

Determinación de la viabilidad técnica y económica de un sistema de
aire acondicionado soportado por refrigeración solar por absorción para el Hotel
Berdez en el municipio de Neiva, Colombia.

Brayan Yesid Bernal Merchán

Silvana Tovar Correa

Universidad Santo Tomás

Facultad de Ingeniería Ambiental

Maestría en Tecnologías Limpias

Bogotá D.C. 2023

Determinación de la viabilidad técnica y económica de un sistema de
aire acondicionado soportado por refrigeración solar por absorción para el Hotel
Berdez en el municipio de Neiva, Colombia.

Brayan Yesid Bernal Merchán

Silvana Tovar Correa

Director. Nidia Elena Ortiz Penagos

Magíster en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

Codirector. Johan Alexander Álvarez Berrio

Magíster en Toxicología

Universidad Santo Tomás

Facultad de ingeniería ambiental

Maestría en Tecnologías Limpias

Bogotá D.C. 2023

Resumen

Este proyecto determinó la viabilidad técnica y económica de un sistema de aire acondicionado soportado por refrigeración solar por absorción para el Hotel Berdez en el municipio de Neiva, Colombia mediante el levantamiento de información primaria y secundaria que permitiera caracterizar el hotel y el sistema de aire acondicionado para así proceder al cálculo termodinámico y la determinación del calor de refrigeración del aire a enfriar, además del dimensionamiento del sistema a partir del balance y rendimiento de energía del colector solar. Así mismo, desarrolló una validación económica donde representa la viabilidad del sistema y destaca la eficiencia técnica, competitividad económica y un impacto ambiental positivo, como opción sostenible para la refrigeración.

Palabras claves: balance energético, calor de refrigeración, refrigeración solar, rendimiento energético.

Abstract

This project determines the technical and economic feasibility of an air conditioning system supported by solar cooling by absorption for the Hotel Berdez in the municipality of Neiva, Colombia; by collecting primary and secondary information that would allow characterizing the hotel and the air conditioning system in order to proceed with the thermodynamic calculation and the determination of the cooling heat of the air to be cooled; In addition to the dimensioning of the system from the balance and energy performance of the solar collector. Likewise, an economic validation is developed where it represents the viability of the system and highlights the technical efficiency, economic competitiveness, and a positive environmental impact, as a sustainable option for refrigeration.

Keywords: cooling heat, energy balance, energy efficiency, solar cooling.

Índice de ecuaciones

Ecuación 1 Promedio de habitaciones ocupadas al mes:	28
Ecuación 2 Costo de consumo por habitación mensual:	28
Ecuación 3 Consumo diario de energía eléctrica:	29
Ecuación 4 Coeficiente de operación estándar: . ¡Error! Marcador no definido.	
Ecuación 5 Calor de refrigeración:.....	32
Ecuación 6 Coeficiente de funcionamiento adimensional:.....	33
Ecuación 7 Coeficiente de diseño:.....	34
Ecuación 8 Energía promedio diaria consumida en una habitación:	34
Ecuación 9 Calor de refrigeración:.....	34
Ecuación 10 Coeficiente de operación:	35
Ecuación 11 Calor requerido por el sistema:	36
Ecuación 12 Q Agua colector solar:.....	38
Ecuación 13 Calor del generador:	39
Ecuación 14 Despeje caudal de agua requerido:	39
Ecuación 15 Ley Fourier:	40
Ecuación 16 Calor perdido en el ambiente:	41
Ecuación 17 Espesor de aislante:.....	42
Ecuación 18 Rendimiento colector solar:.....	43
Ecuación 19 Ecuación de una recta en términos de n:.....	44
Ecuación 20 Rendimiento colector A:	45
Ecuación 21 Rendimiento colector B:	45

Lista de tablas

Tabla 1 Normativa de los sistemas de aire acondicionado.....	15
Tabla 2 Comportamiento del año 2022 de la energía eléctrica.	26
Tabla 3 Liquidación del consumo hotel Berdez Neiva.	29
Tabla 4 Recomendaciones de fabricante de BTU	37
Tabla 5 Presupuesto y Costos Operativos	48
Tabla 6 Costos operativos.	49

Lista de ilustraciones

Ilustración 1 Guía de frío solar	10
Ilustración 2 Sistema de refrigeración solar por absorción por amoníaco-agua.	13
Ilustración 3 Municipio de Neiva.	17
Ilustración 4 Promedio mensual de radiación global en el municipio de Neiva 2015.	25
Ilustración 5 Marcha anual de la temperatura máxima, media y mínima en el municipio de Neiva.	30
Ilustración 6 Ciclo de refrigeración por compresión de vapor.	32
Ilustración 7 Balance de energía en el ciclo de refrigeración por absorción con NH ₃ -H ₂ O	35
Ilustración 8 Ciclo de refrigeración por absorción.	38
Ilustración 9 Tanque de acumulación de calor con aislamiento.	41
Ilustración 10 Colector solar.	43
Ilustración 11 Simulación de rendimiento de los captadores.	44
Ilustración 12 Rendimiento de los modelos de captadores.	45
Ilustración 13 Porcentaje de ahorro de emisiones.	52
Ilustración 15 Viabilidad financiera.	54
Ilustración 18 Flujo de Caja Anuales.	56
Ilustración 20 Parámetros generales de la inversión.	58

Lista De Abreviaciones, Acrónimos Y Unidades

	Termino
°C	Grados Centígrado
BECO	Balance Energético Colombiano
BTU	British thermal unit
CEL	Certificados de Energías Limpias
cm	Centímetros
CO2	Dióxido de Carbono
COP	Pesos Colombianos
EE	Energía Eléctrica
FENOGE	Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía
H2O	Agua
HVAC	Heating, ventilation and air conditioning
Kg	Kilogramo
KJ	Kilo joule
KW	Kilovatio
KWH	Kilovatio Hora
L	Litro
m2	Metro Cuadrado
m3	Metro cubico
mm	Milímetros
NH3	Amoniaco
NTC	Norma Técnica Colombiana
s	Segundos
TIR	Tasa Interna de Retorno
UPME	Unidad de Planeación Minero-Energética
VAN	Valor Actual Neto

Resumen.....	I
Abstract.....	II
Índice de ecuaciones	III
Lista de tablas.....	IV
Lista de ilustraciones	V
Lista De Abreviaciones, Acrónimos Y Unidades.....	VI
1. Introducción.....	1
2. Objetivos	5
2.1. Objetivo General.....	5
2.2. Objetivos Específicos	5
3. Estado Del Arte	6
4. Marco Teórico	9
4.1. Marco Conceptual	9
4.1.1. Energía Solar Térmica	9
4.1.2. Refrigeración Solar	9
4.1.3. Sistemas De Aire Acondicionado.....	14
4.1.4. Normas Para Sistemas HVAC	15
4.1.5. Propiedades Termodinámicas De Los Sistemas De Refrigeración	16
4.1.6. Trabajo Y Eficiencia Energética Para Producción De Frío	16
4.2. Marco Contextual	17
5. Metodología	20
5.1. Diagnóstico Del Consumo De Energía Eléctrica Del Sistema De Refrigeración.....	20
5.2. Dimensionamiento del sistema de refrigeración solar por absorción ..	21
5.3. Validación de la viabilidad técnica y económica del sistema de refrigeración con energía solar	23
6. Análisis Y Discusión De Resultados	25
6.1. Diagnóstico inicial.....	25
6.2. Cálculo Termodinámico Y Determinación Del Calor De Refrigeración Del Aire A Enfriar	31
6.3. Balance de energía del ciclo de refrigeración por compresión de vapor:	32
6.4. Dimensionamiento del sistema solar térmico	36
6.5. Balance de energía en colector solar:	38
6.6. Rendimiento del colector solar	42
6.7. Validación económica.....	46

7.	Impacto Social Y Humanístico Del Proyecto.....	59
8.	Conclusiones.....	61
9.	Recomendaciones	65
	Bibliografía	66
	Anexos.....	69

1. Introducción

El consumo de energía eléctrica resulta esencial para el desarrollo de gran parte de las actividades humanas y constituye una demanda global significativa (IEA, 2023). Esta energía se obtiene principalmente de combustibles fósiles, una fuente finita con una vida útil limitada antes de que pueda volver a estar disponible para su uso. Por lo tanto, se clasifica como un recurso natural no renovable (INCOMBUSTION, 2016).

Además, se prevé un desafío aún mayor debido al creciente requerimiento energético de una civilización en constante avance, lo que podría resultar en escasez en el suministro eléctrico continuo (IEA, 2023). En el caso de Colombia, al igual que en el panorama mundial, la demanda de electricidad ha aumentado debido al crecimiento económico y poblacional (DNP, 2017). Esto se agrava por el hecho de que la electricidad en Colombia se genera principalmente a partir de fuentes hidroeléctricas y termoeléctricas basadas en combustibles fósiles como el carbón y el gas natural. Sin embargo, la generación hidroeléctrica puede verse afectada por fenómenos climáticos como la sequía, lo que podría reducir la disponibilidad de energía (UPME, 2015). En la matriz energética de Colombia, aproximadamente el 70% proviene de hidroeléctricas, el 21% de fuentes fósiles y el 1% de fuentes renovables (UPME, 2021).

En este contexto, el sector terciario, que incluye subsectores como la administración pública, hospitales, hoteles y comercios, contribuye significativamente tanto al consumo de energía eléctrica como al PIB nacional en Colombia. Según el Balance Energético Colombiano (BECO), el sector

terciario representa el 72% de toda la matriz de consumo energético. Además, en la distribución del consumo final de energía en este sector, el 32% corresponde a la refrigeración, impulsada por dispositivos como refrigeradoras y sistemas de aire acondicionado para el confort térmico (UPME, 2019).

No obstante, surgen problemas relacionados con el confort térmico, donde el consumo mensual puede aumentar debido a fallas, averías o tecnologías obsoletas. La dependencia de fuentes eléctricas tradicionales ha llevado a que los sistemas de aire acondicionado estén entre los mayores consumidores de electricidad en promedio en Colombia (UPME, 2019).

Por otro lado, la variabilidad climática, como las temporadas de lluvias o sequías, resulta en una disminución en la eficiencia del suministro de energía eléctrica convencional (UPME, 2015).

La persistente inestabilidad junto con el alto consumo de energía afecta directamente el precio máximo de oferta. En 2020, para el departamento de Huila donde se encuentra el caso de estudio, la variación de precio por KWH fue de entre \$608 y \$650, indicando un aumento de casi el 10% en el valor promedio (ElectroHuila, 2022). Para febrero de 2022, el precio estimado por KWH era de alrededor de \$740. Este aumento se atribuyó a eventos climáticos secos en verano que tensionaron los recursos hídricos del país, lo que resalta la necesidad de sistemas de generación de energía alternativos para mitigar los impactos ambientales y económicos.

Con un enfoque en la seguridad energética, se vuelve imperativo contar con una red de suministro estable para garantizar un flujo continuo de energía

para los sistemas de refrigeración en las instalaciones, especialmente al considerar la integración de un sistema híbrido con refrigeración solar.

Por lo tanto, en los últimos años, los métodos convencionales de adquisición de energía se han reevaluado para dar cabida a tecnologías alternativas. La energía solar se erige como una alternativa a los combustibles fósiles o a las energías limpias convencionales como la hidroeléctrica. La refrigeración solar por absorción representa una fuente prolífica de energía renovable, utilizando la energía solar para el control del clima a través de paneles solares térmicos. Esta tecnología encuentra aplicación en diversos escenarios, como sistemas de aire acondicionado, edificios, entornos móviles y más (FENERCOM, 2011).

Es entonces, que finalmente con la refrigeración solar por absorción, se busca, en definitiva, cerrar la dependencia del sistema tradicional de aires acondicionados, ligada al consumo de energía eléctrica convencional, buscando como alternativa la energía del sol para el aprovechamiento de las tecnologías limpias.

Para el presente proyecto se tomó la energía solar de forma estratégica, de tal manera que permitiera determinar la viabilidad de una red de climatización, por medio de un sistema de absorción intervenido con energía solar térmica y que estuviese interconectado a la climatización con aire acondicionado ya existente en la edificación del Hotel Berdez.

A través de la ejecución del proyecto, se logró transformar exitosamente el hotel en la capital de Huila, al introducir innovaciones tecnológicas

significativas. Se obtuvo una reducción sustancial en los costos energéticos con la viabilidad técnica y económica que generó un modelo energético eficiente. Esta estrategia permitió disminuir de manera considerable los gastos en los servicios públicos de energía y, al mismo tiempo, logró un rápido retorno de la inversión gracias a la reducción del consumo eléctrico. Además, mediante la adopción de energías renovables y la implementación de prácticas sostenibles, se fortaleció la sostenibilidad ambiental del hotel, generando una diferenciación competitiva, contribuyendo al desarrollo local y asegurando el cumplimiento de regulaciones ambientales. En conjunto, estos logros pueden posicionar al hotel como un líder en innovación y responsabilidad ambiental en su industria.

2. Objetivos

2.1.Objetivo General

Determinar la viabilidad técnica y económica de un sistema de refrigeración con energía solar térmica para un sistema de aires acondicionados proyectado para el hotel Berdez en el municipio de Neiva, Colombia.

2.2.Objetivos Específicos

- Determinar el consumo de energía eléctrica del sistema de refrigeración a través de recopilación de información.
- Dimensionar un sistema de refrigeración solar térmico por absorción por medio de cálculos termodinámicos y energéticos para el hotel Berdez.
- Validar la viabilidad técnica y económica del sistema de refrigeración con energía solar, con base en el presupuesto y variación costo - beneficio.

3. Estado Del Arte

La energía solar es una fuente abundante de obtención de energía, gracias a que su transformación se da por medio de la radiación solar que puede ser transformada a través de diferentes dispositivos ya sea eléctrico o térmico. (MadridSolar, 2006)

Dicha energía proveniente del sol permite tener un sin número de usos, como por ejemplo células solares, refrigeración, etc. Los sistemas de refrigeración solar tienen diferentes métodos de captación como lo son la absorción, adsorción y eyecto compresión. El sistema de refrigeración solar por absorción fue descubierto por primera vez por el Ferdinand Carre y patentada por él en los Estados Unidos de América (EE. UU) en 1860. (Ege Üniversitesi, 2012) Esta tecnología tiene como principio transformar la energía calorífica proveniente del sol, a través, del uso de un líquido que sea posible calentar y el cual por los diferentes equipos como lo son el generador, absorbedor, condensador y evaporador para producir energía eléctrica. (Sanli, 2019)

En este orden de ideas, con el descubrimiento de esta tecnología, para la década de 1920 se llevaron a cabo estudios, desarrollo y ejecución de proyectos resaltando países como Alemania, Italia, Inglaterra, Bélgica, los Países Bajos, Rusia y algunos otros países; desde la década de 1950 en adelante se detuvo el avance y la incursión en esta tecnología debido al uso de compresores sumado al bajo costo de la electricidad. (Özay AKDEMİR, 2001)

Posteriormente, se realizaron evaluaciones sobre el potencial de los sistemas de absorción en diferentes edificios (hoteles, oficinas y residencias) de varias ciudades del mundo, entre ellas en Hong Kong, en el cual, se desarrolló una comparación del desempeño de diferentes tecnologías de refrigeración solar en una zona tropical que tenía muchos parámetros termodinámicos sin definición propia del valor técnico en el lugar.

Por otro lado, una investigación en el sector industrial de Singapur evaluó el potencial de refrigeración por absorción para el año 2050; considerando diferentes escenarios energéticos, en los que se muestra una disminución de la demanda de energía primaria de un 19,5%, además de la disminución del 38,4% de los costos socioeconómicos y del 41,5% de las emisiones de CO₂ en comparación con el escenario habitual pronosticado para en el año 2050 en el país (Ally, 2021); no obstante, se resalta la necesidad de una alta inversión en los sistemas de refrigeración por absorción para alcanzar dichos resultados.

En Colombia, la valoración de tecnologías renovables no convencionales y su implementación en sistemas de refrigeración por absorción o conjuntos híbridos ha sido lenta respecto a otros países como Grecia, Egipto, Irán, Turquía, Portugal, Italia, España, Alemania y Estados Unidos, donde estas aplicaciones han alcanzado buenos resultados en sus análisis técnicos, económicos y ambientales. Varias de ellas, evalúan el desempeño de los sistemas de refrigeración, con simulaciones termodinámicas usando software especializados, modelos termodinámicos, transferencia de calor y herramientas financieras. (Y. Fan, L. Luo, B. Souyri, 2006)

No obstante, acorde con las investigaciones adelantadas, no existen evaluaciones técnicas, económicas y/o ambientales, que muestren el potencial de los sistemas de refrigeración por absorción, ni de sistemas híbridos con métodos que permitan evaluar el potencial de estas tecnologías en las condiciones específicas de Neiva, para así establecer qué tipo de sistema de refrigeración es el más adecuado para el sector hotelero.

4. Marco Teórico

4.1. Marco Conceptual

4.1.1. Energía Solar Térmica

La energía solar térmica tiene su fundamento en la captación de calor que es emitido por el sol, para su aprovechamiento, esto se puede realizar mediante colector o placas, captadores, etc. La cantidad de energía que se pueda llegar a obtener va a tener varios factores de influencia como lo son la superficie de captadores que se tenga, el índice de nubosidad, entre otras. La aplicación de esta energía renovable se clasifica dependiendo su temperatura: Baja, media y alta. (Pina, 2021)

4.1.2. Refrigeración Solar

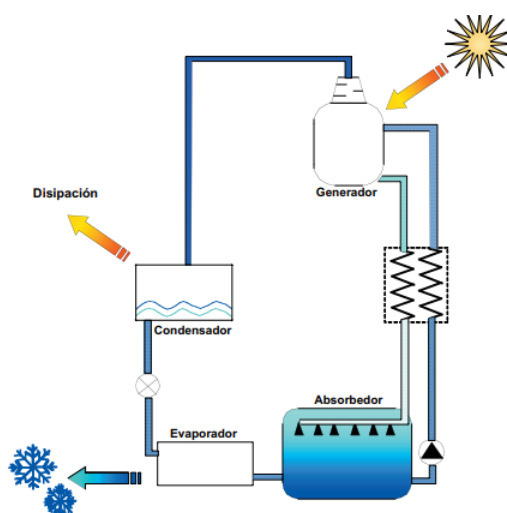
Sistemas de refrigeración fotovoltaicos: Es un proceso que utiliza la energía renovable en el cual permite la climatización de algún ambiente mediante el aprovechamiento de energía solar para generar la climatización por medio de paneles solares. Se puede implementar en diferentes escenarios como por ejemplo aires acondicionados, edificios, ambientes móviles, etc. (FENERCOM, 2011)

Sistemas de refrigeración por absorción: Se rige bajo el principio de absorber las propiedades de una sustancia sobre otra, es decir, se toma una sustancia volátil la cual se comporta como un agente frigorífico y el otro con una volatilidad menor, lo cual permite absorber el refrigerante. Se presenta también por medio de las diferencias que hay en las concentraciones de cada sustancia, dando así una diferencia en las presiones y temperaturas entre estas. El

refrigerante es gradualmente absorbido y liberado a ciertas temperaturas y presiones dependiendo de las fracciones de soluto y solvente en las etapas del ciclo. (Patricio & López, 2016). El ciclo de un sistema de refrigeración por absorción consta de cuatro componentes: evaporador y absorbedor, los cuales se encuentran localizados en el lado de baja presión del sistema; un generador y un condensador los cuales están localizados en el lado de alta presión del sistema.

