

**EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO ENERGÉTICO DE UN SISTEMA DE
REFRIGERACIÓN POR ABSORCIÓN HÍBRIDO EMPLEANDO ENERGÍA
SOLAR FOTOVOLTAICA Y GAS DE SÍNTESIS DE UN GASIFICADOR
MULTIZONA**



**TAYLOR DE JESÚS DE LA VEGA GONZÁLEZ
JUAN FELIPE MESTRA MORGAN**

**DIRECTOR
Ing. ARNOLD RAFAEL MARTÍNEZ GUARÍN, M. Sc**

**CO-DIRECTOR
Ing. JORGE MARIO MENDOZA FANDIÑO, PhD**

**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
MONTERÍA - CÓRDOBA**

2020

**EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO ENERGÉTICO DE UN SISTEMA DE
REFRIGERACIÓN POR ABSORCIÓN HÍBRIDO EMPLEANDO ENERGÍA
SOLAR FOTOVOLTAICA Y GAS DE SÍNTESIS DE UN GASIFICADOR
MULTIZONA**

**TAYLOR DE JESÚS DE LA VEGA GONZÁLEZ
JUAN FELIPE MESTRA MORGAN**

**Trabajo de grado presentado en la modalidad de trabajo de investigación como
Parte de los requisitos para optar al Título de Ingeniero Mecánico.**

**DIRECTOR
Ing. ARNOLD RAFAEL MARTÍNEZ GUARÍN, M. Sc**

**CO-DIRECTOR
Ing. JORGE MARIO MENDOZA FANDIÑO, Ph.D**

**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
MONTERÍA - CÓRDOBA**

2020

**La responsabilidad ética, legal y científica de las ideas, conceptos y resultados del
Proyecto, serán responsabilidad de los autores.**

Artículo 61, acuerdo N° 093 del 26 de noviembre de 2002 del consejo superior.

Nota de aceptación

ARNOLD RAFAEL MARTÍNEZ GUARÍN

Director

RAFAEL DAVID GÓMEZ VÁSQUEZ

Jurado

DIANA JULISSA RAMÍREZ ÁLVAREZ

Jurado

DEDICATORIAS

Este triunfo se lo dedico principalmente a Dios, quien me ha dado la sabiduría para llevar a cabo este trabajo de grado, a mis padres, que han sido mi motivación para todo lo que emprendo, este logro es suyo, a mis hermanos, a mis familiares, amigos y a mi Novia Melisa Álvarez quien me ha acompañado durante mi proceso de formación como ingeniero mecánico.

Taylor de Jesús De la Vega González.

Este trabajo esta dedicado en primer lugar Dios por obsequiarnos el don de la sabiduría para completar este proyecto, a mi familia por su apoyo incondicional, en especial mi madre quien me ha brindado amor y guía, a mirian quien con su amor desinteresado y comprensión me acompaña desde el inicio de mi carrera como ingeniero mecánico.

Juan Felipe Mestra Morgan

AGRADECIMIENTOS ESPECIALES

Los autores agradecen a la Universidad de Córdoba como fuente de financiación, en el marco de la Convocatoria Interna de proyectos de investigación enmarcada en la Sostenibilidad de los Grupos de investigación año 2017, “Acta No. FI-05-17 de 2019”.

En primer lugar, queremos darle gracias a Dios por habernos dado la sabiduría para llevar a cabo este trabajo y por haber puesto en nuestro camino a todas aquellas personas que colaboraron e hicieron posible esta investigación. A nuestros familiares, amigos, docentes y demás que nos apoyaron, colaboraron y acompañaron durante este proceso. A los ingenieros Jorge Mario Mendoza Fandiño, Arnold Rafael Martínez Guarín y Jesús David Rhenlas Julio por todo el tiempo, apoyo, conocimientos y ayuda que nos brindaron de forma desinteresada para mejorar nuestro trabajo, han sido parte importante de nuestra formación académica y profesional ya que sin su ayuda este proyecto no hubiese sido posible.

Agradecemos al cuerpo docente del programa de Ingeniería Mecánica por todos los conocimientos que sembraron en nosotros sin ellos no se hubiese llegado tan lejos, a los auxiliares del laboratorio de Materiales y procesos por la disponibilidad del espacio de trabajo.

Muchas gracias a los docentes Rafael David Gómez Vázquez y Diana Julissa Ramírez Álvarez por las correcciones, mejoras y recomendaciones para desarrollar de la mejor manera este trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	15
2. OBJETIVOS.....	18
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
3. REVISIÓN DE LITERATURA	19
3.1 PANORAMA INTERNACIONAL DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES.....	19
3.1.1 Energía solar Fotovoltaica en Colombia.	20
3.1.2 Componentes Generales de un Sistema Solar fotovoltaico	21
3.2 ASPECTOS GENERALES DE LA BIOMASA.....	22
3.3 BIOMASA.....	23
3.3.1 Métodos de análisis de composición.....	24
3.4 GASIFICACIÓN INTEGRADA EN SISTEMAS DE GENERACIÓN DE POTENCIA	26
3.4.1 Proceso de Gasificación	27
3.4.2 Etapas de gasificación.....	28
3.5 GAS DE SÍNTESIS.....	30
3.6 SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN.....	30
3.6.1 Sistema de refrigeración por absorción de ciclo básico	31
3.7 COEFICIENTE DE DESEMPEÑO (COP).	35
3.8 CARACTERIZACIÓN DE LAS ZNI	37
3.8.1 Necesidades de Refrigeración en las ZNI	39
3.8.2 La seguridad alimentaria.....	40
3.9 ANTECEDENTES.....	42
3.9.1 Antecedentes bibliográficos de sistemas de refrigeración solar por absorción: ..	42
3.9.2 Antecedentes bibliográficos de sistemas de refrigeración por absorción implementando gases como fuente de calor:	45
3.9.3 Antecedentes bibliográficos en gasificación de tusa de maíz.....	46
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	48
4.1 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE ENTRADA.....	48
4.1.1 Condiciones de Conservación de los alimentos.....	48
4.1.2 Caracterización de la radiación solar.	50
4.1.3 Realización de los análisis próximo y elemental de la biomasa	51

4.1.4	Cromatografía del gas	51
4.2	DISEÑO DE MONTAJE	52
4.3	ACONDICIONAMIENTO DEL EQUIPO.....	53
4.3.1	Tolvas de alimentación en gasificación y combustión.....	53
4.3.2	Sistema de lavado del gas.....	55
4.4	REALIZACIÓN DE PRUEBAS Y MEDICIONES.....	59
5.	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	63
5.1	VALORIZACIÓN TERMOQUÍMICA DE LA BIOMASA	63
5.1.1	Análisis Próximo	63
5.1.2	Análisis Elemental	63
5.2	FUENTES CONVENCIONALES DE ENERGÍA.....	64
5.2.1	Energía eléctrica (AC 110 V)	64
5.2.2	Gas licuado de petróleo (GLP)	66
5.3	FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLES	68
5.3.1	Kit Solar Fotovoltaico (Energía Solar).....	68
5.3.2	Gas de síntesis.	70
5.4	COMPARACIÓN ENTRE LAS DIFERENTES FUENTES DE ENERGÍA	71
5.5	Coefficiente de rendimiento máximo (COP) máx. (reversible).....	73
6.	CONCLUSIONES	75
7.	RECOMENDACIONES	77
8.	BIBLIOGRAFÍA	78
9.	ANEXOS.....	83

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Potencial de la energía solar en Colombia por Regiones	20
Tabla 2. Comparación de las mezclas de trabajo.....	35
Tabla 3. Consumo de energía para los electrodomésticos en la curva de carga horaria	40
Tabla 4. Condiciones óptimas y tiempo de conservación de alimentos cultivados y consumidos en las ZNI.....	49
Tabla 5. Periodo de conservación de productos de origen animal en refrigeración y congelación.....	49
Tabla 6. Resultados de análisis próximo de la biomasa.....	63
Tabla 7. Análisis elemental de la tusa de maíz en base seca	64
Tabla 8. Temperaturas durante la prueba con energía eléctrica (AC 110V)-Nevera	91
Tabla 9 Temperaturas durante la prueba con GLP- Nevera	94
Tabla 10. Temperaturas durante la prueba con Kit solar Fotovoltaico- Nevera.....	97
Tabla 11. Temperaturas durante la prueba con Gas de síntesis- Nevera	100

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Consumo de energías renovables para el año 2016	19
Figura 2. Estructura básica de un sistema fotovoltaico.....	22
Figura 3. Esquema de los diferentes tipos de biomasa.	24
Figura 4. Composición expresada por las bases de análisis.....	26
Figura 5. Esquema de gasificación y sus etapas.....	29
Figura 6 .Sistema de refrigerador solar por absorción de ciclo clásico.	34
Figura 7. Localización de usuarios en las ZNI.	38
Figura 8. Distribución de usuarios en ZNI por departamento.....	39
Figura 9. Toneladas desechadas por producto anualmente en Colombia.	41
Figura 10. Toneladas desechadas por etapa anualmente en Colombia.....	41
Figura 11. Ciclo de refrigeración por absorción.....	52
Figura 12. Medición y Corte de tubos	53
Figura 13. Proceso de corte de tubos a 45°	54
Figura 14. Proceso de perforación.....	54
Figura 15 .Proceso de soldadura para las tolvas.....	55
Figura 16. Tanques 55 Gal.....	56
Figura 17. Perfiles cuadrados de acero A36.....	56
Figura 18. Proceso de soldadura de acoples al sistema	57
Figura 19. Adecuación del segundo tanque	57
Figura 20. Sistema de tratamiento de gases-Estructura móvil	58
Figura 21. Estructura móvil.....	58
Figura 22. Nevera con su estructura móvil	59
Figura 23. Prueba con Gas licuado de petróleo (GLP)- Nevera.....	60
Figura 24 .Prueba con energía Eléctrica a 110V- Nevera.....	60
Figura 25. Realización de prueba con Kit solar - Nevera	61
Figura 26. Montaje del gasificador- Equipo de lavado de Gases- Nevera.....	62
Figura 27 . Temperatura de estabilidad de la carga térmica (T vs t)	65
Figura 28. Temperatura de estabilización de la carga térmica (T vs t).....	67
Figura 29. Temperatura de estabilidad de la carga térmica (T vs t)	69
Figura 30. Temperatura de estabilidad de la carga térmica (T vs t)	70
Figura 31. Temperaturas de estabilización de la carga térmica (T vs t) de los diferentes tipos de energías utilizadas.....	71
Figura 32 .Curvas de temperatura a la salida del generador vs tiempo, implementando las diferentes tipos de energías	72

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Distribución del uso del suelo en los departamentos principales con ZNI.....	83
Anexo 2. Distribución del uso del suelo para actividad agropecuaria en los departamentos principales con ZNI	83
Anexo 3. Mapa de radiación solar global multianual en Colombia	84
Anexo 4. Análisis elemental de la tusa de maíz	85
Anexo 5. Análisis próximo de la tusa de maíz	86
Anexo 6. Cromatografía del gas	87
Anexo 7. Adquisición de nevera de refrigeración por absorción	88
Anexo 8. Kit solar Fotovoltaico	89
Anexo 9. Plano del diseño preliminar de la estructura soporte Sistema de lavado de Gases	90
Anexo 10. Temperaturas durante la prueba con energía eléctrica (AC 110V)-Nevera..	91
Anexo 11. Temperaturas durante la prueba con GLP- Nevera	94
Anexo 12. Temperaturas durante la prueba con Kit solar Fotovoltaico- Nevera.....	97
Anexo 13. Temperaturas durante la prueba con Gas de síntesis- Nevera.....	100
Anexo 14. Curvas de temperatura en la entrada del generador.....	102
Anexo 15. Curvas de temperatura en la salida del generador	102
Anexo 16. Curvas de temperatura en la salida del condensador	103
Anexo 17. Curvas de temperatura en la entrada del evaporador.....	103
Anexo 18. Curvas de temperatura en la zona interna del evaporador	104
Anexo 19. Curvas de temperatura en la salida del evaporador	104

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo evaluar el desempeño energético en una nevera de refrigeración por absorción alimentada con fuentes de energías renovables en este caso son la energía solar y *Syngas* producto de la quema de tusa de maíz en un gasificador multizona, planteando alternativas para generar energía que pueda ser usadas en zonas industriales, residenciales o zonas no interconectadas (ZNI) de diversas regiones del país, mejorando su calidad de vida y competitividad en el sector al contar con alternativas para la conservación de productos. Por otro lado, Córdoba, ubicado en el noroeste de Colombia es un departamento privilegiado para el aprovechamiento de recursos renovables de energía, principalmente la proveniente del sol que se encuentra presente durante todo el tiempo del año; También se cuenta con gran potencial de biomasa puesto que es un departamento productor de maíz, que se puede usar para generar energía mediante transformaciones termoquímicas. El trabajo contiene información sobre los avances de la refrigeración, formas de adecuaciones de nuevas fuentes energéticas renovables a sistemas de producción, mejoras en el funcionamiento de equipos y a su vez su desempeño energético.

Inicialmente se realizó una investigación de las condiciones de radiación solar determinando también las horas de pico solar (HPS), seguido se consultaron los históricos de producción de alimentos en el departamento, así como también sus propiedades de conservación. Finalmente se utilizaron datos sobre la producción de biomasa manejados por Fenalce de 2003 a 2013, con promedio anual de 42642.69 ton/año.

Con el fin de determinar el desempeño se alcanzaron temperaturas en el evaporador de $-3,60^{\circ}\text{C}$ y con promedio de $6,23^{\circ}\text{C}$ en la carga térmica al utilizar energía solar por medio de un Kit solar Fotovoltaico como fuente energética implementada al sistema, y $(8,70^{\circ}\text{C})$ al utilizar el gas de síntesis. Se logró calcular el tiempo de estabilización de la carga térmica de las fuentes los cuales fueron 1400 min para energía solar y 1455 min para syngas. Los resultados fueron comparados con fuentes convencionales de energía como son Gas licuado de Petróleo (GLP) y energía eléctrica (110V) que entregaron $3,00^{\circ}\text{C}$ y $2,00^{\circ}\text{C}$ respectivamente en el evaporador y con promedios en la carga térmica de $7,23^{\circ}\text{C}$ y $9,65^{\circ}\text{C}$ respectivamente, tiempos de estabilización de 600 min para (E110V) y 1430 min para GLP.

Posteriormente se calculó el desempeño energético COP Máx. obteniendo así 2,38 con energía solar y 3,28 con gas de síntesis también comparados con las fuentes convencionales con valores de 3,67 para GLP y 2,60 para energía eléctrica 110V.

Palabras Clave: Sistema de refrigeración por absorción, Kit solar fotovoltaico, syngas, Temperatura de estabilización, COP.

ABSTRACT

The objective of this project is to evaluate the energy performance of an absorption refrigeration fridge fed with renewable energy sources. In this case, it is solar energy and Syngas, the product of burning corn duct in a multizone gasifier, proposing alternatives for energy that They can be used in industrial, residential or non-interconnected areas (ZNI) in various regions of the country, improving their quality of life and competitiveness in the sector by having alternatives for the conservation of products. On the other hand, Córdoba, located in the northwest of Colombia, is a privileged department for the use of renewable energy resources, mainly that coming from the sun that is present throughout the year; There is also great potential for biomass since it is a corn-producing department, which can be used to generate energy through thermochemical transformations. The work contains information on the advances in refrigeration, ways of adapting new renewable energy sources to production systems, improvements in the operation of equipment and, in turn, their energy efficiency.

Initially, an investigation of the solar radiation conditions was carried out, also determining the peak peak hours (HPS), followed by consulting the food production history in the department as well as its conservation properties. Finally, data on biomass production managed by Fenalce from 2003 to 2013 will be used, with an annual average of 42,642.69 tons / year.

In order to determine the performance, the evaporator temperatures of $-3,60^{\circ}\text{C}$ and the average of $6,23^{\circ}\text{C}$ in the thermal load will be reached when using solar energy by means of a photovoltaic solar kit as an energy source. Implemented to the system, and (8.70°C) when using the synthesis gas. The stabilization time of the thermal load of the sources was calculated, which was 1400 min for solar energy and 1455 min for syngas. The results were compared with electronic energy sources such as liquefied petroleum gas (LPG) and electrical energy (110V) that delivered $3,00^{\circ}\text{C}$ and $-2,00^{\circ}\text{C}$ respectively in the evaporator and with averages at the thermal load of $7,23^{\circ}\text{C}$ and 9.65°C respectively, stabilization times of 600 min for (E110V) and 1430 min for LPG.

