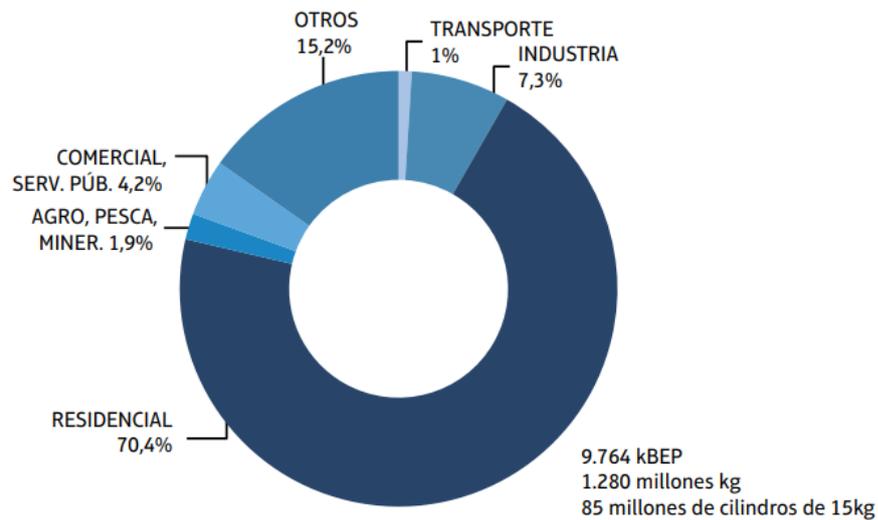


Figura 5. Consumo energético por sector [12]

En 2021, el sector residencial fue el tercer mayor consumidor de energía en el Ecuador y la fuente energética preferida en los hogares fue el GLP, también significa que el GLP fue el tercer mayor emisor de contaminantes de efecto invernadero en 2021. Esto se evidencia en la Figura 6, el GLP emitió en total 3653 kton  $CO_2$  eq.

Energético	2020				2021			
	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>	Total	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>	Total
PETRÓLEO	1.779	4	30	1.813	1.720	3	30	1.753
GAS NATURAL	1.514	1	2	1.517	1.604	1	2	1.607
LEÑA	1.060	10	63	1.133	1.018	10	60	1.088
PRODUCTOS DE CAÑA	1.213	13	10	1.237	1.033	11	9	1.053
GAS LICUADO	3.537	1	8	3.547	3.653	2	8	3.663
GASOLINAS	8.851	30	98	8.979	10.614	36	123	10.773
JET FUEL	250	1	-	250	312	1	-	313
DIÉSEL OIL	12.463	37	18	12.518	13.851	42	21	13.913
FUEL OIL	2.396	5	3	2.403	2.476	5	3	2.484
GASES	192	-	-	192	205	-	-	205
COQUE	501	1	-	502	553	1	-	554
OTRAS SECUNDARIAS	-	-	-	-	-	-	-	-
NO ENERGÉTICO	485	1	1	487	584	1	1	586
<b>TOTAL</b>	<b>34.241</b>	<b>103</b>	<b>234</b>	<b>34.578</b>	<b>37.623</b>	<b>113</b>	<b>257</b>	<b>37.993</b>

Figura 6. Emisiones por fuente y contaminante [12]

### 1.3.2. Tecnología de calefacción

Alrededor del mundo la tecnología de calefacción utiliza varias clases de combustible, siendo el gas natural el más común, contando con el 42% de demanda en el 2021 [13]. A esto le sigue el aceite como fuente de calor, contando con el 15%. La electricidad se situó en el tercer lugar con el 14% de demanda. En la Figura 7 estos datos se ilustran con detalle de los sectores más representativos mundialmente.

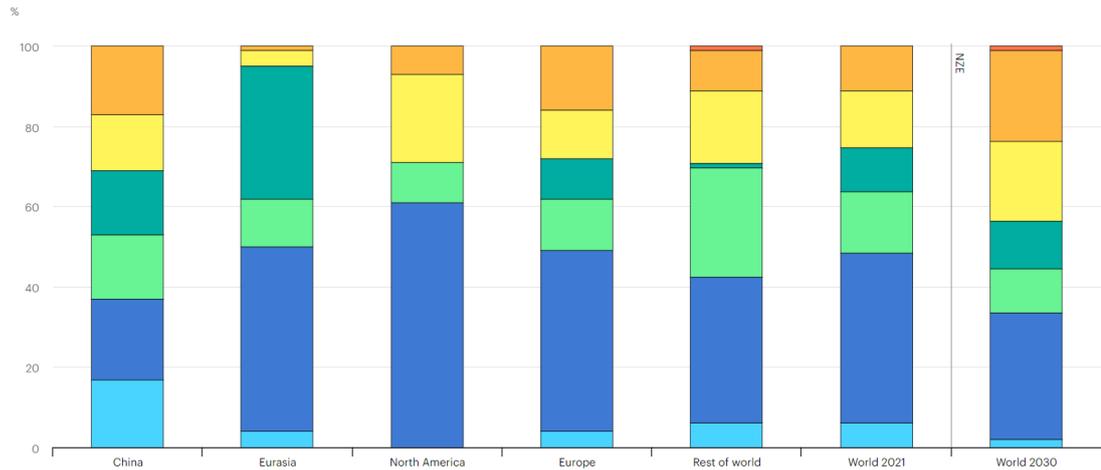


Figura 7. Demanda energética en las edificaciones para calentamiento mediante el uso combustibles de 2021 a 2030 con el escenario cero emisiones netas (naranja: renovables, amarillo: electricidad, verde oscuro: calentamiento de distrito, verde claro: crudo, azul: gas natural, celeste: carbón, rojo: otros) [13]

### 1.3.3. Bombas de calor

#### 1.3.3.1. Principio de funcionamiento

El principio de funcionamiento de las bombas de calor lo describe el ciclo invertido de Carnot, el cual menciona que toda máquina térmica funciona en un orden cíclico regresando a su estado inicial al mismo momento en el que el proceso finaliza [7]. Las bombas de calor funcionan en un ciclo térmico que absorbe calor de una fuente de alta temperatura, para transferirla a un depósito o sumidero de baja temperatura [14]. En dos pasos del ciclo se ejerce trabajo sobre el fluido o refrigerante que la bomba utiliza, y en los dos pasos restantes del ciclo, es el refrigerante el que realiza un trabajo.

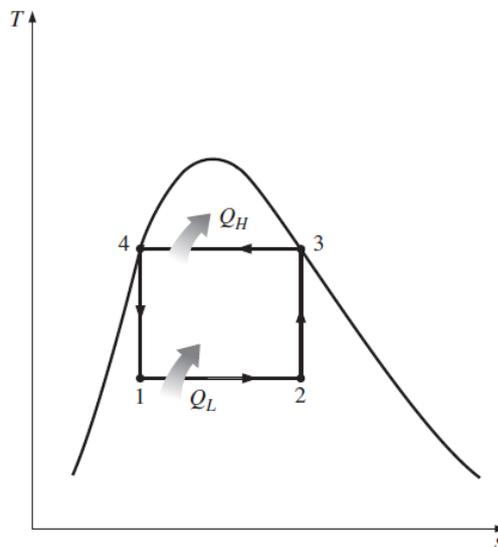


Figura 8. Diagrama temperatura – entropía del ciclo invertido de Carnot [7]

La bomba de calor y un refrigerador pueden ser considerados como el mismo dispositivo, pues ambos extraen el calor de una fuente (de baja temperatura), para depositarlo en un sumidero (de alta temperatura). La diferencia entre estos radica en el objetivo principal de cada equipo: la bomba de calor, en esencia, busca calentar un espacio de gran volumen; en cambio, un refrigerador busca enfriar un espacio de volumen pequeño. A pesar de las diferencias, ambos trabajan en un ciclo en el que un refrigerante, partiendo en el evaporador, extrae el calor de un ambiente frío para después ser comprimido por la fuerza ejercida por un compresor; posteriormente el refrigerante depositará, a través del condensador, todo el calor acumulado y retornará al inicio del ciclo después de disminuir su presión al pasar por una válvula de expansión.

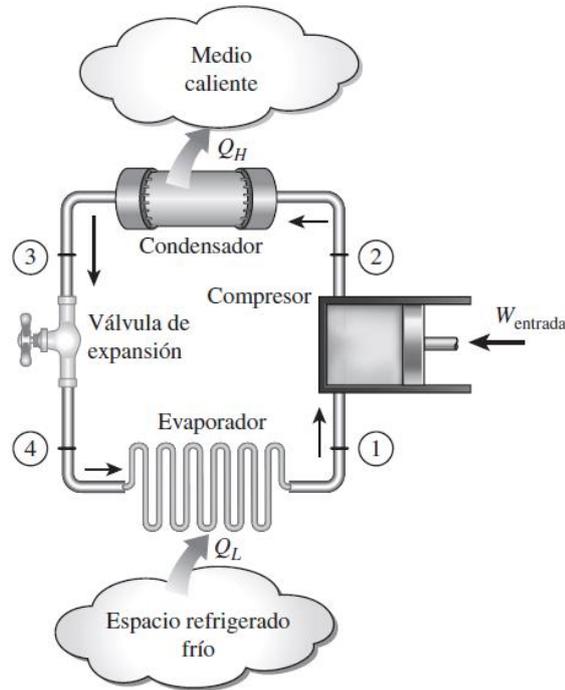


Figura 9. Refrigerador de Carnot [7]

Perko et al. [14] calculan que la energía requerida para accionar el sistema de la bomba de calor es, en promedio,  $\frac{1}{4}$  de la energía térmica útil. Lo que significa que, por cada  $W$  utilizado por el compresor, se obtendrán  $4 W$  de energía térmica. Esto demuestra la alta eficiencia del sistema de bomba de calor.

### 1.3.3.2. Clasificación

#### 1.3.3.2.1. Bombas de calor de fuente de aire

Las bombas de calor de fuente de aire extraen el calor del aire ambiental y lo descargan en un ambiente cerrado. Este tipo de bomba de calor usualmente es aplicado para brindar calefacción a una residencia. La utilidad del sistema de bomba de calor de fuente de aire es máxima al ser instalada en un clima tropical, y su productividad y capacidad disminuye si la temperatura del aire atmosférico decae hasta los 7 o 5 °C [15].

#### 1.3.3.2.2. Bombas de calor de fuente de agua

Las bombas de calor de fuente de agua pueden aprovechar el calor almacenado en pozos de agua subterráneos. Para la instalación de estos sistemas es necesario considerar aspectos como la presión necesaria para extraer el agua del pozo y las características químicas del agua [15]. Si la composición del agua posee propiedades agresivas para la bomba de extracción, la eficiencia del sistema disminuirá significativamente por lo que será necesario analizar la posibilidad de utilizar un sistema de calefacción diferente.

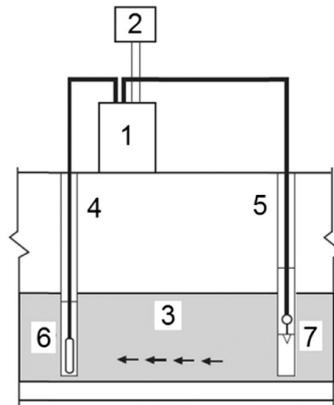


Figura 10. Esquema del uso de agua subterránea (1: bomba de calor, 2: sistema de calentamiento, 3: formación del lecho de agua, 4: extracción de agua, 5: depósito de agua, 6: bomba de extracción, 7: válvula de retención) [15]

#### 1.3.3.2.3. Bombas de calor de fuente de suelo

Es claro que el agua puede no estar disponible en todo lugar necesario ni en las cantidades adecuadas, imposibilitando el uso de una bomba de calor de fuente de agua. Si el aire tampoco se encuentra en una condición atmosférica favorable, no será una buena opción usar una bomba de calor de fuente de aire. Pero el suelo está en todas

partes y además tiene una gran capacidad de retención de calor, por lo que se convierte en la fuente más confiable para extracción de calor [15].

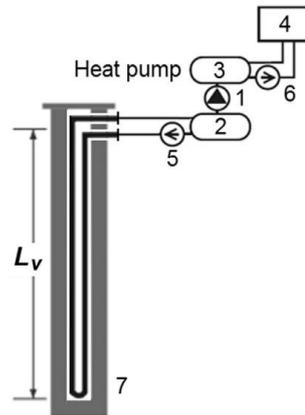


Figura 11. Esquema del diagrama de un intercambiador de calor vertical de suelo en una bomba de calor (1: compresor, 2: evaporador, 3: condensador, 4: sistema de calefacción, 5: bomba de circulación, 6: bomba del sistema de calefacción, 7: intercambiador de calor vertical de suelo) [15]

#### 1.3.3.2.4. Bombas de calor de doble etapa

Todo ejemplo tratado hasta ahora de los sistemas de bomba de calor ha sido únicamente de ciclo de simple etapa, en el que el sistema se compone de cuatro componentes básicos. Pero el sistema de doble etapa sacrifica versatilidad y sencillez por confiabilidad. Este sistema supera los inconvenientes de trabajar en climas fríos (cerca de los 0°C) en los que se requiere producir mucha energía térmica útil (usualmente agua caliente) [1]. Estas bombas de calor funcionan con una compresión de doble etapa con inyección de vapor, el mecanismo utilizado para lograr esta variante es un economizador o tanque de expansión súbita.

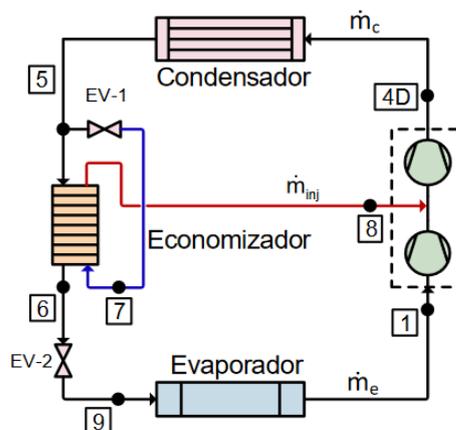


Figura 12. Ciclo de compresión de doble etapa con inyección de vapor [1]

### 1.3.3.3. Componentes

#### 1.3.3.3.1. Evaporador

Un evaporador es un intercambiador de calor en el que un fluido refrigerante que fluye a baja presión extrae el calor de los alrededores [16]. Al realizar este proceso, el refrigerante se evapora.

#### 1.3.3.3.2. Compresor

Un compresor es capaz de aumentar la presión del fluido refrigerante evaporado [16]. Para que el compresor pueda funcionar requiere de una potencia de entrada, la cual es entregada por un motor que recibe energía de la red eléctrica. A medida que la presión del refrigerante aumenta, el fluido se calienta y así llega al condensador.

#### 1.3.3.3.3. Condensador

El condensador también actúa como un intercambiador de calor. En él, el fluido refrigerante que se encuentra en estado sobrecalentado es capaz de depositar en el sumidero de baja temperatura toda la energía térmica acumulada previamente [16]. Debido al proceso, el refrigerante se condensa.

#### 1.3.3.3.4. Válvula de expansión

A pesar de que el refrigerante está en un estado líquido nuevamente, aún posee una alta presión. La válvula de expansión es utilizada para disminuir este efecto además de ayudar a disminuir la temperatura sobrante en el refrigerante. Esto reinicia el ciclo de refrigeración de la bomba de calor. [16]

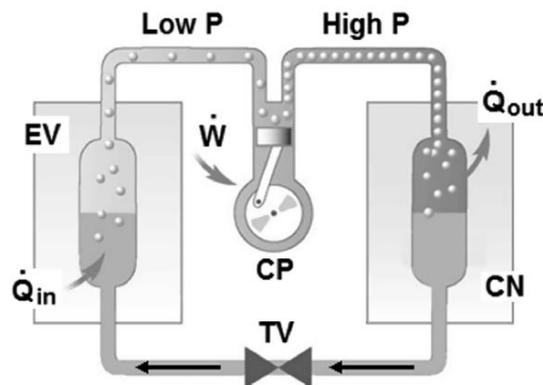


Figura 13. Esquema simplificado de un sistema de refrigeración/bomba de calor. (P: presión, EV: evaporador, CN: condensador, CP: compresor, TV: válvula de expansión) [16]

#### **1.3.3.4. Costo**

El costo de una unidad de bomba de calor de fuente de aire para calentamiento de agua, en Estados Unidos, se encuentra desde \$1200 para un tanque de 50 galones hasta los \$2500 para un tanque de 80 [17]. Para el uso de una unidad de este tipo en el Ecuador se debería considerar el costo añadido que significa importarla y venderla. Por tanto, equipo puede verse como un sistema altamente costoso.

Por tal necesidad, se han realizado proyectos de construcción de bombas de calor en el Ecuador. Jurado S. [18] realizó el diseño y construcción de una bomba de fuente de aire para el secado de cacao, lo cual se considera una aplicación industrial de las bombas de calor; este proyecto tuvo el costo de \$2427.01 más el 10% por imprevistos, lo que resulta en \$2670 de costo total. Por otro lado, Muñoz L. [19] realizó la construcción de una bomba de calor para la producción de agua caliente sanitaria en una residencia. Esta bomba de calor de capacidad de 20 galones de agua significó un costo de \$800.

Las bombas de calor, debido al costo de cada componente y los costos de fabricación, pueden llegar a tener un precio elevado con respecto a otros medios de calefacción y calentamiento de agua. La fabricación nacional incrementa las posibilidades de adquisición tanto en el sector residencial como industrial. Es un sector de manufactura que indudablemente puede potenciarse en cualquier país de Latinoamérica.

#### **1.3.4. Potencia eléctrica**

La potencia eléctrica es la indicación del trabajo realizado por la electricidad. La unidad de medida de la potencia eléctrica es el Watt, ésta mide la cantidad de energía transferida por unidad de tiempo. Se define como el trabajo requerido para mover un culombio bajo la influencia de una diferencia de potencial de un voltio durante un segundo [20].

#### **1.3.5. Consumo eléctrico**

Representa la cantidad de energía eléctrica utilizada durante un tiempo determinado. Su unidad de medida más común es el kWh. Tiene una relación muy directa con la demanda energética, la cual representa la tasa de potencia requerida por el consumidor, medida en Watts [21].

### **1.3.6. Calor**

El calor se define como la energía que transita de un punto a otro debido a la diferencia de temperaturas a nivel molecular. La energía de calor se puede transferir entre un líquido y un sólido por convección, entre dos sólidos por conducción, y a través del espacio por radiación. Una unidad común para la medida del calor es el BTU para el sistema inglés o la caloría o en el sistema internacional de unidades [22].

### **1.3.7. Análisis económico**

El análisis económico busca estudiar el intercambio y consumo de bienes con enfoque en los presupuestos, su obtención y sus efectos financieros. Se consideran también el entorno social y el comportamiento del sector en el que el análisis se va a aplicar. Por tanto, los riesgos económicos son de interés para establecer las conductas y tendencias de un evento de propagación económica [23].

### **1.3.8. Subsidios**

Los subsidios son apoyos financieros que el estado entrega a ciertos sectores. Por definición, un subsidio debe ser correctamente direccionado a los sectores que lo necesiten y debe significar un beneficio para ambas partes: el Estado y los destinatarios [24]. Estos incentivos han sido la manera en la que el Estado de una nación ha tomado participación en sectores como la educación, la salud o el transporte. En la actualidad, esta transferencia de recursos es condicionada según los beneficiarios y variable según la demanda [25].