Funcionamiento: Para la explicación del funcionamiento del ciclo solar por absorción se tomó como base la ilustración 1, donde se detalla los equipos y el orden de los factores para la obtención de energía en este caso convertida en frío.

Ilustración 1 Guía de frío solar



Autor: Tomada de FERCOM.

En un principio, el refrigerante en estado líquido se encuentra ubicado en el condensador a alta presión y este fluye por medio de la válvula de expansión y así reducir la presión existente, hasta llegar a una presión baja en el

evaporador. Debido al calor latente, el refrigerante se evapora gradualmente al absorber este calor y pasa al absorbedor donde se forma una solución.

Gracias a la diferencia de presiones existente ya que la presión del vapor de la solución absorbente refrigerante en el absorbedor es menor que la del vapor refrigerante en el evaporador; el refrigerante es capaz de fluir del evaporador al absorbedor. A medida que el vapor refrigerante del evaporador se disuelve en la solución absorbente, se reduce de igual forma el volumen del refrigerante; el proceso de absorción produce una liberación de energía la cual debe ser descargada a los alrededores por algún medio, por lo general, al mismo depósito utilizado para la descarga del condensador.

En este punto, aumenta la eficiencia del absorbedor debido a que a medida que se reduce la temperatura de la solución absorbente, la temperatura del fluido absorbente debe mantenerse lo más mínima como sea posible, por lo cual se deduce que la eficiencia del absorbedor depende en parte de la temperatura del refrigerante disponible. Una vez el vapor refrigerante es absorbido por la solución absorbente se aumenta la presión del vapor. (Borrero & Jaspe Toro, 1998)

Con el fin de mantener la presión del vapor baja y estable, se necesita que la solución se reconecte continuamente, esto se logra cuando se elimina de manera continua a través de la bomba donde la solución absorbente concentrada del absorbedor recircula por medio del generador y esta hierve un porcentaje

significativo del vapor refrigerante gracias al aporte de calor y la solución diluida que se queda en el generador, la cual fluye hasta el absorbedor por una válvula reguladora.

Aquí, se disminuye la presión de la solución hasta llegar a una igual a la del absorbedor y posteriormente se mezcla con la solución que queda del absorbedor. Por último, en esta fase se agrega vapor frío proveniente del evaporador a la solución líquida. La solución concentrada se enfría, como antes y el ciclo se repite.

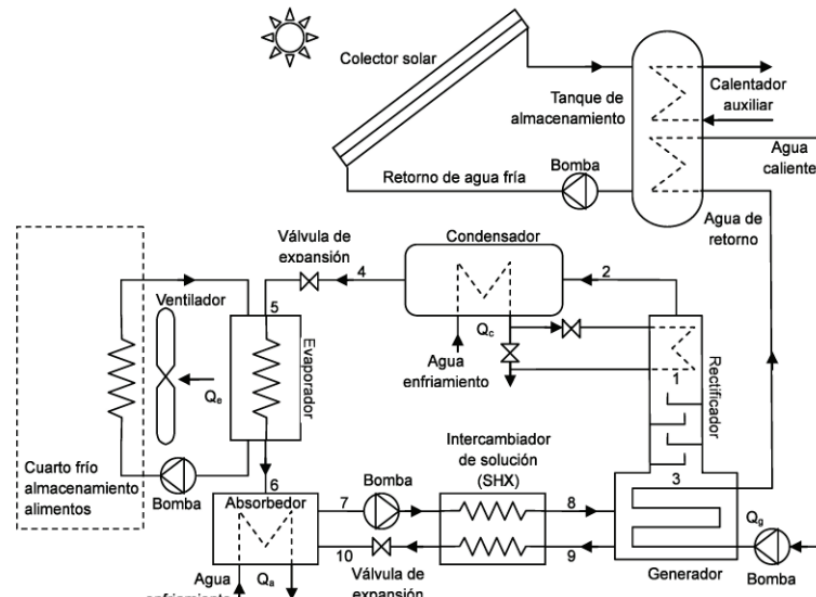
Ciclo de absorción elemental. Se trata del generador por donde sale el refrigerante como vapor saturado, este se encuentra en un estado de temperatura y presión altos; en continuidad, el condensador va cediendo calor al ambiente, atravesando de estado de vapor a líquido saturado y nuevamente a vapor a través de la estrangulación de este en la válvula de laminación. (FENERCOM, 2011)

Refrigerantes de los sistemas de absorción. El ciclo de refrigeración por absorción puede ser operado con una fuente de energía térmica, tal como la energía solar. Este tipo de aplicaciones conlleva a ahorros energéticos y por ende a la protección del medio ambiente. Sin embargo, las aplicaciones tradicionales de los ciclos de refrigeración por absorción son muy restringidas porque no pueden operar a bajas temperaturas de generación, fácilmente alcanzables con la radiación solar térmica. (Isaza & Pilatowsky, 2010)

Termodinámica de la refrigeración Solar. El modelo se basa en balances de materia y energía para cada ciclo y cada elemento, basados en la suposición

para los regímenes permanentes de energía. Las ecuaciones necesarias para la evaluación son necesarias para las propiedades termodinámicas del sistema. (Isaza & Pilatowsky, 2010)

Ilustración 2 Sistema de refrigeración solar por absorción por amoníaco-agua.



Fuente. Isaza & Pilatowsky, 2010

La figura muestra el diagrama esquemático del sistema de refrigeración solar por absorción utilizando una solución de amoníaco-agua. La energía solar es obtenida por medio de un colector y se acumula en el tanque de almacenamiento en forma de agua caliente, que es luego suministrada al generador que es el encargado de sacar el amoníaco que es luego rectificado para como fin aumentar la concentración de vapor, el dispositivo condensa una fracción del absorbente de la mezcla de vapor que devuelve el generador, la mezcla amoníaco-agua se enfría en el condensador y luego pasa por el evaporador donde se evapora de nuevo a baja presión, proporcionando así el

enfriamiento del espacio necesario. mientras tanto la solución fuerte que abandona el generador.

- Frío solar. En primer lugar, la refrigeración debe distinguirse del aire acondicionado. El "enfriamiento" aquí es solo el aspecto de la regulación de la temperatura. "Aire acondicionado" significa el acondicionamiento del aire de la habitación en términos de temperatura del aire, humedad del aire, intercambio de aire y calidad del aire (olores, partículas de polvo, contaminantes) de acuerdo con los requisitos de comodidad. El frío solar es la capacidad de transformación de la energía, en este caso la irradiación solar, por medio de procesos termodinámicos a flujos de frío, aplicados a sistemas de refrigeración como por ejemplo los aires acondicionados, tema en el cual se enfoca este documento. (FENERCOM, 2011)

4.1.3. Sistemas de Aire Acondicionado

El aire acondicionado es un sistema utilizado para controlar la temperatura en un espacio; las ventajas son varias: control de temperatura, control de salida de aire, eliminación de la humedad del ambiente, la circulación y limpieza de aire. El equipo de acondicionamiento de aire se encarga de producir frío o calor y de impulsar el aire tratado a la vivienda o local. Los equipos de acondicionamiento poseen cuatro componentes principales:

- Evaporador
- Compresor
- Condensador

- Válvula de expansión

Los equipos utilizados pueden integrarse con ductos o sin ductos dependiendo de la complejidad del sistema. El consumo de energía de un aire acondicionado aumenta aproximadamente 8% por cada grado menos en la temperatura, por ejemplo: un aire trabajando a 22°C consume 10% más energía que uno trabajando en 23°C todo esto puede afectar la eficiencia energética de estos sistemas por lo que se buscan sistemas que puedan abastecer de energía directa sin necesidad de tomar la energía de la red, caso en el cual la refrigeración solar es una de las opciones con más aplicaciones posibles.

4.1.4. Normas ara Sistemas HVAC

Las normas aplicables a los sistemas de aire acondicionado en el país son las siguientes en cuanto a normativa de ende nacional:

Tabla 1 Normativa de los sistemas de aire acondicionado.

Normativa Nacional	
Nombre	Descripción
NTC 3714	Aire Acondicionado, Acondicionadores de Aire para recintos.
NTC 5183	Ventilación para una calidad aceptable del aire en espacios interiores.
Decreto 4741 de 2005	Prevención de la generación de residuos o desechos peligrosos, así como regular el manejo de los residuos o desechos generados, con el fin de proteger la salud humana y el ambiente.
Ley 697 de 2001	Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones.
NTC 2050	Código Eléctrico Colombiano.
RETIE	Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas.
NTC 4435	Transporte de mercancías, hojas de seguridad para materiales, preparación.
Ley 55 de 1993	Por medio de la cual se aprueba el "Convenio No. 170 y la Recomendación número 177 sobre la Seguridad en la Utilización de los Productos Químicos en el trabajo".

Autoría. Propia

A nivel internacional, se pueden encontrar diversas normativas que se ajustan al funcionamiento de estos sistemas, como la norma ANSI/ASHRAE 62.1-2013. Todas las regulaciones internacionales serán analizadas en pro de garantizar el uso y la implementación adecuados de los sistemas de climatización, según lo indicado por el PNUMA en 2015.

4.1.5. Propiedades Termodinámicas De Los Sistemas De Refrigeración

El ciclo está definido por cuatro procesos fundamentales:

- Expansión
- Vaporización
- Compresión
- Condensación

4.1.6. Trabajo Y Eficiencia Energética Para Producción De Frío

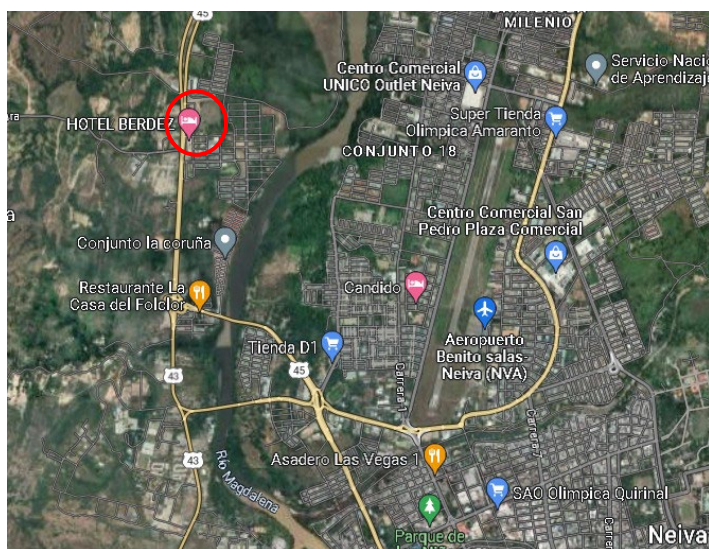
Los sistemas energéticos de mayor demanda en el consumo de energía son los sistemas de refrigeración, por ello, es razonable establecer un control de su operación. Para realizar el control se requiere que el sistema tenga instalado los medios de diagnóstico imprescindibles, con el objetivo de poder medir los parámetros de presión y temperatura en los principales puntos del ciclo térmico. Debido a la amplia gama de capacidades, lo que sigue se refiere a sistemas de mediana y gran capacidad, 30 KW de refrigeración en adelante. No obstante, lo establecido anteriormente, este procedimiento podrá ser aplicado, si es interés

del usuario, hasta un pequeño aire de ventana, siempre y cuando pueda tomar los parámetros básicos que miden el comportamiento del equipo.

4.2. Marco Contextual

El municipio de Neiva se encuentra ubicado en el departamento de Huila, Colombia. Este delimita al norte por los municipios de Aipe y Tello, al sur con los municipios de Rivera, Palermo y Santa María, en el oriente con el departamento de Caquetá y al occidente con el departamento del Tolima. Se caracteriza por ser un relieve montañoso y de valle de la región andina, además de ser atravesado por el río Magdalena y las ceibas entre otros; se extiende por un área de 155300 hectáreas y una población aproximada de 373.129 habitantes. Cuenta con un clima tropical - sabana y con una temperatura de 28 a 30 °C en promedio, no obstante, puede llegar a alcanzar hasta los 42°C; sus temporadas de lluvia son bimodales, las cuales tiene mayor representación en los meses de abril y mayo – noviembre y diciembre. (Alcaldia de Neiva, 2021)

Ilustración 3 Municipio de Neiva.



Fuente. Tomada de Google Maps.

De igual forma el municipio de Neiva ha sido un punto referente de turismo en Colombia gracias a sus activos naturales y culturales, así como ser destacable por sus fiestas San Pedrinas; de igual forma, Neiva, se considera una vía de paso que conecta el resto del sur del país; es por esto por lo que, la oferta en servicios hoteleros es representativa. (Alcaldía de Neiva, 2018)

En cuanto a energías alternativas, en Colombia se ha incursionado para el desarrollo de nuevas tecnologías que satisfagan la demanda interna y se encaminen en el desarrollo del país. (UPME, 2015) Así mismo es el caso del municipio de Neiva, el cual, gracias a su posicionamiento geográfico y sus condiciones ambientales, meteorológicas y climáticas, permiten el óptimo desarrollo de proyectos de energía sostenible. (Cuellar, 2021)

Es así, el ejemplo del hotel Berdez que fue creado y ubicado estratégicamente en las afueras Neiva para garantizar la demanda mencionada. Cuenta con 78 habitaciones, que pueden ser desde individual hasta cuádruple, posee áreas comunes como lo son el lobby, una sala de juntas privada, sala de reuniones, salón de eventos, restaurante y piscina. (Hotel Berdez, 2023)

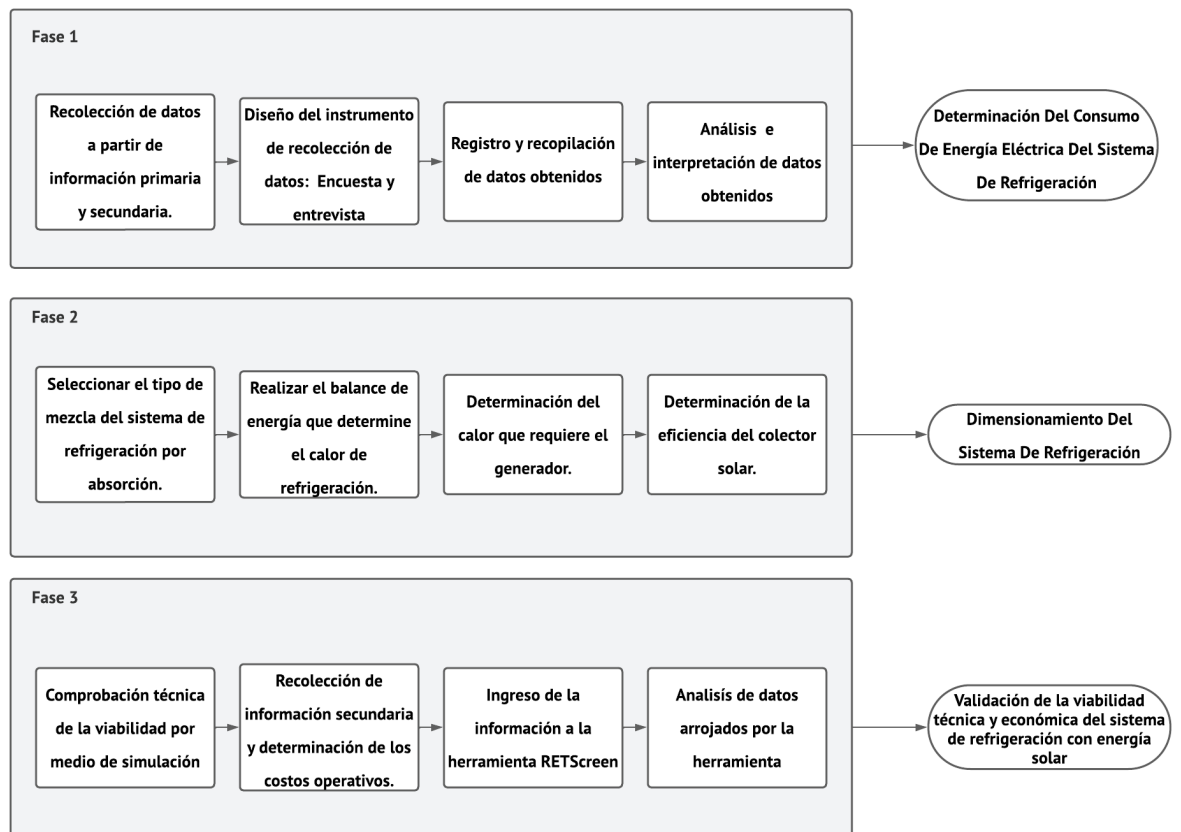
Así mismo, el hotel ha querido implementar alguna tecnología que le permitiese la mejora en cuanto al consumo y gasto de energía eléctrica y poder cumplir con el objetivo de su visión. Es por ello por lo que, la refrigeración solar por absorción es una tecnología propicia para ser desarrollada en el hotel y posible referente regional, debido a que, las determinantes de este municipio como su radiancia, horas de radiación solar entre otras, permiten que el proyecto de determinación de la viabilidad técnica, económica y ambiental de un sistema

de aire acondicionado soportado por refrigeración solar por absorción para el Hotel Berdez en el municipio de Neiva, Colombia.

5. Metodología

La metodología para el desarrollo de este proyecto consta de las siguientes etapas:

Ilustración 4 Diagrama de flujo de actividades para el desarrollo de la metodología



Autoría. Propia

5.1. Determinación Del Consumo De Energía Eléctrica Del Sistema De Refrigeración.

Para el desarrollo del proyecto, en primera instancia se precisó de información relevante acerca del Hotel, para lo cual, se desarrolló una serie de pasos en la recolección de datos primarios. Se seleccionó el método de recolección de datos a partir de información primaria y secundaria tomada en el

hotel respecto a potencia de los sistemas de aire acondicionado, condiciones meteorológicas del lugar, periodicidad de uso de las habitaciones del hotel y de los sistemas de aire acondicionado, entre otros.

Posteriormente, se diseñó el instrumento de recolección de datos: Se utilizó una encuesta y entrevista, para ello se presentó un cuestionario y una charla con el personal del hotel para el caso de estudio. Este incluyó preguntas claras y objetivas, que se encuentra en el anexo 1. De este modo, se realizó la recolección de datos, por medio de un acercamiento inicial con el personal del hotel, que en sus labores diarias podían brindar la información necesaria.

Para así, dar continuidad al registro de los datos, donde se recopilaban y registraron las respuestas obtenidas de manera clara y ordenada. Dando paso al análisis e interpretación de los datos, con la finalidad de responder las preguntas de investigación y desarrollar la fase 2 del proyecto.

Por último, como información secundaria y de manera complementaria, se recopiló información sobre las condiciones climáticas locales de Neiva, en este caso, la temperatura ambiente, radiación solar y la humedad relativa, para así dimensionar el sistema de refrigeración solar en función de estas condiciones.

5.2. Dimensionamiento del sistema de refrigeración solar por absorción

Para el dimensionamiento del sistema de refrigeración fue necesario:

1. Escoger el tipo de mezcla del sistema de refrigeración por absorción; para este caso el refrigerante está compuesto por “agua-amoniaco”; esto con

base en el requerimiento que permite cumplir con las necesidades de abastecimiento del hotel siendo ampliamente utilizado en sistemas de aire acondicionado.

2. Se realizó el balance de energía para determinar el calor de refrigeración que corresponde a la energía retirada al aire ambiente de una habitación representativa del hotel, por medio del sistema actualmente utilizado de refrigeración por compresión de vapor con refrigerante R-410. Este es el mismo calor de refrigeración que debe retirar el sistema de aire acondicionado por absorción con agua – amoníaco accionado con energía solar térmica.