Subsequently, the COP Max energy yield is calculated, thus obtaining 2,38 with solar energy and 3,28 with synthesis gas, also compared with electronic sources with values of 3,67 for LPG and 2,60 for 110V electrical energy.

Keywords: Absorption cooling system, Photovoltaic solar kit, syngas, Stabilization temperature, COP.

1. INTRODUCCIÓN

Colombia en busca de mejorar con su política energética ha planteado lograr el abastecimiento externo e interno de energía, con el mínimo impacto ambiental y generando valor para las regiones y poblaciones (UPME 2015), sin embargo tiene un reto que debe afrontar y se trata de las zonas no interconectadas (ZNI), donde se representan aproximadamente con 52% del territorio colombiano, en ellas se encuentra una población estimada cercana a 1.900.000 habitantes (Superservicios 2017), en la zona rural son predominantes las actividades agrícolas, pecuarias y ganaderas, que producen el 6,8% del PIB nacional , este tipo de acciones productivas generan desechos que pueden ser utilizados para producir energía, puesto que la biomasa de origen vegetal se encuentra entre las opciones más promisorias para generar un entorno productivo energéticamente sostenible (Bridgwater, 2003)

Actualmente la producción de energía se basa principalmente en los combustibles fósiles, los cuales continúan suministrando la mayor parte de la energía utilizada en todo el mundo, Sin embargo, éstos son limitados en la tierra y se utilizan más rápido de lo que se crean, lo que traerá escases de éstos con el tiempo. Adicionalmente, contribuyen al calentamiento global y su quema es perjudicial para el medio ambiente.

Por otro lado, el desarrollo de proyectos de generación de energía a partir de biomasa ha tomado una gran importancia a nivel mundial, teniendo en cuenta que esta es una de las alternativas de solución a los actuales problemas de contaminación que han conllevado la utilización de combustibles fósiles. Algunos de los procesos a los que se ha acoplado esta alternativa son los sistemas de calefacción doméstico en zonas de bajas temperaturas, aprovechamiento térmico, cogeneración y/o energía eléctrica en los procesos industriales, o como fuente de energía en zonas de difícil acceso para cubrir los servicios básicos del

hogar. En Colombia se generaron aproximadamente 65.935 GWh de electricidad en el año 2016, de los cuales, 3,20 GWh corresponden al uso de biomasa (UPME, 2018).

A nivel mundial según cifras de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (**FAO**) se disipan 1.300 billones de toneladas en comida equivalentes al 33% en alimentos para el consumo humano, el 23% pertenece a pérdidas por manejo y acumulación, es decir 98,67 billones en toneladas de comida.

En Colombia, de acuerdo con el ministerio de Minas y Energía, entre el 39% y el 50% del consumo de energía eléctrica de los hogares en Colombia está asociado a procesos de refrigeración de alimentos (Ministerio de Minas y Energía, 2009). Según estudios realizados por el Departamento Nacional de Planeación (**DNP**) en 2016, en Colombia se desperdician 9,76 millones de toneladas, que equivale al 34% en la oferta nacional alimenticia, pero la pérdida por postcosecha y reserva es 19,80% en pérdidas totales, que en cantidad son 657 mil toneladas de productos no aprovechadas por almacenamiento inadecuado.

Esto hace que realizar proyectos y crear ideas para mejorar las prestaciones de los sistemas de conservación de alimentos sea oportuno. Ya que la refrigeración se ha convertido en uno de los procesos fundamentales de nuestra cadena de producción alimenticia, al garantizar la conservación de alimentos por extensos periodos de tiempos, utilizada tanto en el ámbito doméstico como industrial. Además, posee la ventaja de no afectar el sabor, la textura ni el valor nutritivo, y evita el crecimiento de microorganismos patógenos asociados a la descomposición, lo que permite mantener las condiciones de seguridad biológica.

La solución podría ser un sistema de refrigeración por absorción que cuente con sistemas híbridos de trabajo, es decir, trabajar con dos fuentes de energías distintas tanto

convencionales como renovables. Esto da cabida a la utilización de energías alternativas como biogás y paneles solares para solventar la carencia de energía eléctrica y difícil acceso a combustibles como gas natural o Gas líquido de Petróleo (GLP.) Generando así, estudios previos para posible implementación con estos sistemas en (ZNI).

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el desempeño energético en un sistema de refrigeración por absorción híbrido empleando energía solar fotovoltaica y gas de síntesis de un gasificador multizona con miras a su posible implementación en ZNI.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar las fuentes energéticas que se implementarán en el sistema utilizando análisis próximo y elemental para la biomasa, estudio de cromatografía para el gas de síntesis y la cuantificación de irradiación a partir de mapas de brillo solar.
- Diseñar un sistema de acondicionamiento del gas de síntesis para poder acoplarlo de manera segura y eficiente al sistema de refrigeración por absorción.
- Desarrollar una evaluación experimental para el proceso de refrigeración por absorción con el fin de censar las temperaturas en diferentes puntos en los cuales se caracteriza el sistema.
- Calcular el coeficiente de desempeño (COP) del sistema de refrigeración por absorción utilizando gas de síntesis y energía solar fotovoltaica.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 PANORAMA INTERNACIONAL DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES

Actualmente el consumo de energías renovables se ha incrementado en un promedio de 2,30% desde el año 2015, lo cual ha contribuido a que las emisiones globales de carbono asociadas al consumo de energía se mantuvieron estables para el año 2014. Según (Energy International Agency, 2017), tales efectos han sido atribuidos al aumento en la penetración de las ER (Energías Renovables) y las mejoras en la eficiencia energética.

En el mundo existe una conciencia de la importancia de las ER y la eficiencia energética como mecanismos fundamentales para abordar el cambio climático, la creación de nuevas oportunidades económicas y proporcionar acceso a la energía a millones de personas que aún viven sin servicios de energía modernos.

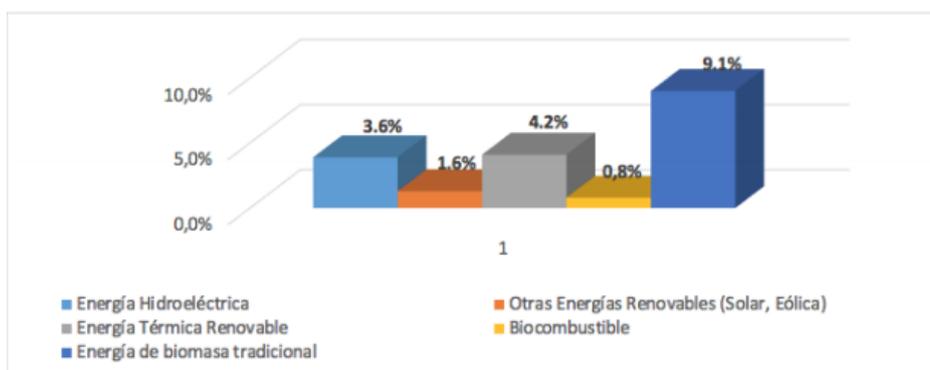


Figura 1. Consumo de energías renovables para el año 2016
Fuente: (REN21 ,2017).

Según la International Renewable Energy Agency (IRENA), en el año 2016 las ER han proporcionado un estimado de 19,30% del consumo mundial de energía. Aquí se destaca la producción de energía a partir de la biomasa con usos residuales como calefacción y cocina en las áreas rurales en los países en vía de desarrollo con una representación alrededor del 9,10% (ver Figura 1.) con una participación del 10,20% para las ER modernas como la energía solar fotovoltaica, eólica, hidroeléctrica, solar térmica y biocombustibles (REN21, 2017).

3.1.1 Energía solar Fotovoltaica en Colombia.

El potencial de la energía Fotovoltaica se ha calculado tomando como referencia la información suministrada por las estaciones meteorológicas instaladas por el Instituto de Estudios Ambientales (IDEAM). La UPME tiene el atlas de radiación solar en Colombia, el cual fue realizado utilizando estaciones de brillo solar y estaciones radiométricas. A partir de esta información, se calculó el potencial solar para cada una de las regiones colombianas según se puede observar en la Tabla 1. En la Costa Atlántica se tiene una irradiación solar promedio anual de 1825 kWh/m²/año. Si se tiene en cuenta que el promedio máximo a nivel mundial es de 2500 kWh/m²/año, el potencial en esta región del país es del 73% respecto a la referencia global. Además, las variaciones mensuales en territorio colombiano respecto a la medida global son mínimas en comparación con otras regiones del mundo; lo cual reduce el tamaño de los sistemas de acumulación de energía.

Tabla 1. Potencial de la energía solar en Colombia por Regiones

Región	kWh/m²/año
Guajira	2.190
Costa Atlántica	1.865
Orinoquia	1.643
Amazonia	1.551
Andina	1.643
Costa Pacífica	1.278

Fuente:(Consorcio Energético CORPOEMA 2010)

3.1.2 Componentes Generales de un Sistema Solar fotovoltaico

Estos dispositivos serán descritos a continuación y se pueden apreciar en la Figura 2

Paneles fotovoltaicos: Un panel solar está conformado por varias pequeñas células que están interconectadas entre sí en modo serie o en paralelo. Dependiendo de este tipo de conexiones es que se pueden tener paneles solares de diferentes niveles de tensión y corriente generadas. Los paneles solares son fabricados generalmente con materiales semiconductores, el semiconductor más usado es el silicio.

Generador: Es el encargado de transformar la energía solar en energía eléctrica. Está formado por varios módulos fotovoltaicos conectados en serie y/o paralelo, y a su vez cada módulo está formado por unidades básicas llamadas células fotovoltaicas. La potencia que pueda suministrar un módulo dependerá del número de celdas que posea. (Abella A, 2001)

Inversores: El inversor convierte la electricidad de una fuente de corriente continua a una alterna que coincide con el voltaje, la frecuencia y fase de interconexión de la red para garantizar la seguridad y la fiabilidad (Sangster, 2014).

Baterías: Es un elemento donde se almacena la energía producida durante las horas de pico solar y que se puede utilizar durante la noche, o en momentos en los que no se disponga de la suficiente radiación solar para generar energía necesaria. La batería es un elemento que va a estar cargándose y descargándose cíclicamente. Las consideraciones para elegir la correcta incluyen el costo, la vida útil, los ciclos, la instalación y el mantenimiento. (Abella Miguel, 2001)

Regulador de carga: Este elemento es el encargado de proteger la batería contra sobrecargas o contra sobrecargas excesivas que podrían resultar dañinas para la batería, acortando su vida útil. El modo de operación es bien sencillo: cuando el regulador detecta que la batería está siendo sobre descargada desconecta los consumos.

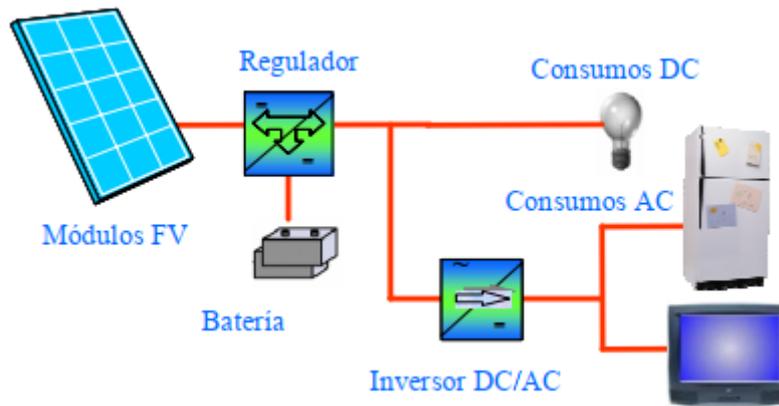


Figura 2.Estructura básica de un sistema fotovoltaico

Fuente: (Abella Miguel, 2001)

3.2 ASPECTOS GENERALES DE LA BIOMASA.

La energía con biomasa se define como la energía solar almacenada en los seres vivos por medio de la fotosíntesis, lo que significa que puede encontrarse en estado natural en los vegetales, pero también se puede obtener biomasa de origen animal dada al proceso de digestión realizado (Martínez P., 2009). La principal forma de obtención de biomasa proviene de residuos de procesos agrícolas y que pueden ser usados en la generación de energía eléctrica para alimentar sistemas de calefacción y refrigeración, entre otros. Para obtener dicha energía se deben realizar procesos termoquímicos entre los que se encuentran gasificación y combustión, de igual forma puede ser usada como combustible de manera directa para la producción de calor. También se puede transformar la biomasa en biocombustibles como es el caso del bioetanol y el biodiesel, Cuando se utiliza para

generar electricidad se emplea a través de sistemas que evaporan el agua contenida circulando el vapor a través de turbinas (Rojas A, Burgos E., 2019)

Para el uso de la biomasa es necesario implementar estructuras complejas incluyendo fuentes de cogeneración que involucran componentes como calderas y grandes volúmenes de espacio (Cerdeña Tena, 2012). Sin embargo, en países no desarrollados su uso es más aplicado a utilizarla como leña para cocinar alimentos e iluminar áreas (UPME, 2015a).

3.3 BIOMASA.

La unión europea define a biomasa como fracción biodegradable de productos, desechos y residuos de la agricultura que incluye sustancias de origen vegetal y animal) industrias relacionadas, de igual manera como la fracción biodegradable de los residuos municipales e industriales (Cerdá, 2012)

La formación de biomasa tiene su origen en la fotosíntesis, proceso que se utiliza la radiación solar para formar glúcidos y efectuar la biosíntesis de diversos compuestos orgánicos a partir de CO₂ y H₂O, expulsando O₂ al medio. Es responsable de la formación de casi toda la energía bioquímica presente en el planeta, donde se incluyendo la utilizada por el hombre para satisfacer necesidades como luz, calor, potencia, debido a que el carbón, el gas y el petróleo son las principales fuentes de combustibles y que provienen de la descomposición del material biológico generado por microorganismos fotosintéticos (Seishu & Tadashi, 2013), (Goyal, Seal, & Saxena, 2008). De igual modo la biomasa se puede clasificar en 4 tipos diferentes: (Basú, 2010) las cuales se muestran en la Figura 3.

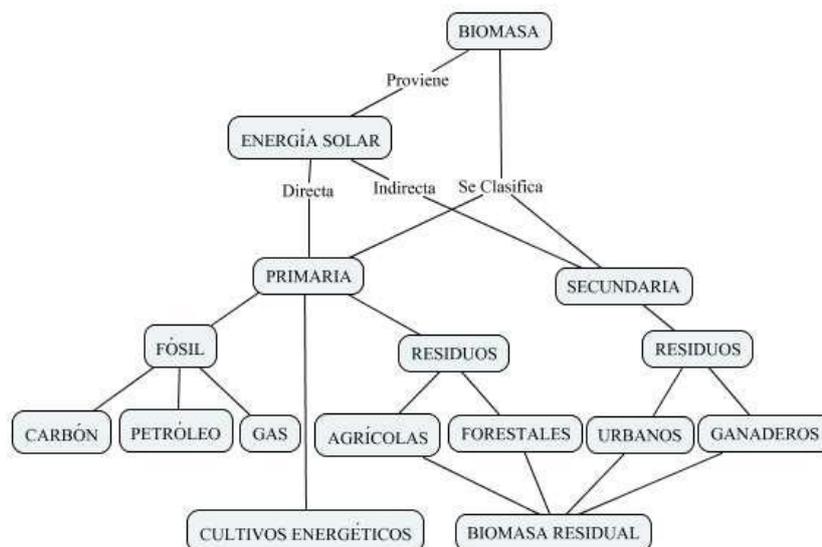


Figura 3. Esquema de los diferentes tipos de biomasa.
Fuente: (Rhenals & Torres, 2016)

3.3.1 Métodos de análisis de composición.

Existen varios métodos de análisis para determinar la composición de los compuestos orgánicos, algunos son análisis experimentales definidos por procedimientos estandarizados donde se toman muestras del material y son llevadas al laboratorio para evaluar sus propiedades en condiciones controladas, y otros son métodos teóricos desarrollados a través de la modelación de resultados determinados experimentalmente, los cuales emplean ecuaciones y correlaciones entre las propiedades de los constituyentes de la sustancia y las propiedades específicas a determinar. En la mayoría de los casos los análisis teóricos presentan errores de hasta el 50%, por lo tanto, no se consideran como estudios muy precisos, dado que las condiciones de desarrollo de la modelación influyen en los resultados (Álvarez, 2012).