### **1.3.9. Evaluación de proyectos**

Un proyecto o inversión es, en esencia, una serie de decisiones a tomar. Cuando se direccionan recursos en busca de un beneficio futuro, es evidente la aparición de la incertidumbre. Todo proyecto puede o no ser beneficioso debido al comportamiento del entorno económico. Es por ello que estudiar cada opción y sus posibles riesgos significa un criterio obligatorio previo a la ejecución de cualquier proyecto [26].

Para evaluar a un proyecto se requieren de métodos que se sustenten en el marco de investigación y evaluación financiera. Cualquier característica del proyecto, por pequeña que sea, se considerará en la aplicación de métodos de valor científico para evaluación. Por ejemplo, para el método VPN, son fundamentales tanto las entradas como salidas de dinero y, asimismo, la extensión en el tiempo de la inversión.

### **1.3.10. Flujo de caja**

Los fondos de efectivo se transfieren al ejecutar un proyecto, ya sea hacia el promotor de la actividad financiera o desde éste. El flujo de caja es un registro de los ingresos y egresos del dinero en un periodo específico [27]. Para la evaluación de proyectos, estos flujos se proyectan hacia un futuro considerando tasas de variación del efectivo. Con esto se puede determinar la capacidad productiva de un proyecto.

### **1.3.11. Inflación**

Es evidente que a medida que pasa el tiempo los precios de los bienes varían, y en su mayoría, aumentan. Cuando esto sucede a pesar de los esfuerzos permanentes en la producción para mantener una estabilidad entre oferta y demanda, se trata de inflación. Ésta sucede no porque todos los bienes estén aumentando su valor al mismo tiempo, sino porque el dinero se desvaloriza. Este fenómeno se puede medir solo a través del análisis de conjuntos de valores, por lo que un precio cualquiera no puede ser indicador de la inflación [28].

### **1.3.12. TMAR**

La tasa mínima aceptable de rendimiento es la tasa base que deberá tener un proyecto para ser considerado una oportunidad de inversión. Esta tasa se aplica para descontar los flujos futuros y representa el costo del efectivo obtenido por financiamiento ya sea interno o externo. En definitiva, esto se conoce como el costo del capital [29].

### **1.3.13. VAN**

El valor actual neto o valor presente neto es un método de evaluación de proyectos en el que se calcula la diferencia de todos los flujos del dinero durante un periodo establecido [30]. El VAN no es una simple suma y resta del efectivo que se espera percibir a través del tiempo, puesto que el valor del dinero en el presente es mayor que el valor del dinero en el futuro. La actualización del flujo de caja futuro al valor presente requiere de una tasa de descuento, la cual representa la tasa de oportunidad o de interés de la inversión inicial. Se observa cómo calcular el Valor Actual Neto:

$$VAN = \sum_{n=0}^N \frac{I_n - E_n}{(1 + i)^n}$$

Donde:

$I_n$ : Ingresos de efectivo

$E_n$ : Egresos de efectivo

$N$ : Número de periodos

$i$ : Tasa de descuento

$n$ : periodo considerado

Una vez realizado el cálculo se debe comprobar que el valor del VAN sea positivo, lo que indicará la viabilidad del proyecto. Si es negativo, el proyecto generará pérdidas.

#### **1.3.14. TIR**

La tasa interna de retorno se define como la tasa que, de ser aplicada al proyecto de inversión, igualará el valor presente tanto de los ingresos como de los egresos. Es decir, la que generará un VAN igual a cero. El criterio financiero de la TIR establece que un proyecto de inversión por lo mínimo debe ser capaz de rentabilizar su propio costo [31]. Para que un proyecto sea rentable, la TIR deberá ser mayor a la tasa mínima aceptable de rendimiento.

## CAPÍTULO II

### METODOLOGÍA

#### 2.1. Diseño de la investigación

Partiendo de la necesidad de la investigación, la cual es el análisis técnico y económico de la fabricación e instalación de bombas de calor en el Ecuador, se establecerá un diseño de investigación experimental. Hernández R. et al. [32] define el término diseño en la investigación como el plan o estrategia formulada para la obtención de la información requerida para responder al planteamiento del problema. También define a la investigación experimental como la ejecución de un estudio en el que las variables independientes pueden ser manipuladas en busca de los efectos generados sobre las variables dependientes.

#### 2.2. Enfoque

El enfoque es una ruta para el desarrollo investigativo que sigue una estrategia establecida, metódica y cuidadosa [32]. El enfoque cuantitativo será el empleado para la presente investigación. Este enfoque sigue el conjunto de procesos secuencial en el que se recolecta información para posteriormente establecer una hipótesis con base a las mediciones realizadas, todo esto para establecer pautas y verificar las teorías establecidas.

#### 2.3. Alcance

Una investigación cuantitativa puede iniciar su desarrollo con alcance descriptivo, exploratorio, correlacional o explicativo [32]. Del alcance depende la estrategia investigativa, por tanto, la presente investigación se regirá por un alcance descriptivo. El estudio descriptivo intenta detallar las características específicas de cualquier objeto de análisis, describiendo tendencias, fenómenos y contextos.

#### 2.4. Hipótesis de estudio

##### 2.4.1. Señalamiento de variables

Variable dependiente. Factibilidad de la fabricación e instalación de bombas de calor en el Ecuador.

Variable independiente. Interpretación de métricas de técnicas y económicas.

## 2.5. Hipótesis nula

Los indicadores de factibilidad tienen una correlación baja con la posibilidad de fabricación nacional de bombas de calor.

## 2.6. Hipótesis alternativa

Los indicadores de factibilidad tienen una correlación baja con la posibilidad de fabricación nacional de bombas de calor.

## 2.7. Operacionalización de variables

### 2.7.1. Variable dependiente

Tabla 1. Operacionalización de la variable dependiente

Variable	Categoría	Indicador	Ítems	Técnicas e instrumentos
Los datos arrojados por el cálculo de métricas económicas, las capacidades y operación útil de los equipos de bombas de calor.	VAN	Valores actuales de flujo de efectivo	Validez o no del proyecto	- Ficha de registro de datos - Hoja de cálculo
	TIR	Tasa que iguala el valor presente de los ingresos con los egresos	Tasa positiva o negativa	

### 2.7.2. Variable independiente

Tabla 2. Operacionalización de la variable independiente

Variable	Categoría	Indicador	Ítems	Técnicas e instrumentos
Se realizará un cálculo técnico de un conjunto de equipos de bomba de calor aire a agua a ser instaladas en una residencia para la generación de agua caliente.	Rendimiento	Efecto de desempeño de refrigeradores y bombas de calor	Coeficiente de desempeño (COP)	- Ficha de registro de datos - Hoja de cálculo
	Consumo energético	Energía requerida para el funcionamiento de la máquina	Parámetro evaluado según el tiempo de uso	
	Costo eléctrico	Efectivo requerido para el funcionamiento de la máquina	Parámetro evaluado según el tiempo de uso	

## **2.8. Recolección de datos**

La recolección de datos se enfoca en la obtención de información estructurada y detallada de bombas de calor de fuente de aire para la evaluación de su rendimiento en la Sierra ecuatoriana, para esto se toman en cuenta los catálogos de los fabricantes en los que constan todos los datos a considerar para el uso de un equipo de calefacción. Para obtener la información se realizará un análisis de documentos y registro de datos en fichas.

## **2.9. Materiales**

Computador de 1 Tb de capacidad de memoria y 8 Gb de RAM.

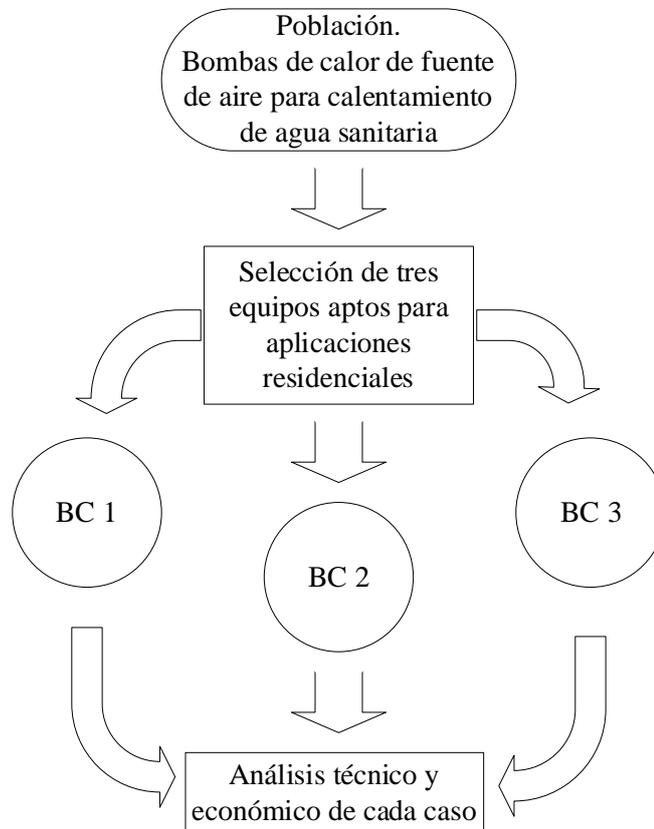
## **2.10. Población y muestra**

La población de estudio la componen los equipos de bombas de calor de fuente de aire para generación de agua caliente sanitaria. Las bombas de calor pueden servir como fuentes de energía alternativas para el calentamiento de agua en los hogares en comparación con los calefones de GLP. Se menciona a estos últimos debido a que el calefón es una tecnología que se puede encontrar de una manera muy frecuente en las residencias de la Sierra ecuatoriana. Por tanto, se compararán ambas tecnologías.

Los parámetros de selección de las bombas de calor vienen dados según la investigación de Copara D. [8]. En ella se dividen grupos de diferentes características nombrados ECU 1, ECU 2, ECU 3, ECU 4, ECU 5. Como se mencionó previamente en el apartado de justificación del presente proyecto, los grupos de interés son el grupo ECU 3 y ECU 4 debido a que las simulaciones de Copara D. demostraron que estos grupos serían potenciales usuarios de bombas de calor de fuente de aire.

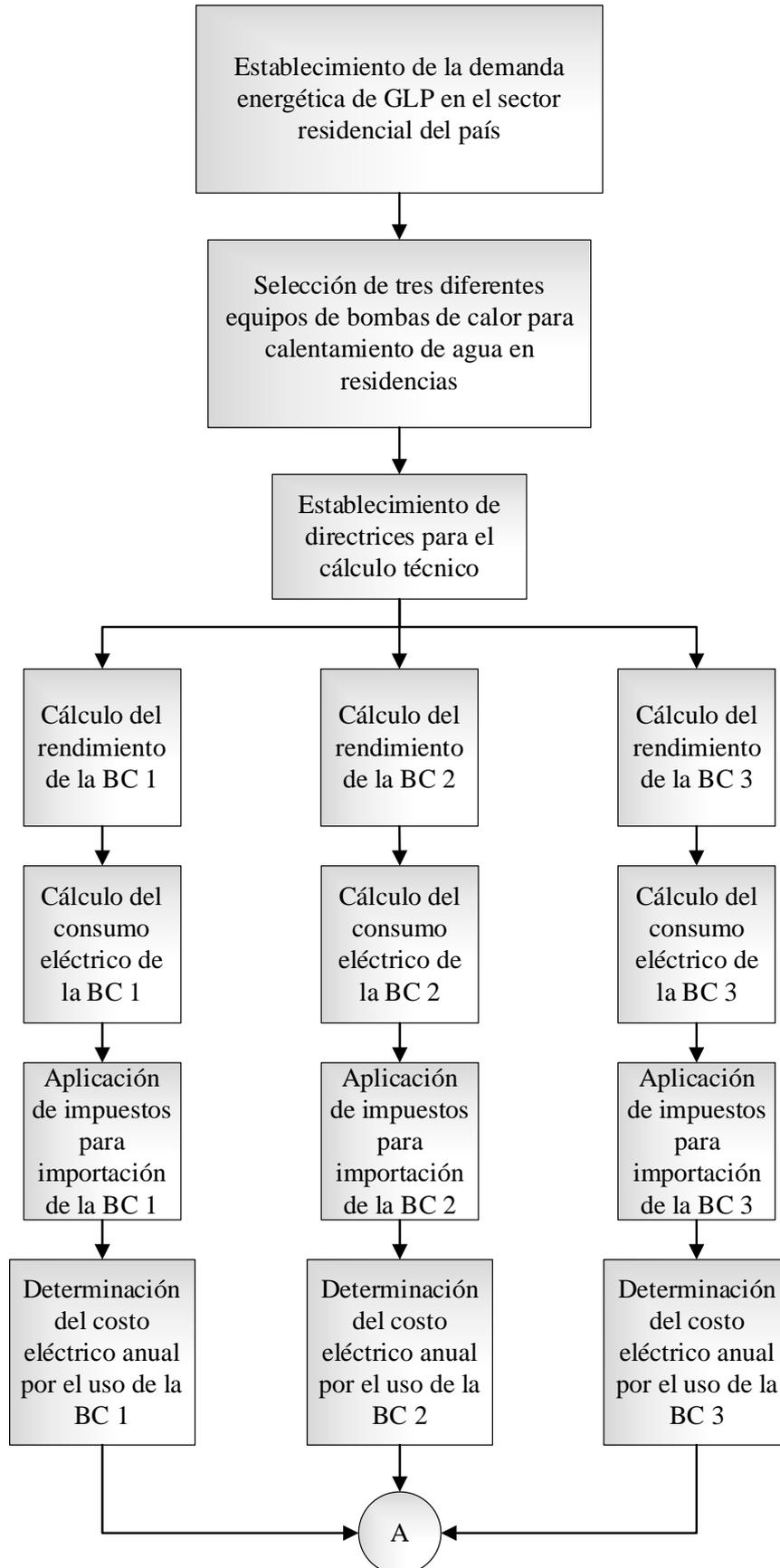
Los agentes ECU3 y ECU4 conforman el 43.41% de la población nacional, el primer grupo recibe hasta \$1000 de ingresos, y el segundo grupo recibe hasta \$500. Ambos grupos están interesados en la inversión tecnológica para la reducción de la contaminación ambiental. La gran mayoría de la población se fía del gas licuado de petróleo o de duchas eléctricas para el calentamiento de agua sanitaria. Si el gobierno impulsara la adquisición de bombas de calor como tecnología innovadora y amigable con el ambiente, no solo los agentes ECU3 y ECU4 considerarían como una prioridad aquella inversión en el futuro, sino también los agentes ECU2 y ECU1 que poseen un poder de adquisición mucho más alto.

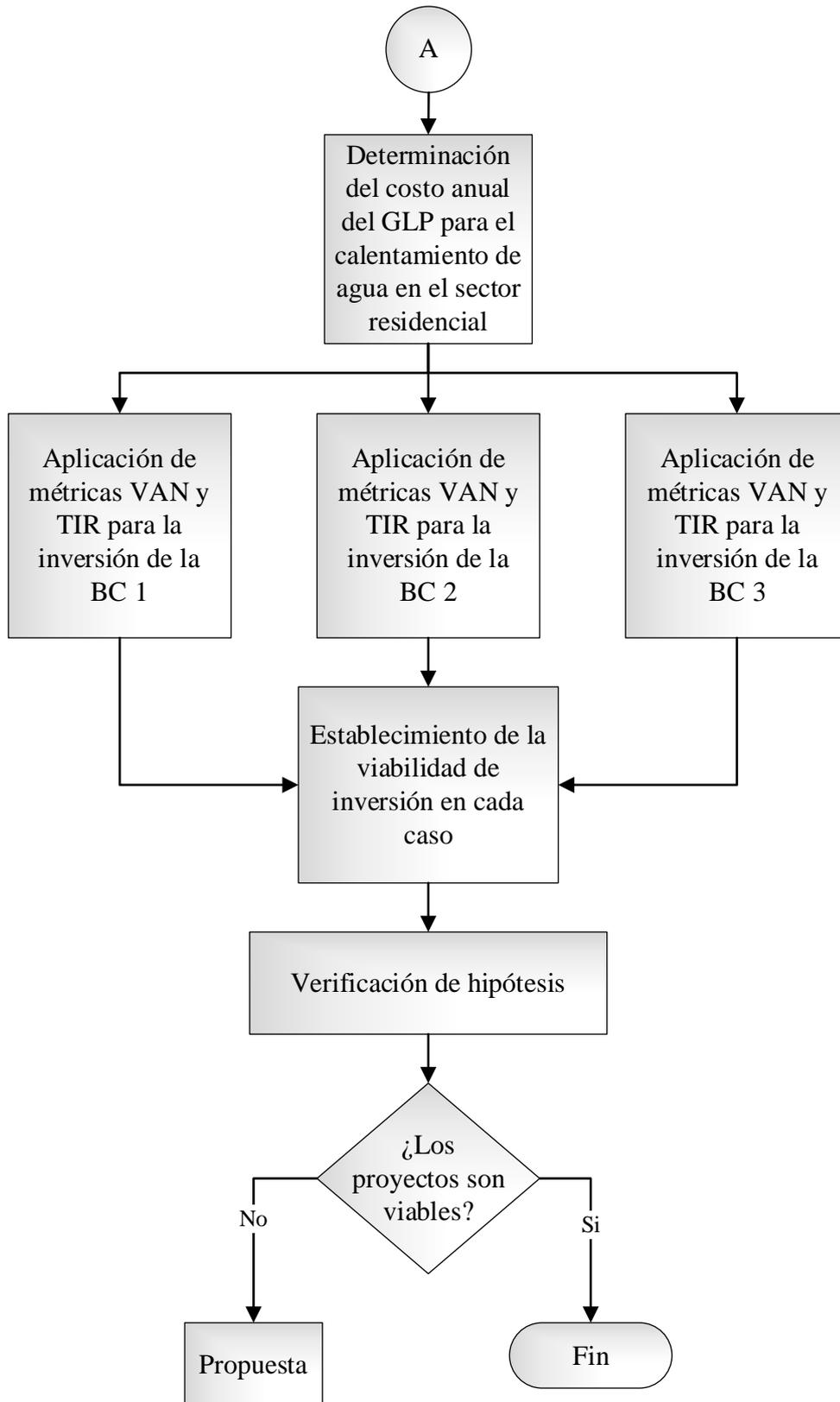
Según las características mencionadas, se seleccionarán tres equipos de bombas de calor de fuente de aire para generación de agua caliente sanitaria que tengan un costo que se encuentre en el rango de \$500 - \$2000 y que tengan una mínima capacidad de uso para una familia de 4 personas.