3. Con base en el calor de refrigeración determinado en la fase anterior, se determinó el calor que requiere el generador del sistema solar de refrigeración por absorción, donde se evapora el amoníaco desde la solución donde está mezclado con el agua. Posteriormente, a partir de un balance de energía en el generador, se determinó la masa de agua diaria requerida correspondiente a la cantidad de agua que se calentará en el colector solar térmico y se almacenará en un tanque con aislamiento térmico para disponer del agua caliente en las horas de baja o nula radiación solar. Se determinó el espesor del aislante térmico a partir de fundamentos de transferencia de calor por conducción para cilindros en serie.

4. Por último, se utilizó el simulador para colectores solares “Suelo Solar” para determinar la eficiencia del colector solar que suministre la energía requerida para el calentamiento del agua de almacenamiento a partir de la radiación solar, la temperatura ambiente y la temperatura del agua caliente a obtener dentro del colector solar térmico.

5.3. Validación de la viabilidad técnica y económica del sistema de refrigeración con energía solar

Para la viabilidad técnica, el presente proyecto se centró en la modelación y evaluación de un sistema de refrigeración solar por absorción mediante el uso de software de diseño especializado (RETScreen).

Los resultados obtenidos del software de diseño permiten optimizar el diseño del sistema de refrigeración solar por absorción, identificar posibles mejoras y tomar decisiones informadas para garantizar su eficiencia y desempeño óptimos. En resumen, el uso del software de diseño en este estudio proporcionó una evaluación precisa, para el diseño eficiente del sistema de refrigeración solar por absorción.

En la validación económica fue necesario la recolección de información secundaria, como lo son: Costos iniciales de adquisición e instalación de cada uno de los componentes del sistema de refrigeración solar por absorción. Se debe tener en cuenta que las especificaciones técnicas de los equipos encontrados a nivel nacional y los cuales fueron seleccionados para la ejecución del modelo de detalle, se encuentran registrado en la validación numérica por medio de los cálculos termodinámicos.

Se determinaron los costos operativos, como: mantenimiento, reemplazo de componentes y/o piezas, limpieza del colector solar y otros equipos. Para determinar los posibles ahorros en costos de energía eléctrica al instalar y poner en uso el sistema de refrigeración con energía solar en comparación con el sistema convencional presente, se validaron los costos de mantenimiento iniciales y los beneficios derivados de la reducción del consumo energético y el

pago de la factura de energía eléctrica, en donde estableció el porcentaje del valor que ocupa el consumo de la refrigeración dentro del hotel.

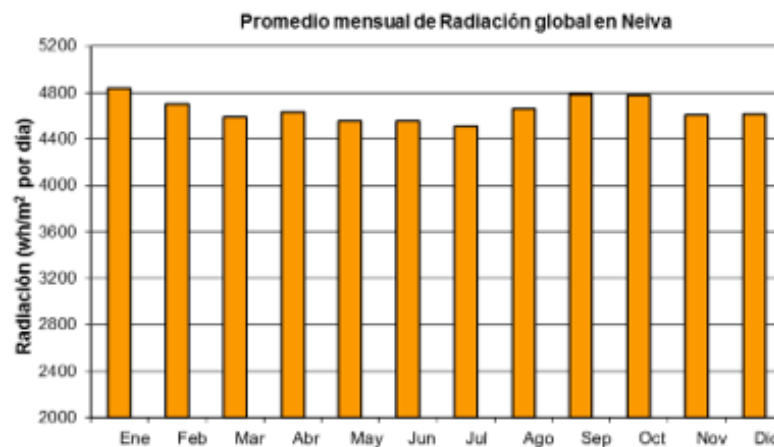
Se recopilaron datos detallados sobre el consumo de energía de la habitación de hotel, incluyendo mediciones del consumo eléctrico para iluminación, equipos electrónicos y acondicionamiento de aire. Además, se obtuvieron datos climáticos específicos de la ubicación del hotel para modelar el comportamiento real de las tecnologías de energía renovable. Utilizando el software RETScreen, se modelaron diferentes escenarios de implementación, variando la capacidad y el diseño de los sistemas solares térmicos. Las simulaciones permitieron evaluar la cantidad de energía generada por cada opción y su contribución al suministro de energía de la habitación de hotel.

6. Análisis y Discusión De Resultados

6.1. Diagnóstico inicial

La información recolectada, permitió determinar valores representativos para el análisis asociado al consumo de energía eléctrica; Neiva es un municipio que, por su alta radiación solar diaria y su temperatura media (Ilustración 4), presenta condiciones favorables para desarrollo del proyecto de energía solar por absorción. De esta forma, se procedió a obtener información secundaria constituida por los antecedentes de proyectos de investigación relacionados con la temática de la eficiencia energética en edificaciones.

Ilustración 5 Promedio mensual de radiación global en el municipio de Neiva 2015.



Fuente. Atlas de Colombia interactivo, IDEAM.

Por otra parte, la información primaria se tomó directamente del hotel Berdez mediante un formato de encuesta (Anexo 1) que contiene preguntas generales para contextualizar sobre los datos generales del hotel y del sistema de aire acondicionado como número de habitaciones, personal, si han

implementado alguna tecnología renovable, la instalación del sistema de aire acondicionado y el tiempo que lleva el sistema instalado.

Mediante el anexo 2, se recopiló información sobre voltaje, el consumo promedio de energía eléctrica, la capacidad instalada, valor de KWH en el hotel. Con la recepción de la información anterior, se procedió a generar la trazabilidad del consumo de energía eléctrica en el hotel, por medio de las facturas (Anexo 2) y la referencia de la empresa Electrohuila, obteniendo el precio (COP) a evaluar y el comportamiento anual de los KWH consumidos en el hotel Berdez:

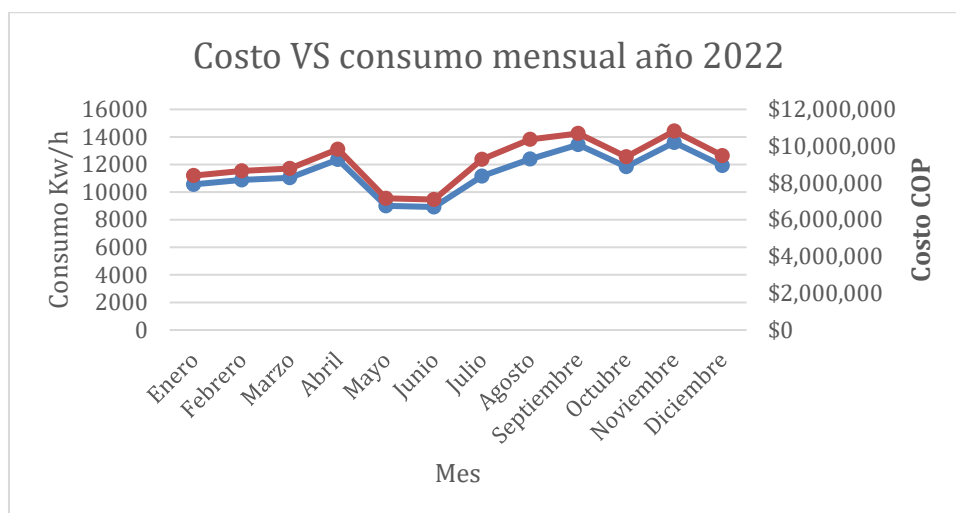
Tabla 2 Comportamiento del año 2022 de la energía eléctrica.

Costo mensual año 2022			
Mes	Consumo kW/h	Costo COP	
Enero	10.560	\$8.401.109	
Febrero	10.880	\$8.655.688	
Marzo	11.040	\$8.782.978	
Abril	12.360	\$9.833.116	
Mayo	9.000	\$7.160.036	
Junio	8.920	\$7.096.391	
Julio	11.160	\$9.283.130	
Agosto	12.400	\$10.368.480	
Septiembre	13.440	\$10.692.321	
Octubre	11.840	\$9.419.425	
Noviembre	13.600	\$10.819.610	
Diciembre	11.920	\$9.483.070	
Promedio	11.426,67	\$9.166.280	\$4.399.814

Fuente: Autoría propia, con base en factura de energía eléctrica del hotel Berdez.

De la misma forma se toman estos datos de manera gráfica para la obtención del comportamiento del año 2022 de los costos mensuales de consumo vs costo energético del hotel Berdez.

Grafica 1 Consumo y costo mensual en kW/h y COP del año 2022.



Fuente: Autoría propia con base en factura de energía eléctrica del hotel Berdez.

El valor de consumo promedio de energía eléctrica en el hotel Berdez es de \$9.166.280 COP; de este modo, para los hoteles en Colombia, existe una identificación del consumo de energía realizada por la UPME en donde se definió:

Grafica 2 Distribución de consumo de energía final – EE, 2019



Fuente. Cálculos Corpoema.

Como se detalla en la gráfica 2, el consumo de la refrigeración está por el orden del 48% sobre el total de la distribución de la energía, que siendo

comparado con el valor promedio de consumo anual en el hotel Berdez, se estableció un valor de consumo de energía para el sistema de refrigeración para aire acondicionado de cuatro millones trescientos noventa y nueve mil ochocientos catorce pesos \$ 4.399.814 COP.

Promedio de habitaciones ocupadas al mes:

$$\begin{aligned} & \frac{\text{Numero de habitaciones} * \text{porcentaje de ocupacion}}{100\%} \quad (1) \\ & = \frac{80 \text{ habitaciones} * 60\% \text{ porcentaje de ocupación mensual}}{100} \\ & = 48 \text{ habitaciones} \end{aligned}$$

Costo de consumo de energía eléctrica por aire acondicionado por habitación mensual:

$$\begin{aligned} & \frac{\text{Consumo de energía por} \\ & \text{refrigeración en aire acond (48\%)} \\ & \text{Promedio de habitaciones} \\ & \text{ocupadas al mes}}{(2)} \\ & = \frac{\$ 4.399.814 \text{ COP/mes}}{48 \text{ habitaciones}} = 91.662 \text{ COP/mes} \end{aligned}$$

El hotel cuenta con 80 habitaciones, pero el porcentaje de ocupación general es del 60%, lo que establece que el consumo es el derivado de 48 habitaciones en promedio, el coste total de consumo por habitaciones es de \$91.662 COP mensualmente, el valor de consumo en KWH será derivado del costo mensual; es definido entonces con el consumo promedio mensual de KWH, como lo muestra la siguiente tabla:

Tabla 3 Consumo de energía eléctrica en el año 2022 del hotel Berdez Neiva

Mes	Consumo KWH	Valor del KWH
Enero	10560	630,48
Febrero	10880	649,58
Marzo	11040	659,13
Abril	12360	737,94
Mayo	9000	537,34
Junio	8920	532,56
Julio	11160	666,30
Agosto	12400	740,33
Septiembre	13440	802,42
Octubre	11840	706,90
Noviembre	13600	811,98
Diciembre	11920	711,67
Promedio	11426,67	682,22

Fuente: Autoría propia base en factura de energía eléctrica del hotel Berdez.

Así entonces, el consumo promedio de una habitación en el hotel es de 114,27 KWH/mes, obteniendo entonces un consumo diario de 3,81 KWH/día. Con esta información se obtiene entonces el valor del consumo promedio de las habitaciones y el punto de partida para dimensionar el sistema de refrigeración solar.

Consumo diario de energía eléctrica por cada habitación:

$$\frac{\text{Consumo promedio mensual de energía del hotel} * 48\% \text{ de consumo para aire acond}}{\text{Promedio de habitaciones ocupadas al mes}} \quad (3)$$

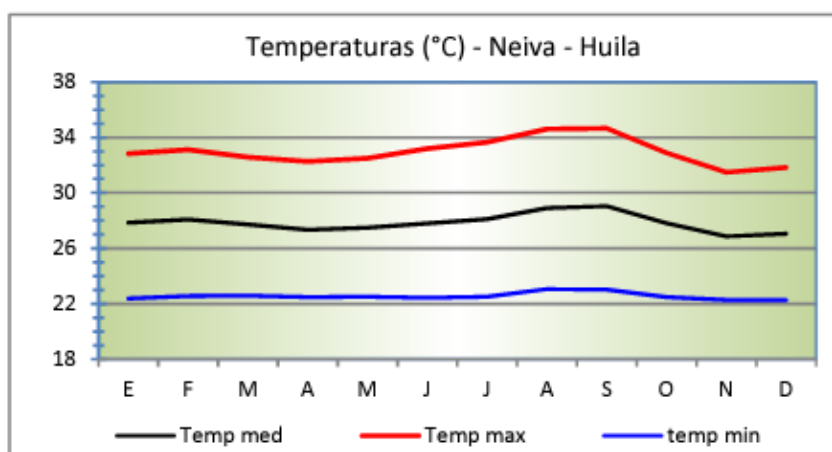
$$= \frac{11.426,67 \text{ KWH} * 48\%}{48} = 114,27 \frac{\text{KWH}}{\text{mes}} * \frac{\text{mes}}{30 \text{ días}}$$

$$= 3,81 \frac{\text{KWH}}{\text{día}} \text{ para cada habitación}$$

Adicionalmente, fue necesario recolectar información técnica secundaria de la zona de influencia del hotel, como son el brillo e irradiación solar; dichos datos fueron base para realizar el dimensionamiento del sistema.

Se dedujo de la ilustración 5, el promedio en un año de irradiación solar es de $4,659 \text{ Wh/m}^2$, lo que indica un buen potencial de incidencia solar en la superficie del municipio de Neiva. Así mismo, se recolectaron datos de temperatura promedio, la cual es un factor relevante para el dimensionamiento del sistema y se obtuvo que mantiene una temperatura promedio entre 26°C y 30°C . Sin embargo, en algunos meses como agosto y septiembre la temperatura máxima del municipio puede llegar hasta los 35°C .

Ilustración 6 Marcha anual de la temperatura máxima, media y mínima en el municipio de Neiva.



Fuente. IDEAM, Atlas interactivo de temperatura.

El promedio de temperatura anual en Neiva es de 28°C con una mínima de 22°C y máxima de hasta 34°C .

6.2. Cálculo Termodinámico y Determinación Del Calor De Refrigeración del aire a Enfriar

Para determinar el calor de refrigeración que corresponde al calor que se requiere retirar del aire ambiente de una habitación, para disminuir la temperatura ambiente de 30°C que es la temperatura promedio dentro de las habitaciones, hasta una temperatura de confort de 15°C, se partió del coeficiente de operación que relaciona el calor de refrigeración con la potencia que requiere el compresor en el ciclo de refrigeración del aire actualmente utilizado de compresión de vapor, mediante las ecuaciones 4 a 6 (Ver Ilustración 6).

$$\beta_1 = \frac{\dot{Q}_f}{\dot{W}_c} \quad (4)$$

Donde:

β_1 : coeficiente de operación o de funcionamiento del ciclo de refrigeración de aire acondicionado utilizado actualmente, adimensional.

$\dot{Q}_f$: calor de refrigeración del aire en W

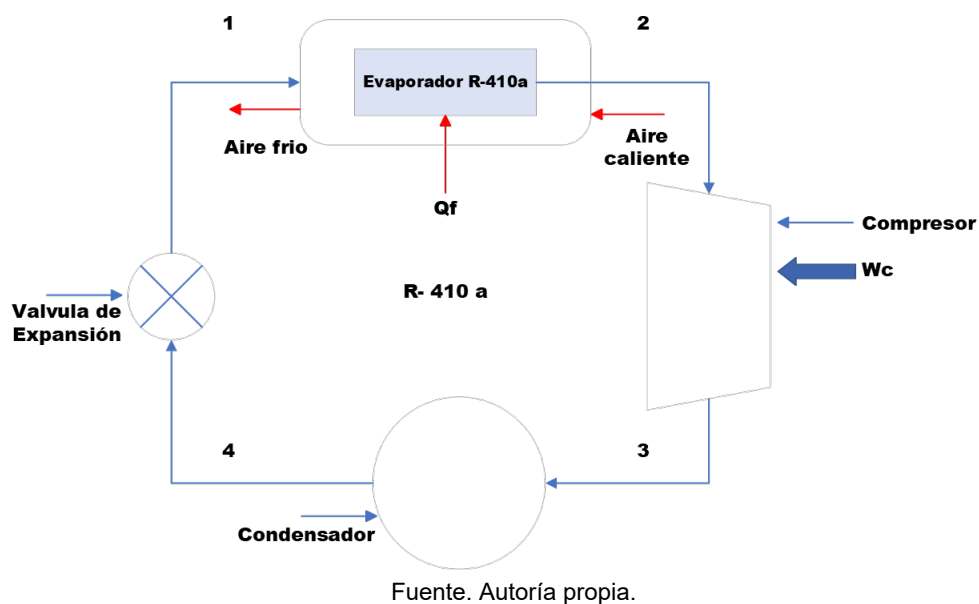
$\dot{W}_c$: potencia que consume el compresor en W

El valor del coeficiente de operación, β_1 , para diseño, depende del refrigerante utilizado. Para el ciclo por compresión de vapor con el refrigerante R-410, se obtuvo de los siguientes datos:

β : Depende del refrigerante usado

Se presenta a continuación el balance de energía del ciclo de refrigeración por compresión de vapor utilizado actualmente, con el fin de determinar el calor de refrigeración del aire que se está enfriando que corresponde al mismo calor de refrigeración del aire del ciclo de refrigeración por absorción. En la ilustración 6, se muestra el ciclo de refrigeración por compresión de vapor.

Ilustración 7 Ciclo de refrigeración por compresión de vapor



6.3. Balance de energía del ciclo de refrigeración por compresión de vapor:

- Balance de energía en el evaporador:

Calor de refrigeración:

$$\dot{Q}_f = \dot{m}_{ref} (h_2 - h_1) \quad (5)$$

Donde:

$\dot{Q}_f$: calor de refrigeración en W. Es el calor cedido por el aire caliente de la habitación que, a su vez, es transferido al refrigerante R-410a.

$\dot{m}_{ref}$: caudal del refrigerante R-410a en m³/s

h_1 : entalpía del R-410a a la entrada al evaporador o enfriador del aire, en KJ/Kg.

h_2 : entalpía del R-410a a la salida del evaporador o enfriador del aire, en KJ/Kg.

El coeficiente de funcionamiento o de operación para diseño del ciclo de refrigeración por compresión de vapor es 2,3. Este parámetro relaciona el calor de refrigeración respecto a la energía consumida por el compresor, mediante la siguiente ecuación:

Coeficiente de funcionamiento adimensional:

$$\beta = \frac{\dot{Q}_f}{\dot{W}_c} \quad (6)$$

Donde:

β : coeficiente de funcionamiento adimensional

$\dot{W}_c$: potencia del compresor en W

β de diseño 2,3

$\dot{W}_c$ corresponde a la energía que se consume actualmente para el sistema de aire acondicionado. Se tomará como base la potencia del compresor del sistema actual de aire acondicionado de una habitación y el tiempo de uso de éste.

Según la ficha técnica del fabricante del sistema de aire acondicionado usado actualmente (ver ficha técnica en Anexo 5), la capacidad de refrigeración es 12.000 BTU y la energía consumida es del 1,5 KWH. Por consiguiente, se

determina el coeficiente de funcionamiento mediante la ecuación 6 que relaciona ambas energías:

Coeficiente de diseño:

$$\beta = \frac{\dot{Q}f}{\dot{W}_c} = \frac{12.000 \text{ BTU}}{1,5 \text{ KWH}} * \frac{1,055 \text{ KJ}}{1 \text{ BTU}} * \frac{1 \text{ KWH}}{3.600 \text{ KJ}} = 2,3 \quad (7)$$

$$\beta \text{ de diseño} = 2,3$$

El coeficiente de operación obtenido de 2,3 coincide con el recomendado para diseño.