Dado a que es importante conocer la composición de la biomasa por su proyección a ser usada como combustible, realizar una caracterización termoquímica que permita brindar información acerca de las fracciones de elementos que la forman como, carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N) o azufre (S) en caso de contenerlo y de la capacidad energética que posee. Esta puede realizarse a través de tres ensayos: análisis

próximo, análisis elemental y ensayo de poder calorífico, realizados de acuerdo con los procedimientos establecidos por sus respectivas normas.

- *Análisis Próximo:* este análisis expresa la composición de la biomasa en términos de los componentes generales, como el carbono fijo (FC), el material volátil (VM), la humedad (MC) y las cenizas (A), de manera que la suma del porcentaje corresponde al 100% (Basu, 2010) como se nota en la ecuación (1).

$$\mathbf{FC + VM + MC + A = 100\%} \quad \mathbf{(1)}$$

Donde el carbono fijo representa el carbón sólido de la biomasa e incluye el carbón transformado en el proceso de análisis, el material volátil se refiere al vapor condensable y no condensable que libera la biomasa cuando es sometido a calor, las cenizas que son residuos y la humedad de equilibrio de la sustancia (Basu, 2010).

- *Análisis elemental:* La finalidad de este análisis es determinar la composición del combustible con base a sus elementos más básicos, exceptuando la humedad y el contenido de cenizas. Con este análisis se puede estipular los porcentajes en peso de materia, las cantidades de carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y azufre presentes, (Basu, 2010). Así como se muestra en la ecuación (2).

$$\mathbf{C + H + O + N + S + MC + A = 100\%} \quad \mathbf{(2)}$$

Una vez determinada la composición de la biomasa, los resultados de los análisis pueden ser expresados de diferentes formas, de acuerdo con las condiciones de las bases de análisis. Se resaltan cuatro bases de análisis como se muestra en la Figura 4

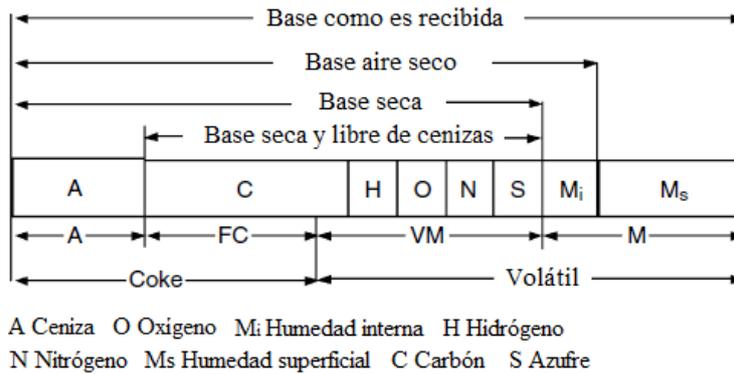


Figura 4. Composición expresada por las bases de análisis.
 Fuente: (Basu, 2010)

- Cómo es recibida, que corresponde a la base total.
- Aire seco, cuando se considera solo la humedad de equilibrio de la sustancia.
- Seca, cuando la muestra está totalmente libre de humedad.
- Seca y libre de cenizas, cuando solo se tiene en cuenta los elementos básicos

3.4 GASIFICACIÓN INTEGRADA EN SISTEMAS DE GENERACIÓN DE POTENCIA

La gasificación es un proceso de producción de gas combustible por medio de la materia orgánica sometida a diferentes condiciones de entorno. Esta tecnología surgió a finales del siglo XVII, cuando era usada con fines residenciales a partir del carbón (generación de calor, iluminación, etc.) seguidamente es en la época de guerras donde se logra desarrollar la tecnología, debido a que los suministros de combustibles escaseaban se necesitaba así una solución, es en donde desarrollan estos métodos alternos de producción de combustible para accionar los motores de combustión interna y demás maquinas. Sin embargo, a mediados del siglo XX con la finalización de la segunda guerra mundial la tecnología es relegada y entra en desuso, debido a la abundancia de la explotación del mercado petrolero (Mesa & Romero, 2009). En sus inicios se implementaba a partir de madera y carbón logrado generar un gas pobre, también conocido como gas manufacturado.

Actualmente (siglo XXI) se centra nuevamente la atención en esta tecnología, pero orientada a una perspectiva energética sostenible debido a la preocupación por el cambio climático como consecuencia del escalafón energético alcanzado en la actualidad donde la mayor cantidad de energía proviene combustibles fósiles, cuyo efecto contaminante en el planeta es devastador. Es así como la tecnología de gasificación renace como una solución transitoria de adaptación entre las energías no renovables y renovables, debido a la versatilidad de adaptación que permite formar un puente entre las fuentes energéticas potenciales desaprovechadas actualmente, como es el caso de la biomasa residual, en especial la procedente de la agroindustria, con las tecnologías actuales de generación de energía, como son las turbinas, calderas, motores.(Mesa & Romero, 2009; Basu, 2010; Verdeza, 2013)

3.4.1 Proceso de Gasificación

La gasificación es un proceso de conversión termoquímico con atmosfera controlada en donde el combustible sólido pasa a ser un combustible gaseoso con la repercusión de una disminución del contenido energético en su estado último. En este proceso cualquier tipo de materia biomásica, ya sea fósil o primaria es transformada en hidrocarburos ligeros, en monóxido de carbono, hidrogeno y otros gases, cuya mezcla se le conoce como gas de síntesis o “syngas”. Generalmente este gas tiene un poder calorífico inferior que equivale a la sexta parte del poder calorífico del gas natural cuando se emplea aire como agente gasificaste (Verdeza, 2013).

Para que este proceso se lleve a cabo, es indispensable la disposición en dos sustancias, la primera es el sustrato carbonoso para transformar y la segunda es el ambiente propiciador de las reacciones de gasificación. El sustrato carbonoso puede ser desde la biomasa residual producida por las diferentes actividades humanas. Por otra parte, el

agente gasificante suele ser un gas o mezcla de ellos, el cual aporta energía para iniciar las reacciones, se usa aire, vapor de agua, oxígeno e hidrógeno. (BESEL S A, 2007)

3.4.2 Etapas de gasificación

En un proceso típico de gasificación se desarrollan zonas secuenciales donde se van mostrando las reacciones responsables de la formación del gas. Estas se diferencian por las condiciones termoquímicas específicas en que se desarrolla el proceso, es así cómo se determinan cuatro zonas principales, cuyo orden depende del tipo de tecnología utilizada (BESEL, S.A., 2007; Buttori & Di Ruscio, 2013).

- *Secado*: Es la etapa cero del proceso de gasificación, su finalidad es suprimir la humedad contenida en la biomasa. Se suele dar en condiciones de presión atmosférica, en un rango de temperatura de 100 °C a 200 °C. La humedad ideal para gasificar oscila entre el 10 % y 20 %, dado que cada kilogramo de humedad en la biomasa requiere de 2260 kJ de energía para evaporarse y permitir iniciar la conversión, es por ello por lo que el exceso de humedad en un orden superior al 20 % es desfavorable en el rendimiento del proceso, debido a que se producen pérdidas de energía. Una vez terminada esta etapa la humedad ronda el 5 % (Basu, 2010).
- *Pirólisis*: Es un proceso de degradación térmica de la materia en ausencia de oxígeno y agente gasificante, a temperaturas que oscilan entre los 200 y 600 °C. Es un proceso endotérmico que descompone el material volátil de la biomasa para formar residuos carbonosos (char), hidrocarburos condensados y ligeros y otros gases, mediante la adición de calor autotérmicamente o alotérmicamente (Basu, 2010).

- *Gasificación/combustión*: Es una etapa de oxidación parcial que se desarrolla a temperaturas entre los 700 y 1200 °C. En esta etapa los subproductos del pirólisis como el char, tars y los gases empiezan a reaccionar y fraccionarse en presencia del agente gasificante y calor, formando concentraciones de CO, CO₂, H₂, H₂O, CH₄, entre otros gases. Además, se libera gran cantidad de calor, el cual sirve para proporcionar la energía para el funcionamiento estable del reactor (Basu, 2010).
- *Reducción*: Posterior a la etapa de oxidación se empiezan a dar una serie de reacciones reductoras, a una temperatura entre los 800 y 1000 °C, donde se continua descomposición de los hidrocarburos pesados en gases más simples (Basu, 2010).

En la figura 5 se muestra las etapas del proceso de gasificación en un reactor típico de gasificación.

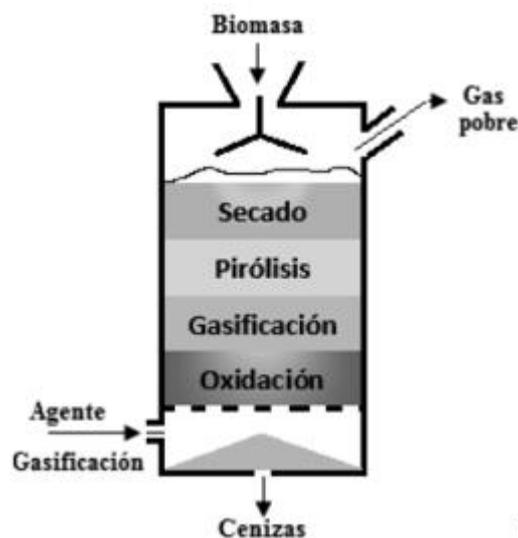


Figura 5. Esquema de gasificación y sus etapas
Fuente: (Basu, 2010)

3.5 GAS DE SÍNTESIS

El gas de síntesis o Sintegas (Syngas, en inglés) es un combustible gaseoso obtenido a partir de sustancias ricas en carbono (hulla, carbón, coque, nafta, biomasa) sometidas a un proceso químico a alta temperatura. Contiene cantidades variables de monóxido de carbono (CO) e hidrógeno (H₂).

El gas de síntesis está compuesto principalmente de hidrógeno, monóxido de carbono, y muy a menudo, algo de dióxido de carbono. Posee menos de la mitad de densidad de energía que el gas natural. Se ha empleado y aún se usa como combustible o como producto intermedio para la producción de otros productos químicos.

Cuando este gas se utiliza como producto intermedio para la síntesis industrial de hidrógeno a gran escala (utilizado principalmente en la producción de amoníaco), también se produce a partir de gas natural (a través de la reacción de reformado con vapor de agua).

3.6 SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN

En los sistemas de refrigeración, la energía es extraída de la región fría y luego es expulsada a otra región, generalmente el ambiente, que se encuentra a una temperatura mayor. Para poder realizar la expulsión de calor la temperatura del refrigerante debe llevarse a un valor mayor que la temperatura del ambiente. (Moran & Shapiro, 2006), (Coker, 2015). En los sistemas de refrigeración por compresión de vapor, se utiliza un compresor para llevar el fluido de trabajo a la presión y temperatura adecuada para la expulsión de calor. Es una tecnología viable en aplicaciones domésticas a industriales, sin embargo, tiene una serie de desafíos técnicos, (i) la confiabilidad del compresor y la eficiencia en equipos de pequeña escala, (ii) la disponibilidad a bajo costo, (iii) el manejo

de la condensación de humedad en la región de disipación de calor (para la refrigeración electrónica), (iv) la disponibilidad para manejar cargas variables de trabajo, (v) la reducción de ruido y vibraciones y (vi) el tipo de fuente de energía (Barbosa, Ribeiro, & De Oliveira, 2012), (Mota Babiloni, y otros, 2015). En un sistema de refrigeración por absorción el ciclo resulta físicamente más complejo, además es necesario utilizar una mezcla binaria, generalmente, amoníaco y agua como refrigerante en lugar del componente único utilizado habitualmente en el ciclo de compresión de vapor. El atractivo de los sistemas de refrigeración por absorción es que utilizan una fuente térmica de baja temperatura (100°C-200°C), por lo tanto, pueden disponer de diferentes fuentes de energía para su funcionamiento (Boer, Medrano M., & Nogués A., 2005).

Los sistemas de refrigeración duales son sistemas que cuentan con dos o más fuentes energéticas, diseñados para mejorar la eficiencia global, o mejorar las prestaciones de funcionamiento del sistema, al contar con el soporte de una fuente adicional que respalde la principal, cuando esta no pueda cumplir con la demanda de energía requerida o presente alguna falla. A diferencia de los ciclos híbridos, que están asociados a la combinación de un ciclo de refrigeración por compresión y absorción, el primero es accionado por electricidad, mientras que el segundo a través de calor de baja temperatura, lo que resulta en una ganancia de eficiencia para el ciclo de absorción (Meng, Zheng, Wang, & Li, 2013)

3.6.1 Sistema de refrigeración por absorción de ciclo básico

Es importante en esta investigación comprender el proceso de absorción y los componentes de este, debido a que el estudio de este trabajo se considera un proceso químico que requiere calor para hacer el trabajo de la compresión.

Igual que el sistema por adsorción, este utiliza los mismos principios básicos del sistema de refrigeración por compresión, donde circula un refrigerante y este cambia de estado a medida que cambian sus condiciones de trabajo entregando calor al medio que se desea refrigerar, la diferencia radica en que la energía necesaria para mantener el proceso, en el ciclo de absorción, es suministrada principalmente en forma de calor por diversas fuentes energéticas como lo son, geotérmica, solar, calor residual de centrales de cogeneración e incluso el gas natural.

El sistema de refrigeración por absorción se divide en tres grupos siendo el más utilizado el sistema de amoníaco-agua, donde el amoníaco (NH_3) sirve como el refrigerante y el agua (H_2O) es el medio de transporte, ideal para la conservación de alimentos, aplicado cuando requiere bajas temperaturas debido a las propiedades químicas del refrigerante que permite una mejor absorción de energía. Otros sistemas de refrigeración por absorción son los de agua-bromuro de litio y el de agua-cloruro de litio, en los que el agua sirve como refrigerante, su uso básico es climatizar edificios o procesos que requiera cogeneración. (Cengel y Boles 2015).

Elementos que constituyen el ciclo de referigeracion por absorcion

Los elementos que constituyen el ciclo básico en los sistemas de refrigeración por absorción son: evaporador, condensador, generador y absorbedor. Estos dispositivos serán descritos a continuación y se pueden apreciar en la Figura 6

- A. Generador:** Es la parte del sistema en la cual circula una solución normalmente amoníaco-agua y que recibe calor a través de una fuente principal de energía para el funcionamiento del ciclo, en el generador se produce la evaporación del

refrigerante (amoníaco) separándolo del absorbente. El vapor producido se lleva al condensador (Julio y Ramos, 2015)

- B. Condensador:** Este dispositivo permite que el refrigerante cambie de estado de vapor sobrecalentado a líquido saturado utilizando un intercambio con agua o aire, la mayoría de los sistemas son condensador por aire, debido que comercialmente son más económicos que uno condensado por agua.
- C. Elemento restrictor:** En los sistemas de refrigeración encontramos un elemento restrictor el cual logra una caída de presión apropiada para la entrada al evaporador, sin necesidad de utilizar trabajo alguno, esto se logra restringiendo al fluido en su flujo normal. Este proceso de estrangulamiento induce a una evaporación de una porción del refrigerante, entonces la sustancia pasa de ser líquido saturado a una mezcla humedad de baja calidad.
- D. Evaporador:** Está ubicado dentro del recinto que se desea refrigerar, su función es la de absorber el calor almacenado en su interior, esto se da debido a que el amoníaco hierve tomando calor del medio, generalmente las tuberías de los sistemas de refrigeración están fabricadas en acero galvanizado, hierro, cobre y latón.
- E. Absorbedor:** Las neveras con refrigeración por absorción cuentan también con el absorbedor que es una unidad en donde se presenta nuevamente la solución entre amoníaco gaseoso y la solución amoníaco-agua. Esta mezcla se lleva a cabo de manera eficiente a bajas temperaturas y al mismo tiempo la mezcla produce calor, por lo tanto, el dispositivo debe permitir que dicho calor sea transferido al ambiente buscando eficiencia en el proceso, una vez esta mezcla se encuentre en ese dispositivo, entrara de nuevo al generador para volver a realizar el ciclo.