*Figura 14. Población y muestra*

## 2.11. Diagrama de metodología





## 2.12. Identificación de las bombas de calor

Los equipos elegidos para la muestra se registran a continuación:

Tabla 3. Equipos seleccionados [33]–[35]

Equipo	Modelo	Características	Precio
BC 1: MACON, modelo MAHWS010ZCC1-200		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bomba con capacidad de uso de 3-4 personas</li> <li>- Capacidad de almacenamiento de agua: 200 litros</li> </ul>	\$890.00
BC 2: SUNRAIN, modelo YT-200TB1		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bomba con capacidad de uso de 3-4 personas</li> <li>- Capacidad de almacenamiento de agua: 200 litros</li> </ul>	\$650.00
BC 3: JNOD, modelo JS18HW200		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bomba con capacidad de uso de 4 personas</li> <li>- Capacidad de almacenamiento de agua: 200 litros</li> </ul>	\$855.00

## 2.13. Tabulación de datos de catálogo

Las propiedades técnicas de los equipos seleccionados se tabulan a continuación:

Tabla 4. Propiedades de los equipos escogidos

Parámetro	Unidad	BC 1	BC 2	BC 3
Volumen del tanque	[L]	200	200	200
Capacidad de calentamiento	[kW]	2.9	2.5	1.81
COP	-	4.6	4.16	3.87
Potencia de entrada	[kW]	0.63	0.60	0.47

Refrigerante	-	R134a	R134a	R134a
Dimensiones tanque	[mm]	φ600x1600	φ620x1750	710*680*1910
Rango de trabajo	[°C]	-	-7 ~ 43	-7 ~ 45

## 2.14. Procesamiento de datos y análisis

Todos los datos encontrados y posteriores resultados se tabularán. Se busca evaluar las diferencias significativas entre cada equipo analizado por lo que se compararán los resultados de cada caso escogido. Los parámetros a registrar serán la eficiencia del equipo, el consumo energético, costo por el servicio eléctrico anual, costo por el uso anual del GLP doméstico y la viabilidad económica de la obtención de estos equipos.

### 2.14.1. Apartado técnico

#### 2.14.1.1. Capacidad de calentamiento

Los procesos de transformación energética dependen de varios factores de acuerdo a su modelo de funcionamiento. En el caso presente, la obtención de calor a través del uso de bombas de calor aire-agua se da a partir de la temperatura del aire circundante para después ser reubicado en un tanque para la generación de agua caliente sanitaria. Se sabe que el COP de una bomba de calor puede variar de acuerdo al ambiente en el que se instala [36], de igual forma que un panel solar instalado en una región fría de la cordillera de los Andes no podrá generar la misma cantidad de energía de haber sido instalada en un desierto con irradiación solar considerable.

Para poder establecer la diferencia en el rendimiento que los tres equipos escogidos tendrían en el Ecuador, se debe establecer varias directrices. En Ecuador existen regiones con ambientes muy variados; tanto la región Costa como la región Oriental poseen una temperatura promedio anual que rodea los 24 °C [37]. Por su parte, en la región Sierra se promedia una temperatura anual de 14 °C, la cual se reduce significativamente en las zonas no habitadas. Las bombas de calor son diseñadas a partir de las propiedades de transferencia de calor del aire a 20 °C, lo que significa que instalar una bomba de calor en un ambiente más frío que el estándar dará resultados reducidos de eficiencia. Las temperaturas promedio de las regiones Costa y Oriente no afectarán el rendimiento preestablecido de las bombas de calor escogidas, caso que se corroborará en los cálculos realizados bajo temperaturas de esas regiones.

Se considera una presión máxima en el ciclo (presión en el condensador) de 1600 MPa para el refrigerante 134a [38]. Para establecer la temperatura en el evaporador de una bomba de calor que está sometido a la temperatura promedio de la Sierra ecuatoriana (14 °C), Tello-Oquendo et al. [1] consideraron establecer una temperatura de 0 °C para la simulación de dos tipos diferentes de bombas de calor a aplicarse en Riobamba. Para las regiones Costa y Oriente (24 °C) se utilizarán 10 °C como temperatura en el evaporador. Para la temperatura objetivo en el condensador, Muñoz L. y Soares F. [19] encontraron necesaria una temperatura de 65 °C para poder mantener el agua en el tanque sobrepasando ligeramente los 40°C, la cual es una temperatura adecuada para evitar lesiones por quemaduras en la piel. Con estas consideraciones se podrán establecer datos necesarios en los puntos tanto inferiores como superiores del ciclo termodinámico por compresión de vapor para su evaluación en cada caso.

Todos los datos termodinámicos para cada región se establecen en la Tabla 5 y en la Tabla 6:

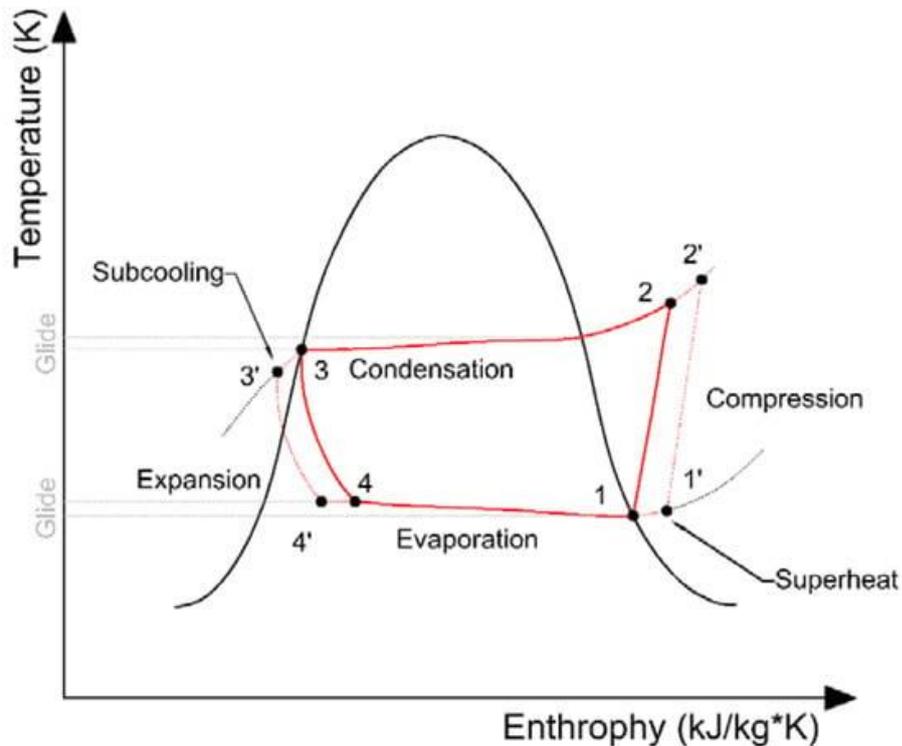


Figura 15. Ciclo termodinámico por compresión de vapor [39]

Tabla 5. Datos específicos del ciclo en la región Sierra

	T [°C]	h [kJ/kg]	s [kJ/kg*K]	P [kPa]
<b>1</b>	0	250.45	0.93139	293.01
<b>2</b>	62.26	283.52	0.9247	1600
<b>2'</b>	65	286.97	0.9349	1600
<b>3</b>	57.86	135.93	0.47911	1600
<b>4</b>	0	135.93	-	293.01

Tabla 6. Datos específicos del ciclo en la región Costa y Oriente

	T [°C]	h [kJ/kg]	s [kJ/kg*K]	P [kPa]
<b>1</b>	10	256.16	0.92641	414.89
<b>2</b>	62.26	283.52	0.9247	1600
<b>2'</b>	65	286.97	0.9349	1600
<b>3</b>	57.86	135.93	0.47911	1600
<b>4</b>	10	135.93	-	414.89

El flujo másico utilizado en la bomba de calor se obtiene despejando la fórmula:

$$w_{in} = \dot{m}(h_2 - h_1) \quad (1)$$

Se continúa con el cálculo del calor de salida  $Q_H$ :

$$Q_H = \dot{m}(h_2 - h_3) \quad (2)$$

Una vez obtenido el calor entregado al ambiente, se puede calcular el coeficiente de rendimiento según la ecuación:

$$COP = \frac{Q_H}{w_{in}} \quad (3)$$

El COP obtenido mostrará una disminución de la eficiencia esperada de acuerdo al uso del equipo en un clima frío, y en los climas sobre los 20 °C puede incluso aumentar.

#### 2.14.1.2. Consumo eléctrico

Las bombas de calor consumen electricidad según el volumen de agua caliente por unidad de tiempo que pueden ofrecer. Es decir, al no ser equipos de calentamiento instantáneo requieren de un tiempo determinado previo al uso en el que se podrá llenar el tanque de agua y posteriormente calentarlo. Por ejemplo, el ítem “BC 3” ofrece un caudal de agua caliente de  $39 \frac{l}{h}$ . El caudal de agua consumido por unidad de tiempo en

una ducha es de  $9 \frac{l}{min}$  [40], y el tiempo considerado de uso del agua es de 10 minutos.

Esto significa que la bomba de calor debe proveer al menos 90 litros. Por tanto:

$$Tiempo\ de\ consumo\ energético = \frac{Volumen\ de\ agua\ necesario\ por\ ducha}{Caudal\ de\ agua\ caliente} \quad (4)$$

Debido a la falta de información de parte de los demás fabricantes se asumirá un caudal de  $40 \frac{l}{h}$  para los dos ítems restantes tomando en consideración el caudal ofrecido del ítem “BC 3” por ser el de menor eficiencia de los tres modelos escogidos previamente. Considerando la potencia de entrada de cada modelo de bomba de calor, se calcula el consumo eléctrico:

$$Consumo\ eléctrico = Potencia\ de\ entrada * Tiempo\ de\ consumo\ energético \quad (5)$$

## 2.14.2. Apartado económico

### 2.14.2.1. Costo de los equipos en Ecuador

Si bien el precio de cada ítem se estableció en la Tabla 3, es necesario indicar que un consumidor residente en Ecuador deberá considerar los gastos de importación y transporte adicionales a pagar para poder acceder al producto. La obtención de estos equipos se dará a través de una importación desde China. El envío de esta importación tendrá un costo añadido de acuerdo al peso de los equipos y la opción de flete.

Tabla 7. Datos de los equipos escogidos

	Modelo	Ofertante	Proveedor	País de origen
BC 1	MAHWS010ZCC1-00	ALI BABA	MACON	China
BC 2	YT-200TB1	ALI BABA	SUNRAIN	China
BC 3	JS18HW200	ALI BABA	JNOD	China

Cada equipo pesa más de 100 kg, por lo que deberá ser transportado por vía marítima. Esta opción de flete tiene un costo de \$2 por libra [41]. Con un peso bruto estimado de 220 lb, se tiene el costo considerado por la aduana ecuatoriana:

Tabla 8. Precio en aduana

	Precio ofertado (\$)	Valor importación (\$)	Valor en aduana (\$)
BC 1	890,00	440,00	1.330,00
BC 2	650,00	440,00	1.090,00
BC 3	855,00	440,00	1.295,00

El Servicio Nacional de Aduana del Ecuador [42] establece que el valor a pagar de tributos al comercio exterior se compone de cuatro valores: el arancel AD-Valorem, FODINFA (fondo de desarrollo para la infancia), ICE (impuesto a consumos especiales) e IVA (impuesto al valor agregado).

### ***Arancel AD-Valorem***

El arancel AD-Valorem se extrae de la Nomenclatura Arancelaria Común de la Comunidad Andina [43]. En la sección XVI que corresponde a “Máquinas y aparatos, material eléctrico y sus partes” se encuentra la partida 84.19. En su denominación se observa el inciso “...calentadores de agua de calentamiento instantáneo o de acumulación, excepto los eléctricos”. Esta es la única sección en la Nomenclatura que trata sobre los calentadores de agua, pero las bombas de calor para calentamiento de agua (que son de funcionamiento eléctrico) no se pueden encontrar. Sin embargo, se observa que los calentadores de agua con contenedor de capacidad inferior a 120 poseen un arancel aplicado del 20%.

<b>84.19</b>	<b>Aparatos, dispositivos o equipos de laboratorio, aunque se calienten eléctricamente (excepto los hornos y demás aparatos de la partida 85.14), para el tratamiento de materias mediante operaciones que impliquen un cambio de temperatura, tales como calentamiento, cocción, torrefacción, destilación, rectificación, esterilización, pasteurización, baño de vapor de agua, secado, evaporación, vaporización, condensación o enfriamiento, excepto los aparatos domésticos; calentadores de agua de calentamiento instantáneo o de acumulación, excepto los eléctricos.</b>		
	- Calentadores de agua de calentamiento instantáneo o de acumulación, excepto los eléctricos:		
8419.11.00.00	-- De calentamiento instantáneo, de gas	u	20
8419.12.00	-- Calentadores solares de agua:		
8419.12.00.10	--- Con capacidad inferior o igual a 120 l	u	20
8419.12.00.90	--- Los demás	u	0
8419.19	-- Los demás:		
8419.19.10.00	--- Con capacidad inferior o igual a 120 l	u	20
8419.19.90	--- Los demás:		
8419.19.90.10	---- Calentadores de agua de calentamiento instantáneo, no eléctricos ni de gas, capacidad superior a 120 litros	u	0
8419.19.90.90	---- Los demás	u	20

Figura 16. Partida 84.19. de la Nomenclatura Arancelaria Común de la Comunidad Andina [43]

En la partida 84.18 de denominación “Refrigeradores, congeladores y demás material, máquinas y aparatos para producción de frío, aunque no sean eléctricos; bombas de calor...” se encuentra la subpartida 8418.61.00.00 que corresponde a “Bombas de calor” con un arancel aplicado del 5%. No obstante, esta partida trata de máquinas de producción de frío; además el arancel aplicado en esta sección es muy bajo en comparación al aplicado a los equipos de calentamiento de agua.

Se concluye que las bombas de calor de fuente de aire para calentamiento de agua no han sido consideradas en la Nomenclatura Arancelaria Común de la Comunidad Andina. Por tanto, se utilizará un arancel del 25%, el cual es aplicado para maquinaria de generación de agua caliente.

### **FODINFA**

El Fondo de Desarrollo para la Infancia aplica una tasa del 0.5% sobre el valor en aduana.

### **ICE**

El Impuesto a los Consumos Especiales varía según el tipo de bien importado. Según la información dispuesta en el artículo 76 de la Ley de Régimen Tributario Interno vigente [44], no se asigna una tarifa de ICE a las bombas de calor para calentamiento de agua.

### **IVA**

El Impuesto al Valor Agregado en importaciones se aplica para la adquisición de cualquier bien o producto que no sea de primera necesidad, el cual corresponde al 12% sobre el valor en aduana más todos los impuestos mencionados.

Integrando cada impuesto, se tiene entonces el costo total del producto en el país:

*Tabla 9. Costos totales (Valores en \$ USD)*

	<b>AD - Valorem 25%</b>	<b>FODINFA 0,50%</b>	<b>Valor Ex Aduana</b>	<b>IVA 12%</b>	<b>Importación líquida</b>	<b>Comisión Agente de Aduanas</b>	<b>Total</b>
BC 1	332,50	6,65	1.669,15	200,30	1.869,45	200,00	2.069,45
BC 2	272,50	5,45	1.367,95	164,15	1.532,10	200,00	1.732,10
BC 3	323,75	6,48	1.625,23	195,03	1.820,25	200,00	2.020,25

### 2.14.2.2. Costo anual del servicio eléctrico

El costo energético en el país ha tenido las siguientes tarifas en los últimos años:

Tabla 10. Tarifas del servicio eléctrico en Ecuador [45]

Año	Precio medio $\left[\frac{USD \text{ ¢}}{kWh}\right]$	Variación
2016	9,86	-
2017	9,79	-0,07
2018	9,28	-0,51
2019	9,31	0,03
2020	9,21	-0,10
2021	9,24	0,03
2022	9,28	0,04
2023	9,31	0,03

Es fácil apreciar que la variación del costo en centavos de dólar a través de los años es dinámica y no sigue un patrón reconocible. Esto significa que no sufre efectos por la oferta de energía sino por la calidad y eficiencia de los equipos que consumen la electricidad y también por la demanda de la población, esto impide que se pueda establecer una proyección de precio a futuro. Por tanto, se utilizará el costo de energía por kWh de 0.0931 USD, el cual es el valor vigente.

El costo por cada ducha se puede obtener multiplicando el consumo eléctrico de cada modelo de bomba de calor que fueron obtenidos previamente por el costo de energía por kWh, así:

$$\text{Costo por cada ducha} = \text{Consumo eléctrico} * \text{Costo por kWh} \quad (6)$$

Siendo que una familia de cuatro personas utilizará diariamente la ducha, se obtiene el costo anual:

$$\text{Costo anual} = 4 \text{ duchas diarias} * 365 \text{ días} * \text{Costo por cada ducha} \quad (7)$$

### 2.14.2.3. Costo anual del cilindro de GLP

El costo del cilindro de GLP se ha mantenido en \$1,60 en los últimos años. Sin embargo, el costo al que las residencias se ven sujetas también considera la entrega a domicilio. Se observa la variación de este total:

Tabla 11. Costos a domicilio del cilindro de GLP

<b>Año</b>	<b>Precio Distribuidor (USD)</b>	<b>Precio Domicilio (USD)</b>	<b>Variación</b>	
2018	1,60	2,50	-	-
2019	1,60	2,50	-	-
2020	1,60	3,00	+ 0,50	Pandemia
2021	1,60	3,50	+ 0,50	Alza de precio en los combustibles
2022	1,60	3,50	-	-
2023	1,60	3,50	-	-

Se observa que el costo de distribución es constante y, a menos que exista algún evento de conmoción social como las manifestaciones masivas o la emergencia sanitaria mundial que se vivió en 2020, se puede asumir que el costo del cilindro del gas correspondiente a \$3,50 persistirá con el tiempo. Sin embargo, aquella linealidad es ajena al valor del subsidio del GLP; el cambio de este monto es observable en el reporte del informe del Presupuesto General del Estado disponible cada año:

Tabla 12. Subsidios del GLP según el Presupuesto General del Estado [46]

<b>Año</b>	<b>Valor (millones)</b>	<b>Variación</b>
2017	\$ 486,69	0
2018	\$ 468,18	-18,51
2019	\$ 644,61	176,43
2020	n/a	0
2021	\$ 813,63	169,02
2022	\$ 768,66	-44,97
2023	\$ 716,94	-51,72

Determinar el valor del subsidio para cada cilindro de GLP es una tarea altamente compleja, debido a que tanto el cilindro de producción nacional como el importado se acogen a la tarifa de reducción de precio. En base a aproximaciones, Villavicencio M. [47] establece que en el 2016 el subsidio de GLP fue de \$13,40 por cilindro importado, y de \$4,40 por cilindro nacional. Considerando el valor de \$15 como el precio de venta del cilindro de GLP sin subsidio, se establece que la provisión de agua caliente en las residencias de cuatro personas que usan la ducha diariamente requiere de dos cilindros de GLP mensualmente. Se observa el costo anual:

Tabla 13. Costo anual del uso del GLP para una familia de cuatro personas

Mes	Unidad	Cantidad	Con subsidio		Sin subsidio	
			Valor unitario	Total	Valor unitario	Total
1	Cilindro	2	3,50	7,00	16,90	33,80
2	Cilindro	2	3,50	7,00	16,90	33,80
3	Cilindro	2	3,50	7,00	16,90	33,80
4	Cilindro	2	3,50	7,00	16,90	33,80
5	Cilindro	2	3,50	7,00	16,90	33,80
6	Cilindro	2	3,50	7,00	16,90	33,80
7	Cilindro	2	3,50	7,00	16,90	33,80
8	Cilindro	2	3,50	7,00	16,90	33,80
9	Cilindro	2	3,50	7,00	16,90	33,80
10	Cilindro	2	3,50	7,00	16,90	33,80
11	Cilindro	2	3,50	7,00	16,90	33,80
12	Cilindro	2	3,50	7,00	16,90	33,80
				84,00		405,60

#### 2.14.2.4. Análisis financiero

El reemplazo de los calentadores instantáneos de agua por una bomba de calor significa una inversión si se consideran los ahorros por cilindro de GLP como montos a favor. Se establecen dos escenarios, el primero considera el costo habitual del GLP, el segundo considera la eliminación del subsidio presente. Se observan los costos necesarios para la ejecución de cada proyecto y los ahorros:

Tabla 14. Costos de operación y valores a favor

Proyecto	Costo inicial	Costo anual (electricidad)	Escenario 1	Escenario 2
			Ahorro del gas (con subsidio)	Ahorro del gas (sin subsidio)
BC 1	2069,45	197,62	84,00	405,60
BC 2	1732,10	183,50	84,00	405,60
BC 3	2020,25	143,74	84,00	405,60

Para obtener estos equipos, se prevé una deuda a tres años con una duración del proyecto de cinco años, el cual es un periodo aceptable en el que, para el ámbito residencial, se esperarían observar un beneficio. La adquisición del capital requerirá de una deuda con una tasa de interés nominal del 15,60% anual según la oferta vigente de las instituciones bancarias del país. El Banco Central del Ecuador provee un formato para amortización de créditos en el cual se registran los parámetros de la deuda [48],

lo que servirá para la proyección del flujo de fondos. En estos flujos se aplicará el 3,50% de tasa de inflación anual, dato provisto por el Ministerio de Economía y Finanzas.