Por una parte, a partir del consumo promedio de energía del hotel presentado en la tabla 2, y tomado el 48% de esta energía que corresponde a la que se utiliza para aire acondicionado (ver gráfica 2), y, por otra parte, teniendo en cuenta que se tienen 48 habitaciones ocupadas en promedio, se calcula la energía promedio consumida por el sistema de aire acondicionado de una habitación en la ecuación 8:

Energía promedio diaria consumida en una habitación:

$$\frac{\text{Consumo promedio mensual de energía del hotel} * 48\%}{\text{Promedio de habitaciones ocupadas al mes}} = \frac{11.426,67 \text{ KWH} * 48\%}{48}$$

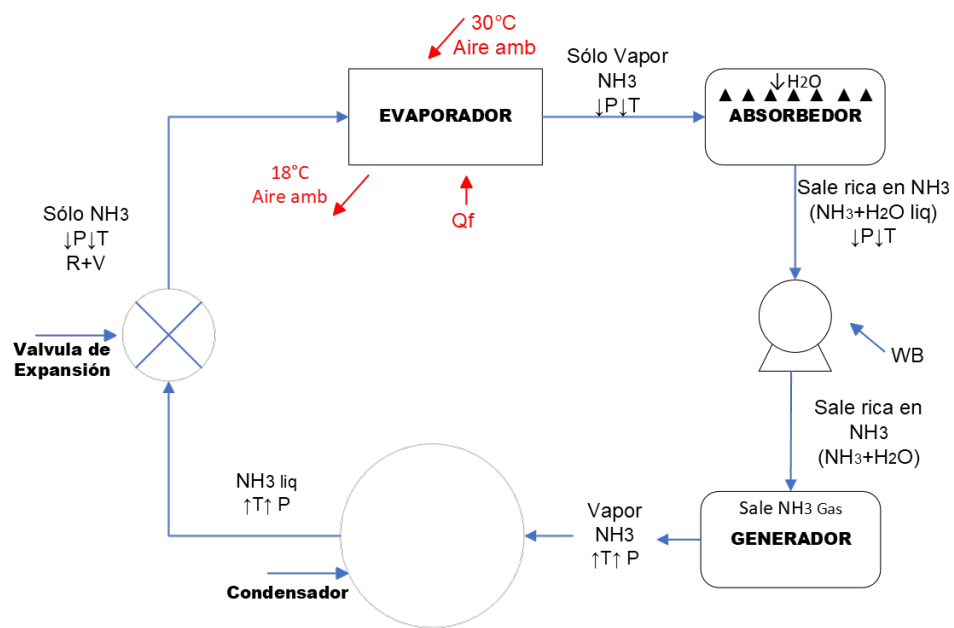
$$= 114,27 \frac{\text{KWH}}{\text{mes}} * \frac{\text{mes}}{30 \text{ días}} = 3,81 \frac{\text{KWH}}{\text{día}} \quad (8)$$

$$\dot{W}_c = 3,81 \frac{\text{KWH}}{\text{día}}$$

A partir de la ecuación 7 y reemplazando el valor de la potencia del compresor, se determina el calor de refrigeración $\dot{Q}f$:

Calor de refrigeración:

$$\dot{Q}f = \beta * \dot{W}_c = 2,3 * 3,81 \frac{\text{KWH}}{\text{día}} = 8,76 \frac{\text{KWH}}{\text{día}} \quad (9)$$

Ilustración 8 Balance de energía en el ciclo de refrigeración por absorción con NH₃-H₂O

Fuente. Autoría propia.

Se puede observar que este ciclo por absorción tiene las mismas 3 unidades de proceso que el ciclo de refrigeración por compresión de vapor, correspondientes al condensador, válvula de expansión y evaporador que es mismo enfriador del aire. Por consiguiente, el compresor del ciclo por compresión de vapor es reemplazado por el generador en el ciclo por absorción como única unidad de consumo de energía, teniendo en cuenta que el consumo de la bomba es despreciable porque sólo aumenta la presión del refrigerante en estado líquido que es prácticamente incompresible.

El coeficiente de operación del ciclo de refrigeración por absorción es la relación entre el calor de refrigeración, $\dot{Q}_f$, y el calor o energía que requiere el generador, $\dot{Q}_G$.

Coeficiente de operación:

$$\beta_2 = \frac{\dot{Q}_f}{\dot{Q}_G} \quad (10)$$

A partir de la ecuación 10, se determina el calor que suministrará el sistema de energía solar térmica al generador.

Calor requerido por el generador del ciclo de absorción con Agua - Amoníaco:

$$\dot{Q}_G = \frac{\dot{Q}_f}{\beta_2} \quad (11)$$

El coeficiente de operación para diseño del ciclo de refrigeración por absorción es 3,37 (Quimobásicos, 2014)

En la ecuación 11 se reemplaza el valor de $\dot{Q}_f$ hallado en la ecuación 9 y el valor de β_2 para hallar el calor requerido por el generador, $\dot{Q}_G$:

$$\dot{Q}_G = \frac{\dot{Q}_f}{\beta_2} = \frac{8,76 \text{ KWH}}{3,37} = 2,6 \frac{\text{KWH}}{\text{día}} \quad (11)$$

6.4. Dimensionamiento del sistema solar térmico

Para dar continuidad con el dimensionamiento del sistema, se tomó como base, el consumo de energía eléctrica por habitación. Para proceder a un cálculo, se tomó una habitación promedio del hotel; en primer lugar, se estableció el área de la habitación. Por lo general las habitaciones del Hotel no son todas de las mismas dimensiones, por lo que, para efectos del cálculo, se tomará una habitación que cuente con las dimensiones promedio del total de las 80 existentes, la cual fue la habitación 201: Dimensiones 6 x 4 x 2,5 m.

De este modo el volumen dentro de la habitación es de 60 m³ (metros cúbicos), las habitaciones cuentan con un aire acondicionado de las siguientes características:

* Aire Acondicionado marca LG

* Con 12000 BTU de capacidad de enfriamiento de aire (ver ficha técnica).

* El consumo de energía de energía eléctrica del Aire Acondicionado es de 1,5 kW/h en promedio según lo establecido en la ficha técnica, también se muestra la recomendación del fabricante en relación con los BTU x el área de la habitación (6 m x 4m).

Tabla 4 Recomendaciones de fabricante de BTU

	Área	BTU	
Zona 2 17 ° - 28°	13 a 20	9000	Pereira, Armenia, Villavicencio, Ibagué, Cali, Tuluá, Medellín, Bucaramanga, Neiva
	20 a 24	12000	
	25 a 30	18000	
	30 a 35	24000	

Autoría. Ficha Técnica Aire Acondicionado LG

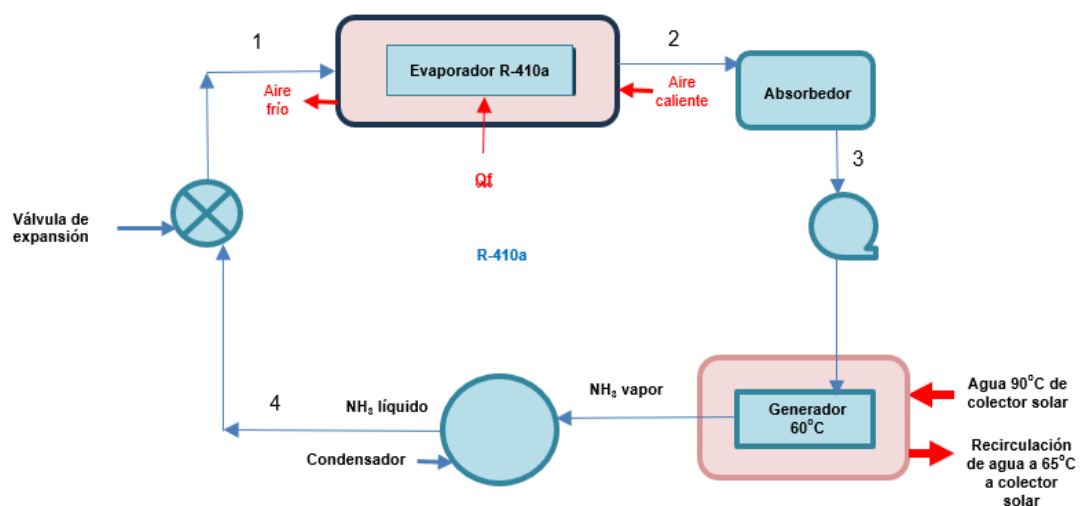
Con el cuadro de consumo del aire acondicionado de la habitación, se realizó la selección del equipo de captación de energía solar que cumpliera con el requerimiento energético.

El generador del sistema de refrigeración por absorción, reemplaza al compresor del sistema de refrigeración por compresión de vapor donde, en ambos sistemas, el refrigerante en estado gaseoso alcanza elevada temperatura para pasar, posteriormente, al condensador donde cambia de estado gaseoso a líquido pero aún conserva alta temperatura; este líquido caliente pasa por la válvula de expansión donde la fuerte caída de presión genera la evaporación de una parte del refrigerante y su drástica pérdida de temperatura siendo la unidad

donde se obtiene el refrigerante a temperatura muy baja capacitándolo para enfriar el fluido de trabajo que en el aire acondicionado del hotel es el aire a 30°C.

Finalmente, el refrigerante a baja temperatura pasa por el evaporador que es la unidad de refrigeración de todo el ciclo donde intercambia calor con el aire enfriándolo a 15°C.

Ilustración 9 Ciclo de refrigeración por absorción



Fuente: Autoría propia.

6.5. Balance de energía en colector solar:

Para mantener la temperatura del generador en 60°C que es un valor representativo de este sistema para aire acondicionado (ASHRAE, 2017) se recirculará agua a 90°C previamente calentada mediante el colector solar térmico.

El calor que suministra el agua líquida proveniente del colector solar se determina por medio de la ecuación 12:

Calor que requiere recibir el Agua en el colector solar:

$$Q_{\text{Agua colector solar}} = m * C_p * \Delta T \quad (12)$$

Donde:

m : caudal de agua del colector solar en Kg/s

C_p : calor específico del agua líquida = 4,184 KJ/(Kg*°C)

ΔT : cambio de la temperatura del agua en el generador en °C

Se determina el caudal requerido de agua del colector solar térmico, por medio de un balance de energía, donde se conoce el calor que requiere el generador, Q_G , y el calor que suministra el agua mediante la ecuación 13. Se utiliza 5% de exceso de calor que suministra el agua de calentamiento proveniente del colector solar, correspondiente a las pérdidas de energía al ambiente a través de las paredes exteriores del generador; por consiguiente, se multiplica por un factor de 1,05.

Calor del generador:

$$Q_G = m * C_p * \Delta T * 1,05 \quad (13)$$

El calor que requiere el generador se determinó en la ecuación 11, correspondiente a 2,6 KWH/día.

De la ecuación anterior, se calcula el caudal requerido de agua del colector solar.

Despeje caudal de agua requerido:

$$m = \frac{Q_G}{C_p * \Delta T * 1,05} \quad (14)$$

$$m = \frac{2,6 \frac{KWH}{día}}{4,184 \frac{KJ}{Kg * °C} * (90 - 65)°C * 1,05} * \frac{3.600 KJ}{1 KWH} = 85,22 \frac{Kg}{día}$$

Por consiguiente, se utilizará un tanque de almacenamiento de 100 L, considerando que la densidad del agua es de aproximadamente 1 Kg/L. Este tanque es cilíndrico de polipropileno de alta densidad y se envuelve en aislamiento térmico de poliuretano expandido. El espesor del aislante para

conservar la temperatura en 90°C, ingresando el agua desde el colector solar térmico a 91°C, se determina a partir de la Ley de Fourier para transferencia de calor por conducción para cilindros en serie de la ecuación 15.

Ley Fourier para cilindros en serie:

$$Q_{\text{perdido ambiente}} = \frac{T_1 - T_3}{\frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi L K_1} + \frac{\ln \frac{r_3}{r_2}}{2\pi L K_2}} \quad (15)$$

Donde:

Q perdido ambiente: pérdidas de calor al ambiente con aislamiento térmico en W

T1: temperatura interior del agua = 90,5°C

T3: temperatura sobre la superficie exterior del aislante = 30°C

r₁: radio interior del tanque en cm

r₂: radio exterior del tanque en cm

r₃: radio exterior del aislante en cm

K1: conductividad térmica del polipropileno de alta densidad 0,24 W/(m*°C)

K2: conductividad térmica del poliuretano expandido = 0,022 W/(m*°C)

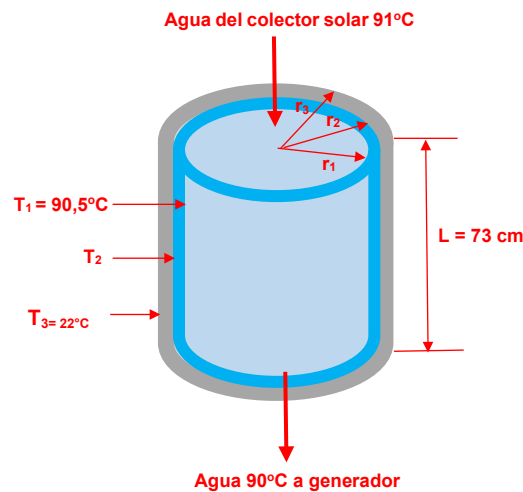
L: altura del tanque en m

Los 2 términos del denominador de la ecuación 15 corresponden a las resistencias térmicas del polipropileno de alta densidad y del poliuretano expandido. Sobre el aislante térmico se coloca un recubrimiento de aluminio térmico de 0,5 mm de espesor cuya resistencia térmica no se tiene en cuenta en la ecuación 15 debido a que es despreciable por tener elevada conductividad térmica, o sea que no se opone al flujo de calor; la función de éste es proteger al

aislante que no puede quedar expuesto al ambiente porque no tiene buena resistencia mecánica y dar un terminado estético.

En la ilustración 9 se muestra un esquema del tanque de acumulación de calor con aislamiento térmico.

Ilustración 10 Tanque de acumulación de calor con aislamiento



Fuente: Autoría propia

La menor temperatura de Neiva en las noches es de 22°C (weather Spark, 2023), por lo que se tomará este valor para T3. Se dimensiona el espesor del aislante del tanque de almacenamiento de agua caliente proveniente del colector solar, de tal manera que sólo pierda 1°C de temperatura a través de éste, de 91°C a 90°C. Por consiguiente, se determina el calor perdido por medio de la ecuación 16.

Calor perdido en el ambiente:

$$Q_{\text{perdido ambiente}} = m * Cp * \Delta T \quad (16)$$

$$Q_{\text{perdido ambiente}} = 85,22 \frac{\text{Kg}}{\text{día}} * 4,184 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} * ^\circ \text{C}} * (91 - 90)^\circ \text{C} = 356,6 \frac{\text{KJ}}{\text{día}}$$

De la ecuación 1 se halla el radio exterior del aislante r_3 . El tanque tiene una altura de 73 cm, radio interno 21 cm y espesor de pared 1 cm. Por consiguiente, el radio 2 es el radio 1 más el espesor de pared del tanque, o sea 22 cm.

Espesor de aislante:

$$\ln \frac{r_3}{r_2} = \left[\frac{T_1 - T_3}{Q \text{ perdido ambiente}} - \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi L K_1} \right] * 2\pi L K_2 \quad (17)$$

Reemplazando valores, se obtiene:

$$\ln \frac{r_3}{r_2} = \left[\frac{(90,5 - 22)^\circ C}{356,6 \frac{KJ}{día}} - \frac{\ln \frac{22 \text{ cm}}{21 \text{ cm}}}{2\pi * 0,73 \text{ m} * 0,24 \frac{W}{m * ^\circ C}} \right] * 2\pi * 0,73 \text{ m} * 0,022 \frac{W}{m * ^\circ C}$$

$$\ln \frac{r_3}{r_2} = 0,01512$$

$$r_3 = 1,0152 * r_2 = 1,0152 * 22 \text{ cm} = 22,335 \text{ cm}$$

$$\text{Espesor del aislante} = r_3 - r_2 = 22,335 \text{ cm} - 22 \text{ cm} = 0,335 \text{ cm}$$

Este es el aislante requerido para mantener la temperatura del agua en 90°C para enviar al generador donde se evapora el amoníaco.

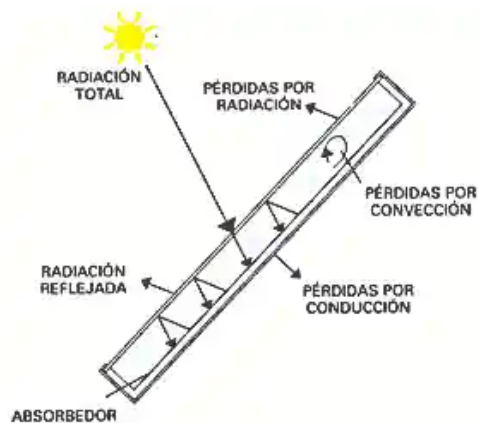
El piso del tanque es la superficie por donde se pierde más calor por estar en contacto directo con el suelo; se sugiere utilizar doble aislamiento. Sin embargo, debido a que el espesor de aislante obtenido para el cuerpo cilíndrico del tanque es relativamente pequeño, se sugiere colocar 2 cm de espesor de aislante en la superficie del piso del tanque.

6.6. Rendimiento del colector solar

Para el cálculo del rendimiento del colector solar se toma la información textual del simulador “Suelo Solar” donde indica que: “La relación se da entre la

totalidad de radiación que se recibe y el aprovechamiento efectivo que se transmite al absorbedor del captador solar constituye la eficiencia. De este modo la conversión de energía radiante del Sol en energía térmica lleva asociada a pérdidas por radiación, convección y conducción que determinan el rendimiento del sistema de captación” (Suelo Solar, 2023).

Ilustración 11 Colector solar.



Autor. Suelo solar

El rendimiento (η) queda determinado por la siguiente diferencia:

Rendimiento colector solar:

$$\eta = \eta_0 - \frac{k_1 \cdot (T_m - T_a)}{I} \quad (18)$$

Donde:

η_0 = rendimiento óptico.

Denominado por los fabricantes como factor de eficiencia, o factor de ganancia o como rendimiento óptico, los catálogos del producto han de informar de sus características.

T_m = temperatura interior del colector (temperatura del agua caliente)

T_a = temperatura exterior (temperatura ambiente)

I = radiación incidente total sobre el colector (W/m^2)

k_1 = factor de corrección por pérdidas térmicas expresado como

$$k_1 = [\text{kg acumulación} / (75 \text{ Sc})] - 0,25$$

También las condiciones técnicas del fabricante deben indicar cuál es el factor de pérdidas o coeficiente de pérdidas del producto. Dicha curva η , la podemos simplificar a la ecuación de una recta:

Ecuación lineal en términos de n :

$$\eta = \eta_0 - k_1 \cdot X \quad (19)$$

Donde k_1 corresponde al coeficiente de pérdidas lineal y constituye la pendiente de la recta.