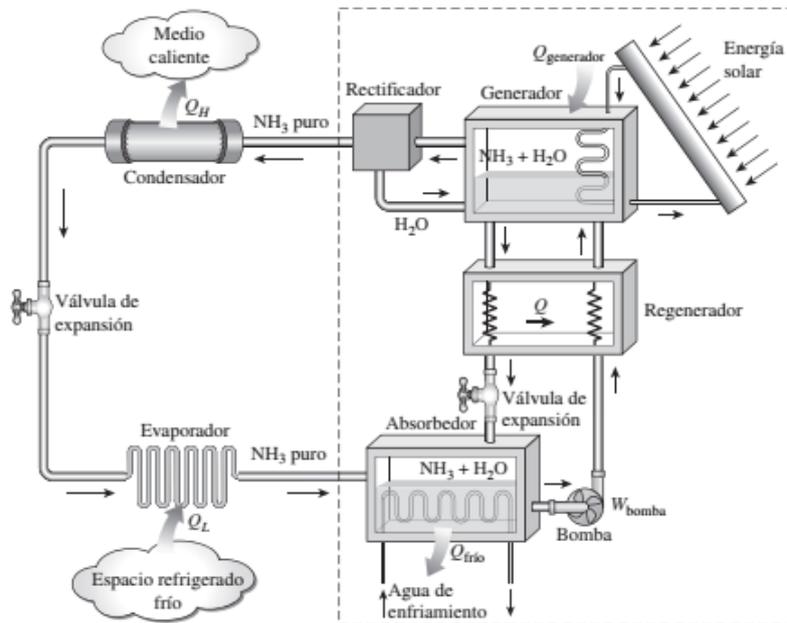


Figura 6 .Sistema de refrigerador solar por absorción de ciclo clásico.
Fuente:(Cengel & Boles, 2015)

El sistema de refrigeración por absorción (SRA) tiene como fluido de trabajo una solución binaria que consta de un refrigerante y un absorbente en este caso amoníaco (NH_3) y agua (H_2O).

El ciclo de refrigeración del SRA comienza en el evaporador el cual recibe calor de la carga térmica de la cámara aislada de refrigeración, este calor denominado como Q_L , hace que el refrigerante NH_3 , se evapore y pase al absorbedor donde se crea la solución $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$,

Luego esta mezcla es llevada al generador donde se le adiciona calor de la fuente (Q_H), produciendo una separación en la mezcla, donde el amoníaco puro a alta temperatura y presión sale del generador en dirección al condensador, donde intercambia calor con el medio pasando a estado líquido, posteriormente al pasar por un dispositivo de expansión el líquido pasa a una mezcla de gas y líquido este proceso genera un enfriamiento, cuando llega al evaporador se termina de evaporar el refrigerante y se repite el proceso.

Mezclas de trabajo en los sistemas de absorción

Por lo general un sistema refrigeración por absorción trabaja con la mezcla de dos sustancias, una es el fluido refrigerante y la otra es el medio de absorción. Existen unas mezclas con características y condiciones de operación diferentes, su selección depende del aprovechamiento de sus propiedades para un mejor rendimiento. Las características de las principales mezclas que se usan en los sistemas de refrigeración por absorción se ilustran en la Tabla 2 donde el primer elemento es el refrigerante y el segundo es el absorbente (Isaza, 2010).

Tabla 2. Comparación de las mezclas de trabajo

Característica deseada	NH3-AGUA	LiBr-H2O	MMA-AGUA
Temperatura de generación	Alta (>120°C)	Media (>80°C)	Baja(>60°C)
Presión de operación	Alta (10-15 bar)	Vacío(0,01bar)	Baja(5-7bar)
Calor latente	Medio	Alto	Bajo
Rectificación	Si	No	Si
Eficiencia	Baja	Alta	Baja
Toxicidad	Alta	Baja	Alta
Inflamabilidad	Media	Baja	Alta
Cristalización	No	Si	No
Corrosión	Baja	Moderada	Baja
Costos reactivos	Baja	Alto	Alto
Viscosidad	Baja	Baja	Baja

Fuente: (Isaza, 2010)

3.7 COEFICIENTE DE DESEMPEÑO (COP).

El coeficiente de rendimiento (COP por sus siglas en ingles coefficient of performance) de un sistema de refrigeración es la relación entre su capacidad para remover el calor de un lugar que se desea mantener frio y la energía suministrada para el funcionamiento del equipo. Es común la utilización de este parámetro para la comparación entre sistemas

similares que operen con el mismo ciclo y la misma tecnología. Como es una relación de energías el COP puede tomar valores mayores que 1.

Para el caso de un sistema de refrigeración por absorción que utiliza como energía de entrada la irradiación del sol y gas de síntesis, se puede definir el COP como la relación entre el calor que extrae el evaporador (Q_t), a la temperatura de refrigeración (T_e), y el calor que logra suministrar el generador (Q_s), a la temperatura a la cual este genera (T_g) (Julio y Ramos, 2015). Luego el COP del ciclo de refrigeración por absorción se puede establecer como se muestra en la ecuación (4):

$$COP = \frac{Q_t}{Q_s} \quad (4)$$

Estos no son los únicos procesos dentro del sistema que realizan transferencias de calor, los procesos como condensación, absorción y el proceso de reducción de temperatura, desprenden calor al ambiente el cual está a una temperatura (T_0) y se denotará (Q_E), a la suma de toda esta energía liberada al ambiente y se muestra en la ecuación (5).

$$Q_E = Q_C + Q_A + Q_{RT} \quad (5)$$

Basándose en la primera ley de la termodinámica, se realiza un balance de energía el cual se muestra en la ecuación (6).

$$Q_T + Q_S = Q_E \quad (6)$$

Aplicando la segunda ley se obtiene que:

$$\Delta S = \frac{Q_E}{T_0} - \left(\frac{Q_T}{T_e} + \frac{Q_S}{T_g} \right) \quad (7)$$

Remplazando 6 en 7, se tiene que:

$$\Delta S = \frac{Q_T + Q_S}{T_0} - \left(\frac{Q_T}{T_e} + \frac{Q_S}{T_g} \right) = Q_T \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_e} \right) + Q_S \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_g} \right) \quad (8)$$

Despejando Q_T .

$$Q_T = \frac{T_e}{T_e - T_0} \left(T_0 \Delta S - Q_S \frac{T_g - T_0}{T_g} \right) = \frac{T_e}{T_0 - T_e} \left(Q_S \frac{T_g - T_0}{T_g} - T_0 \Delta S \right) \quad (9)$$

Remplazando 8 en 3 se tiene que:

$$COP = \frac{Q_T}{Q_S} = \frac{T_e}{T_0 - T_e} \left(\frac{T_g - T_0}{T_g} - \frac{T_0 \Delta S}{Q_S} \right) \quad (10)$$

Si se quiere obtener el máximo coeficiente de desempeño, se considera que las irreversibilidades internas y externas del sistema no existen, ($\Delta S = 0$)

$$COP_{m\acute{a}x} = \frac{T_e(T_g - T_0)}{T_g(T_0 - T_e)} \quad (11)$$

3.8 CARACTERIZACIÓN DE LAS ZNI

Las zonas no interconectadas (ZNI) son todas las regiones en el país en las que el fluido eléctrico no está disponible y no pertenecen al Sistema Interconectado Nacional (SIN). Estas ocupan el 52% del territorio nacional, dentro de los cuales se encuentran 18 departamentos, 5 capitales departamentales, 97 municipios y alrededor de 1.728 localidades (IPSE, 2017), abarcando más de 209.081 familias. En la Figura 7 se muestra una distribución de los usuarios en las ZNI lo cual se logra ver una alta densidad de población de los departamentos de la región pacífica y una dispersión en los departamentos del sur y del este, siendo la mayoría de estos de carácter fronterizo:

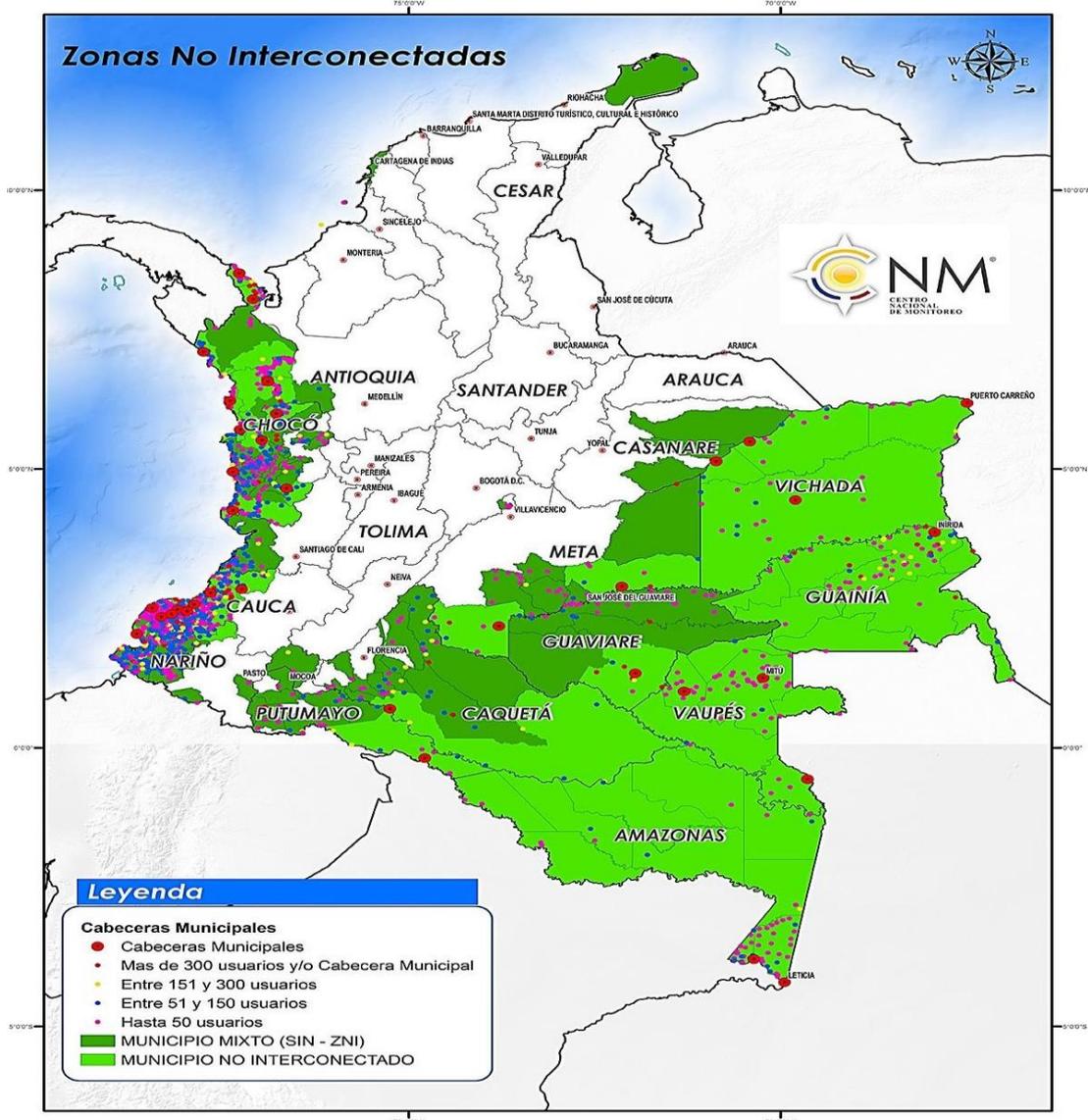


Figura 7. Localización de usuarios en las ZNI.
Fuente: (CNM, 2018)

Los departamentos que hacen parte de las ZNI y en donde más población se encuentra son Nariño y Chocó. En la Figura 8 se muestra una distribución de usuarios por departamento, donde se logra observar una diferencia significativa entre los usuarios de estos dos departamentos en comparación con los 16 restantes, mostrando cantidades por debajo de los diez mil en 13 departamentos frente alrededor de 101.246 que suman Nariño y Chocó.

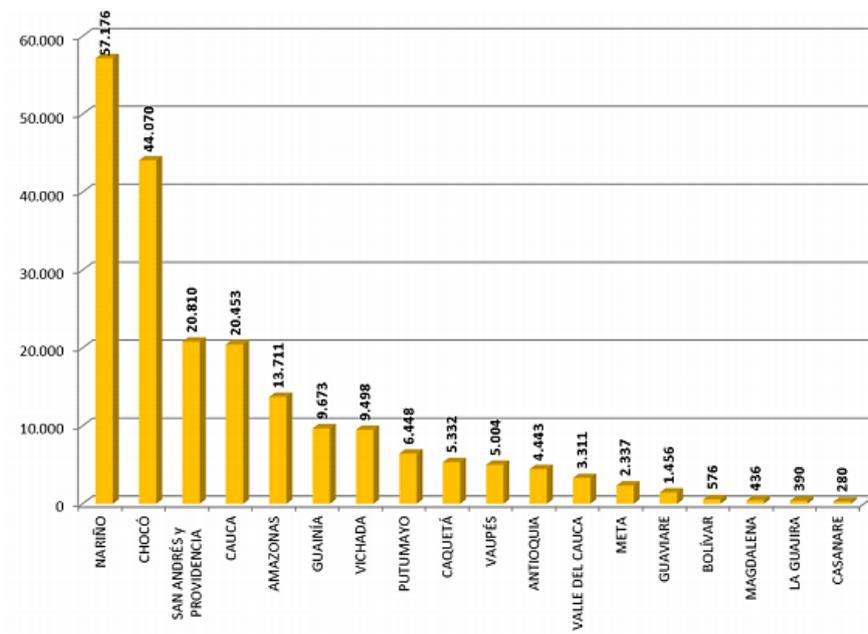


Figura 8. Distribución de usuarios en ZNI por departamento.

Fuente: (IPSE, 2017)

3.8.1 Necesidades de Refrigeración en las ZNI

Según Procolombia (2014), la refrigeración asocia aquellos procesos donde su objetivo es mantener la temperatura y humedad óptimas para refrigerar o conservar algún producto dentro parámetros definidos desde que inicia el proceso de producción hasta que el producto llega al consumidor. Esto incluye almacenamiento, empaque, distribución, transporte, entre otros. La ausencia de garantías en el cumplimiento de este proceso puede causar enfermedades a los que consumen los productos, por lo tanto, es un proceso relevante especialmente para el consumo seguro de alimentos (Procolombia, 2014).

La función de un refrigerador en una unidad familiar es fundamental para mantener un producto en buenas condiciones por mayor tiempo al mantener una temperatura requerida. Según un informe presentado por el DANE con los resultados de la Encuesta Nacional de Calidad de Vida (ECV) del 2017, la disponibilidad de bienes y servicios que tienen los hogares está asociado a su calidad de vida. En el caso de los refrigeradores se encontró que el 86,50% de los colombianos posee un refrigerador, siendo el electrodoméstico que más se adquiere luego de un televisor con el 93,90% (DANE, 2014).

En el PIEC 2016-2020 se establece una curva de carga horaria, la cual permite analizar las diferentes alternativas de energía presentadas por el plan. Esta curva identifica los consumos básicos rurales como iluminación, refrigeración, televisión, punto de carga de un celular y punto de carga para otros electrodomésticos (UPME, 2016). Tabla 3 muestra el consumo de energía mensual según la curva de carga:

Tabla 3. Consumo de energía para los electrodomésticos en la curva de carga horaria

USO	EQUIPO	CANTIDAD	HORAS AL DÍA	POTENCIA (W)	CONSUMO (kWh/mes)
Refrigeración	Nevera	1	9	180,00	48,60
Equipos electrodomésticos	TV	1	6	80,00	14,40
	Celular	1	5	2,40	0,36
Iluminación	Bombillos	5	6	11	9,90
Fuerza motriz	Licuadaora	1	0,17	400,00	2,00
Otro	Toma	1	5	100,00	15,00
TOTAL					90,26

Fuente: (UPME, 2016)

Como se logra observar en la Tabla 3, el uso que más consume energía según la curva de carga es la refrigeración (48,60 kWh/mes sobre los 90,26 kWh/mes, totales), donde lo ideal es que funcione las 24 horas del día.

3.8.2 La seguridad alimentaria

Según la FAO, parte de los aspectos que garantizan que las personas con enfrentes la inseguridad alimentaria es la refrigeración ya que cuando tienen limitaciones técnicas en temas como cosecha y almacenamiento, los alimentos se pueden perder o las características nutritivas de los mismos (FAO, 2015). Según el DPN, en un estudio realizado en el 2016, en Colombia se desperdician 9,76 toneladas de comida al año, con lo cual sería posible alimentar alrededor del 34% del país. En la Figura 9 se observan las cantidades de productos que se desechan debido a las pérdidas en las diferentes etapas de

producción por las que pasa un producto en específico, donde se observa que las frutas y verduras tienen el mayor porcentaje de pérdida superior al 50 %.