#### 2.14.2.4.1. Ítem BC 1

Se establecen los datos del crédito:

DATOS DEL CRÉDITO	
Tipo de Crédito	<i>Consumo Prioritario</i>
Tipo de Tabla de Amortización	<i>Francesa</i>
Frecuencia de Pago	<i>Mensual</i> <i>12</i>
<b>Monto:</b>	<b>2.069,45</b>
<b>Tasa de interes nominal:</b>	<b>15,60%</b>
Plazo (años):	3
Plazo (días):	1080
Pagos:	30
Pagos por Año:	36

*Figura 17. Datos de préstamo para el ítem BC 1*

Estos datos iniciales generan una tabla de amortización de la deuda durante tres años que se observa en la siguiente tabla:

Tabla 15. Amortización de la deuda del ítem BC 1

	<b>Total Final del Crédito</b>	<b>Total Interés</b>	<b>Total Amortización</b>	
	2.604,52	535,07	2.069,45	
<i>Periodo</i>	<i>Cuota</i>	<i>Interés</i>	<i>Amortización</i>	<i>Saldo</i>
0				\$2.069,45
1	\$72,35	\$26,90	\$45,44	\$2.024,01
2	\$72,35	\$26,31	\$46,04	\$1.977,97
3	\$72,35	\$25,71	\$46,63	\$1.931,34
4	\$72,35	\$25,11	\$47,24	\$1.884,10
5	\$72,35	\$24,49	\$47,85	\$1.836,24
6	\$72,35	\$23,87	\$48,48	\$1.787,76
7	\$72,35	\$23,24	\$49,11	\$1.738,66
8	\$72,35	\$22,60	\$49,75	\$1.688,91
9	\$72,35	\$21,96	\$50,39	\$1.638,52
10	\$72,35	\$21,30	\$51,05	\$1.587,47
11	\$72,35	\$20,64	\$51,71	\$1.535,76
12	\$72,35	\$19,96	\$52,38	\$1.483,38
13	\$72,35	\$19,28	\$53,06	\$1.430,32
14	\$72,35	\$18,59	\$53,75	\$1.376,56
15	\$72,35	\$17,90	\$54,45	\$1.322,11
16	\$72,35	\$17,19	\$55,16	\$1.266,95
17	\$72,35	\$16,47	\$55,88	\$1.211,07
18	\$72,35	\$15,74	\$56,60	\$1.154,47
19	\$72,35	\$15,01	\$57,34	\$1.097,13
20	\$72,35	\$14,26	\$58,09	\$1.039,04
21	\$72,35	\$13,51	\$58,84	\$980,20
22	\$72,35	\$12,74	\$59,61	\$920,60
23	\$72,35	\$11,97	\$60,38	\$860,22
24	\$72,35	\$11,18	\$61,16	\$799,05
25	\$72,35	\$10,39	\$61,96	\$737,09
26	\$72,35	\$9,58	\$62,77	\$674,33
27	\$72,35	\$8,77	\$63,58	\$610,75
28	\$72,35	\$7,94	\$64,41	\$546,34
29	\$72,35	\$7,10	\$65,25	\$481,09
30	\$72,35	\$6,25	\$66,09	\$415,00
31	\$72,35	\$5,40	\$66,95	\$348,05
32	\$72,35	\$4,52	\$67,82	\$280,22
33	\$72,35	\$3,64	\$68,70	\$211,52
34	\$72,35	\$2,75	\$69,60	\$141,92
35	\$72,35	\$1,84	\$70,50	\$71,42
36	\$72,35	\$0,93	\$71,42	(\$0,00)

Las salidas de efectivo y sus periodos correspondientes son de utilidad para establecer el flujo de fondos:

**Escenario 1**

Tabla 16. Flujos de efectivo ítem BC 1, escenario 1

		<b>Escenario 1 (CON SUBSIDIO DE GLP)</b>							<b>ESTADO DE FLUJOS</b>
		<b>Ingresos</b>			<b>Gastos</b>				
	<b>Periodo</b>	<b>GLP ahorro</b>	<b>% Inflación anual</b>	<b>Total ingresos + % inflación</b>	<b>Inversión en activos</b>	<b>Gasto energía + % inflación</b>	<b>Pago préstamo (incluye intereses)</b>	<b>Total gastos</b>	<b>Ingresos - gastos</b>
Año 2023	0	\$ -		\$ -	\$2.069,45	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Año 2024	1	\$ 84,00	3,50%	\$ 86,94	\$ -	\$ 204,53	\$ 868,17	\$ 1.072,70	\$ - 985,76
Año 2025	2	\$ 86,94	3,50%	\$ 89,98	\$ -	\$ 211,69	\$ 868,18	\$ 1.079,87	\$ - 989,89
Año 2026	3	\$ 89,98	3,50%	\$ 93,13	\$ -	\$ 219,10	\$ 868,17	\$ 1.087,27	\$ - 994,14
Año 2027	4	\$ 93,13	3,50%	\$ 96,39	\$ -	\$ 226,77	\$ -	\$ 226,77	\$ - 130,38
Año 2028	5	\$ 96,39	3,50%	\$ 99,77	\$ -	\$ 234,71	\$ -	\$ 234,71	\$ - 134,94
				<b>\$ 466,21</b>		<b>\$ 1.096,80</b>	<b>\$ 2.604,52</b>	<b>\$ 3.701,32</b>	<b>\$ - 3.235,10</b>

**Escenario 2**

Tabla 17. Flujos de efectivo ítem BC 1, escenario 2

		<b>Escenario 2 (SIN SUBSIDIO DE GLP)</b>							<b>ESTADO DE FLUJOS</b>
		<b>Ingresos</b>			<b>Gastos</b>				
	<b>Periodo</b>	<b>GLP ahorro</b>	<b>% inflación anual</b>	<b>Total ingresos + % inflación</b>	<b>Inversión en activos</b>	<b>Gasto energía + % inflación</b>	<b>Pago préstamo (incluye intereses)</b>	<b>Total gastos</b>	<b>Ingresos - gastos</b>
Año 2023	0	\$ -		\$ -	\$2.069,45	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Año 2024	1	\$ 405,60	3,50%	\$ 419,80	\$ -	\$ 204,53	\$ 868,17	\$ 1.072,70	\$ - 652,91
Año 2025	2	\$ 419,80	3,50%	\$ 434,49	\$ -	\$ 211,69	\$ 868,18	\$ 1.079,87	\$ - 645,38
Año 2026	3	\$ 434,49	3,50%	\$ 449,70	\$ -	\$ 219,10	\$ 868,17	\$ 1.087,27	\$ - 637,57
Año 2027	4	\$ 449,70	3,50%	\$ 465,44	\$ -	\$ 226,77	\$ -	\$ 226,77	\$ 238,67
Año 2028	5	\$ 465,44	3,50%	\$ 481,73	\$ -	\$ 234,71	\$ -	\$ 234,71	\$ 247,02
				<b>\$2.251,14</b>		<b>\$ 1.096,80</b>	<b>\$ 2.604,52</b>	<b>\$ 3.701,32</b>	<b>\$ - 1.450,17</b>

#### 2.14.2.4.2. Ítem BC 2

Se establecen los datos del crédito:

DATOS DEL CRÉDITO	
Tipo de Crédito	<i>Consumo Prioritario</i>
Tipo de Tabla de Amortización	<i>Francesa</i>
Frecuencia de Pago	<i>Mensual</i> <i>12</i>
<b>Monto:</b>	<b>1.732,10</b>
<b>Tasa de interes nominal:</b>	<b>15,60%</b>
Plazo (años):	3
Plazo (días):	1080
Pagos:	30
Pagos por Año:	36

Figura 18. Datos de préstamo para el ítem BC 2

Estos datos iniciales generan una tabla de amortización de la deuda durante tres años.

Se observa en la siguiente figura:

Tabla 18. Amortización de la deuda del ítem BC 2

	<b>Total Final del Crédito</b>	<b>Total Interés</b>	<b>Total Amortización</b>	
	2.179,94	447,84	1.732,10	
<i>Periodo</i>	<i>Cuota</i>	<i>Interés</i>	<i>Amortización</i>	<i>Saldo</i>
0				\$1.732,10
1	\$60,55	\$22,52	\$38,04	\$1.694,06
2	\$60,55	\$22,02	\$38,53	\$1.655,53
3	\$60,55	\$21,52	\$39,03	\$1.616,50
4	\$60,55	\$21,01	\$39,54	\$1.576,96
5	\$60,55	\$20,50	\$40,05	\$1.536,91
6	\$60,55	\$19,98	\$40,57	\$1.496,33
7	\$60,55	\$19,45	\$41,10	\$1.455,23
8	\$60,55	\$18,92	\$41,64	\$1.413,60
9	\$60,55	\$18,38	\$42,18	\$1.371,42
10	\$60,55	\$17,83	\$42,73	\$1.328,69
11	\$60,55	\$17,27	\$43,28	\$1.285,41
12	\$60,55	\$16,71	\$43,84	\$1.241,57
13	\$60,55	\$16,14	\$44,41	\$1.197,15
14	\$60,55	\$15,56	\$44,99	\$1.152,16
15	\$60,55	\$14,98	\$45,58	\$1.106,59
16	\$60,55	\$14,39	\$46,17	\$1.060,42
17	\$60,55	\$13,79	\$46,77	\$1.013,65
18	\$60,55	\$13,18	\$47,38	\$966,27
19	\$60,55	\$12,56	\$47,99	\$918,28
20	\$60,55	\$11,94	\$48,62	\$869,67
21	\$60,55	\$11,31	\$49,25	\$820,42
22	\$60,55	\$10,67	\$49,89	\$770,53
23	\$60,55	\$10,02	\$50,54	\$719,99
24	\$60,55	\$9,36	\$51,19	\$668,80
25	\$60,55	\$8,69	\$51,86	\$616,94
26	\$60,55	\$8,02	\$52,53	\$564,40
27	\$60,55	\$7,34	\$53,22	\$511,19
28	\$60,55	\$6,65	\$53,91	\$457,28
29	\$60,55	\$5,94	\$54,61	\$402,67
30	\$60,55	\$5,23	\$55,32	\$347,35
31	\$60,55	\$4,52	\$56,04	\$291,31
32	\$60,55	\$3,79	\$56,77	\$234,54
33	\$60,55	\$3,05	\$57,50	\$177,04
34	\$60,55	\$2,30	\$58,25	\$118,79
35	\$60,55	\$1,54	\$59,01	\$59,78
36	\$60,55	\$0,78	\$59,78	(\$0,00)

Las salidas de efectivo y sus periodos correspondientes son de utilidad para establecer el flujo de fondos:

**Escenario 1**

Tabla 19. Flujos de efectivo ítem BC 2, escenario 1

		<b>Escenario 1 (CON SUBSIDIO DE GLP)</b>							<b>ESTADO DE FLUJOS</b>
		<b>Ingresos</b>			<b>Gastos</b>				
	<b>Periodo</b>	<b>GLP ahorro</b>	<b>% inflación anual</b>	<b>Total ingresos + % inflación</b>	<b>Inversión en activos</b>	<b>Gasto energía + % inflación</b>	<b>Pago préstamo (incluye intereses)</b>	<b>Total gastos</b>	<b>Ingresos - gastos</b>
Año 2023	0	\$ -		\$ -	\$1.732,10	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Año 2024	1	\$ 84,00	3,50%	\$ 86,94	\$ -	\$ 189,92	\$ 726,65	\$ 916,57	\$ - 829,63
Año 2025	2	\$ 86,94	3,50%	\$ 89,98	\$ -	\$ 196,57	\$ 726,65	\$ 923,22	\$ - 833,24
Año 2026	3	\$ 89,98	3,50%	\$ 93,13	\$ -	\$ 203,45	\$ 726,65	\$ 930,10	\$ - 836,97
Año 2027	4	\$ 93,13	3,50%	\$ 96,39	\$ -	\$ 210,57	\$ -	\$ 210,57	\$ - 114,18
Año 2028	5	\$ 96,39	3,50%	\$ 99,77	\$ -	\$ 217,94	\$ -	\$ 217,94	\$ - 118,17
				<b>\$ 466,21</b>		<b>\$ 1.018,45</b>	<b>\$ 2.179,95</b>	<b>\$ 3.198,40</b>	<b>\$ - 2.732,19</b>

**Escenario 2**

Tabla 20. Flujos de efectivo ítem BC 2, escenario 2

		<b>Escenario 2 (SIN SUBSIDIO DE GLP)</b>							<b>ESTADO DE FLUJOS</b>
		<b>Ingresos</b>			<b>Gastos</b>				
	<b>Periodo</b>	<b>GLP ahorro</b>	<b>% inflación anual</b>	<b>Total ingresos + % inflación</b>	<b>Inversión en activos</b>	<b>Gasto energía + % inflación</b>	<b>Pago préstamo (incluye intereses)</b>	<b>Total gastos</b>	<b>Ingresos - gastos</b>
AÑO 2023	0	\$ -		\$ -	\$1.732,10	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
AÑO 2024	1	\$ 405,60	3,50%	\$ 419,80	\$ -	\$ 189,92	\$ 726,65	\$ 916,57	\$ - 496,78
AÑO 2025	2	\$ 419,80	3,50%	\$ 434,49	\$ -	\$ 196,57	\$ 726,65	\$ 923,22	\$ - 488,73
AÑO 2026	3	\$ 434,49	3,50%	\$ 449,70	\$ -	\$ 203,45	\$ 726,65	\$ 930,10	\$ - 480,40
AÑO 2027	4	\$ 449,70	3,50%	\$ 465,44	\$ -	\$ 210,57	\$ -	\$ 210,57	\$ 254,86
AÑO 2028	5	\$ 465,44	3,50%	\$ 481,73	\$ -	\$ 217,94	\$ -	\$ 217,94	\$ 263,79
				<b>\$2.251,14</b>		<b>\$ 1.018,45</b>	<b>\$ 2.179,95</b>	<b>\$ 3.198,40</b>	<b>\$ - 947,26</b>

### 2.14.2.4.3. Ítem BC 3

Se establecen los datos del crédito:

DATOS DEL CRÉDITO	
Tipo de Crédito	<i>Consumo Prioritario</i>
Tipo de Tabla de Amortización	<i>Francesa</i>
Frecuencia de Pago	<i>Mensual</i> <i>12</i>
<b>Monto:</b>	<b>2.020,25</b>
<b>Tasa de interes nominal:</b>	<b>15,60%</b>
Plazo (años):	3
Plazo (días):	1080
Pagos:	30
Pagos por Año:	36

*Figura 19. Datos de préstamo para el ítem BC 3*

Estos datos iniciales generan una tabla de amortización de la deuda durante tres años. Se observa en la siguiente figura:

Tabla 21. Amortización de la deuda del ítem BC 3

	<b>Total Final del Crédito</b>	<b>Total Interés</b>	<b>Total Amortización</b>	
	2.542,60	522,35	2.020,25	
<i>Periodo</i>	<i>Cuota</i>	<i>Interés</i>	<i>Amortización</i>	<i>Saldo</i>
0				\$2.020,25
1	\$70,63	\$26,26	\$44,36	\$1.975,89
2	\$70,63	\$25,69	\$44,94	\$1.930,94
3	\$70,63	\$25,10	\$45,53	\$1.885,42
4	\$70,63	\$24,51	\$46,12	\$1.839,30
5	\$70,63	\$23,91	\$46,72	\$1.792,59
6	\$70,63	\$23,30	\$47,32	\$1.745,26
7	\$70,63	\$22,69	\$47,94	\$1.697,32
8	\$70,63	\$22,07	\$48,56	\$1.648,76
9	\$70,63	\$21,43	\$49,19	\$1.599,57
10	\$70,63	\$20,79	\$49,83	\$1.549,73
11	\$70,63	\$20,15	\$50,48	\$1.499,25
12	\$70,63	\$19,49	\$51,14	\$1.448,11
13	\$70,63	\$18,83	\$51,80	\$1.396,31
14	\$70,63	\$18,15	\$52,48	\$1.343,84
15	\$70,63	\$17,47	\$53,16	\$1.290,68
16	\$70,63	\$16,78	\$53,85	\$1.236,83
17	\$70,63	\$16,08	\$54,55	\$1.182,28
18	\$70,63	\$15,37	\$55,26	\$1.127,02
19	\$70,63	\$14,65	\$55,98	\$1.071,05
20	\$70,63	\$13,92	\$56,70	\$1.014,34
21	\$70,63	\$13,19	\$57,44	\$956,90
22	\$70,63	\$12,44	\$58,19	\$898,71
23	\$70,63	\$11,68	\$58,94	\$839,77
24	\$70,63	\$10,92	\$59,71	\$780,06
25	\$70,63	\$10,14	\$60,49	\$719,57
26	\$70,63	\$9,35	\$61,27	\$658,30
27	\$70,63	\$8,56	\$62,07	\$596,23
28	\$70,63	\$7,75	\$62,88	\$533,35
29	\$70,63	\$6,93	\$63,69	\$469,66
30	\$70,63	\$6,11	\$64,52	\$405,13
31	\$70,63	\$5,27	\$65,36	\$339,77
32	\$70,63	\$4,42	\$66,21	\$273,56
33	\$70,63	\$3,56	\$67,07	\$206,49
34	\$70,63	\$2,68	\$67,94	\$138,55
35	\$70,63	\$1,80	\$68,83	\$69,72
36	\$70,63	\$0,91	\$69,72	(\$0,00)

Las salidas de efectivo y sus periodos correspondientes son de utilidad para establecer el flujo de fondos:

**Escenario 1**

Tabla 22. Flujos de efectivo ítem BC 3, escenario 1

		<b>Escenario 1 (CON SUBSIDIO DE GLP)</b>							<b>ESTADO DE FLUJOS</b>
		<b>Ingresos</b>			<b>Gastos</b>				
	<b>Periodo</b>	<b>GLP ahorro</b>	<b>% inflación anual</b>	<b>Total ingresos + % inflación</b>	<b>Inversión en activos</b>	<b>Gasto energía + % inflación</b>	<b>Pago préstamo (incluye intereses)</b>	<b>Total gastos</b>	<b>Ingresos - gastos</b>
AÑO 2023	0	\$ -		\$ -	\$2.069,45	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
AÑO 2024	1	\$ 84,00	3,50%	\$ 86,94	\$ -	\$ 148,77	\$ 847,54	\$ 996,31	\$ - 909,37
AÑO 2025	2	\$ 86,94	3,50%	\$ 89,98	\$ -	\$ 153,98	\$ 847,53	\$ 1.001,51	\$ - 911,53
AÑO 2026	3	\$ 89,98	3,50%	\$ 93,13	\$ -	\$ 159,37	\$ 847,53	\$ 1.006,90	\$ - 913,77
AÑO 2027	4	\$ 93,13	3,50%	\$ 96,39	\$ -	\$ 164,95	\$ -	\$ 164,95	\$ - 68,56
AÑO 2028	5	\$ 96,39	3,50%	\$ 99,77	\$ -	\$ 170,72	\$ -	\$ 170,72	\$ - 70,95
				<b>\$ 466,21</b>		<b>\$ 797,79</b>	<b>\$ 2.542,60</b>	<b>\$ 3.340,39</b>	<b>\$ - 2.874,18</b>