Siendo X la relación entre la diferencia de temperaturas y la irradiancia: $(T_m - T_a) / I$, y sustituyendo en la fórmula del rendimiento (η), en la ecuación 18. De este modo y con los factores climatológicos del municipio de Neiva se determinó el rendimiento del captador solar térmico, mediante la siguiente simulación ofrecida por Suelo Solar, del mismo modo, por medio del anexo 4, se detalla las características técnicas requeridas para la simulación que se muestra en la ilustración 11 y 12:

Ilustración 12 Simulación de rendimiento de los captadores

°C ambiente (T_a):		°C utilización (T_m):		Irradiación (I) W/m^2 :	
30		91		4400	

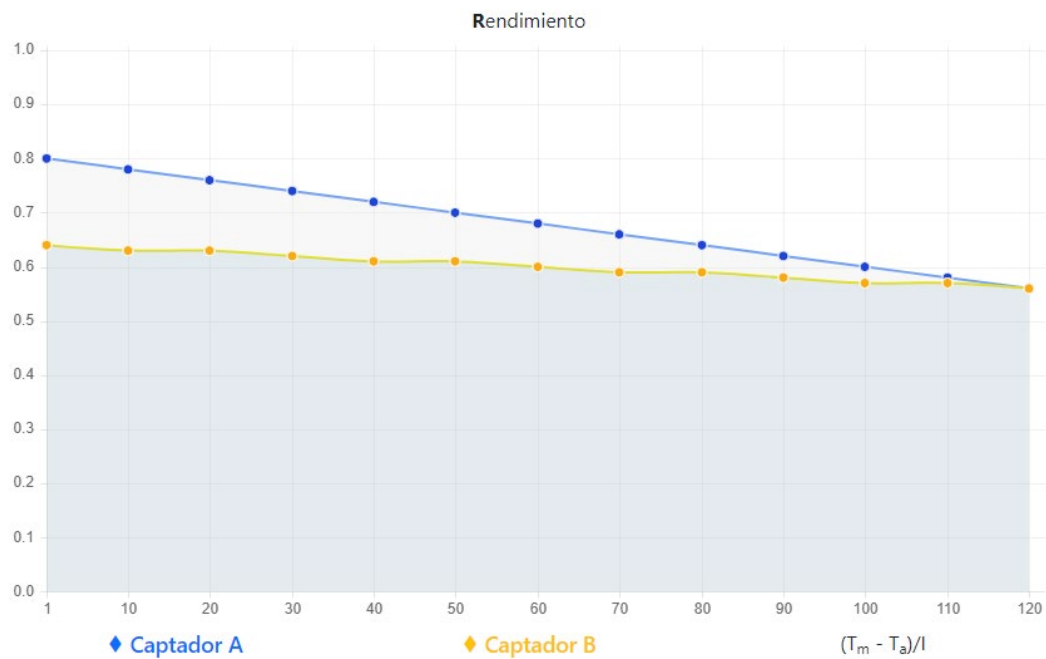
Características de los captadores:

Modelo	η_0	k_1	R
A	0.80	8.9	0.68
B	0.64	2.9	0.60

Autor. Suelo Solar y datos del municipio de Neiva.

Mediante la ilustración 11 se muestra el rendimiento térmico de 2 colectores solares comerciales de “Suelo Solar” para las condiciones del hotel de radiación solar, temperatura ambiente y temperatura requerida del agua caliente obtenida.

Ilustración 13 Rendimiento de los modelos de captadores



Autor. Suelo Solar para las condiciones del hotel en el municipio de Neiva.

Los rendimientos de los diferentes captadores serían:

Rendimiento colector A:

$$\eta_A = 0,80 - \frac{8,9 * (91 - 30)}{4400} = 0,67 \quad (20)$$

Rendimiento colector B:

$$\eta_B = 0,64 - \frac{2,9 * (91 - 30)}{4400} = 0,59 \quad (21)$$

De esta forma, el rendimiento de A > B para las condiciones del hotel.

Todas estas variables pueden modificarse en el siguiente formulario y observar el comportamiento comparado bajo distintas condiciones:
<https://suelosolar.com/guia/acs-solar/rendimiento-colectores>

6.7. Validación económica

Para el desarrollo del caso de estudio, se evaluaron los costos iniciales de equipos y de instalación, los costos operativos a lo largo del tiempo y el ahorro de energía logrado en comparación con sistemas de refrigeración convencionales. Se consideraron incentivos y subsidios disponibles para sistemas de energía renovable y se realizó un análisis de costo-beneficio para determinar la viabilidad financiera del proyecto. A través de esta investigación, se proporcionó una evaluación precisa y sólida de la rentabilidad del sistema de refrigeración solar por absorción y su período de retorno de la inversión.

▪ Costos Iniciales

Los costos iniciales de instalación de un sistema de refrigeración solar por absorción pueden variar según el tamaño y la capacidad del sistema, así como la ubicación geográfica y otros factores específicos del proyecto. Aquí hay algunos elementos que influyeron en los costos iniciales:

Colector solar por absorción: Los colectores solares por absorción son uno de los componentes clave de un sistema de refrigeración solar. El costo de estos colectores dependerá de su tipo (plano o concentrado), tamaño y eficiencia.

Equipo de absorción: El equipo de absorción es el corazón del sistema de refrigeración y es responsable de producir el frío utilizando la energía solar

térmica. El precio del equipo de absorción varía según la capacidad y la tecnología utilizada.

Tanque de almacenamiento térmico: Se requiere un tanque de almacenamiento térmico para almacenar el calor capturado por los colectores solares y utilizarlo cuando sea necesario para el proceso de refrigeración. El costo del tanque dependerá de su capacidad y material de construcción.

Bomba y equipo auxiliar: El sistema puede necesitar bombas y equipos auxiliares para garantizar un flujo adecuado de líquido refrigerante y su funcionamiento eficiente. Estos equipos pueden agregar costos adicionales.

Tuberías y accesorios: Es necesario instalar un sistema de tuberías y accesorios para conectar los diferentes componentes del sistema de refrigeración solar por absorción.

Instalación y mano de obra: Los costos de instalación y mano de obra pueden variar según la complejidad del proyecto y la disponibilidad de personal especializado.

Ingeniería y diseño: También se deben considerar los costos de ingeniería y diseño para asegurar que el sistema se instale correctamente y funcione de manera eficiente.

Es importante destacar que los costos iniciales de instalación pueden verse compensados por los ahorros a lo largo del tiempo debido al uso de energía solar gratuita en lugar de energía eléctrica o combustibles fósiles para la refrigeración. Con base a la información anterior, se obtiene el siguiente presupuesto de costes iniciales para la implementación del sistema de aire acondicionado con energía solar térmica para todas las 80 habitaciones del hotel:

Tabla 5 Presupuesto y Costos Operativos para las 80 habitaciones del hotel

RETScreen - Análisis de Costos

Costos iniciales (créditos)	Unidad	Cantidad	Costo unit.	Monto
Costos iniciales incrementales				COP 199.745.346
Mostrar datos				
- Colector Solar	costo	80	COP 2.500.000	COP 200.000.000
- Tanque de almacenamiento	costo	80	COP 120.000	COP 9.600.000
- Tubería y Accesorios	costo	80	COP 850.000	COP 68.000.000
- Instalación y Mano de Obra	costo	1	COP 8.000.000	COP 8.000.000
- Ingeniería	costo	1	COP 0	COP 0
Costos iniciales totales				COP 485.345.346
Costos anuales (créditos)	Unidad	Cantidad	Costo unit.	Monto
Costo de O y M (ahorros)	proyecto			COP (499.992)
Mostrar datos				
Costo de combustible - caso propuesto				COP 23,98
- Mantenimiento general	costo	1	COP 5.000.000	COP 5.000.000
- Costos de Consumibles (refrigerante)	costo	40	COP 35.000	COP 1.400.000
Costos anuales totales				COP 5.900.032
Ahorros anuales	Unidad	Cantidad	Costo unit.	Monto
Costo de combustible - caso base				COP 38,31
- Incentivos Tributarios	costo	1	COP 100.000.000	COP 100.000.000
Ahorro total anual				COP 100.000.038

Autoría. Propia, con base en el cálculo de RETScreen.

Los costos operativos del sistema de refrigeración solar por absorción pueden incluir varios aspectos. Aquí se presentan algunos de los principales costos operativos que se consideraron:

Consumo de energía auxiliar: Aunque el sistema de refrigeración solar por absorción utiliza la energía solar como fuente principal para generar frío, es posible que requiera una pequeña cantidad de energía auxiliar para ciertas operaciones, como la circulación del refrigerante o el funcionamiento de las bombas. Estos consumos de energía adicional pueden generar costos operativos.

Mantenimiento y servicio: Para mantener el rendimiento óptimo del sistema, se deben llevar a cabo labores de mantenimiento periódico, que pueden incluir limpieza de colectores solares, inspecciones, ajustes y reemplazo de

piezas desgastadas. El costo de mantenimiento y servicio se tiene en cuenta para evaluar la viabilidad a largo plazo del sistema.

Reemplazo de componentes: A lo largo de la vida útil del sistema, algunos componentes pueden requerir ser reemplazados debido a su desgaste natural. Estos gastos de reemplazo son considerados en los costos operativos.

Consumibles y productos químicos: En algunos sistemas de refrigeración por absorción, se requiere de productos químicos o consumibles para el funcionamiento adecuado del sistema; los seguros y garantías para cubrir posibles daños o incidentes en el sistema, así como los gastos asociados con garantías extendidas, se suman igualmente a los costos operativos.

Capacitación del personal: Si se cuenta con personal técnico encargado del mantenimiento y operación del sistema, los costos de capacitación y formación del personal deben ser considerados y destacar que, en comparación con sistemas de refrigeración convencionales que utilizan electricidad o combustibles fósiles, los costos operativos de un sistema de refrigeración solar por absorción tienden a ser más bajos debido al uso de energía solar gratuita.

Tabla 6 Costos operativos.

<i>Ítem</i>	<i>Descripción</i>	<i>Precio x Mes (COP)</i>	
1	Consumo de energía auxiliar	\$	450.000
2	Mantenimiento y servicio	\$	150.000
3	Reemplazo de componentes	\$	250.000

4	Consumibles (Refrigerante)	\$	40.000
5	Seguros y garantías	\$	125.000
6	Capacitación del personal	\$	500.000
Total		\$	1.515.000

Autoría propia.

▪ Incentivos

Hasta la última actualización en septiembre de 2021, en Colombia existen varios incentivos y subsidios disponibles para sistemas de energía renovable. Entre ellos, se destacan los descuentos en impuestos, como deducciones o exenciones de impuestos para proyectos de energía renovable, establecidos por el Gobierno colombiano. Además, la Ley 1715 de 2014, la cual crea un marco regulatorio para la promoción del uso de fuentes no convencionales de energía renovable en el país, ofreciendo beneficios a los generadores de energía renovable, como acceso prioritario a la red y contratos de largo plazo con compradores.

También, se cuenta con el Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía (FENOGE), un fondo público que proporciona financiamiento para el desarrollo y ejecución de proyectos sostenibles en el ámbito de las energías renovables. Además, algunas entidades financieras ofrecen líneas de crédito verde con tasas de interés preferenciales para proyectos de energía renovable y eficiencia energética. El Programa de Energías Renovables del Fondo Nacional de Regalías otorga subsidios para pequeñas instalaciones de energía renovable, como sistemas solares fotovoltaicos para viviendas rurales.

Asimismo, los generadores de energía renovable pueden vender Certificados de Energías Limpias (CEL) a comercializadoras eléctricas, lo que les proporciona ingresos adicionales y promueve la inversión en fuentes limpias. Cabe destacar que estos incentivos y subsidios están sujetos a posibles cambios y es recomendable consultar con las autoridades y entidades pertinentes para obtener información actualizada sobre las políticas vigentes.

- Costo - Beneficio

El análisis de costo-beneficio determinó la viabilidad financiera del sistema de refrigeración por absorción solar. Este análisis comparó los costos iniciales y operativos del sistema con los beneficios económicos obtenidos a lo largo del tiempo.

Identificación de costos iniciales: Se estiman y suman todos los costos iniciales relacionados con la adquisición e instalación del sistema de refrigeración por absorción solar, en donde se incluyen los costos de los colectores solares, equipo de absorción, tanque de almacenamiento, tuberías, instalación y cualquier otro gasto relacionado. Para la Identificación de costos operativos, se estimaron los costos operativos del sistema a lo largo de su vida útil, lo que incluye el mantenimiento periódico, consumibles, gastos de reemplazo de componentes, consumo de energía auxiliar y otros costos recurrentes. Para la Estimación de ahorro de energía, se calculó el ahorro de energía logrado con el sistema de refrigeración por absorción solar en comparación con un sistema de refrigeración convencional que utilice electricidad u otro combustible. Considera el costo de la energía utilizada por el sistema convencional y compáralo con el

uso de la energía solar gratuita por el sistema de absorción. Para el caso de estudio en el hotel Berdez, el resultado se muestra en la siguiente ilustración:

Ilustración 14 Porcentaje de ahorro de emisiones

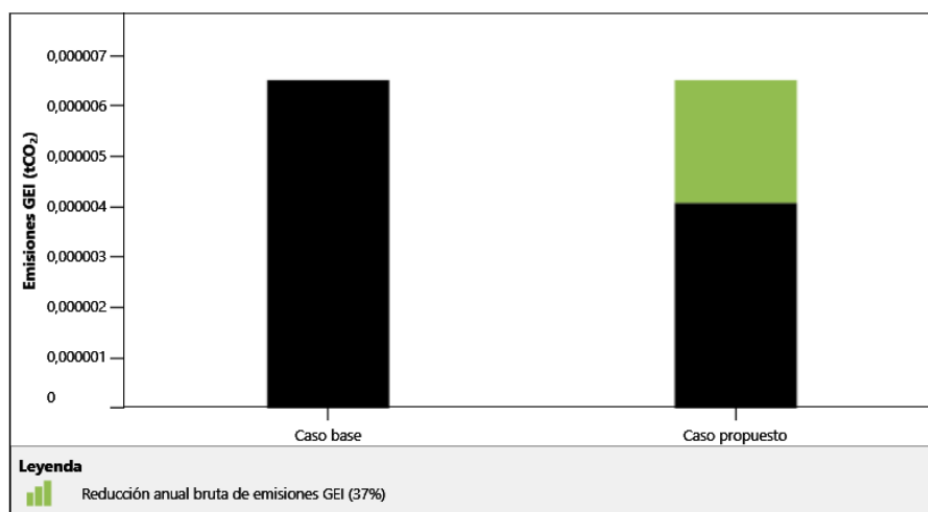
	Consumo de combustible MWh	Costo del combustible COP	Emisiones GEI tCO ₂
Caso base	0,0001	38,31	0
Caso propuesto	0	23,98	0
Ahorros	0	14,34	0
%	37,4%	37,4%	37,4%

Autoría Propia, con base en el cálculo de RETScreen.

Se ahorra un 37% sobre el consumo actual de energía, lo que representa igualmente una reducción del mismo valor en el total a pagar de la energía, por lo que el hotel pasaría de pagar una tarifa promedio de \$9.166.280 a \$5.774.456.

Dentro de los beneficios adicionales, además del ahorro de energía, se consideran otros beneficios económicos y ambientales del sistema, porque como se muestra en la siguiente ilustración, en donde se determinan la reducción de emisiones GEI, que representan el valor agregado al uso de tecnologías limpias.

Grafica 3 Comparación de casos en relación con la disminución de Gases de Efecto Invernadero



Autoría Propia, con base en el cálculo de RETScreen.

Finalmente, se pueden incluir los incentivos fiscales, ingresos por la venta de Certificados de Energías Limpias (CEL), la reducción de costos relacionados con el cumplimiento de regulaciones ambientales y la mejora de la imagen corporativa por el uso de tecnologías limpias. Adicional a lo mencionado en todo el apartado, se realizó el análisis de sensibilidad, para evaluar cómo los cambios en los supuestos y variables pueden afectar la viabilidad financiera del proyecto. Por ejemplo, se consideraron diferentes tasas de inflación, costos de energía y precios de componentes, para tener varias referencias el movimiento de la economía, sin embargo, los valores fueron representados con la tasa de inflación acumulada para el año 2023.

En la ilustración 15 se muestra de forma clara lo mencionado anteriormente:

Ilustración 15 Viabilidad financiera.

Parámetros financieros

Tasa de inflación	%	6%
Tiempo de vida del proyecto	año	15
Relación de deuda	%	45%
Tasa de interés de la deuda	%	21%
Duración de deuda	año	7

Costos | Ahorros | Ingreso

Costos iniciales			
Costos iniciales incrementales	41,2%	COP	199.745.346
Colector Solar	41,2%	COP	200.000.000
Tanque de almacenamiento	2%	COP	9.600.000
Tubería y Accesorios	14%	COP	68.000.000
Instalación y Mano de Obra	1,6%	COP	8.000.000
Ingeniería	0%	COP	0
Costos iniciales totales	100%	COP	485.345.346
Incentivos y donaciones		COP	0
Flujo de caja anuales - Año 1			
Costos anuales/pagos de deuda			
Mantenimiento general		COP	5.000.000
Costos de Consumibles (refrigerante)		COP	1.400.000
Costo de O y M (ahorros)		COP	-499.992
Costo de combustible - caso propuesto		COP	24
Pagos de la deuda - 7 años		COP	62.260.189
Costos anuales totales		COP	68.160.221
Ahorros e ingresos anuales			
Incentivos Tributarios		COP	100.000.000
Costo de combustible - caso base		COP	38
Ingresos por reducción GEI - 7 años		COP	0
Otros ingresos (costo)		COP	0
Ingresos y ahorros anuales totales		COP	100.000.038
Flujo de efectivo neto anual - Año 1		COP	31.839.817

Autoría. Propia, con base en el cálculo de RETScreen.

Tasa interna de retorno (TIR), se calculó con el descuento a el valor actual neto (VAN) del proyecto que es cero. La TIR alta indica una mayor rentabilidad del proyecto.

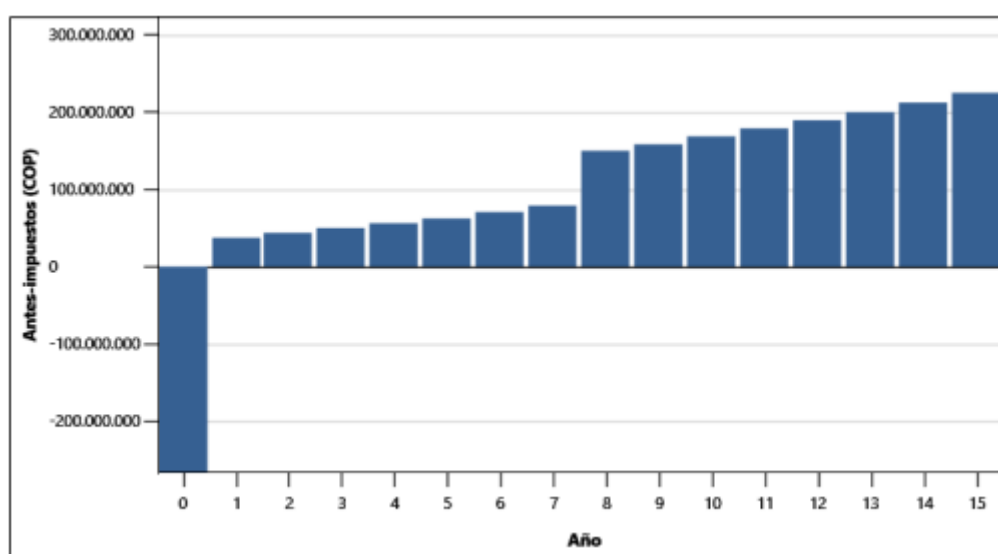
TIR antes de impuestos - capital	%	26,2%
TIR antes de impuestos - activos	%	16,1%
Pago simple de retorno del capital	año	5,2
Repago - capital	año	5,2

Autoría. Propia, con base en el cálculo de RETScreen.

Al comparar los costos iniciales y operativos con los beneficios económicos y ambientales a lo largo del tiempo, el análisis de costo-beneficio proporcionó una evaluación más real de la viabilidad financiera del sistema de refrigeración por absorción solar. El análisis mostró que los beneficios superan los costos y que el período de retorno de la inversión es aceptable, entonces se considera que el sistema es financieramente viable.