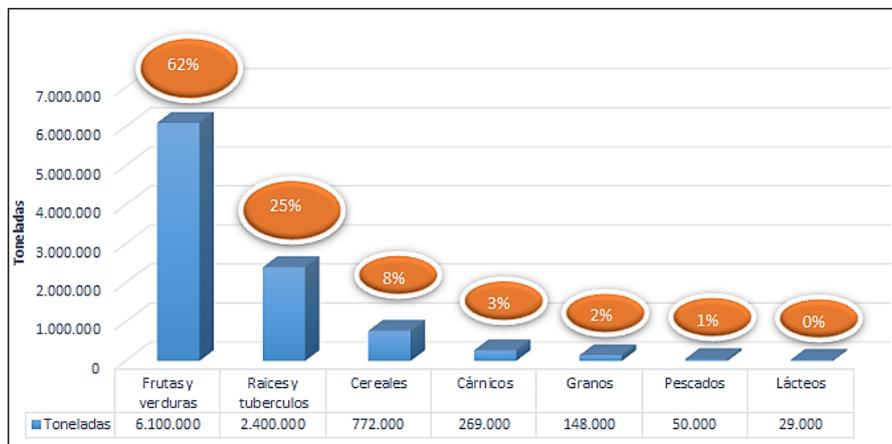


Figura 9. Toneladas desechadas por producto anualmente en Colombia.

Fuente: (DNP, 2016)

En la Figura 10 se muestran cantidades desechadas por etapa de producción en Colombia para el año 2016, donde se logra observar que la etapa de almacenamiento y postcosechas se perdió un 20% del total desechado:

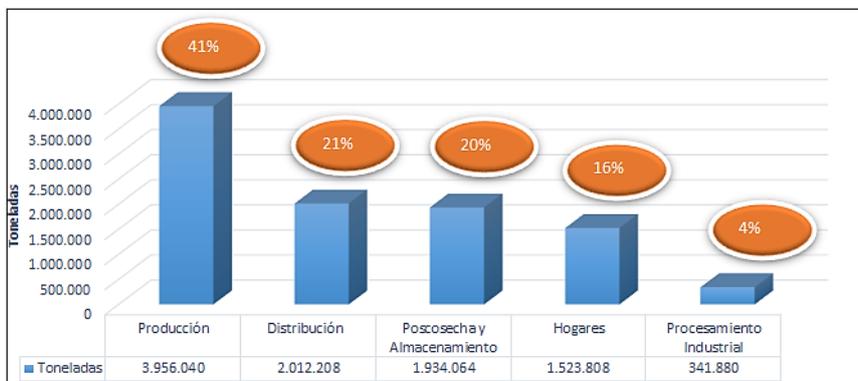


Figura 10. Toneladas desechadas por etapa anualmente en Colombia.

Fuente: (DNP, 2016)

Es importante observar en Figura 10 el hecho de que la pérdida en los hogares se compara con la pérdida en la distribución, la postcosecha y el almacenamiento. Esta situación se presenta en los hogares que pertenecen al SNI, probablemente las pérdidas marginales sean superiores en las familias pertenecientes a las ZNI, donde se tienen limitaciones alrededor de la refrigeración.

3.9 ANTECEDENTES.

Los sistemas de refrigeración son necesarios para el crecimiento industrial de un país y a su vez elevar la calidad de vida de sus habitantes. A pesar de que se han realizado muchos estudios y se han logrado grandes avances en esta área, aún existen necesidades de refrigeración que no han podido ser suplidas utilizando los sistemas convencionales existentes.

Varias investigaciones han sido realizadas con el objetivo de utilizar la energía solar para la producción de frío por medio de dispositivo de refrigeración por absorción, pero muy pocos estudios mientras se utilizan gas de síntesis para adecuarlo a estos sistemas de refrigeración.

3.9.1 Antecedentes bibliográficos de sistemas de refrigeración solar por absorción:

En sistemas de conservación artículos a nivel internacional como China, Rumania, Libia, Estados Unidos y Japón promueven como una alternativa la energía solar. En cuanto a estudios a nivel nacional la universidad de los andes ha propuesto sistemas de absorción para refrigerar productos cárnicos, especialmente la de pescado, ejecutando pruebas con éxito (Beltrán, 2018). A continuación, se comenta brevemente los trabajos realizados para determinar qué tipo de sistema de absorción es el más adecuado.

Emily Cummins en el año 2003, Desarrollo un sistema de refrigeración para zonas marginadas en el África, utilizando el sol como fuente energética. La nevera que desarrolló no necesita electricidad y puede ser construida con cartón y metal reciclado. El uso es sencillo, ya que los alimentos se colocan en la cámara interior de metal y se sella. Entre la cámara exterior y la interior se coloca tierra y agrega agua. Al calentarse el recipiente, el agua se evapora y la temperatura en el interior es de 10 a 6 °C. Al ser el agua el refrigerante para conservar alimentos se encuentra que las temperaturas de

conservación no son muy estables, La ingeniera en mención dejó abierto un posible trabajo donde se pueda utilizar otro tipo de refrigerante para que pueda conservar alimentos en forma eficaz, entre el rango de 4 a 8 °C. (Cummins, 2003)

El trabajo realizado por Isaza en el 2007 presentó la viabilidad y aplicabilidad de los sistemas de refrigeración solar por absorción usando como pareja la monometilamina-agua (MMAW) para fines de conservación de alimentos en las regiones rurales de Colombia, donde no hay electricidad disponible, lo hizo por medio de colectores solares de placa plana con un sistema convencional de calentamiento auxiliar para suplir las necesidades energéticas del refrigerador por absorción. El sistema fue simulado, evaluado, analizado y se encontró que puede ser operado con energía solar.

Rafael G. Beltrán en el año 2010 presentó una instalación experimental para la producción de frío utilizando un sistema de absorción intermitente usando energía solar. Esta investigación tuvo como propósito ayudar a comunidades de la costa pacífica de Colombia con el objetivo de conservar los productos cárnicos, Beltrán recomienda la solución agua-amoniaco, sutil para la conservación de alimentos y con el diseño que planteó la carga máxima debe ser de 7 kilogramos. En el estudio se observó que las temperaturas máximas captadas con el uso de un panel solar térmico en la ciudad de Bogotá alcanzaron unas temperaturas en el generador de 70-80 °C en días despejados, en horas de 11 am, 1 pm y hasta las 4 pm. Beltrán da unas especificaciones técnicas, por ejemplo, el colector debe tener una superficie de 2,0 m², sugiere una inclinación del panel solar a 30 °C. Se concluyó que los niveles de frío no llegan a ser menores a los -5°C, aun en los días de mejor insolación.

Según el trabajo realizado por Al-Hemiri en el 2010, que tenía como objetivo evaluar el coeficiente de rendimiento para un sistema de refrigeración por absorción mediante el uso de la energía solar directa, usando fracciones de amoníaco acuoso 0,45 (amoníaco - agua). Los resultados obtenidos reportaron que la temperatura máxima del generador osciló entre 92 ° C y 97 ° C y la temperatura mínima registrada en el evaporador fue de 5 ° C a 10 ° C para el sistema de agua amoniacal.

En el año 2014 se realizó un estudio en donde se implementó energía solar como fuente de energía a un sistema de refrigeración por absorción. Se desarrolló un análisis teórico de un ciclo de absorción de etapa simple con intercambiadores de calor de solución y de refrigerante, en la simulación se consideró una cantidad significativa de parámetros de desempeño. Realizaron ensayos con cuatro mezclas binarias de pares refrigerante – absorbente. Se variaron los parámetros de desempeño de estas soluciones y se compararon con las condiciones de operación de las unidades del ciclo. Los coeficientes de desempeño (COP) y la proporción de eficiencia del sistema se compararon con un rango amplio de temperaturas de generador, absorbedor, condensador y evaporador. La simulación del absorbedor y su representación con el modelo actual fue exitosa, El estudio reveló la viabilidad de utilizar los fluidos de trabajo NH₃/LiNO₃ y R134a/DMAC en sistemas de refrigeración por absorción que utilicen fuentes de calor de bajo potencial como alternativas a los fluidos de trabajo más tradicionales como el LiBr/H₂O y el NH₃/H₂O ya que los COP obtenidos fueron de 0,57 y 0,41 respectivamente. Se determinó que la mezcla binaria más apta para trabajar en conservación de alimentos con el uso de la energía solar es el NH₃/H₂O, se explica que la eficiencia en la entrada del evaporador por libra evaporada de refrigerante es de 520 lb de amoníaco /Btu. Mientras que el agua si actúa como refrigerante está por debajo de 45 lb agua/Btu. (Tania, 2014)

Sucesivamente en el año 2015, Ersoz en su trabajo investigó los efectos de tres entradas de calor diferente (62, 80, 115) W suministradas al generador de un pequeño sistema de refrigeración por absorción, los resultados obtenidos mostraron que, para las condiciones de funcionamiento, el sistema presento un mejor comportamiento del COP trabajando con 62W.

Finalmente, en el año 2017, Yousif realizó una evaluación experimental tomando una máquina de enfriamiento con un consumo de 5 kW cuya aplicación era para un aire acondicionado con mezcla de (amoniacos-agua) como fluidos de trabajo, los resultados obtenidos en su investigación mostraron que la capacidad máxima de enfriamiento y rendimiento COP fueron, 4,2kw y 0,45 respectivamente (Yousif, 2017).

3.9.2 Antecedentes bibliográficos de sistemas de refrigeración por absorción implementando gases como fuente de calor:

Las investigaciones de Yijian He, Guangming Chen en el 2007 se basaron en proponer un sistema de refrigeración con el fin de obtener mejores rendimientos utilizando temperaturas de refrigeración tan bajas como -50°C . Evaluaron un nuevo auto-cascade absorption refrigeration en el cual el refrigerante fue R23, 32 y 134^a, las temperaturas de trabajo fueron entre 110 y 170 y el COP obtenido fue menor que en un sistema de refrigeración por absorción normal.

Según el trabajo realizado por M. ADJIBADE, A. THIAM, C. AWANTO y D AZILINON en el 2017 se realizó un estudio experimental en un refrigerador por absorción (H₂O-NH₃-H₂) utilizando la energía eléctrica y los gases de escape de un motor de combustión interna. Los resultados muestran que se obtiene mejor rendimiento al utilizar gas de escape puesto que solo tomó 40s para elevar la temperatura del generador en comparación

con 3 minutos de la energía eléctrica. Evaluaron los tiempos de estabilización demorando 2 horas con gas mientas que 7 horas con energía eléctrica. Para ambas fuentes obtuvieron temperaturas en el evaporador de 3°C con temperatura máxima en el generador de 140°C. Finalmente Hanriot, Brito ,Maia y Rêgo, en el 2019 realizaron una investigación experimental para determinar el trabajo efectivo de los parámetros de trabajo para un sistema de refrigeración por absorción (agua-amoniaco) alimentado por gases de escape de automóviles, realizando una serie de pruebas con temperaturas variables del generador (180-200-240-270)°C y encontraron que el sistema es sensible a las temperaturas del generador y con pruebas de 240 min, se obtuvieron temperaturas mínimas de (-12,5 y - 0,6) °C mientras que el coeficiente de rendimiento (COP) registrado fue de casi 0,05.

3.9.3 Antecedentes bibliográficos en gasificación de tusa de maíz

Teniendo en cuenta la investigación realizada por (Arango & González, 2016), en la cual se empleó un gasificador tipo Downdraft, la tusa de maíz es uno de los residuos agrícolas que mayor potencial de generación energética posee. Se obtuvo resultados de poder calorífico en promedio de 3064 kJ/kg, con una eficiencia de gasificación de 25%. Dichos resultados fueron los más altos entre diferentes tipos de biomasa como residuos provenientes de los cultivos de ajonjolí, algodón, coco y maíz.

Según el trabajo realizado por (Biagini, 2014), se demostró la buena operabilidad de un reactor tipo Downdraft al emplear tusa de maíz, con una caída de presión relativamente alta, que no comprometieron las pruebas experimentales. Se produjo gas de síntesis a razón de 2 m³/kg, con un poder calorífico de 5,60 MJ/m³ (aproximadamente 4000 kJ/kg) y una eficiencia de gasificación de 21%.

En el trabajo desarrollado por (Mubashar, 2018), se realizaron pruebas experimentales empleando tusa de maíz en un gasificador Downdraft, utilizando aire a 24, 40 y 70°C como agente gasificante, se obtuvo un poder calorífico superior de 4,27, 4,9 y 6,31 MJ/m³ respectivamente (3000, 3600 y 4900 kJ/kg, aproximadamente); así mismo, se empleó vapor de agua como agente gasificante, a distintas temperaturas y se utilizó biomasa con distintos porcentajes de humedad. La investigación demostró que estas variables afectan directamente la cantidad y calidad del gas de síntesis obtenido de la gasificación de tusa de maíz.

En el trabajo realizado por (López y Sofán, 2019) se realizaron pruebas experimentales en un reactor de gasificación multizona cuyo agente gasificante fue aire y utilizando tusa de maíz como biomasa, se realizaron diferentes relaciones de aire-combustible obteniendo un poder calorífico diferente en cada prueba. Se utilizaron (1, 2, 2.8, 3.5) kg de biomasa en la zona de gasificación y razón de 2,343 kg/h en la zona de combustión, los valores obtenidos del poder calorífico fueron (1,981, 5,184, 4,214, 2,026) (MJ/kg). Siendo el mejor balance cuando se alimentó con 2 kg en la zona de gasificación.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

El objetivo de este trabajo es evaluar un sistema de refrigeración por absorción mientras se utiliza gas de síntesis producido por un gasificador multizona y energía proveniente de un kit solar fotovoltaico con el fin de determinar su viabilidad, para esto fue necesario la adquisición de una nevera de refrigeración por absorción con capacidad baja (ver Anexo 7) y un kit solar fotovoltaico (ver Anexo 8) el gas se obtuvo de un gasificador construido en la Universidad de Córdoba, elementos de medición como termopares (tipo K) y un sistema de adquisición de datos. A continuación, se detallarán los componentes que conformaron la metodología.

4.1 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE ENTRADA.

4.1.1 Condiciones de Conservación de los alimentos.

Para tener datos sobre las condiciones de conservación de los alimentos se utilizó información proveniente del Tercer Censo Nacional Agropecuario (DANE,) en donde se definieron los porcentajes de uso del suelo para las actividades agrícolas, los Anexo 1 y Anexo 2 muestran una breve distribución del uso del suelo en los departamentos con ZNI.

Una vez se definió el potencial de cultivo se procedió con la identificación de los principales productos que se cultivan por departamentos y que se muestran la Tabla 4 se destacan los cultivos de piña, aguacates, papa, yuca, plátano, papa, cítricos, bananos y cereales, donde muestran las temperaturas, humedad relativa y su tiempo de conservación para cada una, encontrando que las temperaturas optimas no suelen ser menor a 0°C y los periodos de conservación varían dependiendo del producto.

Tabla 4. Condiciones óptimas y tiempo de conservación de alimentos cultivados y consumidos en las ZNI.

Producto	Temperatura óptima	% Humedad Relativa	Conservación (Semanas)
Aguacate	3 a 13°C	85 a 90	2 a 8
Arveja	4 a 5°C	95	1
Ahuyama	10 a 13°C	50 a 70	8 a 12
Banano	13 a 15°C	90 a 95	1 a 4
Chirimoya	-0.5 a 1°C	85 a 90	8 a 12
Chontaduro	6°C	75	2
Naranja	3 a 9°C	85 a 90	3 a 8
Coco	0 a 15°C	80 a 85	4 a 8
Cocotero	0 a 15°C	80 a 85	4 a 8
Guayaba	5 a 10°C	90	2 a 3
Hortalizas	10°C	55 a 60	24 a 52
Limón	9 a 10°C	85 a 90	6 a 8
Maracuyá	7 a 10°C	85 a 90	3 a 5
Ñame	16°C	70 a 80	25 a 29
Papa	3 a 4°C	90 a 95	20 a 32
Perejil	0°C	95 a 100	4 a 9
Pimentón	7 a 13°C	90 a 95	2 a 3
Piña	7 a 13°C	85 a 90	2 a 4
Pitaya	6 a 8°C	85 a 95	2 a 3
Plátano	13 a 14°C	90 a 95	1 a 5
Repollo	0°C	95	8 a 12
Tomate de árbol	7°C	90 a 95	8
Uchuva	4 a 10°C	80 a 95	5
Yuca	0 a 5°C	85 a 90	4 a 9
Zanahoria	0°C	98 a 100	4 a 6

Fuentes: (FAO, 1996), (Galvis, Fischer, & Gordillo, 2005), (Erazo & Murillo, 1995) (Aste, Del, Pero, & Leonforte, 2017b)

También se utilizó información sobre las condiciones de refrigeración y conservación de productos de origen animal y en Tabla 5 se muestran algunos de esos en donde los periodos de almacenamiento van con temperaturas de 4°C y -18°C respectivamente.