**Escenario 2**

Tabla 23. Flujos de efectivo ítem BC 3, escenario 2

		<b>Escenario 2 (SIN SUBSIDIO DE GLP)</b>							<b>ESTADO DE FLUJOS</b>
		<b>Ingresos</b>			<b>Gastos</b>				
	<b>Periodo</b>	<b>GLP ahorro</b>	<b>% inflación anual</b>	<b>Total ingresos + % inflación</b>	<b>Inversión en activos</b>	<b>Gasto energía + % inflación</b>	<b>Pago préstamo (incluye intereses)</b>	<b>Total gastos</b>	<b>Ingresos - gastos</b>
AÑO 2023	0	\$ -		\$ -	\$2.020,25	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
AÑO 2024	1	\$ 405,60	3,50%	\$ 419,80	\$ -	\$ 148,77	\$ 847,54	\$ 996,31	\$ - 576,52
AÑO 2025	2	\$ 419,80	3,50%	\$ 434,49	\$ -	\$ 153,98	\$ 847,53	\$ 1.001,51	\$ - 567,02
AÑO 2026	3	\$ 434,49	3,50%	\$ 449,70	\$ -	\$ 159,37	\$ 847,53	\$ 1.006,90	\$ - 557,20
AÑO 2027	4	\$ 449,70	3,50%	\$ 465,44	\$ -	\$ 164,95	\$ -	\$ 164,95	\$ 300,49
AÑO 2028	5	\$ 465,44	3,50%	\$ 481,73	\$ -	\$ 170,72	\$ -	\$ 170,72	\$ 311,01
				<b>\$2.251,14</b>		<b>\$ 797,79</b>	<b>\$ 2.542,60</b>	<b>\$ 3.340,39</b>	<b>\$ - 1.089,25</b>

## CAPÍTULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Análisis termodinámico

Se estudió el funcionamiento de cada uno de los equipos en las tres regiones del Ecuador. Se establecen los resultados en la región Sierra:

Tabla 24. Resultados técnicos de los equipos en la región Sierra

	Capacidad de calentamiento [kW]	COP
<b>BC 1</b>	2,65	4,20
<b>BC 2</b>	2,40	4,00
<b>BC 3</b>	1,80	3,85

#### *Interpretación*

Existe una reducción en la capacidad del calentamiento establecida por catálogo de cada equipo. Esto debido a las condiciones climáticas en las que se instalará el equipo. Para el ítem “BC 1” se observa una reducción de eficiencia del 8.69%, para el ítem “BC 2” se observa una reducción de eficiencia del 3.84% y, por último, para el ítem “BC 3” se observa una reducción de eficiencia del 0.516%. El cumplimiento de estas condiciones dependerá de la capacidad del compresor de cada equipo.

Se establecen los resultados en la región Costa y Oriente:

Tabla 25. Resultados técnicos de los equipos en las regiones Costa y Oriente

	Capacidad de calentamiento [kW]	COP
<b>BC 1</b>	3,09	4,90
<b>BC 2</b>	2,86	4,76
<b>BC 3</b>	2,11	4,48

#### *Interpretación*

Los resultados de los cálculos indican que existe un aumento significativo en la eficiencia de los tres ítems. Si bien a 20 °C o más es seguro que las tres bombas de calor funcionarán al 100% de capacidad, el cumplimiento de estos datos que sobresalen a la expectativa dependerá directamente de la capacidad del compresor y además de los niveles de humedad, los cuales son más elevados en la región Oriental.

### 3.2. Consumo energético

En base a los datos registrados previamente para cada ítem respectivamente, se presentan los resultados de consumo y costo energético:

Tabla 26. Consumo y gasto eléctrico de cada equipo

	<b>Tiempo de consumo [h]</b>	<b>Consumo eléctrico [kWh]</b>	<b>Costo por ducha</b>	<b>Costo anual</b>
<b>BC 1</b>	2.31	1.454	\$ 0.14	\$ 197.62
<b>BC 2</b>	2.25	1.350	\$ 0.13	\$ 183.50
<b>BC 3</b>	2.25	1.058	\$ 0.10	\$ 143.74

#### *Interpretación*

El tiempo de consumo eléctrico viene dado por la razón entre el volumen de agua necesario por ducha y el caudal de agua caliente que cada equipo puede ofrecer, cada bomba de calor deberá consumir energía durante al menos dos horas diarias durante su etapa de acumulación de agua y posterior calentamiento, para así cubrir la necesidad de agua caliente sanitaria de una familia de cuatro personas. El ítem “BC 1” consumirá 1.454 kWh durante 2.31 horas de uso. El ítem “BC 2” consumirá 1.350 kWh durante 2.25 horas de uso. El ítem “BC 3” consumirá 1.058 kWh durante 2.25 horas de uso.

En términos económicos, el costo de cada ducha al utilizar el ítem “BC 1” será de \$0.14 centavos, resultando en un costo anual de \$197.62 dólares. El costo de cada ducha al utilizar el ítem “BC 2” será de \$0.13 centavos, resultando en un costo anual de \$183.50 dólares. El costo de cada ducha al utilizar el ítem “BC 3” será de \$0.10 centavos, resultando en un costo anual de \$173.74 dólares. El costo de uso de cada equipo es proporcional a la potencia de entrada al compresor, y también dependerá del tiempo de uso de la bomba de calor. Si uno de los equipos ofreciera un caudal de agua caliente más alto, el recurso eléctrico se utilizaría en menor medida.

### 3.3. Resultados de viabilidad económica

En el contexto de la evaluación financiera se utilizaron los flujos de fondos establecidos previamente, los cuales dieron paso al cálculo del Valor Actual Neto. Con respecto a la Tasa Interna de Retorno, se requirió de una Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento (TMAR), la cual consiste de la tasa de inflación para el año 2022 (3,50%), del índice de Riesgo país para abril de 2023 [49] (18,57%) y la tasa de crédito (15,60%). La TMAR resultante es del 37,67%.

### 3.3.1. Ítem BC 1

#### Escenario 1

Tabla 27. Evaluación financiera ítem BC 1, escenario 1

Periodo	Año	Flujo proyectado	Flujo actualizado	Flujo acumulado
0	2023	- 0,00	0,00	0,00
1	2024	- 985,76	- 716,03	- 716,03
2	2025	- 989,89	- 522,28	- 1.238,32
3	2026	- 994,14	- 381,00	- 1.619,32
4	2027	- 130,38	- 36,29	- 1.655,61
5	2028	- 134,94	- 27,29	- 1.682,90
<b>VAN</b>			<b>- 1.682,90</b>	
<b>TIR</b>			<b>-</b>	

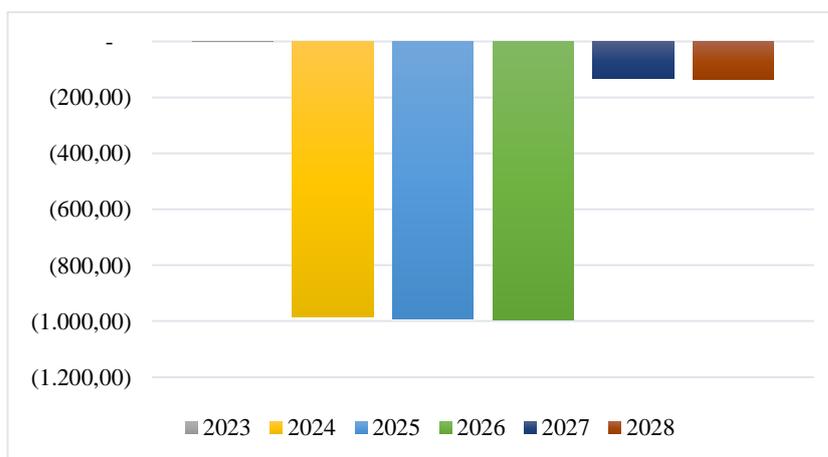


Figura 20. Flujos de dinero proyectados ítem BC 1, escenario 1

#### Interpretación

El flujo de efectivo proyectado para el escenario 1 del ítem BC 1 muestra pérdidas de valores similares durante los tres primeros años del proyecto. A partir del 2027, año en el que se cumple el pago de la deuda, se observa una reducción de las pérdidas. Sin embargo, en la duración del proyecto no se presentan valores a favor a pesar de la aparente tendencia positiva de los flujos de efectivo en los últimos años. El resultado del valor actual neto es negativo, lo que indica la pérdida a valor actualizado de \$1682,90 si el proyecto se lleva a cabo. Además, no existe tasa interna de retorno que iguale los ingresos y egresos de efectivo en el presente, lo que significa que las pérdidas se mantendrán a lo largo del tiempo sin posibilidad de retorno de fondos.

## Escenario 2

Tabla 28. Evaluación financiera ítem BC 1, escenario 2

Periodo	Año	Flujo proyectado	Flujo actualizado	Flujo acumulado
0	2023	- 0,00	0,00	0,00
1	2024	- 652,91	- 474,25	- 474,25
2	2025	- 645,38	- 340,52	- 814,77
3	2026	- 637,57	- 244,35	- 1.059,12
4	2027	238,67	66,44	- 992,68
5	2028	247,02	49,95	- 942,73
		<b>VAN</b>	<b>- 942,73</b>	
		<b>TIR</b>	<b>-</b>	

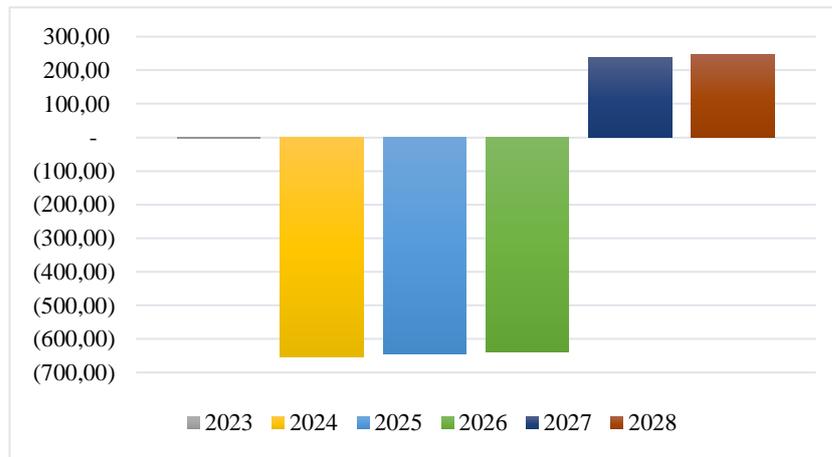


Figura 21. Flujos de dinero proyectados ítem BC 1, escenario 2

### Interpretación

El flujo de efectivo proyectado para el escenario 2 del ítem BC 1 muestra pérdidas de valores similares durante los tres primeros años del proyecto. A partir del 2027, año en el que se cumple el pago de la deuda, se observa la aparición de valores a favor con una tendencia positiva. Aun así, el resultado del valor actual neto es negativo, lo que indica la pérdida a valor actualizado de \$942,73 si el proyecto se lleva a cabo. Esto se da debido a que los valores a favor son pequeños en comparación con las pérdidas. Incluso se observa la inexistencia de una tasa interna de retorno que iguale los ingresos y egresos de efectivo en el presente, lo que significa que las pérdidas se mantendrán a lo largo del tiempo sin posibilidad de retorno de fondos.

### 3.3.2. Ítem BC 2

#### Escenario 1

Tabla 29. Evaluación financiera ítem BC 2, escenario 1

Periodo	Año	Flujo proyectado	Flujo actualizado	Flujo acumulado
0	2023	-	0,00	0,00
1	2024	- 829,63	- 602,62	- 602,62
2	2025	- 833,24	- 439,63	- 1.042,26
3	2026	- 836,97	- 320,77	- 1.363,02
4	2027	- 114,18	- 31,79	- 1.394,81
5	2028	- 118,17	- 23,90	- 1.418,71
		<b>VAN</b>	<b>- 1.418,71</b>	
		<b>TIR</b>	<b>-</b>	

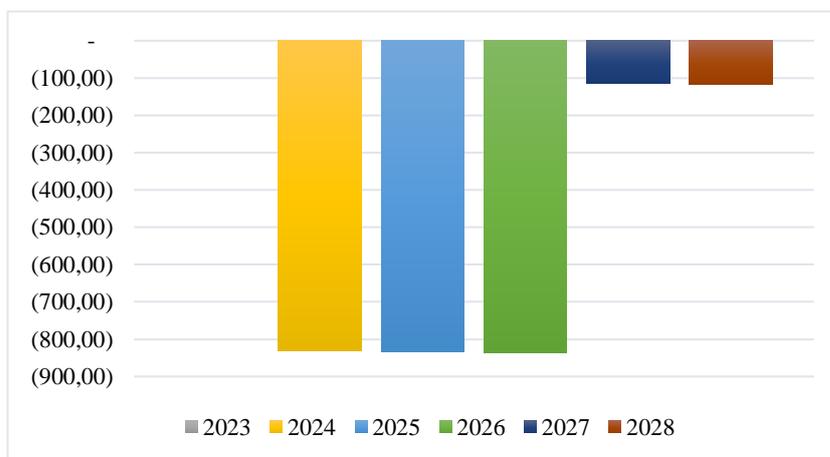


Figura 22. Flujos de dinero proyectados ítem BC 2, escenario 1

#### Interpretación

El flujo de efectivo proyectado para el escenario 1 del ítem BC 2 muestra pérdidas de valores similares durante los tres primeros años del proyecto. A partir del 2027, año en el que se cumple el pago de la deuda, se observa una reducción de las pérdidas. Sin embargo, en la duración del proyecto no se presentan valores a favor ni una aparente tendencia positiva en los flujos. El resultado del valor actual neto es negativo, lo que indica la pérdida a valor actualizado de \$1418,71 si el proyecto se lleva a cabo. Además, no existe tasa interna de retorno que iguale los ingresos y egresos de efectivo en el presente, lo que significa que las pérdidas se mantendrán a lo largo del tiempo sin posibilidad de retorno de fondos.

## Escenario 2

Tabla 30. Evaluación financiera ítem BC 2, escenario 2

Periodo	Año	Flujo proyectado	Flujo actualizado	Flujo acumulado
0	2023	-	0,00	0,00
1	2024	- 496,78	- 360,85	- 360,85
2	2025	- 488,73	- 257,86	- 618,71
3	2026	- 480,40	- 184,11	- 802,83
4	2027	254,86	70,95	- 731,88
5	2028	263,79	53,34	- 678,53
		<b>VAN</b>	<b>- 678,53</b>	
		<b>TIR</b>	<b>- 0,53%</b>	

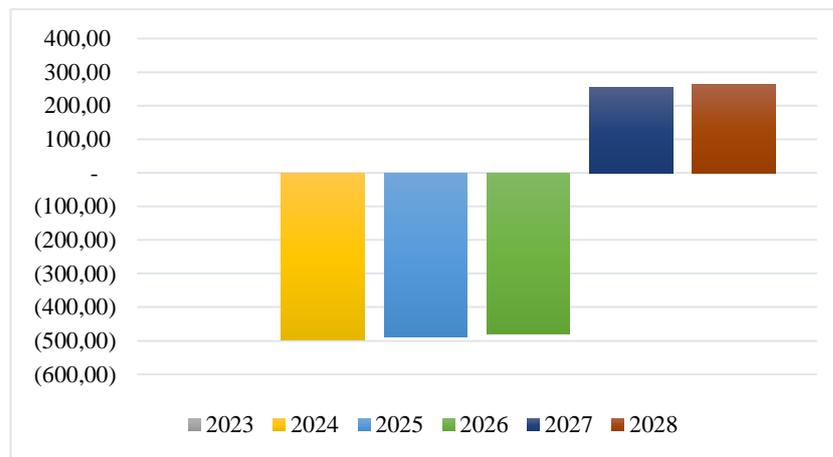


Figura 23. Flujos de dinero proyectados ítem BC 2, escenario 2

### Interpretación

El flujo de efectivo proyectado para el escenario 2 del ítem BC 2 muestra pérdidas de valores similares durante los tres primeros años del proyecto. A partir del 2027, año en el que se cumple el pago de la deuda, se observa la aparición de valores a favor con una tendencia positiva. Aun así, el resultado del valor actual neto es negativo, lo que indica la pérdida a valor actualizado de \$678,53 si el proyecto se lleva a cabo. Esto se da debido a que los valores a favor son pequeños en comparación con las pérdidas. Por último, la tasa interna de retorno, además de ser minúscula en comparación a la TMAR, es negativa; lo que evidencia la escasez de valores a favor en los flujos de dinero.

### 3.3.3. Ítem BC 3

#### Escenario 1

Tabla 31. Evaluación financiera ítem BC 3, escenario 1

Periodo	Año	Flujo proyectado	Flujo actualizado	Flujo acumulado
0	2023	-	0,00	0,00
1	2024	- 909,37	- 660,54	- 660,54
2	2025	- 911,53	- 480,94	- 1.141,48
3	2026	- 913,77	- 350,20	- 1.491,69
4	2027	- 68,56	- 19,08	- 1.510,77
5	2028	- 70,95	- 14,35	- 1.525,12
		<b>VAN</b>	<b>- 1.525,12</b>	
		<b>TIR</b>	<b>-</b>	

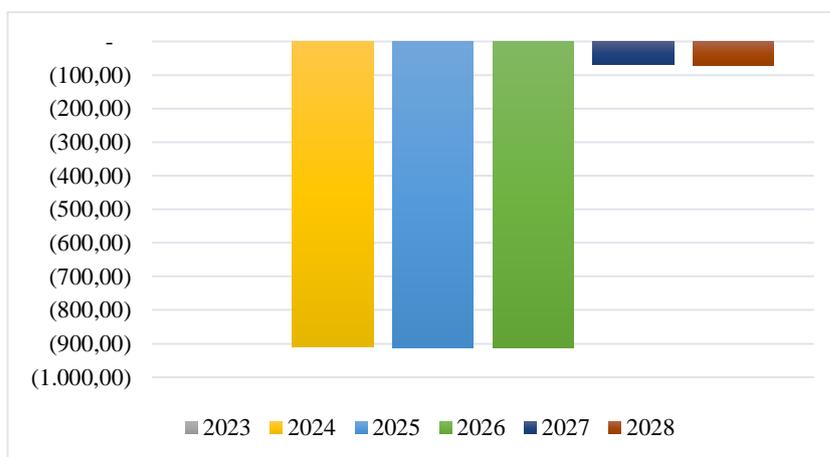


Figura 24. Flujos de dinero proyectados ítem BC 3, escenario 1

#### Interpretación

El flujo de efectivo proyectado para el escenario 1 del ítem BC 3 muestra pérdidas de valores similares durante los tres primeros años del proyecto. A partir del 2027, año en el que se cumple el pago de la deuda, se observa una reducción de las pérdidas. Sin embargo, en la duración del proyecto no se presentan valores a favor. El resultado del valor actual neto es negativo, lo que indica la pérdida a valor actualizado de \$1525,12 si el proyecto se lleva a cabo. Además, no existe tasa interna de retorno que iguale los ingresos y egresos de efectivo en el presente, lo que significa que las pérdidas se mantendrán a lo largo del tiempo sin posibilidad de retorno de fondos.