A continuación, en la ilustración 16, se muestra el valor de la inversión y el promedio de ganancia y recuperación debido al ahorro energético, el cambio de la tecnología y los incentivos tributarios.

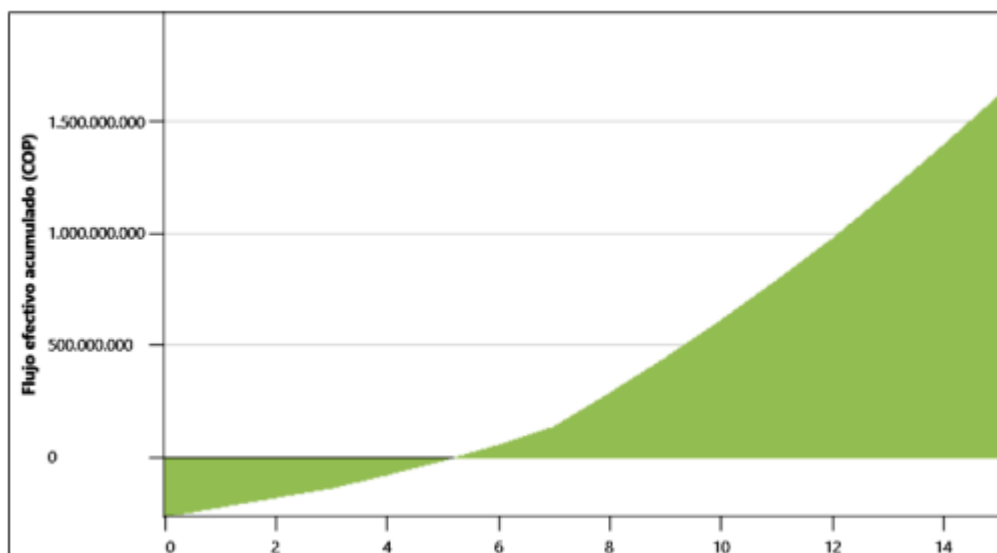
Grafica 4 Flujo de efectivo Anual.



Autoría. Propia, con base en el cálculo de RETScreen.

Para el acumulado, en valores de miles de pesos a 15 años el ahorro puede representar un valor mayor a 1500 millones de pesos, como muestra en la ilustración 17:

Grafica 5 Flujo de efectivo Acumulado.



Autoría. Propia, con base en el cálculo de RETScreen.

Año a año se establecieron los valores, para validar el flujo de caja real, que llevaría la implementación con un valor representativo de \$1.618.923.775. Como se establece en la ilustración 18.

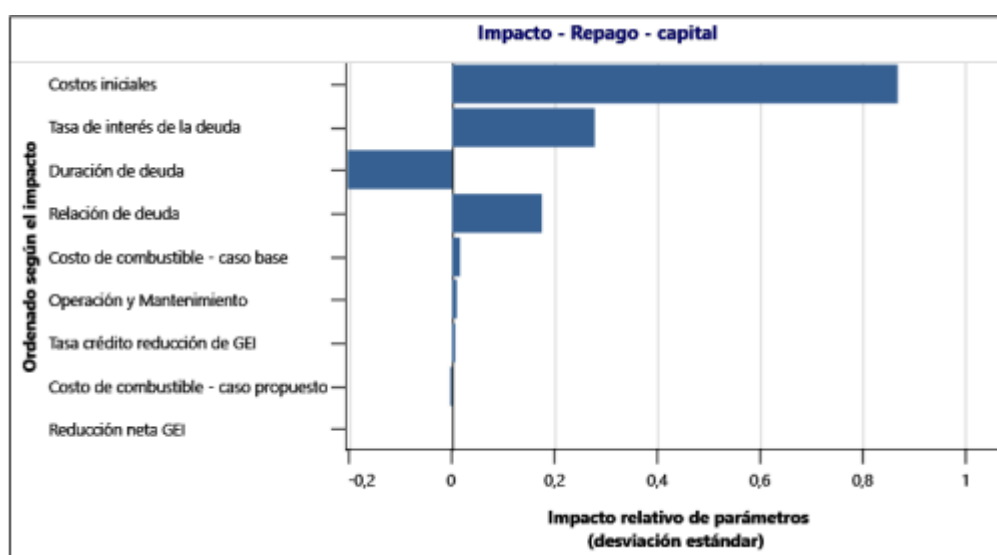
Ilustración 16 Flujo de Caja Anuales.

Año n.º	Antes-impuestos COP	Acumulado COP
0	-266.939.940	-266.939.940
1	37.485.817	-229.454.123
2	43.470.578	-185.983.545
3	49.814.424	-136.169.121
4	56.538.901	-79.630.221
5	63.666.846	-15.963.375
6	71.222.468	55.259.093
7	79.231.427	134.490.520
8	149.981.113	284.471.634
9	158.979.980	443.451.614
10	168.518.779	611.970.392
11	178.629.906	790.600.298
12	189.347.700	979.947.998
13	200.708.562	1.180.656.560
14	212.751.076	1.393.407.635
15	225.516.140	1.618.923.775

Autoría. Propia, con base en el cálculo de RETScreen.

Los costos iniciales, establecidos como la mayor inversión inicial y la tasa de interés de la deuda son los valores representativos más altos para la implementación del sistema de refrigeración solar por absorción en el hotel Berdez, teniendo una cobertura total para las 80 habitaciones y refrigerando más de 4500 m cuadrados en la edificación. El impacto, repago y capital se puede validar en la siguiente ilustración:

Grafica 6 Riesgo del proyecto.



Autoría. Propia, con base en el cálculo de RETScreen.

Finalmente, con el estudio que validó el proyecto viable, se efectuó el análisis sobre el repago y el capital, para evaluar y determinar los valores máximos y mínimos de la inversión, además de otros factores, que permiten determinar el intervalo máximo y mínimo (en años) de confianza para la implementación del sistema, por lo que se obtuvo, que después del sexto a séptimo año se empezaran a obtener valores positivos al repago de la deuda, por lo que finalmente después del séptimo año, la implementación será en

términos económico positiva. Lo mencionado anteriormente se muestra en la ilustración 20:

Ilustración 17 Parámetros generales de la inversión.

Efectúe análisis sobre	Repago - capital				
Cantidad de combinaciones	500				
Valor de inicialización aleatorio	No				
Parámetro	Unidad	Valor	Rango (+/-)	Mínimo	Máximo
Costos iniciales	COP	485.345.346	25%	364.009.010	606.681.683
Operación y Mantenimiento	COP	-499.992	25%	-374.994	-624.989
Costo de combustible - caso propuesto	COP	24	25%	18	30
Costo de combustible - caso base	COP	38	25%	29	48
Reducción neta GEI - duración del crédito	tCO ₂	0	25%	0	0
Tasa crédito reducción de GEI	COP/tCO ₂	25,00	25%	18,75	31,25
Relación de deuda	%	45,0%	25%	33,8%	56,3%
Tasa de interés de la deuda	%	21,00%	25%	15,75%	26,25%
Duración de deuda	año	7	25%	5	9
Mediana				año	5,4
Nivel de riesgo				%	10%
Mínimo en intervalo de confianza				año	4,2
Máximo en intervalo de confianza				año	6,6

Autoría. Propia, con base en el cálculo de RETScreen.

7. Impacto Social Y Humanístico Del Proyecto

En la actualidad, se busca que haya diferentes opciones para frenar la crisis climática que atraviesa la tierra, el impulso hacia las tecnologías limpias y alternativas con uso de nuevos recursos energético están entre las soluciones que se busca a diario en la humanidad; así pues, la energía solar, la cual consiste en aprovechar el mayor suministro de energía gratuita que tenemos gracias al sol, con ello podemos implementar tecnologías como la refrigeración solar y mediante ella obtener un sistema de climatización óptimo y novedoso con una serie de impulsos tecnológicos económicos y ambientales. Se busca, que una vez la tecnología sea aplicada en el hotel Berdez, se abra paso a las contribuciones ambientales y sociales que trae consigo la implementación de la energía solar.

La reducción del consumo de energía eléctrica tiene como consecuencia directa la disminución del consumo de la energía proveniente de la red, la cual viene de hidroeléctricas; esto trae consigo la posibilidad de cambiar el pensamiento a nivel general en lo que se refiere al riesgo de implementar nuevas tecnologías como la refrigeración solar; se debe iniciar con un proceso de desarraigo de la energía hidroeléctrica y la carbono dependencia, lo que generaría una reducción en la demanda nacional y en la cantidad de emisiones y gases de efecto invernadero que se producen al utilizar dicha energía, con un beneficio para la población que permite una matriz energética más amplia y segura además de disminuir la emisión de estos gases, permitiendo una mejora en la salud pública general.

Por otra parte, se establecen pautas para obtener los beneficios que ofrece el gobierno mediante sus programas de transición energética, en los cuales, para el estudio de caso, si el hotel sigue la normativa podrá obtener los incentivos que se estipulan, recibiendo apoyo económico y ciertas retribuciones por el uso de tecnologías limpias. En adición a lo anterior, otro beneficio económico directo que obtiene la empresa es el ahorro por medio del uso de la refrigeración solar, debido a que los costos de energía eléctrica en relación con el consumo del sistema de aire acondicionado tendrán una disminución considerable.

De igual forma, se obtendría seguridad energética debido a la nueva matriz energética con la que contaría el Hotel Berdez; esto sería de gran importancia ya que constantemente se presentan problemáticas con el suministro de energía en el municipio de Neiva; finalmente como valor añadido, si la administración del hotel Berdez quisiese llegar a ofrecer su producto en este caso el alojamiento de una habitación al menor precio lo podría hacer, debido a que hay un ahorro y los clientes serían beneficiarios directos del uso de la nueva tecnología.

8. Conclusiones

En relación con los objetivos que se plantearon en el inicio de este proyecto, en el que se propuso determinar la viabilidad técnica y económica de un sistema de aire acondicionado soportado por refrigeración solar por absorción para el Hotel Berdez en el municipio de Neiva, se presenta lo siguiente:

En primera instancia con el levantamiento de la información primaria, se obtuvo que el costo promedio de energía eléctrica es de \$9.166.280; el 48% de la distribución del consumo de energía final del total corresponde al porcentaje que se destina a refrigeración, el cual fue de \$ 4.399.814 COP/mes. Con el supuesto de que de las 80 habitaciones no son ocupadas si no en un 60% de las cuales, se determinó que el costo mensual de energía eléctrica por habitación es de \$91.662 COP/mes, que se relaciona directamente con el consumo de 114,27 KWH/mes, teniendo un consumo diario cerca a los 4 KWh/día. Este valor de forma mensual equivale a casi la mitad del destino final del consumo de energía eléctrica del hotel Berdez.

Para dar continuidad al dimensionamiento, era necesario realizar un cálculo termodinámico y determinar el calor de refrigeración del aire a enfriar, por lo cual se tomó como referencia el coeficiente operación para la determinación de la energía solar térmica requerida, que se ajustaba a los requerimientos del sistema que iban directamente relacionado con las condiciones climáticas del municipio de Neiva.

De este modo se obtuvo que en cuanto al sistema de refrigeración solar por absorción cumple y es posible suplir el sistema convencional intervenido por energía eléctrica, ya que se determinó, que por medio del calor de refrigeración del aire que se está enfriando correspondiera al mismo calor de refrigeración del aire del ciclo de refrigeración por absorción, sumado a ello mediante el dimensionamiento del colector solar por medio del balance de energía en el mismo y los rendimientos de los colectores, se buscó en el mercado los equipos que más se ajustaran al requerimiento energético.

Con ello dio paso a conocer la viabilidad económica del proyecto teniendo como referente la suma de Ciento nueve millones novecientos noventa y cinco mil trescientos cincuenta y cuatro mil pesos \$ 109.995.354 COP que correspondía al costo total de energía eléctrica en un año (2022) del hotel Berdez, y el costo total del sistema a implementar es de \$485.345.346 menos los incentivos tributarios y beneficios por parte del gobierno al implementar una tecnología que se ajusta a los ODS; el valor promedio de estos incentivos está por el orden de \$150.000.000.

La viabilidad se dedujo por medio del software RETScreen, donde se tuvo en cuenta la parte ingenieril y técnica que permitió un resultado acercado a la realidad del modelo; se dedujo que el proyecto es viable económicamente debido a que el periodo de retorno es de 15 años, pero la estabilidad financiera es efectiva a partir del séptimo años, la inversión total es de \$485.345.346 más los costes asociados al mantenimiento, el cual es un bajo costo ya que el sistema tiene como beneficios que los materiales como el aislante y el tanque de

almacenamiento, se pueden comprar en el mercado en un precio asequible, lo que permite implementar la cantidad correcta, económica y eficiente de los equipos.

El bajo costo de los materiales se da, de igual forma por la razón de que se maneja un volumen bajo aproximadamente 85 L/día de agua en el colector solar, que permite abarcar el total de la capacidad del sistema y una recirculación del fluido durante las 4 a 6 horas optimas en las que el equipo funciona en su mayor grado de eficiencia, por lo que se genera un correcto funcionamiento según los cálculos termodinámicos, lo que nos indica que es un sistema sostenible de muy bajo costo.

El sistema de refrigeración de aire acondicionado ligado a la red de energía eléctrica convencional colombiana al ser abastecida en gran parte por una sola fuente tiende a traer consecuencias como frecuentes apagones e intermitencias a causa de cambios climáticos y garantías en el suministro. En adición a lo anterior y con el conocimiento que para la generación de esta energía se ve involucrada la producción de gases de efecto invernadero lo que llega a afectar en aspectos como lo son la productividad, bienestar, crecimiento económico del sector turismo en este caso del hotel Berdez, la carbono dependencia y/o una matriz energética limitada; así mismo, el alza del precio de KWH; al implementar el sistema de refrigeración solar por absorción, representa una disminución de gases de efecto invernadero, mejorar la eficiencia energética del hotel y reducir su huella de carbono. Los resultados del estudio proporcionaron información valiosa para la toma de decisiones en el sector

hotelero, promoviendo así la adopción generalizada de prácticas más sostenibles y eficientes en la industria.

El consumo regular de energía debido al uso constante del sistema de aire acondicionado representa casi el 45% sobre el costo total sobre la factura de pago, gracias a la implementación del sistema de refrigeración por absorción, el hotel no solo se vería beneficiado económicamente, sino también con reconocimiento a nivel departamental y de país por la implementación de tecnologías limpias.

9. Recomendaciones

Debido a que en los hoteles que tienen implementados sistema de refrigeración con aire acondicionado, tienden a estar encendidos y en funcionamiento todo el día, se deben implementar medidas para reducir el consumo de energía como lo son los termostatos programables, para la optimización de la ventilación además del aislamiento de las habitaciones.

No poner el sistema de refrigeración solar en la intemperie debido a que pierde calor, se recomienda que tanto el tanque de almacenamiento como el colector estén bajo techo.

El consumo de energía eléctrica del sistema de refrigeración para los aires acondicionados puede variar significativamente y esto depende de algunos factores como la estructura del hotel en cuanto a tamaño y distribución, la eficiencia de los equipos, la frecuencia en su uso, las condiciones climáticas, aislamiento del sistema y mantenimientos. Lo que lleva a tener un promedio de consumo entre el 35 y 50 % del total de energía eléctrica.

Bibliografía

- Alcaldía de Neiva. (2018). *Plan de Desarrollo Turístico Sostenible 2019–2029*. Neiva. Obtenido de <https://www.alcaldianeiva.gov.co/Gestion/PlaneacionGestionControl/Plan%20de%20Desarrollo%20Turistico%20de%20Neiva%202019-2029.pdf>
- Alcaldía de Neiva. (2021). *Plan de ordenamiento territorial*. Neiva. Obtenido de https://www.alcaldianeiva.gov.co/NuestraAlcaldia/Dependencias/Documentos%20Planeacin/DOCUMENTO%20DIAGNOSTICO_compressed.pdf
- Ally, M. R. (2021). Heat Transfer, Refrigeration and Heat Pumps. *Energies*, 3. Obtenido de <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/23/7988/pdf>
- Borrero, L., & Jaspe Toro, E. (1998). *Energía solar en la refrigeración por absorción*. Santiago de Cali. Obtenido de <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/3269/T0001286.pdf;jsessionid=1B8AE051FB232F7CFDD0F8450EBB58EA?sequence=1>
- Bravo Hidalgo, D. (2015). *Climatización solar de edificaciones*. Cuba.
- Cuellar, R. R. (2021). *Efectos en el medio ambiente del Departamento del Huila con la implementación de fuentes renovables de energía*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD. Obtenido de <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/42450/rramonc.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- DNP. (2017). *Energy demand situation in Colombia*. Obtenido de <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.dnp.gov.co/Crecimiento-Verde/Documents/ejes-tematicos/Energia/MCV%20-%20Energy%20Demand%20Situation%20VF.pdf>
- Ege Üniversitesi, Z. F. (2012). *Absorpsiyonlu Sogutma Sistemleri ve Tarimsal Amaçlı Kullanılabilirliği*. Obtenido de <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/118862>
- ElectroHuila. (Febrero de 2022). *ElectroHuila*. Obtenido de <https://www.electrohuila.com.co/tarifas/>
- FENERCOM. (2011). *Guía del Frío Solar*. Madrid. Obtenido de <https://www.fenercom.com/wp-content/uploads/2011/06/Guia-del-Frio-Solar-Ahorro-y-Eficiencia-Energetica-con-Refrigeracion-Solar-fenercom-2011.pdf>
- Hotel Berdez. (2023). *Hotel Berdez*. Obtenido de <https://hotelberdez.com/nosotros/>
- iea. (16 de Febrero de 2023). *Electricidad*. Obtenido de [iea: https://www.iea.org/fuels-and-technologies/electricity](https://www.iea.org/fuels-and-technologies/electricity)
- iea. (2023). *Electricity Market Report*. IEA Publications. Obtenido de <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://iea.blob.core.windows.net/assets/255e9cba-da84-4681-8c1f-458ca1a3d9ca/ElectricityMarketReport2023.pdf>
- INCOMBUSTION. (2016). *Investigación e innovación en combustión avanzada de uso industrial*. Obtenido de http://www.upme.gov.co/calculadora_emisiones/aplicacion/Informe_Final_FECO.pdf
- Isaza, C. A., & Pilatowsky, I. (2010). *Análisis termodinámico de un sistema de refrigeración solar por absorción usando soluciones de monometilamina - agua*

- para la conservación de alimentos. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v8n1/v8n1a03.pdf>
- MadridSolar. (2006). *Guía de la Energía Solar*. Madrid. Obtenido de https://www.agenergia.org/wp-content/uploads/2018/05/1234202074_GuiaEnergiaSolarCajaMadrid06.pdf
- Özay AKDEMİR, A. G. (2001). *Absorpsiyonlu Soğutma Sistemleri; Verimlerini Artırmak için Geliştirilen Çevrimler*. Obtenido de http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/b9508fe4a4c1e2a_ek.pdf
- Patricio, J., & Lopez, J. (2016). *Modelación de un sistema de refrigeración por absorción a bajas temperaturas para la producción de hielo*. Obtenido de <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/20846/1/Modelacion%20de%20un%20sistema%20de%20refrigeracion%20por%20absorcion.pdf>
- PNUMA. (2015). *Normas internacionales de refrigeración y aire acondicionado*. Obtenido de http://www.protocolodemontreal.org.br/site/images/publicacoes/setor_manufatura_equipamentos_refrigeracao_arcondicionado/Normas_Internacionais_de_Refrigeracin_y_Aire_Acondicionado.pdf
- Quimobásicos. (2014). *Tecnologías del R-410*. Obtenido de <https://blogquimobasicos.com/2014/07/14/tecnologias-del-r-410/>
- Ramírez, J. G., & Murcia, J. D. (2018). *La energía solar fotovoltaica en Colombia: potenciales, antecedentes y perspectivas*. Bogotá. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/10312/G%c3%b3mez2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sanli, B. G. (2019). *Design and Analysis of a Solar Powered Absorption Refrigeration System for Cooling a House in Isparta Province*. Turkey. Obtenido de <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/800724>
- Suelo Solar. (2023). *Suelo Solar*. Obtenido de <https://suelosolar.com/guia/acs-solar/rendimiento-colectores>
- UPME. (2015). *Hidroenergía*. En I. Ltda. Obtenido de https://www1.upme.gov.co/Energia_electrica/Atlas/Atlas_p25-36.pdf
- UPME. (2015). *Plan energético nacional Colombia: ideario energético 2050*. Bogotá. Obtenido de http://www.upme.gov.co/docs/pen/pen_idearioenergetico2050.pdf
- UPME. (2019). *Primer balance de Energía Útil para Colombia y Cuantificación de las Pérdidas energéticas relacionadas y la brecha de eficiencia energética*. Bogotá y Karlsruhe. Obtenido de https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/Balance_energia_util/BEU-Residencial.pdf
- UPME. (2019). *Primer balance de Energía Útil para Colombia y Cuantificación de las Pérdidas energéticas relacionadas y la brecha de eficiencia energética*. Bogotá y Karlsruhe. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmninnibpcapjpcglclefindmkaj/https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/Balance_energia_util/BEU-Residencial.pdf
- UPME. (2021). *Boletín estadístico de minas y energía 2016 - 2020*. Obtenido de https://www1.upme.gov.co/PromocionSector/SeccionesInteres/Documents/Boletines/Boletin_Estadistico_ME_2016-2020.pdf

- Uzquiano, C. (2015). *Capacitación e instalación de sistemas fotovoltaicos en las comunidades de Carmen del Emero y Yolosani*. (WCS, Ed.) Obtenido de <http://energiayambienteandina.net/pdf>
- weather Spark. (2023). *El tiempo en el verano en Neiva Colombia*. Obtenido de <https://es.weatherspark.com/s/22385/1/Tiempo-promedio-en-el-verano-en-Neiva-Colombia>
- Y. Fan, L. Luo, B. Souyri. (2006). Review of solar sorption refrigeration technologies: Development and applications. 18. Obtenido de <https://www.sciencedirect-com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/search?qs=Review%20of%20solar%20sorption%20refrigeration%20technologies%3A%20Development%20and%20applications>

Anexos

Anexo 1. Formato recolección información primaria del hotel Berdez.