Tabla 5. Periodo de conservación de productos de origen animal en refrigeración y congelación.

Producto	Refrigeración a 4°C	Congelado a -18°C
Huevos	21 a 35 días	No congelar
Salchichas	14 días	1 a 2 meses
Tocino	7 días	1 mes
Carnes	3 a 5 días	4 a 12 meses
Pollo en presas	1 a 2 días	9 meses
Pescados magros	1 a 2 días	6 a 8 meses
Pescados grasos	1 a 2 días	2 a 3 meses

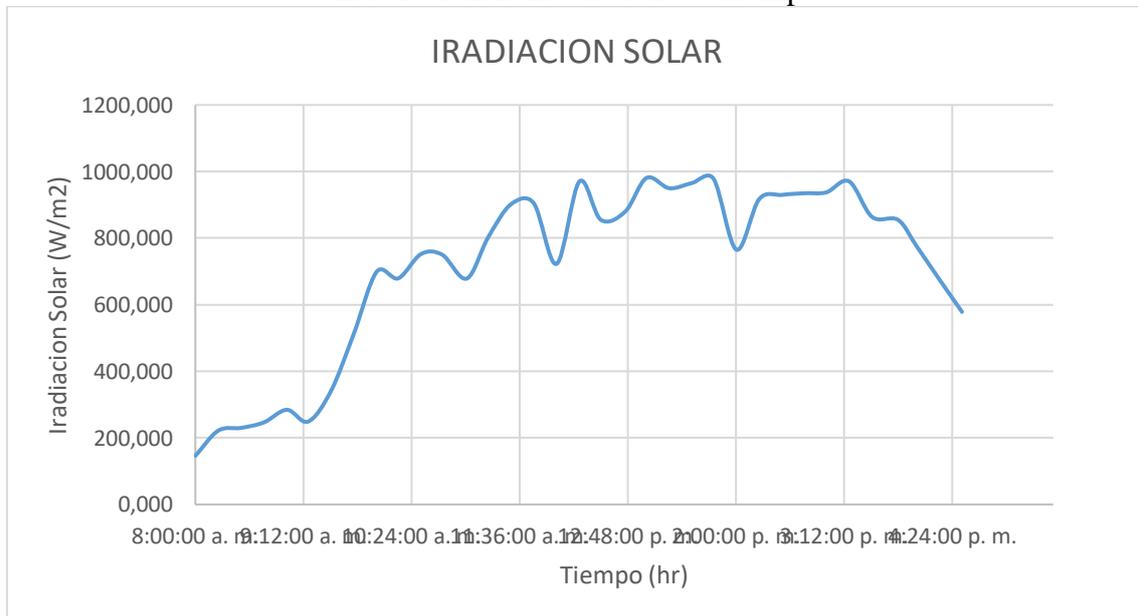
Fuente: (FDA., 2018)

4.1.2 Caracterización de la radiación solar.

Se realizó una búsqueda de la radiación solar en Colombia y en la costa, con el fin de establecer la cantidad de energía solar, en promedio, las zonas con mayor concentración de radiación solar se encuentra en la costa norte Colombiana con valores que oscilan entre 6,50 y 7,00 $\frac{KW}{m^2}$ (ver Anexo 3).

De igual modo, se usaron bases de datos de actividades desarrolladas por parte de la universidad Pontificia Bolivariana (UPB) y Gobernación de Córdoba realizadas en junio de 2015 hasta junio 2016 y al tener una estimación promedio se calcularon las horas de pico solar (HPS) con los datos obtenidos en Montería. Obteniendo el comportamiento que se puede ver en la Ilustración 1.

Ilustración 1. Irradiación Vs Tiempo



Fuente: Autores

4.1.3 Realización de los análisis próximo y elemental de la biomasa

La composición de la biomasa se llevó a cabo por medio de los análisis próximo y elemental para conocer las proporciones de los elementos que la conforman, de igual manera identificar los materiales volátiles, porcentaje de humedad, carbón fijo y cenizas; esto se hizo para establecer las relaciones desarrolladas en la gasificación. Los estudios fueron realizados en el Laboratorio de Carbones de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

- **Análisis próximo**

El análisis próximo se desarrolló bajo el marco de la norma ASTM D7582 Standard Test Methods for Proximate Analysis of Coal and Coke by Macro Thermogravimetric Analysis (ASTM D7582, 2012), que define el medio para determinar los porcentajes de humedad, carbono fijo, cenizas y material volátil que contiene la muestra de análisis.

Análisis elemental

El análisis elemental se realizó bajo la norma ASTM D3176 Standard Practice for Ultimate Analysis of Coal and Coke (ASTM D3176, 2009), la cual define el procedimiento empleado para determinar las cantidades porcentuales de los elementos químicos presentes en la muestra de biomasa analizada en base seca.

4.1.4 Cromatografía del gas

El análisis cromatográfico del gas fue realizado en la planta de energía renovable ubicada en (UPB), evaluando el comportamiento y las características del gas proveniente de la gasificación con tusa de maíz. Este proceso consistió en inyectar dicha mezcla a un detector de gases compuesto por 3 columnas el cual determinó la composición del gas, mostrada en el Anexo 6.

4.2 DISEÑO DE MONTAJE.

Una vez obtenido los parámetros de diseño se procedió a censar las temperaturas en 5 puntos esenciales del sistema. La ubicación de los puntos de medición se realizó teniendo en cuenta las variaciones significativas de temperatura desde una perspectiva ideal en el ciclo y se muestra a continuación en la Figura 11.

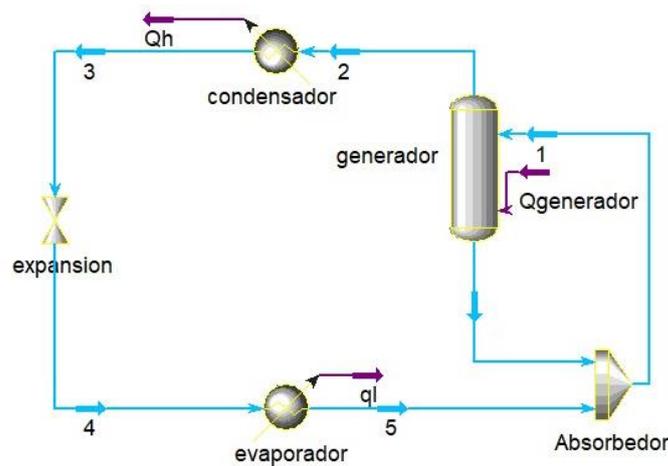


Figura 11. Ciclo de refrigeración por absorción
Fuente: Elaboración Propia

Las corrientes 6 y 2 se encuentran teóricamente a la misma temperatura, 6 y 7 tienen la misma concentración y entalpia, por ende, los datos necesarios para la evaluación se encuentran en las corrientes 1, 2, 3, 4 y 5, para censar las temperaturas en los puntos escogidos, se usaron 5 termopares tipo k. Un factor importante que también se calculó fue la carga térmica del producto, para esto se introdujo un litro de agua en el refrigerador de la nevera, esto con la finalidad de tener una sustancia con propiedades conocidas, de esta forma al variar la temperatura se pudo conocer la carga de enfriamiento mediante la ecuación 12, los cambios térmicos en el agua se midieron con un termopar situado dentro del fluido.

$$Q = m * C_p * \Delta T \quad (12)$$

Donde m es la masa del agua, C_p es el calor específico del agua y ΔT es el cambio de temperatura durante todo el proceso. Luego del monitoreo y registro de los datos, se tomaron las temperaturas en la salida del generador y la carta térmica para calcular el COP reversible con cada una de las fuentes implementadas en la nevera por absorción.

4.3 ACONDICIONAMIENTO DEL EQUIPO.

4.3.1 Tolvas de alimentación en gasificación y combustión

El gasificador utilizado no contaba con un sistema de alimentación para poder abastecer el prototipo y así obtener la mayor cantidad de gas posible, para eso fue necesario la adecuación de dos tolvas de alimentación para la cámara de gasificación y una tolva para la zona de combustión.

Se utilizaron tubos de referencia ASTM A53 de 4 pulgadas cédula 40 para implementar al reactor, se tomó una longitud de 40 cm para cada tolva (ver Figura 12) y se procedió a cortar a un ángulo de 45° (ver Figura 13)

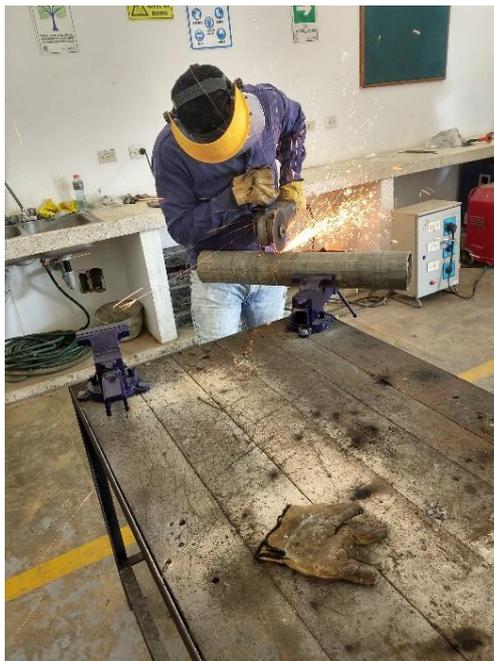


Figura 12. Medición y Corte de tubos

Fuente: Elaboración Propia



Figura 13. Proceso de corte de tubos a 45°
Fuente: Elaboración Propia

Para colocar las dos tolvas en la zona de gasificación fue necesario utilizar soldadura para perforar las paredes del prototipo realizando un orificio a una altura de 1m medido desde la parte inferior del gasificador como se muestra en la Figura 14.



Figura 14. Proceso de perforación
Fuente: Elaboración Propia

Una vez hecho los orificios de las tolvas se procedió a soldar las tolvas y dejando enfriar el prototipo como se muestra en la Figura 15.



Figura 15 .Proceso de soldadura para las tolvas
Fuente: Elaboración Propia

Por otro lado, se realizaron unos cortes en la tapa superior del gasificador con el fin de gastar el menor tiempo posible en el cambio del sello que cubre y separa las zonas, ya que anteriormente se utilizaban pernos y se cambió a tuercas mariposa de 3/8”.

4.3.2 Sistema de lavado del gas

El combustible que se generó no es puro, se manejan temperaturas elevadas y su composición química es distinta a los usados normalmente en el refrigerador, por esta razón se implementó un sistema de lavado de gases (filtros y sistemas de disminución de temperatura) antes de ingresar el gas a la nevera.

Para el sistema de tratamiento del gas se utilizaron dos tanques de 55 Gal donados por una empresa de la región y perfiles en cuadrados de acero estructural ASTM A36 como se muestran en la Figura 16 y Figura 17 respectivamente



Figura 16. Tanques 55 Gal
Fuente: Elaboración Propia



Figura 17. Perfiles cuadrados de acero A36
Fuente: Elaboración Propia

El tanque número uno contiene agua y se le soldó una tubería de acero galvanizado (3/4") en la parte inferior por donde sale el agua sucia y otra tubería por donde entra el gas de síntesis como se muestra en la Figura 18 , luego de eso se realizó prueba de fuga para descartar cualquier fuga, también colocó una tubería de salida en la parte superior por donde el gas llega al tanque número dos.



Figura 18.Proceso de soldadura de acoples al sistema
Fuente: Elaboración Propia

El segundo tanque (ver, el cual contiene aserrín se perforó en la parte superior y se colocaron acoples con (3/8") y una válvula para controlar el flujo de gas, en la parte inferior se conecta con el tanque 1 por medio de una tubería de (1") a 45° por donde pasa el gas.



Figura 19. Adecuación del segundo tanque
Fuente: Elaboración Propia

Para la estructura donde se desplazaron los tanques fue necesario tomar las medidas, diseñar el CAD y realizar una prueba de carga mediante el software SOLIDWORKS (ver

Anexo 9 para verificar que el material soportará el peso del agua y del aserrín. La Figura 20 muestra como quedó finalmente el sistema de lavado de gases con su estructura móvil



Figura 20. Sistema de tratamiento de gases-Estructura móvil
Fuente: Elaboración Propia

Una vez realizado esto, se procedió a cortar y a unir las partes para dar forma a la estructura móvil. Para esto fue implementaron 6 rodachinas con frenos giratorios para cargas de 75 kg individualmente (ver Figura 21)



Figura 21. Estructura móvil
Fuente: Elaboración Propia

De igual manera se realizó un sistema para transportar de una manera más ergonómica la nevera sin necesidad de cargarla, utilizando ángulos y rodachinas para su fabricación como se muestra en la Figura 22



Figura 22. Nevera con su estructura móvil
Fuente: Elaboración Propia

4.4 REALIZACIÓN DE PRUEBAS Y MEDICIONES.

Las pruebas fueron llevadas a cabo durante 24 horas, empezando a las 6:00 am y finalizando a la misma hora del día siguiente, donde se registraron los cambios de temperatura que se presentaban durante la prueba.

Se realizaron pruebas iniciales con la nevera utilizando energía eléctrica a (110V) y Gas licuado de petróleo (GLP) las cuales son las fuentes convencionales de energía con que cuenta el equipo de fábrica, esto con el fin de obtener comparaciones en cuanto a la eficiencia, tiempo de estabilización, suministro de calor con las fuentes energéticas que se le implementaron.

La prueba realizada con el GLP empezó a las 6:00 am y finalizó al siguiente día (Ver Figura 23) La nevera cuenta con una perilla que varía el flujo de combustible, su rango es de 1 a 4 y van de menor a mayor volumen, mostrando variaciones de flujos, obteniendo incrementos en el COP a medida que la temperatura en el generador aumentaba.



Figura 23. Prueba con Gas licuado de petróleo (GLP)- Nevera
Fuente: Autores

La prueba realizada con energía eléctrica se llevó a cabo a las 6:00 am y finalizó el siguiente día a la misma hora, logrando censar todos los cambios de temperaturas durante la prueba, el montaje se hizo el día anterior (ver Figura 24) para no tener contratiempo a la hora de iniciar, se trabajó con condiciones ambientales de temperatura y humedad relativa de (27°C y 82%) respectivamente.

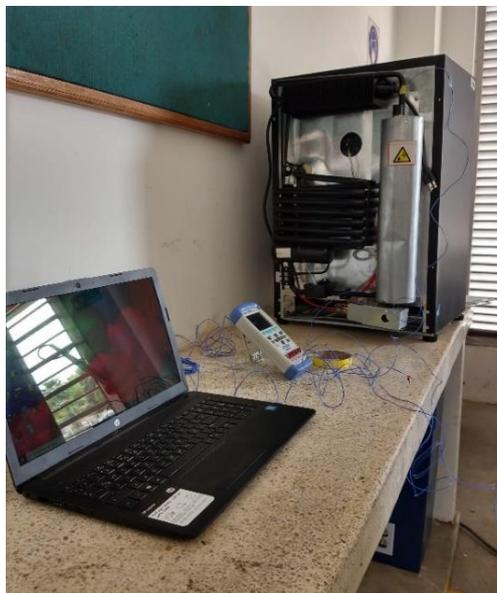


Figura 24 .Prueba con energía Eléctrica a 110V- Nevera
Fuente: Autores

La prueba realizada con el Kit solar empezó a las 8:00 am, donde otro lado, al evaluar el kit solar la variable de entrada fue el ángulo de inclinación del panel con respecto al sol, puesto que, al captar la mayor radiación, la temperatura en el generador aumentó y por ende se tuvo mejoras en el COP. Se aprovechó durante (8:00 Am – 3:30 Pm) las horas de pico solar (HPS) presentes durante el día, luego, fue conectado la batería la cual fue cargada el día anterior y tiene una capacidad de almacenamiento por más de 20 horas, para abastecer y terminar la prueba en la metodología utilizada en los casos anteriores. (Ver Figura 25.)



Figura 25. Realización de prueba con Kit solar - Nevera
Fuente: Autores

Teniendo en cuenta las condiciones de operación de los equipos como lo es el gasificador, el gas produce ciertas impurezas que deben ser removidas antes de su implementación a la nevera. Para llevar a cabo este procedimiento el equipo fue trasladado a las instalaciones del laboratorio de Energías Renovables de la Universidad Pontificia Bolivariana con sede en Montería el cual es muestra en la Figura 26 y el equipo contiene todos los elementos de purificación y tratamiento del gas.