## Escenario 2

Tabla 32. Evaluación financiera ítem BC 3, escenario 2

Periodo	Año	Flujo proyectado	Flujo actualizado	Flujo acumulado
0	2023	-	0,00	0,00
1	2024	- 576,52	- 418,77	- 418,77
2	2025	- 567,02	- 299,17	- 717,94
3	2026	- 557,20	- 213,55	- 931,49
4	2027	300,49	83,65	- 847,84
5	2028	311,01	62,89	- 784,95
		<b>VAN</b>	<b>- 784,95</b>	
		<b>TIR</b>	<b>- 0,52%</b>	

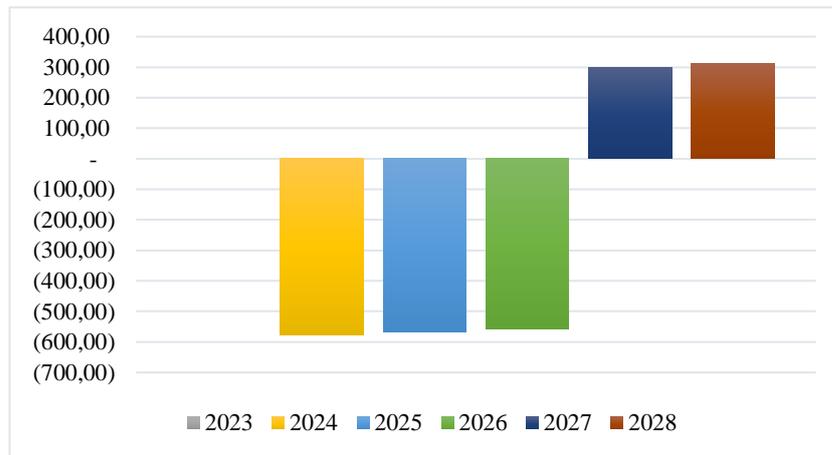


Figura 25. Flujos de dinero proyectados ítem BC 3, escenario 2

### Interpretación

El flujo de efectivo proyectado para el escenario 2 del ítem BC 3 muestra pérdidas de valores similares durante los tres primeros años del proyecto. A partir del 2027, año en el que se cumple el pago de la deuda, se observa la aparición de valores a favor con una tendencia positiva. Aun así, el resultado del valor actual neto es negativo, lo que indica la pérdida a valor actualizado de \$784,95 si el proyecto se lleva a cabo. Esto se da debido a que los valores a favor son pequeños en comparación con las pérdidas. Por último, la tasa interna de retorno, además de ser minúscula en comparación a la TMAR, es negativa; lo que evidencia la escasez de valores a favor en los flujos de dinero.

### **3.4. Discusión**

La evaluación técnica indica que los equipos de bombas de calor para generación de agua caliente sanitaria muestran ser aptos para su instalación en el país. En la Sierra, su minúscula reducción de rendimiento es esperada debido al clima frío. En la Costa y en el Oriente, el rendimiento no se altera, lo que demuestra un funcionamiento óptimo.

Por otra parte, la evaluación económica indica que la adquisición de estos equipos está lejos de ser beneficiosa. En el escenario 1, la proyección de flujos de los tres ítems expone únicamente valores negativos. En el escenario 2, a pesar de la presencia de valores a favor en ciertos años del proyecto, los métodos de evaluación financiera concluyen en una viabilidad nula. Un endeudamiento tan acentuado no es viable cuando los valores a favor son mínimos. Mientras que el subsidio para el combustible GLP se mantenga, la mejor opción seguirá siendo el utilizar calentadores de agua sanitaria a gas.

Los resultados negativos de la TIR y VAN se dan por las innumerables dificultades para la adquisición de los equipos que no se fabrican en el país; como por ejemplo los tributos al comercio exterior y el endeudamiento a corto plazo.

### **3.5. Verificación de hipótesis**

Según la prueba de hipótesis estadística, en la que se acepta o se rechaza una hipótesis nula según si la muestra no entrega evidencia suficiente para aceptarla o si entrega una mínima duda de que aceptarla sea la decisión correcta [50], se establecen ambas hipótesis nula y alternativa:

H0. Los indicadores de factibilidad tienen una correlación baja con la posibilidad de fabricación nacional de bombas de calor.

H1. Los indicadores de factibilidad tienen una correlación alta con la posibilidad de fabricación nacional de bombas de calor.

La presente investigación experimental presenta datos de estudio cuya relación puede ser evaluada según el método de correlación de Pearson [51]. Se presentan datos obtenidos de factibilidad y costos de los equipos:

Tabla 33. Datos de correlación de factibilidad y costos

Ítem	VAN (X)	Inversión (Y)	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>	XY
BC 1	-1682.9	2069.45	2832152.41	4282623.30	3482677.40
BC 2	-1418.71	1732.10	2012738.06	3000170.41	2457347.59
BC 3	-1525.12	2020.25	2325991.01	4081410.06	3081123.68
Σ	-4626.73	5821.80	7170881.49	11364203.78	9021148.68

El coeficiente de Pearson se calcula de la siguiente manera:

$$r_{xy} = \frac{N * \Sigma XY - (\Sigma X) * (\Sigma Y)}{\sqrt{[N * \Sigma X^2 - (\Sigma X)^2] * [N * \Sigma Y^2 - (\Sigma Y)^2]}}$$

$$r_{xy} = \frac{9 * 9021148.68 - (-4626.73) * (5821.80)}{\sqrt{[9 * 7170881.49 - (-4626.73)^2] * [9 * 11364203.78 - (5821.80)^2]}}$$

$$r_{xy} = -0,0000000000883772$$

La interpretación de la magnitud del coeficiente de correlación de Pearson se presenta en la siguiente figura:

Cuadro 2	
Rango de valores de $r_{XY}$	Interpretación
$0.00 \leq  r_{XY}  < 0.10$	Correlación nula
$0.10 \leq  r_{XY}  < 0.30$	Correlación débil
$0.30 \leq  r_{XY}  < 0.50$	Correlación moderada
$0.50 \leq  r_{XY}  < 1.00$	Correlación fuerte

Figura 26. Interpretación del coeficiente de Pearson [51]

Si se considera la teoría de una correlación fuerte, es decir  $|r_{xy}|$  cercano a 1, se rechaza H0. Por el contrario, si  $|r_{xy}|$  es cercano a 0 se acepta H0.

En este caso,  $0 < |-0,0000000000883772| < 0.10$ , se decide aceptar H0. Esto significa que los indicadores de factibilidad tienen una correlación baja con la posibilidad de fabricación nacional de bombas de calor. Esta última tiene más relación con factores como los costos de materiales, acceso a herramientas, costos de mano de obra y piezas para fabricación.

### **3.6. Propuesta**

En la actualidad, el subsidio del GLP en Ecuador ha demostrado ser de carácter cuasipermanente, al no sufrir cambios en focalización para que se asegure que el incentivo económico llegue exclusivamente a aquellos que lo necesitan, ni se observan controles rigurosos con respecto a emisión de gases contaminantes o de contrabando de cilindros.

Si bien la demanda del GLP para el calentamiento de agua no ha hecho más que aumentar debido al crecimiento poblacional, también puede serle atribuida la dificultad que significa acceder a otras tecnologías que pueden ser tanto más eficientes como más limpias. Esta dificultad radica especialmente en el precio y en el beneficio económico que significa para las familias. No solo el costo del cilindro del GLP es muy bajo, sino que el costo para obtener una tecnología alternativa que no se fabrica en el país es mayúsculo.

Por tanto, se plantea la creación de una propuesta que desarrolle un programa de eficiencia energética en el que el gobierno central busque redireccionar los recursos hacia una inversión pública que no solo favorezca la creación de una nueva industria de producción nacional, sino que también incentive a las familias a reemplazar los calentadores de agua sanitaria a gas por bombas de calor de fuente de aire para calentamiento de agua. Esto será posible a través de un plan que se enriquezca de los errores y aciertos experimentados en el Proyecto de Cocción Eficiente, en el cual las cocinas de inducción fueron el enfoque principal. Por último, la propuesta permitirá al país apoyar a la descarbonización del sector residencial en beneficio del medio ambiente. Ésta se detallará en tres etapas:

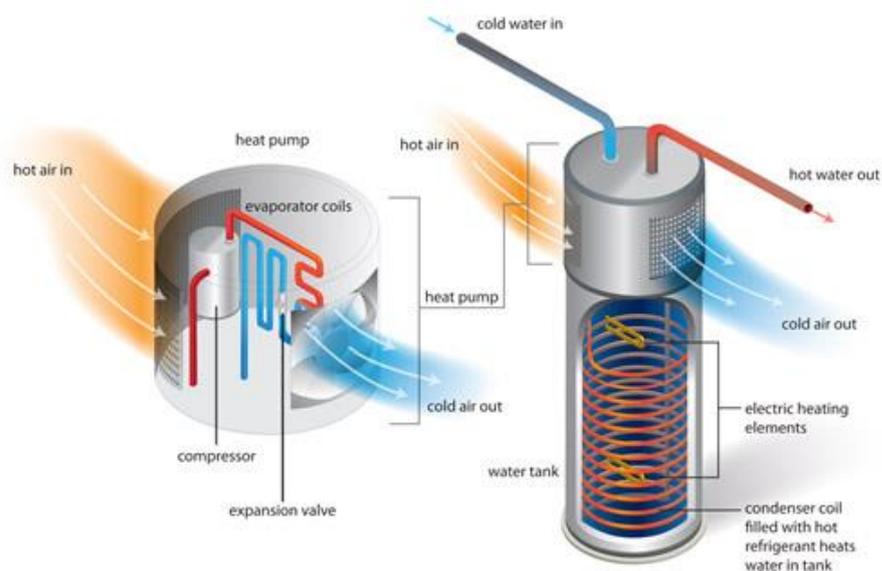
- ***Etapas I***

El programa de eficiencia energética para calentamiento de agua con bombas de calor en sustitución del GLP en el sector residencial, que en adelante será llamado programa de calentamiento de agua eficiente, constará de una inversión que ofrezca incentivos a las residencias que se acojan al programa y que además permita la compra de bombas de calor que deberán ser, en mayor medida, de producción nacional. Este programa tendrá una duración de diez años, tiempo que permitirá la progresiva disminución del subsidio del GLP. En este tiempo también se realizará el robustecimiento de la red

eléctrica, en la que se incluirán la instalación de acometidas para 220 voltios en los hogares que lo requieran.

El Estado realizará la adquisición de equipos de bombas de calor de fuente de aire para calentamiento de agua con capacidad de 200 litros a través del Sistema Nacional de Contratación Pública en un plazo de 9 a 12 meses. La larga duración del concurso permitirá a la empresa privada del país trabajar en la realización de los proyectos de producción necesarios para la construcción de estos equipos. El diseño y manufactura no son ajenos a la capacidad de los expertos en el país dado que, a través de los últimos años, se han desarrollado tecnologías constructivas de una bomba de calor, ya sea industrial o residencial [18], [19], [52]. Los proyectos técnicos mencionados servirán como fundamentación para establecer las implicaciones de fabricación nacional que serán detalladas a continuación:

### ***Componentes***



*Figura 27. Componentes de una bomba de calor aire - agua con tanque reservorio [53]*

### **Serpentines – evaporador y condensador**

Para un tanque de una altura aproximada de 1.5 m se requerirán de 20 a 25 metros de tubería de cobre. Es común utilizar un tipo de tubería de  $\frac{3}{8}$ " de diámetro tipo M.

### **Válvula de expansión**

El alivio de presiones idealmente vendrá dado por una válvula de expansión, pero asimismo puede utilizarse un filtro de tubo capilar. Es una opción recomendable una válvula de expansión DANFOSS de serie TN2 [54].

### **Compresor**

El compresor para refrigeración debe tener una potencia de entrada de 0.60 kW aproximadamente según los equipos de 200 litros analizados previamente. Este valor varía según el flujo másico del refrigerante manejado, dato que interviene en el diseño de la bomba de calor. Una opción aceptable es el modelo FSQA058Z48 de FS thermo [55].

### **Tanque reservorio**

El tanque vertical con casquetes toriesféricos de 200 litros puede construirse con acero ASTM A-131 debido a sus propiedades mecánicas y costo reducido, según recomendaciones de los proyectos técnicos mencionados. También requiere de recubrimiento epóxico que evite el desgaste del tanque y posterior contaminación del agua.

### **Termómetro**

El sensor de temperatura permite controlar el compresor según se requiera.

### **Ventilador**

Es recomendado utilizar un ventilador de 10 W, elemento que proporcionará el flujo de aire necesario para el funcionamiento de la bomba de calor.

### **Aislante térmico**

Para aislar al tanque reservorio de la temperatura ambiente se puede utilizar un recubrimiento de poliuretano; otra alternativa a emplear es la fibra de vidrio.

### ***Construcción y montaje***

En la siguiente figura se expone un diagrama de proceso de producción de una bomba de calor aire – agua:

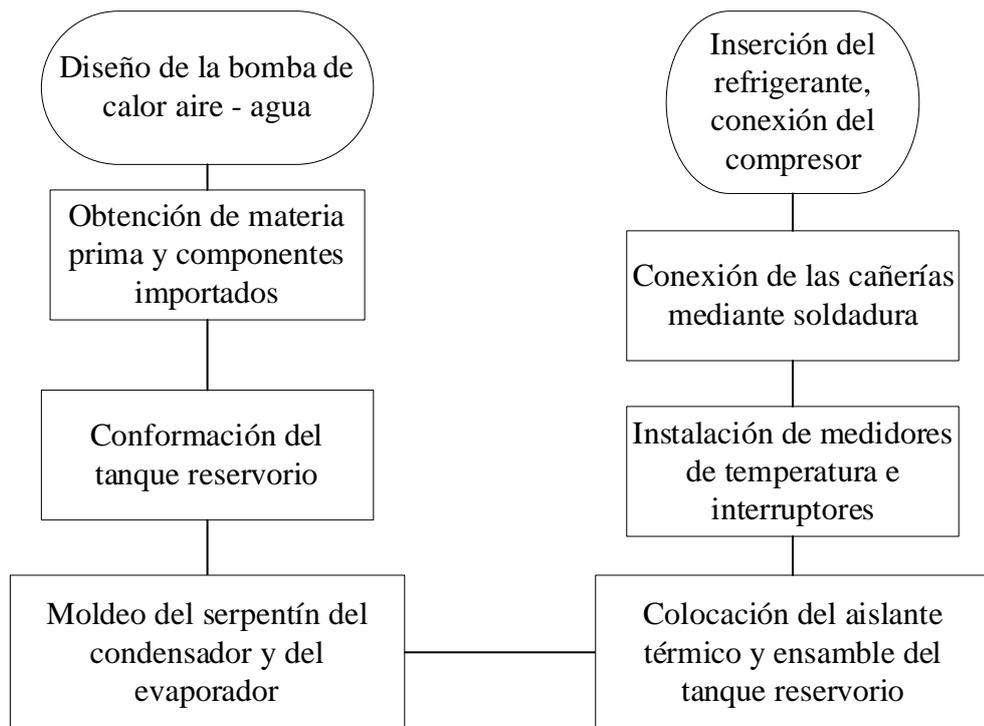


Figura 28. Diagrama de proceso de fabricación de una bomba de calor

Se muestra un esquema que ejemplifica el montaje de una bomba de calor aire – agua:

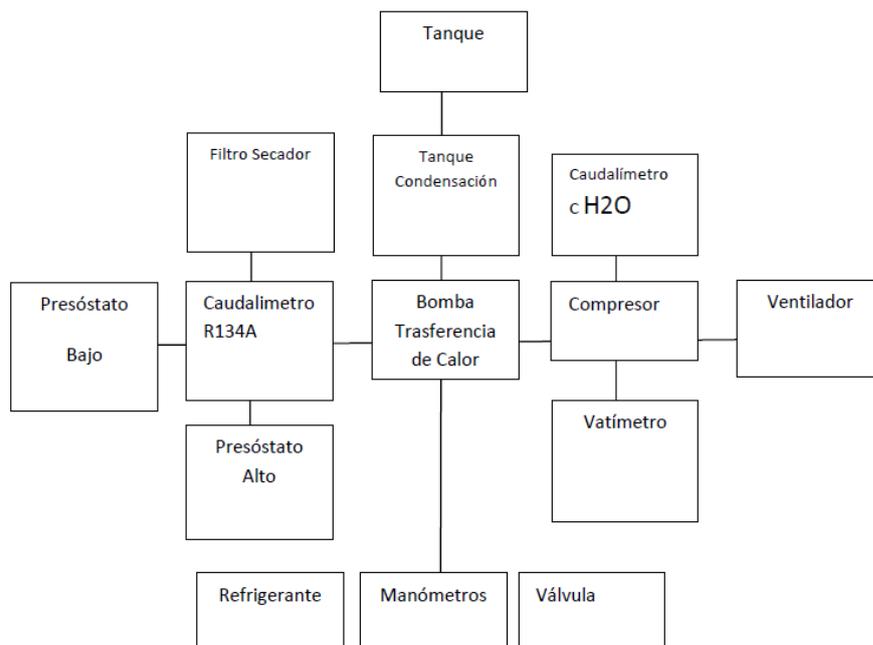


Figura 29. Diagrama de montaje de elementos y componentes [52]

### ***Instalación del equipo y mantenimiento***

En la instalación de las bombas de calor se pueden presentar consideraciones como la conexión de tuberías de agua caliente y fría, ventilación, eliminación de los condensados de humedad del ambiente y disponibilidad de la potencia eléctrica a suministrar [56], [57]. Si bien los tanques pueden ocupar un espacio vertical significativo, pueden adecuarse en una esquina de un cuarto caliente que no esté privado de la circulación del aire. Las bombas de calor de este tipo requieren de una conexión de 220 V - 240 V, lo que significa un costo adicional para las modificaciones eléctricas necesarias. Considerando que el Estado junto con las corporaciones eléctricas del país se harán cargo de rubros de transformación y acometidas eléctricas, el costo de instalación se resume a la conexión de tuberías y la eliminación de los condensados de humedad. Este trabajo de plomería alcanza entre \$50 a \$100.

El mantenimiento de las bombas de calor para calentamiento de agua es un procedimiento simple que puede ser realizado por el usuario. Es necesario limpiar la línea de eliminación del condensado al menos una vez al año para evitar obstrucciones, además se deben limpiar los filtros. Por último, se debe vaciar el tanque por lo menos una vez al año para evitar sedimentos. En definitiva, el mantenimiento no tendrá ningún costo a menos que se deba reemplazar algún componente (como el cableado eléctrico o la línea de eliminación de condensado) o si la presión del refrigerante se ha reducido, lo que significaría recargar el sistema entero [58].