Metodología

La metodología para el desarrollo de este proyecto consta de las siguientes etapas:

1.1. Diagnosticar el consumo de energía eléctrica del sistema de refrigeración, a través de recopilación de información.

Preguntas orientadoras:

- Cuenta con algún sistema de energía renovable

RTA/ NO

- Cuántos años lleva el hotel en funcionamiento.

RTA/ 7 AÑOS

- Número de habitaciones

RTA/ 78 Habitaciones

- Número promedio de empleados

RTA/ 15

- Cuánto tiempo lleva instalado el sistema de aire acondicionado

RTA/ 7 años

- Cuál es el voltaje que usa el sistema

RTA/ 220 v

- Cuántas habitaciones o lugares cubre el sistema de aire acondicionado

RTA/ 78

- Cuáles son los equipos principales (unidades) que marcas son

RTA/ HACEB - 77 und, MIRAGE 01 Und

- De que capacidad son las unidades(btu)

RTA/ 12.000

- Cuáles son los tipos de equipos de aires que hay en las habitaciones (Split o mini)

RTA/ Mini

- Rango de temperatura de los aires

RTA/ 17º a 30º

- Cuántas unidades hay por habitaciones y en total

RTA/ 1 equipo

- **Promedio de consumo energético**

RTA/ 1.5 kw x Hora

- **Historial del consumo energético**

RTA/ 10.426 kw

- **Valor Kw**

RTA/ \$740.35

- **Mantenimientos**

RTA/ Cada 5 meses

- **Qué tipo de refrigerante usan**

RTA/ Gas R-410

- **Periodicidad de mantenimiento de los aires.**

RTA/ Cada 5 meses

- **Costo de mantenimiento del sistema de aire acondicionado**

RTA/ \$60.000 Costo promedio

- **Capacidad del sistema de aire acondicionado**

RTA/ 12.000 BTU - 3517 W

Anexo 2. Factura de energía eléctrica del hotel Berdez, mes de agosto.

Puntos de Pago

Costo Unitario de Prestación del Servicio

CUV n/m = Gm+Tm+D n/m+Cv+mPR n/m+Rm (\$/KWh)
 Gm: Costo de Compra de Energía (\$/KWh) Tm: Costo por Uso del Sistema Nacional de Transmisión (\$/KWh)
 D n/m: Costo por Uso de Sistema de Distribución Local (\$/KWh) Por nivel de tensión
 Cv m: Margen de comercialización (\$/KWh) PR n/m: Costo de Pérdidas de energía (\$/KWh)
 R m: Costo de Restricciones y Servicios Asociados con Generación para el mes m en (\$/KWh)

Indicadores de Calidad Individual

Horas a compensar	0	Consumo a	30,88
Compensación por evento	0	compensar	0
Meta Calidad por Duración	61,02		
Meta calidad por eventos		Cargo dir.	259,9
Eventos acumulados año	22		

RECLAMOS DE ASESORIA PÚBLICA EN LA CRA. # R-S-14 AGCASA.

FOES

Kwh
\$ / Kwh
Meta Total
N. Fact

Último Pago

29/08/2022
Entidad Por:
LPTESBO

Pag. 5984

Línea gratuita de atención

Reporte cualquier evento relacionado con la prestación del servicio

24/7

- Electrohulla SAESP
- Electrohulla
- Electrohulla SA ESP

01 8000952 115
www.electrohulla.com.co

Sede Administrativa: Carrera 14 calle 9 esquina, Páramo EL VALLE, CUNDINAMARCA, COMPLEJO ECOLÓGICO GUAYATE.
PBX: 8664600 - 8664646 Lláme gratis línea de anticorrupción 01-8000-9188-19

Nómina: Carrera 14 calle 9 esquina, Páramo El Valle, Cundinamarca, Complejo Ecológico Guayate.
 Planilla: Calle 19 Sur No. 3-01, La Plata No. 9-10.
 Correo: Calle 9 No. 7-54, La Plata No. 9-10.

Consejos para prevenir accidentes eléctricos

Evitar hacer cambios en cables eléctricos sin consultar al técnico eléctrico responsable.

Al realizar limpieza de un electrodoméstico desconectarlo primero.

Al salir de casa o la desconecte todos los aparatos electrónicos que están utilizando.

Factura de Venta No. 73124533
FECHA DE EMISIÓN 22/08/2022
Elctrificadora del Hulla S.A.S
 Nit. 891.180.001-1

SA CREDITO DE CUENTA NIT°
948110297
PARA CUALQUIER CONSULTA EN PAGOS ELECTRONICOS

Sr(a): BERDEZ S.A.S
 c.c. / Nit.: 900577381
K P 43B 09 HOTEL BERDEZ HDA SANTA BARBARA
 Municipio: 524 PALERMO - HUILA
 Dirección Postal:
 Ciclo: 6 Sector: 135-VILLA CONSTANZA Ruta: 1001356560
 Periodo: 8 / 2022 Medidor: 73702188 5984

Pregunta por **Previsión Exequial**

Ahora fácil y con tu factura de energía Respaldo con calidad humana cuando más se necesita

MAPFRE Electrohulla

LA MISMA ENERGÍA QUE NOS CONECTA CON LA GENTE

@ Visitarnos www.electrohulla.com.co

Código Único de Factura Electrónica - CUFE

Fecha de Vencimiento	Total a Pagar
30/08/2022	\$10,368,480

(4337)787274499679(8020)9948110297(3900)(011368480)6(102202830)

FIRMA AUTORIZADA

SOLICITUD CANABARRA DE COMPRAVENTA DE AGUIJA EN TODOS LOS PRODUCTOS AL DETALLE DE CAMBIO DE AGUIJA Y PRECIO MENSUALMENTE \$ 30.000 + IVA

Financiación ElectroHuila			
Descripción	Cuo Pend	Cuota Mes	Saldo Total
App Electrónica Huila, descargala en tu celular aquí.   www.electrohuala.com.co/descarga-la-app-movil			
*Se informa que en noviembre de 2021, se modificó parcialmente el contrato de condiciones uniformes, podrá consultar en nuestras webs y/o www.electrohuala.com.co			
Credenciales		Electorados Domésticos	
Concepto	Convenio	CP	Saldo To.Convenio
Capital			
Int. Mora			
Int. Corriente			
Otros			
Pago Mínimo			
Otros Cobros			
Concepto	Descripción	Valor	Alumbrado Público
51	Impuesto Alum. Publico	1,01,613	\$1,01,613
298	Servicio Asso CLH	86,760	
			Otros Cargos \$86,760
			Total \$1,188,373
Facturación Conjunta del Servicio Público de Aseo			
Ciudad Limpia Del Huila S.A. ESP Nit: 900.167.590-6 pqrs@huila.ciudadlimpia.com.co Tel: 8386018			
Cuenta Contrato 54157		Número factura 2550867	Meses Hora 0
Clase Uso / Estrato		Gran Prod. Comercial +6	Vigencia 2207
Densidad 25 Volumen (m3) 1.07 Período Factura 01-JUL-22-31-JUL-22			
Part Subs/Aport 0 Und. Resid. Descuo. 0 Und. No Rec. Ocup 1 Und. No Res. Descuo. 0			
rec. Semanal Barido 2 Recolec. 3 No Aprovechables			
Cantidad Resíduos (Ton.) Mes 1 Mes 2 Mes 3			
Aprovechables (Ton.)			
No Aprovechables (Ton.)			
Toneladas/Suscriptor del periodo			
Barido y Limp Limp Urs Rechaz. Aprov.			
Cargo Filo 4373.42 Cargo Var 46695		Cargo Var 139626	
Historico del Servicio Facturado			
Mes 1 Febrero 2 Marzo 3 Abril 4 Mayo 5 Junio 6 Julio			
Valor B0644. B1B13 B1B04. B4376. B4774. B6759			
Total Pagar			86,760

Periodo Facturado:		18/07/22-18/08/22
Fecha de Vencimiento:		30/08/2022
Suspensión a Partir del:		
Pago Total:		\$10,368,480
Pago Mínimo:		\$10,368,480
Periodos Vencidos:		0 meses

Datos Personales		
Clase Servicio: Especial Sin Contribución		Nivel Tensión: 1-Secundaria
Estrato:	Carga Instalada: 150 w	
Zona:	NORTE	Nodo: TI6768-BO2P
Obs. Lectura:	oma exitosa de Lect	Tipo Ligu.: lectura
		Page: 5984

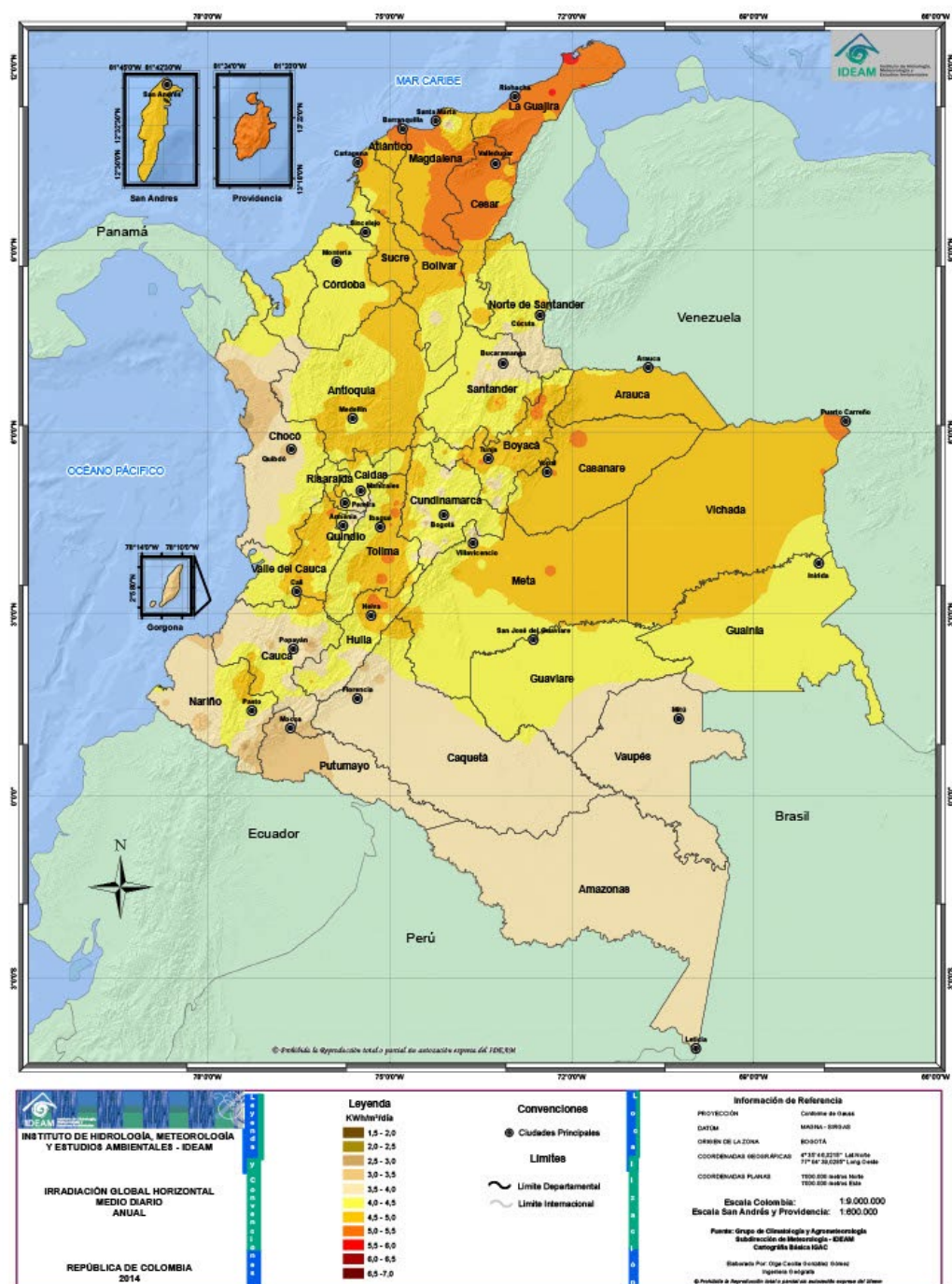
Cálculo del Consumo							
Contador	Marca	TM	TO	Lectura Actual	Lectura Anterior	FM	Consumo
1-2854356	ELS	A-S	0	17772	11462	40	12,400
2-2854356	ELS	B-S	0	142	138	40	160
3-73702188	ISK	A-CT	0	2970	2659	40	12,440
4-73702188	ISK	B-CT	0	177	158	40	760

Liquidación del Consumo				Últimos Consumos				
Medi	Excese	Hasta	Consumo	Valor	Año	Mes	Consumo	
1	1	99999999	12,400.0	740.3315	\$9,180.111	2022	7	11,160
2	1	99999999	160.0	234.3297	\$37.493	2022	8	8,920
3	1	99999999	12,440.0	0	\$0	2022	9	9,000
4	1	99999999	760.0	0	\$0	2022	4	12,360
						2022	3	10,040
						2022	2	10,080

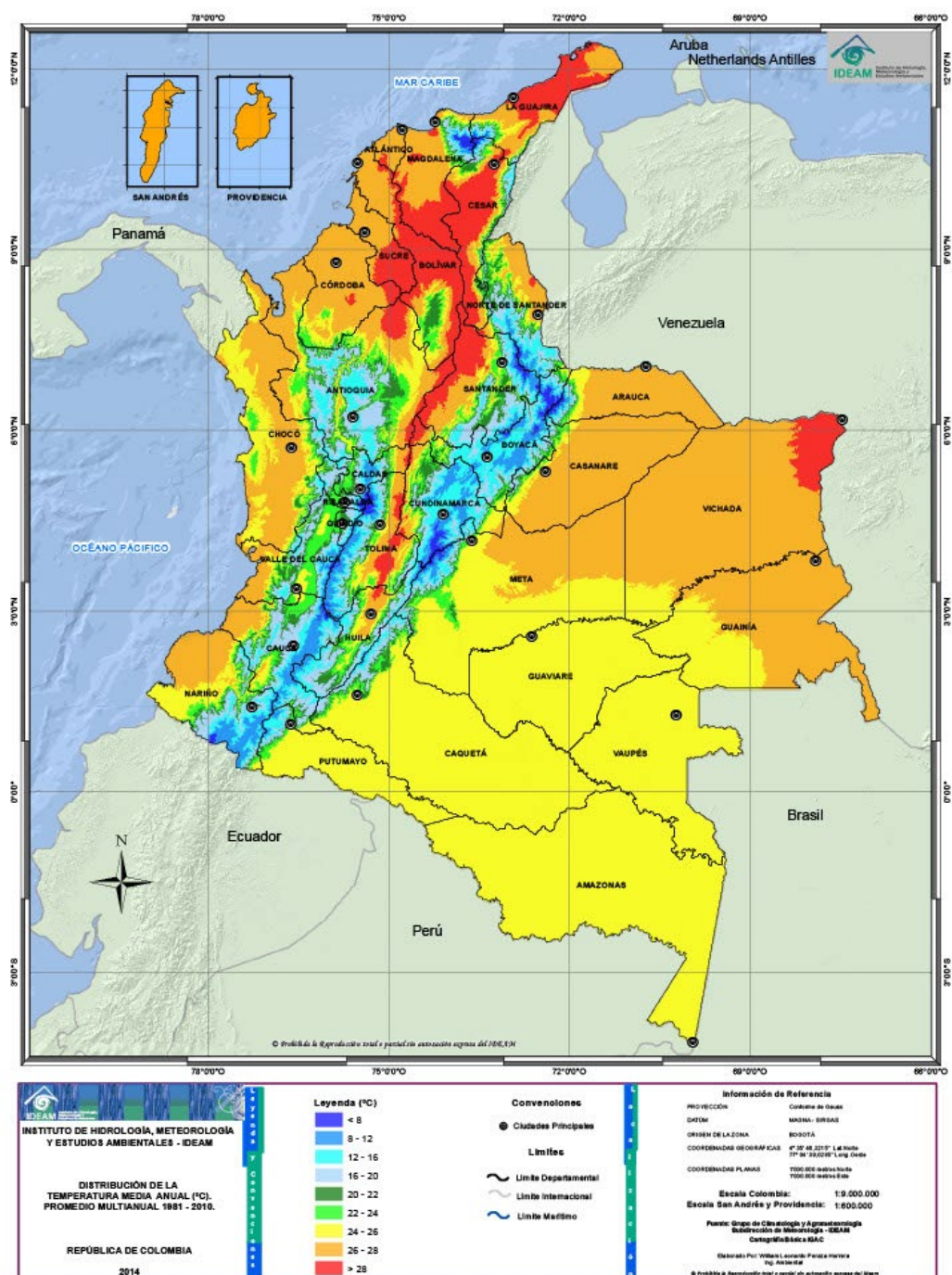
Costo Unitario de Prestación del Servicio						Prorrateo Cuotas		Consumo Ant. Anterior	
Costo	Unidad	Costo	Unidad	Costo	Unidad	Costo	Unidad	Costo	Unidad
248.48	Un	49.52	Un	234.3	Un	108.99	Un	72.51	Un
								59.39	Un
								773.17	Un

Conceptos ElectroHulla			Resumen Cuenta	
Concepto	Descripción	Valor		
21	Consumo Periodo	9,180.111	Total ElectroHulla \$9,180,107	
608	Ajuste Decena	<4>		
			Total Otros Cobros \$1,188,373	
			Saldo Financiado \$0	
			Total a Pagar \$10,368,480	

Anexo 3. Atlas Colombia de irradiación global horizontal, año 2014.