Figura 26. Montaje del gasificador- Equipo de lavado de Gases- Nevera
Fuente: Autores

La prueba realizada con el gasificador en producción de manera continua de gas de síntesis se inició a las 7:00 am con el fin de aprovechar los espacios de trabajo en la planta de energías renovables. Este proceso fue realizado con cargas constantes de 2,34 kg/h y 1,23 kh/h en la zona de combustión y gasificación respectivamente, recomendaciones hechas por (López D. y Sofan S, 2019).

A diferencia de las otras pruebas realizadas. Esté tubo algunas limitaciones en las mediciones de temperatura en algunos puntos de la nevera debido a que el gasificador consta de 4 puntos para medirla temperatura y así mantener las zonas en los rangos de diseño que eran (600°C y 800°C) en las zonas de gasificación. Esto hizo que solo se registraran 2 puntos en la nevera, escogiendo los más necesarios los cuales eran la salida del generador y la carga interna. Estos límites se presentaron porque no se tenía un equipo de medición de temperatura que permitiera registrar más de 6 valores.

5. RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1 VALORIZACIÓN TERMOQUÍMICA DE LA BIOMASA

5.1.1 Análisis Próximo

Los resultados de este análisis se muestran en la Tabla 6. Se puede observar los componentes generales de la biomasa expresados en porcentajes de peso.

Tabla 6. Resultados de análisis próximo de la biomasa

CONSTITUCIÓN	% p/p
Humedad relativa (HR)	10,52
Carbono fijo (CF)	16,54
Material volátil (MV)	65,23
Cenizas (C)	7,71

Fuente: Laboratorio de carbones Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

Los resultados obtenidos y mostrados anteriormente fueron calculados en base de aire seco, y se pudo apreciar que la biomasa contiene buenas propiedades para un aprovechamiento energético, esto se debe a que más del 80% de su composición está constituida por materiales volátiles y carbono fijo. También se puede notar el bajo contenido de humedad interna con valor de 10,52%, cerca de referencias para combustibles sólidos. Para el contenido de cenizas se observó un porcentaje alto superando los 7,70 %, lo cual es desfavorable para la biomasa para gasificar, debido a que puede producir problemas de corrosión en los equipos por la generación de algunos óxidos (Mesa & Romero, 2009)

5.1.2 Análisis Elemental

La biomasa presenta formación excesiva de azufre puesto que es materia orgánica favoreciendo el proceso de conversión debido a que no se formarán ni emitirán gases

contaminantes (SOx), logrando una mejor generación energética en comparación con otras tecnologías convencionales. Los resultados de este análisis son mostrados a continuación en la Tabla 7.

Tabla 7. Análisis elemental de la tusa de maíz en base seca

C	H	O	N
39,95	4,97	47,42	0,60

Composición %p/p.

Fuente: Laboratorio de carbones Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

Al analizar estos resultados se observó que la biomasa contiene una baja presencia de Nitrógeno que viene siendo un elemento no deseado debido a sus efectos de contaminación. De igual forma se observa una presencia en mayor cantidad de Oxígeno, seguido del Carbono y el Hidrogeno.

5.2 FUENTES CONVENCIONALES DE ENERGÍA

5.2.1 Energía eléctrica (AC 110 V)

Los datos recolectados con energía eléctrica, con hora de inicio 6:00am a una temperatura ambiente y Humedad relativa de (27°C, 82%) respectivamente y hora final 6:00 am del de siguiente.

En el Anexo 10 se muestra el estudio de las temperaturas durante las 24 horas de funcionamiento del sistema de refrigeración por absorción (SRA), se puede apreciar que para las temperaturas de T₁ a T₅ en los primeros minutos varían hasta llegar a 45 minutos después de este tiempo la temperatura se mantiene constante con pocas variaciones por lo cual podemos afirmar que estas son las temperaturas de operación inicial del SRA, además al pasar los 30 minutos se puede estimar que el sistema inicia con el proceso de

extracción de calor en la carga térmica interna , debido a que en el intervalo de 30 a 45 minutos es cuando en la lectura del termopar T_6 se nota un cambio considerable en el descenso de la temperatura, el cual es de $0,50^{\circ}\text{C}$. También se considera que las temperaturas de operación promedio para los puntos T_1 , T_2 , T_3 , T_4 , T_5 , son $41,41^{\circ}\text{C}$; $108,50^{\circ}\text{C}$; $39,60^{\circ}\text{C}$; 36°C ; $8,10^{\circ}\text{C}$ respectivamente. De aquí se tomó T_2 como la más importante ya que esta es la que suministra el calor requerido para que el SRA funcione adecuadamente. Manteniendo T_2 en un valor próximo al mencionado con anterioridad el equipo logró la estabilidad de temperatura en la carga térmica como se ve en la Figura 27

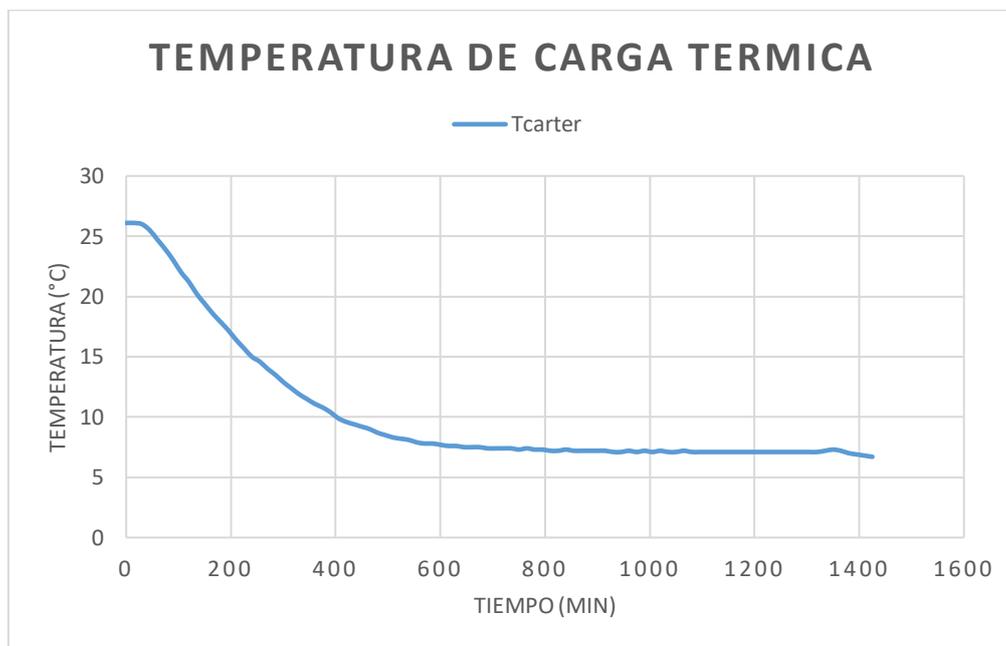


Figura 27 . Temperatura de estabilidad de la carga térmica (T vs t)
Fuente: Autores

La Figura 27 muestra la temperatura de la carga térmica que se encuentra en el compartimiento cerrado de SRA, de esta grafica se afirma que el tiempo que tarda el SRA en estabilizarse es aproximadamente 800 minutos, lo equivalente a 13,33 horas, así mismo se conoce que la temperatura promedio de estabilidad es de $7,10^{\circ}\text{C}$. Además, con esta grafica se calculó el calor extraído de la carga térmica el cual fue de $9,42\text{ kJ}$ por medio de la ecuación 12.

$$\begin{aligned}
 m &= \rho * V \\
 m &= \left(1 \frac{kg}{L}\right) * (1L) \\
 m &= 1 kg \\
 Q_{enfriamiento} &= mc_p \Delta T \\
 Q_{enfriamiento} &= 1kg * 4,18 kJ/kg^{\circ}C * (7,10 - 26,10) \\
 \mathbf{Q_{enfriamiento} &= 79,42 kJ}
 \end{aligned}$$

5.2.2 Gas licuado de petróleo (GLP)

Usando la misma metodología implementada para la prueba con 110V, esta vez se utilizó como fuente de energía GLP. Se inició a las 6:00 am y finalizó a la misma hora del día siguiente.

En el Anexo 11, se muestra el estudio de las temperaturas durante las 24 horas de funcionamiento del sistema de refrigeración por absorción (SRA), se puede apreciar que para las temperaturas de T₁ a T₅ en los primeros minutos varían hasta llegar a 15 minutos después de este tiempo la temperatura se mantiene constante con pocas variaciones por lo cual podemos afirmar que estas son las temperaturas de operación inicial del SRA, además al pasar los 15 minutos podemos estimar que el sistema inicia con el proceso de extracción de calor en la carga térmica interna, debido a que en el intervalo de 0 a 15 minutos es cuando la lectura del termopar T₆ se nota un cambio considerable en el descenso de la temperatura, el cual es de 0,50°C. También se considera que las temperaturas de operación promedio para los puntos T₁, T₂, T₃, T₄, T₅, son 54,9°C; 130,10°C; 48,40°C; 45,40°C; 14,70°C respectivamente, de aquí se tomó T₂ como la más importante ya que esta es la que suministra el calor requerido para que el SRA funcione adecuadamente. Manteniendo T₂ en un valor próximo al mencionado con anterioridad el equipo logró la estabilidad de temperatura en la carga térmica como se ve en la Figura 28.

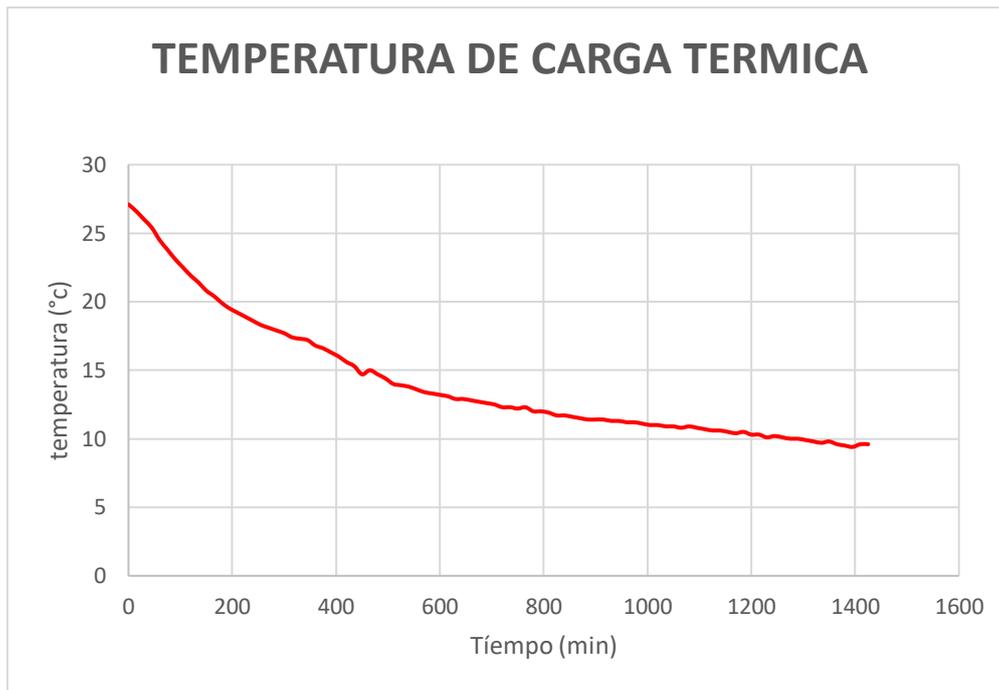


Figura 28. Temperatura de estabilización de la carga térmica (T vs t)
Fuente: Autores

La Figura 28 muestra la temperatura de la carga térmica instalada en el compartimiento cerrado de SRA, de esta grafica se afirma que el tiempo que tarda el SRA en estabilizarse es de 1200 minutos lo que equivale en a 20 horas, así mismo conocemos que la temperatura promedio de estabilidad es de 9,90° C, además con esta grafica se pudo calcular el calor extraído de la carga térmica interna el cual fue 73,15 kJ mediante la ecuación 12.

$$\begin{aligned}
 m &= \rho v \\
 m &= (1\text{kg/L})(1\text{L}) \\
 m &= 1\text{ kg} \\
 Q_{\text{enfriamiento}} &= mc_p\Delta T \\
 Q_{\text{enfriamiento}} &= 1\text{kg} * 4,18\text{ kJ/kg}^\circ\text{C} * (9,90 - 27,10) \\
 \mathbf{Q_{\text{enfriamiento}} = 71,90\text{ kJ}}
 \end{aligned}$$

5.3 FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLES

5.3.1 Kit Solar Fotovoltaico (Energía Solar)

La prueba del SRA alimentado con energía renovable (Solar) utilizando un Kit solar fotovoltaico se realizó en un día con buena irradiación y poca nubosidad, a pesar de las buenas condiciones para realizar la prueba cuando la cantidad de radiación solar era reducida en el panel, se reflejaba un descenso en la temperatura T_2 los cuales se evidencian en la tabla 5 en los minutos 60,75 entre otros.

En el Anexo 12 se muestra el estudio de las temperaturas durante las 24 horas de funcionamiento del sistema de refrigeración por absorción (SRA), se puede apreciar que para las temperaturas de T_1 a T_5 en los primeros minutos varia hasta llegar a 90 minutos después de este tiempo la temperatura se mantiene constante con pocas variaciones por lo cual podemos afirmar que estas son las temperaturas de operación inicial del SRA, a pesar de que a los 75 minutos podemos se estima que el sistema inicia con el proceso de extracción de calor en la carga térmica interna, debido a que en el intervalo de 60 a 75 minutos es cuando la lectura del termopar T_6 se nota un cambio considerable en el descenso de la temperatura, el cual es de $0,50^{\circ}\text{C}$. Se evidencia también una caída en la temperatura del generador lo que ocasiona una caída en la eficiencia del sistema por tal motivo se considera que el inicio del proceso de extracción de calor inicia a los 90 minutos.

También se considera que las temperaturas de operación promedio para los puntos T_1 , T_2 , T_3 , T_4 , T_5 , fueron $50,30^{\circ}\text{C}$; $114,70^{\circ}\text{C}$; $39,70^{\circ}\text{C}$; $36,40^{\circ}\text{C}$; $26,30^{\circ}\text{C}$ respectivamente, de aquí, se toma T_2 como la más influyente ya que esta es la que suministra el calor requerido para que el SRA funcione adecuadamente. Logrando una estabilidad en la temperatura en la carga térmica el cual se ve en la Figura 29.



Figura 29. Temperatura de estabilidad de la carga térmica (T vs t)
Fuente: Autores

La Figura 29 muestra la temperatura de la carga térmica que se encuentra en el compartimiento cerrado de SRA, de esta grafica se afirma que la que el tiempo que tarda el SRA en estabilizarse es de 1140 minutos lo que equivale en a 19 horas, así mismo se determinó que la temperatura promedio de estabilidad es de 6,30° C, además con esta grafica se pudo calcular el calor extraído de la carga térmica interna el cual fue 86,90 kJ.

$$\begin{aligned}
 m &= \rho v \\
 m &= (1\text{kg/L})(1\text{L}) \\
 m &= 1\text{ kg} \\
 Q_{\text{enfriamiento}} &= mc_p \Delta T \\
 Q_{\text{enfriamiento}} &= 1\text{kg} * 4,18\text{ kJ/kg}^\circ\text{C} * (6,30 - 27,10) \\
 \mathbf{Q_{\text{enfriamiento}} = 86,90\text{ kJ}}
 \end{aligned}$$

5.3.2 Gas de síntesis.

En el Anexo 13 se muestra el estudio de las temperaturas durante el funcionamiento del SRA cuando se le suministró gas de síntesis, se puede apreciar que la temperatura en la salida del generador T₅ demoró 1 hora para alcanzar los 40°C, a partir de ahí, se nota un comportamiento creciente hasta alcanzar una temperatura de 130°C, en ese momento las temperaturas fluctúan entre (130°C y 133°C). El tiempo de este proceso es alto puesto que el gas hace un recorrido hasta llegar a la nevera. El termopar ubicado en la carga térmica T₆ monitoreó el enfriamiento que se tuvo de la misma ya que es la que suministra el calor requerido para que el SRA funcione adecuadamente, manteniéndose T₆ con un valor de 8,70°C como temperatura de estabilización en la carga térmica como se muestra en la Figura 30.