### ***Costo***

*Tabla 34. Costos de materiales para fabricación de una bomba de calor*

	<b>Costo en \$</b>
Tubería de cobre de 3/8"	\$70
Válvula de expansión/filtro capilar	\$30
Compresor	\$100
Planchas de acero ASTM A-131 (1.5 m x 1.88 m)	\$70
Plancha de tol galvanizado	\$30
Sensor de temperatura	\$30
Ventilador	\$15
Aislante térmico	\$20
Costos de construcción	\$100
Refrigerante	\$30
Válvulas, filtros, soldadura	\$50
<i>Total</i>	\$545

En base a los proyectos técnicos revisados, el costo de producción de una bomba de calor aire - agua ronda los \$500. Si bien los costos van a aumentar debido a la necesidad de mano de obra, diseño profesional del prototipo y costos indirectos, la propuesta presente cuenta con que la empresa privada establezca un modelo de negocio en el que se instaure la producción en masa. Esto reducirá los costos de materia prima, de diseño de la máquina, de construcción de los componentes y de mano de obra. En resumen, se prevé que la producción nacional establezca un costo accesible de los equipos, cercano a los \$500.

El número de equipos que el Estado adquirirá serán 4,9 millones, valor similar al de los abonados por tarifa eléctrica en todo el Ecuador; estos se venderán e instalarán a través de las corporaciones de electricidad del país. Sin embargo, el 40% será instalado gratuitamente en función del número de personas afiliadas al bono de desarrollo humano [59]. Toda la población general se verá beneficiada por el precio accesible de compra de los equipos gracias a la instauración de la fabricación nacional, además de un financiamiento flexible que deberá ser ofertado por las empresas eléctricas que venderán los equipos. El principal beneficiario será el Estado. El ahorro que signifique para éste se calculará en las siguientes etapas.

- ***Etapas II***

En la investigación de Copara D. [8], los agentes ECU 3 y ECU 4 se establecen como grupos representativos de cierto tipo de estrato social. Estos son de interés debido a que, en las proyecciones calculadas en la investigación mencionada, estos son posibles usuarios de bombas de calor en el futuro.

Para la determinación de esos agentes, Copara D. realizó encuestas a muestras representativas de la población en las que se recabó, de entre otras cuestiones, información sobre la utilización de energías para el calentamiento de agua y cocción de alimentos. Esta información es confiable y servirá de base para la determinación del costo del subsidio del gas destinado particularmente al calentamiento de agua por calentadores a GLP. A continuación, se explican las preguntas de la encuesta que se encontraron relevantes para el cálculo.

La pregunta 5 otorga información sobre el número de familiares que viven en el hogar. La pregunta 15 trata sobre los equipos utilizados para calentamiento de agua. La

pregunta 16 trata sobre los equipos utilizados para cocción. A partir de estos datos, se obtendrá información para el uso del GLP tanto para cocción como para agua caliente sanitaria. Se establecen los resultados:

*Tabla 35. Preferencias de equipos para calentamiento según agentes*

	Número de encuestados	Pregunta 5 Personas por hogar	Pregunta 16		Pregunta 15		
			GLP para cocción		GLP para ACS		
			Cocina de inducción	Estufa de gas	Calefón a gas	Ducha eléctrica	Estufa de gas
ECU 1	97	2 a 3	41	82	42	25	35
ECU 2	252	3 a 4	60	212	106	75	101
ECU 3	414	3 a 4	71	363	108	130	212
ECU 4	517	3 a 4	45	468	91	142	306
ECU 5	220	2 a 4	11	196	14	43	111
		<i>Totales</i>	228	1321	361	415	765
Total por pregunta	1500	1500	1856		2095		

En base a la tabla anterior, se puede registrar el uso del GLP en las residencias según las encuestas:

*Tabla 36. Uso del GLP en las residencias*

	Cocción	ACS	Sumatorio	Porcentaje cocción	Porcentaje ACS
ECU 1	82	77	159	51,572%	48,428%
ECU 2	212	207	419	50,597%	49,403%
ECU 3	363	320	683	53,148%	46,852%
ECU 4	468	397	865	54,104%	45,896%
ECU 5	196	125	321	61,059%	38,941%
Total	1321	1126	2447	53,984%	46,016%

Los agentes ECU 2, ECU 3 y ECU 4 son los más representativos debido a su composición familiar y nivel de ingresos, además de que son quienes más consumen GLP tanto para cocción como para el calentamiento de agua sanitaria. Los porcentajes obtenidos en la Tabla 35, concluyen que el 46% de los cilindros de GLP son dirigidos al calentamiento de agua. Como se observa en la Tabla 12, el Estado ecuatoriano dispuso \$716,94 millones para el subsidio del combustible GLP para el año 2023. Según lo concluido, únicamente el 46% de ese valor fue para el calentamiento de agua, es decir, \$329,79 millones. Este valor que será considerado para el cálculo de la factibilidad del programa de calentamiento de agua eficiente.

- **Etapa III**

En esta etapa se tratará la factibilidad de la ejecución del programa en relación con la inversión que realizará el Estado. Los ingresos se basan en las ventas de los equipos junto con los intereses recaudados, además del ahorro en el subsidio del GLP. Los gastos o egresos se basan en el costo de los equipos y en la fracción del subsidio del combustible GLP para el calentamiento de agua. Previamente se establece el cronograma de instalación por sector de los equipos:

*Tabla 37. Cronograma de instalación de bombas de calor por sector*

	<b>Periodo</b>	<b>Bombas de calor a instalar</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Sectores</b>	<b>Valor</b>
<b>0</b>	AÑO 2024	40,00%	1.960.000	Bono de desarrollo humano	\$ 980.000.000,00
<b>1</b>	AÑO 2025	30,00%	1.470.000	Población general	\$ 735.000.000,00
<b>2</b>	AÑO 2026	20,00%	980.000	Población general	\$ 490.000.000,00
<b>3</b>	AÑO 2027	10,00%	490.000	Población general	\$ 245.000.000,00
<b>4</b>	AÑO 2028		-		-
<b>5</b>	AÑO 2029		-		-
<b>6</b>	AÑO 2030		-		-
<b>7</b>	AÑO 2031		-		-
<b>8</b>	AÑO 2032		-		-
<b>9</b>	AÑO 2033		-		-
<b>10</b>	AÑO 2034		-		-
		<b>100,00%</b>	<b>4.900.000</b>		<b>\$ 2.450.000.000,00</b>

El 60% de los equipos adquiridos serán vendidos por el Estado a través de un financiamiento de tres años, lo cual permitirá recuperar esos valores iniciales de inversión. Se establece la venta de las bombas de calor a la población general:

Tabla 38. Venta de bombas de calor a la población en general y recuperación de la inversión (capital financiado a 36 meses)

	Periodo	Bombas de calor a vender	Cantidad	Capital	Valor a recuperar, año 2025	Valor a recuperar, año 2026	Valor a recuperar, año 2027	Valor a recuperar, año 2028	Valor a recuperar, año 2029
<b>0</b>	AÑO 2024	0,00%	-	-	-	-	-	-	-
<b>1</b>	AÑO 2025	30,00%	1.470.000	\$ 735.000.000,00	\$ 244.999.999,76	\$ 244.999.999,76	\$ 245.000.000,49	-	-
<b>2</b>	AÑO 2026	20,00%	980.000	\$ 490.000.000,00	-	\$ 163.333.333,32	\$ 163.333.333,32	\$ 163.333.333,37	-
<b>3</b>	AÑO 2027	10,00%	490.000	\$ 245.000.000,00	-	-	\$ 81.666.666,67	\$ 81.666.666,67	\$ 81.666.666,67
<b>4</b>	AÑO 2028	0,00%	-	-	-	-	-	-	-
<b>5</b>	AÑO 2029	0,00%	-	-	-	-	-	-	-
<b>6</b>	AÑO 2030	0,00%	-	-	-	-	-	-	-
<b>7</b>	AÑO 2031	0,00%	-	-	-	-	-	-	-
<b>8</b>	AÑO 2032	0,00%	-	-	-	-	-	-	-
<b>9</b>	AÑO 2033	0,00%	-	-	-	-	-	-	-
<b>10</b>	AÑO 2034	0,00%	-	-	-	-	-	-	-
		<b>60,00%</b>	<b>2.940.000</b>	<b>\$ 1.470.000.000,00</b>	<b>\$ 244.999.999,76</b>	<b>\$ 408.333.333,07</b>	<b>\$ 490.000.000,47</b>	<b>\$ 245.000.000,03</b>	<b>\$ 81.666.666,67</b>

Para el capital que el Estado invertirá en la población general se aplicará un interés del 10% anual, el cual le permitirá al Estado esperar una ganancia por la inversión realizada. Se registran las ganancias por intereses:

*Tabla 39. Venta de bombas de calor a la población en general y recuperación de la inversión (intereses sobre el capital financiado al 10% anual)*

	<b>Periodo</b>	<b>Bombas de calor a vender</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Capital</b>	<b>Valor a recuperar, año 2025</b>	<b>Valor a recuperar, año 2026</b>	<b>Valor a recuperar, año 2027</b>	<b>Valor a recuperar, año 2028</b>	<b>Valor a recuperar, año 2029</b>
<b>0</b>	AÑO 2024	0,00%	-	-	-				
<b>1</b>	AÑO 2025	30,00%	1.470.000	\$ 735.000.000,00	\$ 63.550.875,30	\$ 40.404.500,36	\$ 14.834.397,49	-	-
<b>2</b>	AÑO 2026	20,00%	980.000	\$ 490.000.000,00	-	\$ 42.367.250,20	\$ 26.936.333,57	\$ 9.889.598,33	-
<b>3</b>	AÑO 2027	10,00%	490.000	\$ 245.000.000,00	-	-	\$ 21.183.625,10	\$ 13.468.166,79	\$ 4.944.799,16
<b>4</b>	AÑO 2028	0,00%	-		-	-	-	-	-
<b>5</b>	AÑO 2029	0,00%	-		-	-	-	-	-
<b>6</b>	AÑO 2030	0,00%	-		-	-	-	-	-
<b>7</b>	AÑO 2031	0,00%	-		-	-	-	-	-
<b>8</b>	AÑO 2032	0,00%	-		-	-	-	-	-
<b>9</b>	AÑO 2033	0,00%	-		-	-	-	-	-
<b>10</b>	AÑO 2034	0,00%	-		-	-	-	-	-
		<b>60,00%</b>	<b>2.940.000</b>	<b>\$ 1.470.000.000,00</b>	<b>\$ 63.550.875,30</b>	<b>\$ 82.771.750,55</b>	<b>\$ 62.954.356,17</b>	<b>\$ 23.357.765,12</b>	<b>\$ 4.944.799,16</b>

A lo largo de los primeros años del proyecto se hará evidente la reducción del presupuesto necesario para el subsidio del GLP, esto debido a que la disminución de la demanda de los cilindros de este combustible será proporcional al porcentaje de equipos instalados. Se establecen los valores a favor para el Estado en materia de subsidios:

*Tabla 40. Evolución del subsidio al GLP*

	<b>Periodo</b>	<b>Bombas de calor a instalar</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Porcentaje acumulado de equipos</b>	<b>Subsidio GLP</b>	<b>Ahorro</b>
<b>0</b>	AÑO 2024	40,00%	1.960.000	40,00%	\$ 329.792.400,00	-
<b>1</b>	AÑO 2025	30,00%	1.470.000	70,00%	\$ 197.875.440,00	\$ 131.916.960,00
<b>2</b>	AÑO 2026	20,00%	980.000	90,00%	\$ 98.937.720,00	\$ 230.854.680,00
<b>3</b>	AÑO 2027	10,00%	490.000	100,00%	\$ 32.979.240,00	\$ 296.813.160,00
<b>4</b>	AÑO 2028	0,00%	-	100,00%	-	\$ 329.792.400,00
<b>5</b>	AÑO 2029	0,00%	-	100,00%	-	\$ 329.792.400,00
<b>6</b>	AÑO 2030	0,00%	-	100,00%	-	\$ 329.792.400,00
<b>7</b>	AÑO 2031	0,00%	-	100,00%	-	\$ 329.792.400,00
<b>8</b>	AÑO 2032	0,00%	-	100,00%	-	\$ 329.792.400,00
<b>9</b>	AÑO 2033	0,00%	-	100,00%	-	\$ 329.792.400,00
<b>10</b>	AÑO 2034	0,00%	-	100,00%	-	\$ 329.792.400,00
		100,00%	4.900.000		\$ 659.584.800,00	\$ 2.968.131.600,00

Todos los valores establecidos permiten generar un flujo de fondos para el proyecto a lo largo de su duración, se considera la inflación prevista en los cálculos realizados previamente:

Tabla 41. Flujos de efectivo para el programa de calentamiento de agua eficiente

MOVIMIENTO DE FLUJOS PROYECTADOS								ESTADO DE FLUJOS
INGRESOS / BENEFICIOS				GASTOS / PAGOS				
Año	Venta de equipos	Intereses de ventas	Ahorro por subsidio GLP	Total ingresos + % inflación	Inversión en adquisición de bombas de calor	Subsidio GLP	Total gastos + % inflación	INGRESOS - GASTOS
2024	-	-	-	-	980.000.000,00	329.792.400,00	1.355.635.134,00	-1.355.635.134,00
2025	244.999.999,76	63.550.875,30	131.916.960,00	455.884.209,28	735.000.000,00	197.875.440,00	965.526.080,40	-509.641.871,12
2026	408.333.333,07	82.771.750,55	230.854.680,00	747.228.355,35	490.000.000,00	98.937.720,00	609.550.540,20	137.677.815,15
2027	490.000.000,47	62.954.356,17	296.813.160,00	879.509.379,72	245.000.000,00	32.979.240,00	287.708.513,40	591.800.866,32
2028	245.000.000,03	23.357.765,12	329.792.400,00	619.085.420,93	-	-	-	619.085.420,93
2029	81.666.666,67	4.944.799,16	329.792.400,00	430.978.001,14	-	-	-	430.978.001,14
2030		-	329.792.400,00	341.335.134,00	-	-	-	341.335.134,00
2031		-	329.792.400,00	341.335.134,00	-	-	-	341.335.134,00
2032		-	329.792.400,00	341.335.134,00	-	-	-	341.335.134,00
2033		-	329.792.400,00	341.335.134,00	-	-	-	341.335.134,00
2034		-	329.792.400,00	341.335.134,00	-	-	-	341.335.134,00
	<b>\$ 1.470.000.000,00</b>	<b>\$ 237.579.546,30</b>	<b>\$ 2.968.131.600,00</b>	<b>\$ 4.839.361.036,42</b>	<b>\$ 2.450.000.000,00</b>	<b>\$ 659.584.800,00</b>	<b>\$ 3.218.420.268,00</b>	<b>\$ 1.620.940.768,42</b>

Los flujos registrados permiten calcular la TIR y VAN para el proyecto. La TMAR estará compuesta de la tasa de inflación, puesto que los valores del GLP pueden aumentar o disminuir a través de los años; y también comprenderá la tasa pasiva referencial a junio de 2023 [60], la cual representa el costo de oportunidad que tiene el Estado por poseer capital. Se muestran los resultados de la evaluación financiera:

*Tabla 42. Evaluación financiera del programa de calentamiento de agua eficiente*

<b>Periodo</b>	<b>Año</b>	<b>Flujo proyectado</b>	<b>Flujo actualizado</b>	<b>Flujo acumulado</b>
0	2024	-1.355.635.134,00	-1.355.635.134,00	-1.355.635.134,00
1	2025	- 509.641.871,12	- 461.089.180,42	-1.816.724.314,42
2	2026	137.677.815,15	112.694.734,67	-1.704.029.579,75
3	2027	591.800.866,32	438.263.281,82	-1.265.766.297,93
4	2028	619.085.420,93	414.791.546,35	- 850.974.751,58
5	2029	430.978.001,14	261.248.768,84	- 589.725.982,74
6	2030	341.335.134,00	187.197.469,12	- 402.528.513,62
7	2031	341.335.134,00	169.363.493,28	- 233.165.020,34
8	2032	341.335.134,00	153.228.529,16	- 79.936.491,18
9	2033	341.335.134,00	138.630.714,88	58.694.223,70
10	2034	341.335.134,00	125.423.608,87	<b>184.117.832,57</b>
		<b>VAN</b>	<b>184.117.832,57</b>	
		<b>TMAR</b>	<b>10,53%</b>	
		<b>TIR</b>	<b>12,70%</b>	

El VAN es positivo y la TIR resulta mayor a la tasa mínima de rendimiento esperada, por lo tanto, el proyecto es viable. El rendimiento del proyecto puede aumentar según el manejo de los recursos para la inversión inicial, si los directores del programa reducen esos valores, tanto el VAN como la TIR aumentarán. Aun así, los beneficios que genera el programa son diversos, tales como el cambio de la matriz productiva, la optimización de recursos de las carteras de Estado, disminución de las pérdidas por contrabando, reducción de riesgos por mala manipulación de cilindros de GLP, y favorecimiento a la descarbonización en el país.

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. Conclusiones

- Se investigó la factibilidad de la fabricación e instalación de las bombas de calor en Ecuador a través de la identificación de tres equipos a importar para su uso en residencias ocupadas por familias conformadas de tres a cuatro personas de acuerdo a las características de los agentes ECU 3 y ECU 4. Los equipos demuestran ser útiles en las condiciones atmosféricas del país, además de una ser una alternativa de alto interés ecológico. Sin embargo, poseen una viabilidad económica nula debido a los impedimentos de la importación, los cuales son solventados al establecer una industria de fabricación de bombas de calor en el país que garantice un precio accesible.
- Se analizó el aspecto técnico de cada equipo a instalar en las residencias del país a través de cálculos de eficiencia de acuerdo a la temperatura ambiente a la que se expone el evaporador, demostrando una reducción minúscula en cada equipo al ser utilizados en la región Sierra, mientras que en las regiones Costa y Oriente se mantienen los niveles esperados en la capacidad de calentamiento. Por su parte, se estimó el consumo energético de cada equipo considerando el tiempo de uso de más de 2.31 horas para el ítem “BC 1” y 2.25 horas para los ítems “BC 2” y “BC 3”, respectivamente consumirán 1.454 kWh, 1.350 kWh y 1.058 kWh. Con respecto a la fabricación e instalación nacional, se estableció un diagrama de proceso de producción de una bomba de calor en base a los componentes que se pueden fabricar en el país y los que deben ser importados. El diagrama parte desde el diseño mecánico de la máquina, actuando como información preliminar para la creación de un modelo de negocio nacional que produzca e instale estos equipos.
- Se analizó el aspecto económico de cada equipo a instalar en las residencias del país mediante la aplicación de tributos al comercio exterior a los valores individuales de cada equipo, se consideró el arancel AD-Valorem, FODINFA, ICE e IVA; estableciendo así el valor del ítem “BC 1” en \$2069,45, el valor del ítem “BC 2” en \$1732,10, y el valor del ítem “BC 3” en \$2020,25. Además, se determinó el costo anual de la utilización del servicio eléctrico para cada

equipo; para el ítem “BC 1” se requerirán \$197,62, para el ítem “BC 2” se requerirán \$183,50 y para el ítem “BC 3” se requerirán \$143,74. El uso de las bombas de calor reemplazará principalmente al uso de los calentadores a gas, se determinó el costo anual del uso de GLP en \$84 con subsidio y \$405,60 sin subsidio. Con respecto a la fabricación e instalación nacional, se determinó que los valores que más afectan al costo de fabricación del equipo son el trabajo de diseño de profesionales de ingeniería y la necesidad de mano de obra; sin embargo, la producción en masa soluciona este inconveniente, reduciendo así los costos más significativos y aproximando a la realidad un costo de \$500.