Anexo 4. Atlas Colombia distribución de temperatura media anual del año 2014.



Anexo 4. Ficha técnica Colector Solar.

Rendimiento de un Colector Solar Modelo C01-30

Technische Daten des Prüfkollektors Description of the collector

Bauart Type	Vakuumröhrenkollektor mit Heatpipes evacuated tubular collector with heat pipes	Aperturfläche Aperture area	2.818 m ²
Zeichnung-Nr. Drawing no.	SWF-20111003	Absorberfläche ¹⁾ Absorber area	2.417 m ²
Länge / Breite / Höhe Length/Width/Height	2043 / 2300 / 135 mm	Bruttofläche Gross area	4.70 m ²
zul. Betriebsdruck Max. operation pressure	6 bar	empfl. Massenstrom Recommended flow rate	72 kg/m ² h
Leergewicht Weight, empty	105.6 kg	Anzahl Vakuumröhren Number of evacuated tubes	30
zul. Wärmeträger Heat transfer fluid	Wasser/Glykol Gemisch water/glykol mixture		

1) projizierte Fläche projected area

Prüfergebnisse (Prüfmedium: Wasser)

Test results (Test medium: Water)

Koeffizienten der Wirkungsgradkurve (ermittelt im Sonnensimulator)
Coefficients of efficiency (determined in the sun simulator under steady state conditions)

$$\eta = \eta_0 - a_1 \cdot (t_m - t_a)/G - a_2 \cdot (t_m - t_a)^2/G$$

Bezug: Based on:	Apertur aperture area	Absorber absorber area
$\eta_0 =$	0.638	0.744
$a_1 =$	1.42 W/m ² K	1.66 W/m ² K
$a_2 =$	0.0179 W/m ² K ²	0.0209 W/m ² K ²

Einstrahlwinkelkorrekturfaktoren (ermittelt im Freien)
Incident angle modifier (determined outdoor)

proj. Einstrahlwinkel θ proj. angle of incidence θ	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°
$K_{\text{rel,trans}}(\theta_{\text{trans}})$	1.00	1.03	1.09	1.21	1.36	1.51	1.57
$K_{\text{rel,long}}(\theta_{\text{long}})$	1.00	1.00	0.99	0.98	0.97	0.94	0.89
$K_{\text{rel}} =$				1.11			

Ausgangsleistung pro Kollektormodul, W
Power output per collector unit, W

	Bestrahlungsstärke Irradiance		
$T_m - T_a$	400 W/m ²	700 W/m ²	1000 W/m ²
10 K	675 W	1214 W	1754 W
30 K	554 W	1094 W	1634 W
50 K	393 W	933 W	1473 W

Spitzenleistung pro Kollektormodul
Peak power output per collector unit

1799 W_{peak}

bei $G = 1000 \text{ W/m}^2$ und $t_m - t_a = 0 \text{ K}$
at

Die Leistungsangaben gelten für senkrechte Einstrahlung.
The power output values are for normal incidence

Druckabfall (Wasser, 20 °C)
Pressure drop (water, 20 °C)

$\Delta p =$	0.2 mbar	bei at	$\dot{m} = 40 \text{ kg/h}$
$\Delta p =$	8.8 mbar	bei at	$\dot{m} = 340 \text{ kg/h}$

Wärmekapazität (berechnet)
Thermal capacity (calculated)

$c =$	17.1 kJ/(m ² K)	$C =$	48.2 kJ/K
-------	----------------------------	-------	-----------

Stillstandtemperatur
Stagnation temperature

$t_{\text{stg}} =$	232 °C	bei at	$G_S = 1000 \text{ W/m}^2$ und $t_{\text{as}} = 30 \text{ °C}$
--------------------	--------	-----------	--

Absorberfläche Absorber area

1.714 m x 0.047 m x 30 = 2.417 m²
Absorberlänge x Außendurchmesser (innere Glasröhre) x Rohranzahl
absorber length x outer diameter (inner glass tube) x number of tubes
(Messung am ISFH measured at ISFH)

Aperturfläche Aperture area

1.714 m x 0.0548 m x 30 = 2.818 m²
Aperturlänge x Innendurchmesser (äußere Glasröhre) x Rohranzahl
aperture length x inner diameter (outer glass tube) x number of tubes
(Messung am ISFH measured at ISFH)

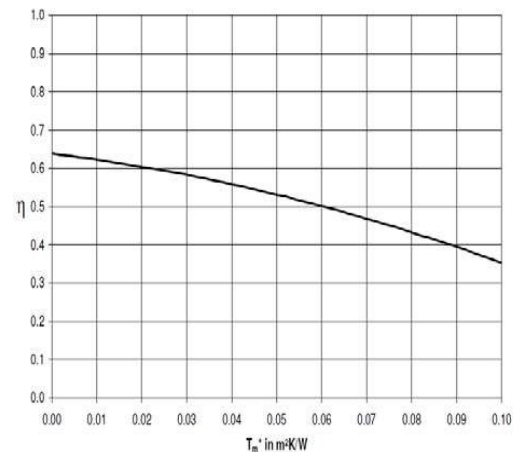
Bruttofläche Gross area

4.70 m²

Kollektoreinbauweise Collector Mounting

Kollektorneigung Collector tilt angle 20°..70°

Wirkungsgradkennlinie bei einer Bestrahlungsstärke von 800 W/m², bezogen auf die Aperturfläche Collector Efficiency Curve for $G = 800 \text{ W/m}^2$, Related to the Aperture Area



Leistungskennlinie bei einer Bestrahlungsstärke von 1000 W/m², bezogen auf den Kollektor Power Curve for $G = 1000 \text{ W/m}^2$, Related to the Collector Unit

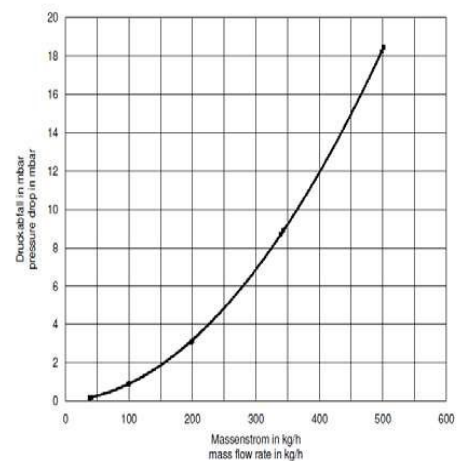
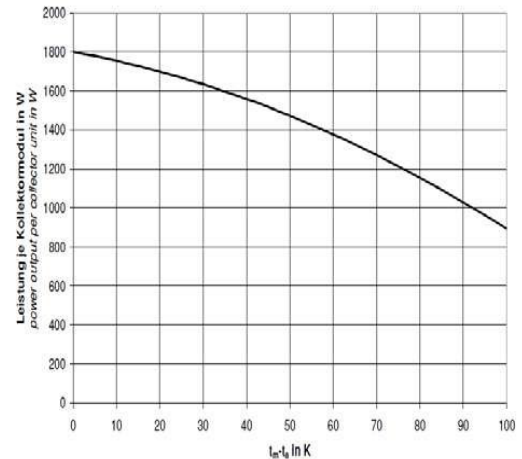


Abb. 13-1: Druckabfall mit dem Wärmeträger Wasser Measured pressure drop of the collector (heat transfer fluid: water)

Anexo 5. Ficha técnica aire acondicionado marca LG.

ESPECIFICACIONES

ARTCOOL DUAL

Excelente solución de aire acondicionado con un diseño elegante.

DETALLE				VR122H9
Capacidad	Enfriamiento	Min - Nominal - Max	KW	0.4 - 3.5 - 4.03
	Calefacción	Min - Nominal - Max	Btu/h	1,365 - 11,945 - 13,751
Potencia de entrada	Enfriamiento	Min - Nominal - Max	KW	0.5 - 3.8 - 4.03
	Calefacción	Min - Nominal - Max	Btu/h	1,706 - 12,966 - 13,751
Corriente en funcionamiento	Enfriamiento	Min - Nominal - Max	W	200 - 1,115 - 1,400
	Calefacción	Min - Nominal - Max	W	195 - 1,000 - 1,200
Etiqueta Eficiencia Energética			A	1.1 - 5.3 - 6
Consumo anual de energía			A	1.1 - 4.9 - 7
Alimentación Eléctrica (Fase/Voltaje/Frecuencia)			Enfriamiento/Calefacción	A / A
Rango de voltaje disponible			SEER (W/w)	6.60
Factor de Energía			SEER (Btu/h.w)	22.52
Retiro de Humedad			kWh/año	186
			kWh/año	875
			Ø V. Hz	1, 220, 60
			V	187 - 253
			%	93.4
			%	98.7
			l/h	0.66
Evaporador	Caudal de Aire	Enfriamiento, Max / H / M / L	m³/min	13.0 / 8.5 / 6.5 / 5.8
	Nivel de Presión de Ruido	Calefacción, Max / H / M / L	m³/min	14.0 / 8.5 / 6.5 / 5.8
	Nivel de Potencia de Sonido	Enfriamiento, Max / H / M / L / SL	dB(A)	- / 42 / 34 / 26 / 22
	Dimensiones (W x H x D)	Calefacción, Max / H / M / L	dB(A)	- / 42 / 34 / 26
	Peso	Neto	mm	60
		Caja	mm	837 - 308 - 192
		Neto	kg	914 - 388 - 261
		Caja	kg	9.6
	Interruptor de Desconexión		kg	12.2
	Código de color exterior		A	15
Condensador	Rango de operación	Enfriamiento	-	Munsell 7.5PB 0.2/20
		Enfriamiento	°C DB	RAL 9005
		Enfriamiento	°C WB	18 - 32
		Humedad relativa máxima	%	12 - 23
		Calefacción	°C DB	-
	Rango de flujo de aire	Max	m³/min	16 - 30
	Velocidad de Motor Ventilación	Enfriamiento, Min - Max	rpm	27
	Nivel de Presión de Sonido	Calefacción, Min - Max	rpm	230 - 1,000
	Nivel de Potencia de Sonido	Enfriamiento, Nominal	dB(A)	230 - 1,000
	Dimensiones (W x H x D)	Calefacción, Nominal	dB(A)	50
Amperaje mínimo del circuito		Neto	mm	50
		Caja	mm	65
		Neto	mm	717 - 495 - 230
		Caja	mm	837 - 530.5 - 332
	Peso	Neto	kg	26.1
		Caja	kg	29.6
	Tamaño máximo del Fusible		A	15
	Código de color exterior		-	Munsell 9.54Y 8.34/1.31
	Rango de operación	Enfriamiento	°C DB	RAL 9001
		Calefacción	°C WB	18 - 48
Cable de Conexión Eléctrica			A	-10 - 18
Fuente de alimentación a la unidad			No.	15
Cable de Alimentación y transmisión			mm²	3
			mm²	1
			mm²	Exterior
			mm²	4
			mm	0.75
			mm	ø 6.35
			mm	ø 9.52
Tubería			-	Flared / Flared
Tamaño de la manguera del drenaje			O.D. ID	21.5, 16.0
Entre Interior y Exterior			Min / Standard / Max	3 - 7.5 - 15
			No Charge	m
			m	7.5
			m	7
			Tipo	R410A
			Cantidad de Precarga	850
			Carga adicional	20
			Control	-
			t-CO ₂ eq	Válvula de Expansión Electrónica
Método de descongelamiento			-	1, 774
Código de la herramienta (Chasis)			-	Reverse Cycle
			Interior / Exterior	SJ / UA3
			-	Twin Rotary
			-	GST102MAA
			-	BLDC
			-	PVE (FVC680) / IDEMITSU
			cc	280
			-	LG Electronics / China
			-	Cross Flow Fan
			W	30
			-	Propeller Fan
			-	BLDC
			W	43
			-	Class E
			-	TEAO / IPX4
			-	(ø7 x 2 x 15 x 21 x 616.8) x 1
			-	PCM
			-	Slit
			-	(ø7 x 2 x 22 x 18 x 667) x 1
			-	Gold

PARED ART COOL FRIO / CALOR

ARTCOOL DUAL

Excelente solución de aire acondicionado con un diseño elegante.



DETALLE				VR182H8
Capacidad	Enfriamiento	Min - Nominal - Max	KW	0.9 - 5.00 - 5.53
	Calefacción	Min - Nominal - Max	Btu/h	3,071 - 17,072 - 18,852
Potencia de entrada	Enfriamiento	Min - Nominal - Max	KW	0.90 - 5.80 - 6.44
	Calefacción	Min - Nominal - Max	Btu/h	3,071 - 19,804 - 21,967
Corriente en funcionamiento	Enfriamiento	Min - Nominal - Max	W	210 - 1,587 - 1,800
	Calefacción	Min - Nominal - Max	W	210 - 1,611 - 2,000
Etiqueta Eficiencia Energética	Enfriamiento	Min - Nominal - Max	A	1.20 - 6.90 - 9.00
	Calefacción	Min - Nominal - Max	A	1.20 - 7.10 - 9.50
Consumo anual de energía	Enfriamiento	SEER (W/w)	A / A	6.50
	Calefacción	SEER (Btu/h.w)	SEER (Btu/h.w)	22.18
Alimentación Eléctrica (Fase/Voltaje/Frecuencia)	Enfriamiento	kWh/año	kWh/año	269
	Calefacción	kWh/año	kWh/año	1,365
Rango de voltaje disponible	Enfriamiento	Ø V, Hz	Ø V, Hz	1,220, 60
	Calefacción	%	%	187 - 276
Factor de Energía	Enfriamiento	%	%	93
	Calefacción	%	%	93
Retiro de Humedad	Enfriamiento	l/h	l/h	1.8
	Calefacción	l/h	l/h	1.8
Evaporador	Caudal de Aire	Enfriamiento, Max / H / M / L	m³/min	15.5 / 14.5 / 13.0 / 10.5
	Caudal de Aire	Calefacción, Max / H / M / L	m³/min	18.5 / 16.0 / 13.5 / 11.0
	Nivel de Presión de Ruido	Enfriamiento, Max / H / M / L / SL	dB(A)	47 / 44 / 39 / 34 / 31
	Nivel de Presión de Ruido	Calefacción, Max / H / M / L	dB(A)	48 / 44 / 39 / 34
	Nivel de Potencia de Sonido	Enfriamiento, Min - Max	dB(A)	60
	Nivel de Potencia de Sonido	Calefacción, Min - Max	dB(A)	998 x 345 x 212
	Dimensiones (W x H x D)	Enfriamiento, Nominal	mm	1085 x 427 x 286
	Peso	Calefacción, Nominal	kg	13.2
	Interruptor de Desconexión		kg	17.6
	Código de color exterior		A	Munsell 7.5PB 0.2/20
Condensador	Rango de operación	Enfriamiento	°C DB	-
	Rango de operación	Enfriamiento	°C WB	-
	Rango de operación	Humedad relativa máxima	%	-
	Rango de operación	Calefacción	°C DB	-
	Rango de flujo de aire	Max	m³/min	35
	Velocidad de Motor	Enfriamiento, Min - Max	rpm	150 - 900
	Velocidad de Motor	Calefacción, Min - Max	rpm	150 - 900
	Nivel de Presión de Sonido	Enfriamiento, Nominal	dB(A)	53
	Nivel de Presión de Sonido	Calefacción, Nominal	dB(A)	55
	Nivel de Potencia de Sonido	Enfriamiento, Min - Max	dB(A)	65
Amperaje mínimo del circuito	Dimensiones (W x H x D)	Enfriamiento, Min - Max	mm	770 x 545 x 288
	Dimensiones (W x H x D)	Calefacción, Min - Max	mm	925 x 593 x 393
	Peso	Enfriamiento, Nominal	kg	36.3
	Peso	Calefacción, Nominal	kg	39
	Tamaño máximo del Fusible		A	20
	Código de color exterior		-	Munsell 9.54Y 8.34/1.31
	Rango de operación	Enfriamiento	°C DB	RAL 9001
	Rango de operación	Enfriamiento	°C WB	-15 - 48
	Rango de operación	Calefacción	°C WB	-10 - 18
	Rango de operación	Calefacción	A	20
Cable de Conexión Eléctrica	Cable de Conexión Eléctrica	No.	mm²	3
	Fuente de alimentación a la unidad		mm²	1.5
	Cable de Alimentación y transmisión		mm	Exterior
	Cable de Alimentación y transmisión	No.	mm²	4
	Cable de Alimentación y transmisión		mm²	1
	Tubería	Tamaño	mm	ø 6.35
	Tubería	Método de conexiones	mm	ø 12.7
	Tamaño de la manguera del drenaje	Interior / Exterior	mm	Flared / Flared
	Tamaño de la manguera del drenaje	O.D. I.D.	mm	21.5, 16.0
	Entre Interior y Exterior	Longitud de la tubería	m	3 - 7.5 - 20
Refrigerante	Entre Interior y Exterior	Diferencia máxima de Elevación	m	7.5
	Refrigerante	Tipo	-	10
	Refrigerante	Cantidad de Precarga	g	R410A
	Refrigerante	Carga adicional	g/m	1200
	Refrigerante	Control	-	20
	Refrigerante	t-CO ₂ eq	-	Válvula de Expansión Electrónica
	Método de descongelamiento		-	2.510
	Código de la herramienta (Chasis)	Interior / Exterior	-	Reverse Cycle
	Compresor	Tipo	-	SK / UL2
	Compresor	Modelo	-	Twin Rotary
Ventilador (Interior)	Compresor	Tipo de motor	-	GKT141MBA
	Compresor	Tipo de aceite / fabricante	-	BLDC
	Compresor	Carga de aceite	cc	PVE (FVC68D) / IDEMITSU
	Compresor	Fabricante / País de origen	-	470
	Ventilador (Interior)	Tipo	-	LG Electronics / China
	Ventilador (Interior)	Motor exterior	W	Cross Flow Fan
	Ventilador (Interior)	Tipo	-	30
	Ventilador (Interior)	Motor exterior	W	Propeller Fan
	Ventilador (Interior)	Tipo	-	BLDC
	Ventilador (Interior)	Motor exterior	W	43
Intercambiador de calor	Ventilador (Exterior)	Aislamiento de motor	-	Class E
	Ventilador (Exterior)	Protección del motor / Protección de entrada	-	TEAO / IP23
	Intercambiador de calor	Evaporador	(ø x Row x Column x FPI x L) x Qty.	(Φ 7 x 2 x 16 x 20 x 744) x 1
	Intercambiador de calor	Protección contra la corrosión	-	PCM
	Intercambiador de calor	Tipo de aleta	-	Slit
	Intercambiador de calor	Condensador	(ø x Row x Column x FPI x L) x Qty.	(Φ 7 x 2 x 24 x 18 x 814) x 1
	Intercambiador de calor	Protección contra la corrosión	-	Gold
	Intercambiador de calor	Protección contra la corrosión	-	Gold
	Intercambiador de calor	Protección contra la corrosión	-	Gold
	Intercambiador de calor	Protección contra la corrosión	-	Gold