- Se determinó la viabilidad de los proyectos mediante la aplicación de los métodos de evaluación económica TIR y VAN. Para el escenario 1 en los tres ítems se observan un TIR inexistente y VAN negativo. Para el escenario 2 del ítem BC 1, se obtuvo un TIR inexistente y VAN negativo; para el escenario 2 de los ítems restantes BC 2 y BC 3, se obtuvo un TIR negativo y un VAN negativo. Únicamente en el escenario 2 se observa la aparición de flujos positivos cerca de los últimos años del proyecto, los cuales resultan ser minúsculos en contraste con los flujos negativos. Por su parte, el programa de eficiencia energética para calentamiento de agua con bombas de calor en sustitución del GLP en el sector residencial resulta ser una inversión viable que asegurará al Estado la optimización de recursos, y a la población general el acceso a una tecnología alternativa más eficiente y amigable con el ambiente.
- Al analizar las causas por las cuales los proyectos de inversión particulares demostraron ser inadmisibles en contexto con la realidad ecuatoriana, se puede ocurrir que la fabricación e instalación de las bombas de calor es posible y, además, beneficiosa tanto para el medio ambiente como para el gobierno. Asimismo, crea la oportunidad para establecer una industria de producción nueva. Si se estableciera una industria de producción de bombas de calor de fuente de aire para calentamiento de agua sanitaria en las residencias, se eliminarían los costos para bienes importados considerados en las inversiones propuestas anteriormente. Además, si el valor del cilindro de GLP aumentara debido a recortes en los subsidios provistos por el gobierno ecuatoriano, se dispararían las probabilidades de la viabilidad de la instalación de bombas de calor en el país gracias al incremento de los valores a favor en las proyecciones

de efectivo vistas en el escenario 2 de cada evaluación financiera. Ésta última circunstancia puede llegar a ser de sumo interés para el gobierno si se llegan a incentivar programas para la descarbonización en el país pues, como se mencionó previamente, el sector residencial es el mayor consumidor de GLP y, por tanto, también es el mayor emisor de gases de efecto invernadero generados por este combustible.

#### **4.2. Recomendaciones**

- Realizar estudios que comparen la viabilidad de uso de paneles solares con el uso de bombas de calor en el país, tanto técnica como económicamente.
- Fomentar proyectos de diseño de bombas de calor de fuente de aire para calentamiento de agua en las universidades del país. Esto con motivo de impulsar la fabricación en serie de estos equipos en Ecuador.
- Una vez instalados los equipos de bombas de calor en las residencias del país, se deben realizar estudios para determinar el coeficiente de rendimiento estacional, SCOP, métrica que evaluará el rendimiento a lo largo de un año de funcionamiento en una región específica.
- El Gobierno Central es responsable de estructurar iniciativas para el uso de energías limpias, por tanto, se recomienda la creación de programas que faciliten la adquisición de estas tecnologías a las familias ecuatorianas a través de incentivos de gobierno. Un programa de esta índole no representaría un gasto, sino una focalización de recursos que permitiría reducir progresivamente los subsidios enfocados al GLP.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] F. M. Tello-Oquendo, B. A. López-Romero, D. C. Vásquez-Núñez, y G. E. Miño-Cascante, “Rendimiento de bombas de calor con ciclo de compresión de simple etapa y ciclo de compresión de doble etapa con inyección de vapor para producción de agua caliente sanitaria”, *Inf. Tecnológica*, vol. 33, núm. 1, pp. 215–224, feb. 2022, doi: 10.4067/S0718-07642022000100215.
- [2] W. Quitiaquez *et al.*, “Análisis del rendimiento termodinámico de una bomba de calor asistida por energía solar utilizando un condensador con recirculación”, *Rev. Téc. Energ.*, vol. 16, núm. 2, Art. núm. 2, ene. 2020, doi: 10.37116/revistaenergia.v16.n2.2020.358.
- [3] H. Yousefi, H. Ármannsson, S. Roumi, S. Tabasi, H. Mansoori, y M. Hosseinzadeh, “Feasibility study and economical evaluations of geothermal heat pumps in Iran”, *Geothermics*, vol. 72, pp. 64–73, mar. 2018, doi: 10.1016/j.geothermics.2017.10.017.
- [4] E. Kinab, D. Marchio, P. Rivière, y A. Zoughaib, “Reversible heat pump model for seasonal performance optimization”, *Energy Build.*, vol. 42, núm. 12, pp. 2269–2280, dic. 2010, doi: 10.1016/j.enbuild.2010.07.007.
- [5] “Heat Pumps – Analysis - IEA”. <https://www.iea.org/reports/heat-pumps>
- [6] K.-M. Adamson *et al.*, “High-temperature and transcritical heat pump cycles and advancements: A review”, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 167, p. 112798, oct. 2022, doi: 10.1016/j.rser.2022.112798.
- [7] Y. Cengel y M. Boles, *Termodinámica*, Séptima edición. New York: McGraw-Hill, 2011.
- [8] D. M. Copara Allauca, “Análisis técnico y económico de la descarbonización a largo plazo (2010-2050) del sector residencial del Ecuador, usando datos de los impulsores de demanda de energía a una alta resolución espacial y temporal”, bachelorThesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/34112>
- [9] D. Moya *et al.*, “Caracterización de agentes de consumo energético en el sector residencial del Ecuador basada en una encuesta nacional y en los sistemas de información geográfica para modelamiento de sistemas energéticos”, *Enfoque UTE*, vol. 13, núm. 2, pp. 68–97, jun. 2022, doi: 10.29019/enfoqueute.801.
- [10] I. Jebabli, A. Lahiani, y S. Mefteh-Wali, “Quantile connectedness between CO2 emissions and economic growth in G7 countries”, *Resour. Policy*, vol. 81, p. 103348, mar. 2023, doi: 10.1016/j.resourpol.2023.103348.
- [11] C. Chen, M. Pinar, y T. Stengos, “Renewable energy and CO2 emissions: New evidence with the panel threshold model”, *Renew. Energy*, vol. 194, pp. 117–128, jul. 2022, doi: 10.1016/j.renene.2022.05.095.
- [12] Instituto de Investigación y Geológico y Energético, “Balance Energético Nacional 2021”, IIGE, Quito - Ecuador, jul. 2022. [En línea]. Disponible en: [https://www.recursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2022/08/Balance\\_Energe%CC%81tico\\_Nacional\\_2021-VF\\_opt.pdf](https://www.recursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2022/08/Balance_Energe%CC%81tico_Nacional_2021-VF_opt.pdf)
- [13] “Buildings-related energy demand for heating and share by fuel in the Net Zero Scenario, 2021-2030”, IEA. <https://www.iea.org/reports/heating>
- [14] J. Perko, V. Dugec, D. Topic, D. Sljivac, y Z. Kovac, “Calculation and design of the heat pumps”, en *Proceedings of the 2011 3rd International Youth Conference on Energetics (IYCE)*, jul. 2011, pp. 1–7.

- [15] A. Redko, O. Redko, y R. DiPippo, “2 - Characteristics of low-temperature energy sources for heat pumps”, en *Low-Temperature Energy Systems with Applications of Renewable Energy*, A. Redko, O. Redko, y R. DiPippo, Eds., Academic Press, 2020, pp. 47–86. doi: 10.1016/B978-0-12-816249-1.00002-9.
- [16] A. Redko, O. Redko, y R. DiPippo, “1 - Principles and operation of refrigeration and heat pump systems”, en *Low-Temperature Energy Systems with Applications of Renewable Energy*, A. Redko, O. Redko, y R. DiPippo, Eds., Academic Press, 2020, pp. 1–45. doi: 10.1016/B978-0-12-816249-1.00001-7.
- [17] “How To Find The Best Hybrid Heat Pump Water Heater — December 2022”. <https://carbonswitch.com/heat-pump-water-heater-buyers-guide/>
- [18] S. S. Jurado Carrera y P. D. Espinosa Martínez, “Diseño y construcción de una bomba de calor aire-aire con capacidad de 12000 BTU/h para secado de cacao.”, bachelorThesis, 2019. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/16927>
- [19] M. Alejandro, Z. Soares, y F. L. Santiago, “Análisis, diseño y construcción de una bomba de calor residencial”, bachelorThesis, Quito, 2017. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/6656>
- [20] J. J. Carr, “Chapter 2 - Electrical and Electromagnetic Fundamentals”, en *The Technician’s EMI Handbook*, J. J. Carr, Ed., Woburn: Newnes, 2000, pp. 5–21. doi: 10.1016/B978-075067233-7/50002-8.
- [21] D. M. Martínez, B. W. Ebenhack, y T. P. Wagner, “Chapter 5 - Electric power sector energy efficiency”, en *Energy Efficiency*, D. M. Martínez, B. W. Ebenhack, y T. P. Wagner, Eds., Elsevier, 2019, pp. 129–160. doi: 10.1016/B978-0-12-812111-5.00005-6.
- [22] “DOE Fundamentals Handbook: Thermodynamics, Heat Transfer, and Fluid Flow, Volume 1”, USDOE, Washington, DC (United States), DOE-HDBK-1012/1-92, jun. 1992. [En línea]. Disponible en: <https://www.osti.gov/biblio/7041773>
- [23] C. E. F. Pérez y J. F. Perdomo, “Las Empresas Constructoras: Un Análisis Económico-Financiero”, *Rev. Universo Contábil*, vol. 4, núm. 3, pp. 111–123, 2008.
- [24] “Proforma enviada 2022 (30 de octubre de 2021) – Ministerio de Economía y Finanzas”. <https://www.finanzas.gob.ec/proforma-enviada-2022-30-de-octubre-de-2021/>
- [25] S. S. Velasco, “Subsidios, Permisos Y Condiciones: La Doctrina De Las Condiciones Inconstitucionales En Estados Unidos Y Su Aplicación En Chile”, *Rev. Chil. Derecho*, vol. 36, núm. 1, pp. 115–141, 2009.
- [26] Fabio Carrillo Rodríguez, C. M. Patricia, y A. E. Luis Alberto, *Estructura Matemática para la evaluación de proyectos*. [Place of publication not identified]: CESA-Colegio de Estudios Superiores de Administración, 2019.
- [27] D. M. Hinojoza y E. P. Falcon, “Flujo de caja y tasa de corte para la evaluación de proyectos de inversión”, *Ind. Data*, vol. 8, núm. 2, p. 0, 2005.
- [28] Francisco Eggers, *Economía*. Ituzaingó: Editorial Maipue, 2007. [En línea]. Disponible en: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=nlebk&AN=859039&lang=es&site=ehost-live>
- [29] A. Morales Castro y J. A. Morales Castro, *Planeación financiera*. Grupo Editorial Patria, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://elibro.net/es/lc/uta/titulos/39383>

- [30] M. R. Mete, “VALOR ACTUAL NETO Y TASA DE RETORNO: SU UTILIDAD COMO HERRAMIENTAS PARA EL ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE INVERSIÓN”, *Fides Ratio - Rev. Difus. Cult. Científica Univ. Salle En Boliv.*, vol. 7, núm. 7, pp. 67–85, mar. 2014.
- [31] J. G. A. G., “El uso del valor actual neto y la tasa interna de retorno para la valoración de las decisiones de inversión”, *Actual. Contab. Faces*, vol. 7, núm. 9, pp. 7–17, 2004.
- [32] R. Hernández, C. Fernández, y P. Baptista, *Metodología de la investigación*, Sexta edición. México: McGRAW-HILL, 2014.
- [33] “Heat Pump Manufacturer 200l Water Tank Storage All In One Heat Pump Hot Water Heaters - Buy Heat Pump Manufacturer,Storage Water Heaters,All In One Heat Pump Hot Water Heaters Product on Alibaba.com”. [https://www.alibaba.com/product-detail/Heat-Pump-Manufacturer-200L-Water-Tank\\_1600605051189.html?spm=a2700.7735675.0.0.5df6nb8Cnb8Ck6&s=p](https://www.alibaba.com/product-detail/Heat-Pump-Manufacturer-200L-Water-Tank_1600605051189.html?spm=a2700.7735675.0.0.5df6nb8Cnb8Ck6&s=p)
- [34] “150l All In One Heat Pump Water Heater Household Hot Water Heat Pump For Australia With Saa Certificate - Buy Household Heat Pump,All In One Heat Pump,Hot Water Heat Pump Product on Alibaba.com”. [https://www.alibaba.com/product-detail/Water-Heater-Pump-150L-All-In\\_1600225829049.html?spm=a2700.7735675.0.0.5df6iIfZiIfZMF&s=p](https://www.alibaba.com/product-detail/Water-Heater-Pump-150L-All-In_1600225829049.html?spm=a2700.7735675.0.0.5df6iIfZiIfZMF&s=p)
- [35] “Sunrain Hot Selling 75 Degree Centigrade All In One Heat Pump 200l/250l/300l Air To Water Heat Pump Water Heater - Buy Air To Water Heat Pump Water Heater,All In One Air Source Heat Pump Water Heater,Hybrid Water Heater Air Source Heat Pump Product on Alibaba.com”. [https://www.alibaba.com/product-detail/Sunrain-Hot-Selling-75-Degree-Centigrade\\_1600082889711.html?spm=a2700.7735675.0.0.3b73llgXllgX4g&s=p](https://www.alibaba.com/product-detail/Sunrain-Hot-Selling-75-Degree-Centigrade_1600082889711.html?spm=a2700.7735675.0.0.3b73llgXllgX4g&s=p)
- [36] Dhillon, Parveen, Welch, Drew, Butler, Brian, Horton, W. Travis, y Braun, James E., “Validation of a Load-Based Testing Methodology for Residential Heat Pump Performance Characterization in Heating Mode”, presentado en International Refrigeration and Air Conditioning Conference, en 2524. Purdue University, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://docs.lib.purdue.edu/iracc/2476/>
- [37] “Geografía y clima”. <https://bioweb.bio/faunaweb/amphibiaweb/GeografiaClima/>
- [38] “Pressure controls for heat pumps”. <https://www.danfoss.com/en/service-and-support/case-stories/dcs/pressure-controls-for-heat-pumps/>
- [39] F. Bartyzel, T. Wegiel, M. Koziń-Woźniak, y M. Czamara, “Numerical Simulation of Operating Parameters of the Ground Source Heat Pump”, *Energies*, vol. 15, núm. 1, Art. núm. 1, ene. 2022, doi: 10.3390/en15010383.
- [40] L. S. Orozco, S. A. Lopez, y O. F. Balseca, “Ahorro de agua y energía en duchas domiciliarias”, *Rev. Espac.*, vol. 40, núm. 14, abr. 2019, [En línea]. Disponible en: <https://www.revistaespacios.com/a19v40n14/19401421.html>
- [41] “Complete Guide: 7 Ways to Save Alibaba Shipping Costs - Supplyia”. <https://www.supplyia.com/save-alibaba-shipping-costs/>
- [42] “Para Importar – Servicio Nacional de Aduana del Ecuador”. <https://www.aduana.gob.ec/para-importar/>
- [43] “Resolución No. 002-2023”. <https://www.produccion.gob.ec/resoluciones-pleno-comex-2023/>
- [44] “Mecanismo de Deducibilidad – Secretaría Técnica Ecuador Crece Sin Desnutrición Infantil”. <https://www.infancia.gob.ec/mecanismo-de-deducibilidad/>

- [45] “Estadísticas del sector eléctrico ecuatoriano buscar – Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables”. <https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/estadisticas-del-sector-electrico-ecuatoriano-buscar/>
- [46] “Proformas publicadas en el Registro Oficial – Ministerio de Economía y Finanzas”. <https://www.finanzas.gob.ec/proformas-aprobadas/>
- [47] M. Mora y M. Ruiz Cedeño, “Efecto de eliminar subsidio al gas para uso doméstico en el Ecuador”, *RECUS Rev. Electrónica Coop. Univ. Soc. ISSN 2528-8075*, vol. 4, sep. 2020, doi: 10.33936/recus.v4i3.2173.
- [48] “Ejemplo de una tabla de amortización para diferentes créditos”. <https://contenido.bce.fin.ec/home1/economia/tasas/Ejemploti.xlsm>
- [49] Ministerio de economía y finanzas, “Programación Macroeconómica Abril - 2023”. <https://www.finanzas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/04/Informe-completo-Ultima-version-14-04-2023.pdf>
- [50] A. Rustom Jabbaz, *ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA, PROBABILIDAD E INFERENCIA. Una visión conceptual y aplicada*. Departamento de Economía Agraria, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile, 2012. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/120284>
- [51] J. D. Hernández Lalinde *et al.*, “Sobre El Uso Adecuado Del Coeficiente De Correlación De Pearson: Definición, Propiedades Y Suposiciones”, *Arch. Venez. Farmacol. Ter.*, 2018, [En línea]. Disponible en: <https://bonga.unisimon.edu.co/handle/20.500.12442/2469>
- [52] J. F. Salazar Daza y L. S. Isch Pérez, “Ingeniería conceptual, básica y de detalle para la construcción de una bomba de calor”, bachelorThesis, QUITO / UIDE / 2013, 2014. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/175>
- [53] “How it Works — Heat Pump Water Heaters (HPWHs)”. [https://www.energystar.gov/products/water\\_heaters/high\\_efficiency\\_electric\\_storage\\_water\\_heaters/how\\_it\\_works](https://www.energystar.gov/products/water_heaters/high_efficiency_electric_storage_water_heaters/how_it_works)
- [54] “Válvula de expansión termostática completa DANFOSS - TN2, R134a, sin MOP, sin boquilla + comprar más barato | FrigoPartners”, *Kaeltetechnikshop*. <https://frigopartners.com/es/detail/da7d5749e9d8cf2f25a38eb8a8e954b2>
- [55] “[Hot Item] LBP R134A DC 24V 600W Micro Rotary Inverter Refrigerator Compressor Mini Freezer”, *Made-in-China.com*. <https://www.made-in-china.com/showroom/d59bc71c573b1bc7/product-detailsdkxSUYjARWg/China-LBP-R134A-DC-24V-600W-Micro-Rotary-Inverter-Refrigerator-Compressor-Mini-Freezer.html>
- [56] E. S. Founder y N. H. Experimenter, “Heat Pump Water Heaters: How Much Does It Cost to Install?”, el 19 de diciembre de 2022. <https://www.attainablehome.com/cost-to-install-a-heat-pump-water-heater/>
- [57] “The Cost of Heat Pump Water Heater Installation”. <https://www.energystar.gov/products/ask-the-experts/what-goes-into-the-cost-of-installing-a-heat-pump-water-heater>
- [58] S. Brothers, “Why Is Heat Pump Water Heater Maintenance Important? | Greensboro”, *Sutton Brothers*, el 18 de agosto de 2021. <https://suttonbros.com/why-is-heat-pump-water-heater-maintenance-important/>
- [59] “ACTUALIZACIÓN DE DATOS DE PERSONAS QUE RECIBEN EL BONO DE DESARROLLO HUMANO SIGUE ACTIVA EN BALCONES DE

SERVICIOS Y PÁGINA WEB – Ministerio de Inclusión Económica y Social”.  
<https://www.inclusion.gob.ec/actualizacion-de-datos-de-personas-que-reciben-el-bono-de-desarrollo-humano-sigue-activa-en-balcones-de-servicios-y-pagina-web/>

[60] “Tasas de Interés - Junio 2023”.  
<https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/SectorMonFin/TasasInteres/TasasVigentes062023.htm>