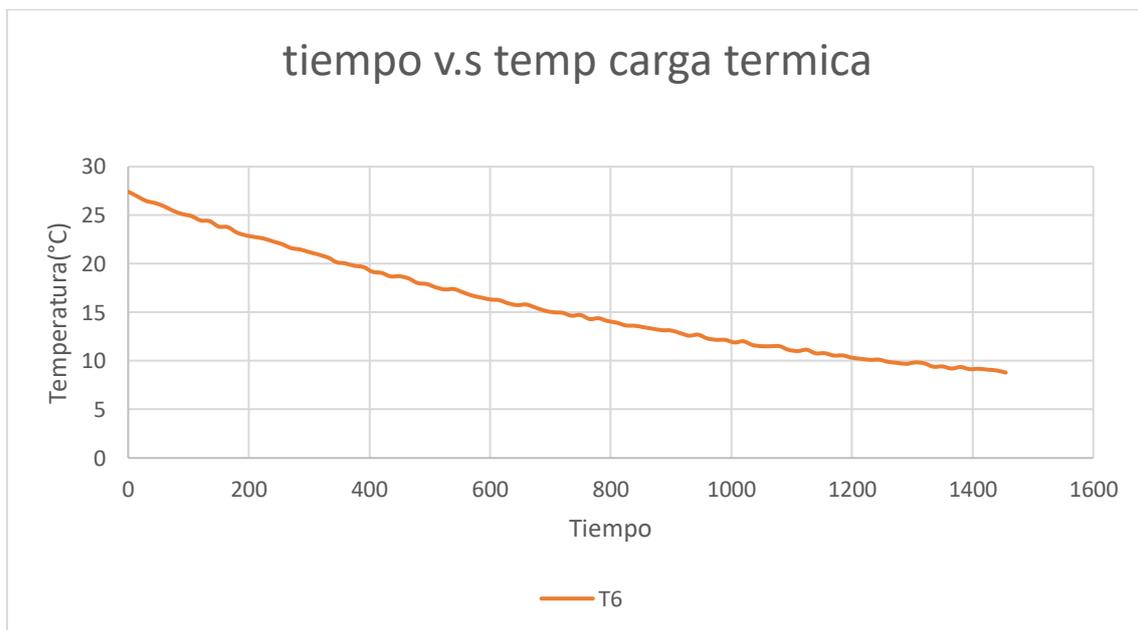


Figura 30. Temperatura de estabilidad de la carga térmica (T vs t)

Fuente: Autores

La Figura 30 muestra la temperatura de la carga térmica que se encuentra en el compartimiento cerrado de SRA, de esta grafica se afirma que la que el tiempo que tarda el SRA en estabilizarse es de 1300 minutos, así mismo se determinó que la temperatura promedio de estabilidad es de 9,00° C, además con esta grafica se pudo calcular el calor extraído de la carga térmica interna el cual fue 71,90 kJ.

$$\begin{aligned}
 m &= \rho v \\
 m &= (1\text{kg/L})(1\text{L}) \\
 m &= 1\text{ kg} \\
 Q_{\text{enfriamiento}} &= mc_p \Delta T \\
 Q_{\text{enfriamiento}} &= 1\text{kg} * 4,18\text{ kJ/kg}^\circ\text{C} * (8,70 - 27,10) \\
 Q_{\text{enfriamiento}} &= 71,90\text{ kJ}
 \end{aligned}$$

5.4 COMPARACIÓN ENTRE LAS DIFERENTES FUENTES DE ENERGÍA

Los resultados obtenidos al momento de realizar todas las pruebas utilizando las distintas fuentes de energías en la nevera, se compararon mostrando sus temperaturas de estabilización de la carga térmica que colocada en el recinto cerrado.

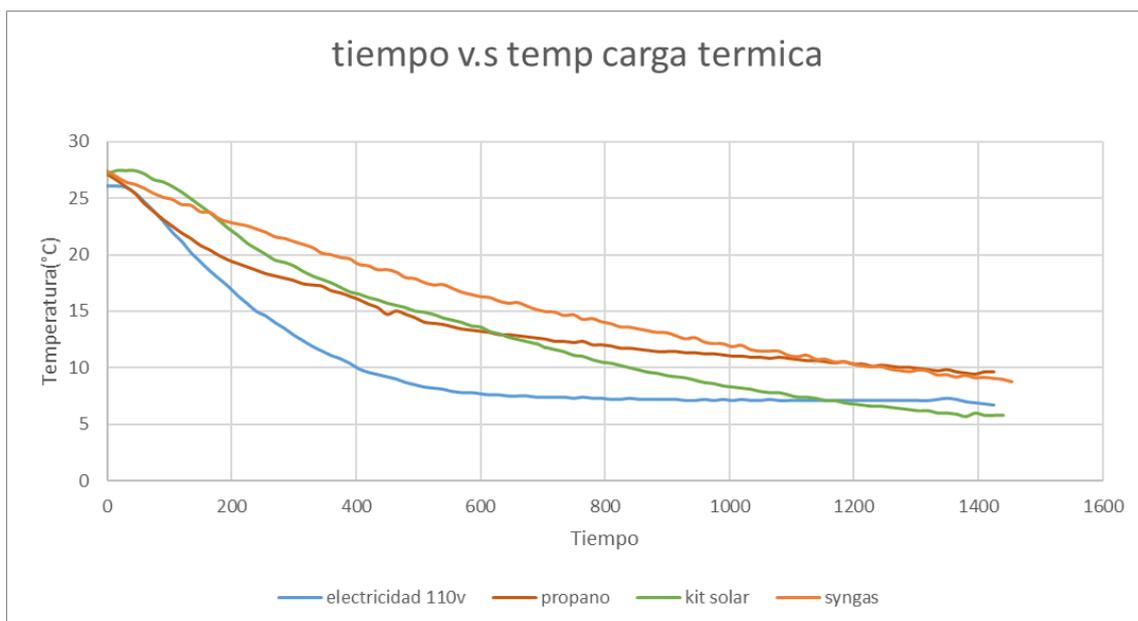


Figura 31. Temperaturas de estabilización de la carga térmica (T vs t) de los diferentes tipos de energías utilizadas

Fuente: Autores

En la Figura 31 se puede diferenciar los tiempos de estabilización de cada una de las fuentes de energías empleadas, se evidencia que la prueba con energía eléctrica(110V) es la que más rápido se estabiliza, ya que alrededor de los 800 minutos se empieza a observar que la curva se torna más constante en comparación con el GLP que se estabiliza por los rangos de 1200 minutos, el syngas que se estabiliza alrededor de los 1300 minutos y el kit solar con alrededor de los 1100 minutos, además se evidencia que con la prueba con el kit solar se obtuvo la temperatura más baja con 5,80 °C en comparación de las otras fuentes de energía que obtuvieron 6.7 °C con E (110V), 8.7°C con el gas de síntesis y 9,60°C con el GLP. Logrando temperaturas de estabilización de 6,30°C; 7,10°C; 9,00°C y 9,90°C respectivamente.

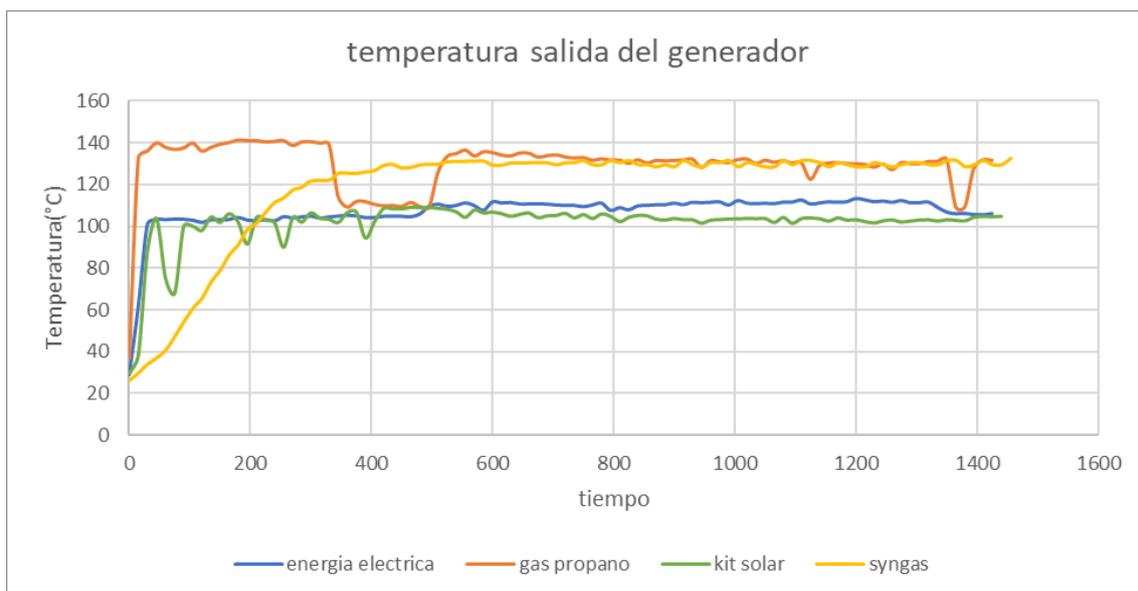


Figura 32 .Curvas de temperatura a la salida del generador vs tiempo, implementando los diferentes tipos de energías

Fuente: Autores

En la Figura 32 se observa las fluctuaciones que se presentaron durante la duración de cada proceso, los valores de temperatura más altos se alcanzaron cuando se implementó el gas propano, esto se debe al alto poder calorífico que posee, siendo superior al calor

proveniente cuando se utilizó el kit solar fotovoltaico en una parte y el restante forma de potencia generado por la batería la cual pudo almacenar energía para el resto de la prueba, pero que se mantuvo en valores parecidos cuando se implementó el syngas, cuyo poder calorífico fue de 5,187 MJ/kg, lo que generó una buena temperatura en el proceso, la corriente eléctrica 110V por su parte mantuvo estándares similares a la energía solar durante toda la prueba.

A demás se observa que las temperaturas iniciales de calentamiento, el gas propano actúa más rápido que las demás fuentes debido a que esta los 100 °C en los primeros 15 minutos en comparación con la energía eléctrica que se evidencia un cambio considerable de temperatura en los 30 minutos, en la de energía solar se ve en los primeros 90 minutos y en el syngas se evidencia en 210 minutos lo que hace que su curva sea más plana por su calentamiento lento. Por otro lado, se observaron las temperaturas promedio de operación en específico la temperatura de salida del generador, para la energía eléctrica fue de 108,50 °C, GLP fue de 130,10 °C, energía solar fue de 114,30°C y para el syngas fue de 130 °C.

5.5 Coeficiente de rendimiento máximo (COP) máx. (reversible)

Se calculó el COP máx. Que se logró por medio de las relaciones de temperaturas absolutas a las cuales esta sujetó el equipo cuando se implementaron fas fuentes convencionales como las alternativas utilizando la ecuación (10)

$$COP_{m\acute{a}x} = \frac{T_e(T_g - T_0)}{T_g(T_0 - T_e)}$$

Utilizando **energía eléctrica AC 110 V**, se obtuvo que $T_e = 279,70K$, $T_g = 386,60K$ y $T_0 = 303K$ obteniendo un $COP_{m\acute{a}x} = 2,60$

$$COP_{m\acute{a}x} = \frac{279,70(386,60 - 303)}{386,60(303 - 279,70)}$$
$$**COP_{m\acute{a}x} = 2.60**$$

Al utilizar **GLP** como fuente de energía al sistema, se obtuvo que $T_e = 282,40 K$, $T_g = 414,10K$ y $T_0 = 303K$ obteniendo un $COP_{m\acute{a}x} = 3.67$

$$COP_{m\acute{a}x} = \frac{282,40(414,10 - 303)}{414,10(303 - 282,40)}$$
$$**COP_{m\acute{a}x} = 3.67**$$

Cuando se implementó **energía solar al sistema**, se obtuvo que $T_e = 278,70 K$, $T_g = 382,40 K$ y $T_0 = 303K$ obteniendo un $COP_{m\acute{a}x} = 2.38$

$$COP_{m\acute{a}x} = \frac{278,70(382,40 - 303)}{382,40(303 - 278,70)}$$
$$**COP_{m\acute{a}x} = 2.38**$$

Cuando se implementó el **gas de síntesis al sistema**, se obtuvo que $T_e = 281,70K$, $T_g = 403K$ y $T_0 = 303^\circ K$ obteniendo un $COP_{m\acute{a}x} = 3,28$

$$COP_{m\acute{a}x} = \frac{281,70(403 - 303)}{403(303 - 281,70)}$$
$$**COP_{m\acute{a}x} = 3,28**$$

6. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se evaluó el desempeño energético de una nevera por absorción cuando se le implementaron fuentes renovables de energía como lo fueron la solar utilizando un kit solar fotovoltaico y gas de síntesis de un gasificador multizona y que a su vez fueron comparadas con las fuentes convencionales como el GLP y E (110V), se realizaron pruebas con duración de 24 horas y se comparó el mejor rendimiento de las fuentes no convencionales con miras a su implementación a ZNI.

En el generador se alcanzaron temperaturas de hasta 110 °C utilizando el kit solar fotovoltaico lo cual es muy buen desempeño para llevar el proceso de generación, se presentaron fluctuaciones debido a la radiación solar, producto de alguna nube o brisa que afectaba la eficiencia del panel disminuyendo la posibilidad de alcanzar mayores temperaturas en el proceso de generación.

En el evaporador fue posible alcanzar temperaturas por debajo de 6.0 °C siendo un resultado bastante eficiente para la aplicación de conservación y/o refrigeración de alimentos, puesto que son temperaturas que no permiten la presencia de microorganismos y que aseguran un tiempo de conservación de los productos.

Con el gas de síntesis se obtuvieron valores de temperaturas por encima de los 130°C en el generador siendo un desempeño bueno, demoró un tiempo largo para alcanzar esas temperaturas, sin embargo, mostró un buen desempeño al mantenerla. En la parte de la carga térmica generó temperaturas por debajo de los 9°C lo cual están por debajo de temperaturas de refrigeración y conservación de algunos productos alimenticios.

Con los datos obtenidos durante la operación de los equipos, se calculó el COP reversible obteniendo valores de 2,38 para energía solar y 2,60 para E110V mostrando una diferencia de 8,46 %, mientras que para el syngas el COP máximo fue de 3,28 y el GLP fue de 3,67 mostrando una diferencia del 10,63%.

El sistema de refrigeración adquirido solo alcanza temperaturas para poder refrigerar, mas no para la conservación de productos. Esto es porque el sistema está fabricado para refrigerar, Se alcanzaron temperaturas en la carga térmica de 6,70°C y 9,40°C para energía eléctrica 110V y GLP respectivamente.

Se cumplió con el objetivo principal del proyecto, demostrando así que si es posible implementar las energías renovables en el sistema de refrigeración por absorción en ZNI.

Las temperaturas obtenidas con las fuentes alternativas (Energía solar- Gas de síntesis) cuyos valores fueron entre (5,70°C y 8,70°C) se pueden conservar alimentos como lácteos, frutas como Aguacates, Guayabas, Limones, Piña, tubérculos como Yuca, Plátanos, Ñame y huevos.

7. RECOMENDACIONES

Las siguientes recomendaciones están basadas en la experiencia adquirida durante el desarrollo de este trabajo de investigación:

- Para ampliar las evaluaciones en sistemas de refrigeración por absorción utilizando fuentes de energía Renovables se recomienda automatizar el sistema suministro de voltaje al equipo para mejorar la eficiencia del mismo.
- Se recomienda mejorar el tipo de transferencia de calor en el evaporador, pasando de convección natural a una convección forzada para lograr obtener temperaturas más bajas.
- Se recomienda rediseñar el quemador de la nevera para mejorar la eficiencia del sistema, ya que se tuvo una gran disipación de calor generado al momento de implementar gas de síntesis.
- Se recomienda si es posible utilizar la energía eléctrica 110V al inicio de cada prueba para disminuir el tiempo de estabilización, posteriormente implementar otras fuentes alternativas ya que esto mejorará la eficiencia del equipo.
- Se recomienda el uso de un sistema de refrigeración por absorción que este diseñado para congelación, generando así estudios para la implementación de estas energías a ZNI.

8. BIBLIOGRAFÍA

Alonso Abella Miguel., 2001 Sistemas fotovoltaicos. Introducción al diseño y dimensionado. Editorial SAPT de publicaciones técnicas

Álvarez, A., Pizarro, C. & Folgeras, M., 2012. Caracterización química de biomasa y su relación con el poder calorífico, Universidad de Oviedo: Asturias

Arango, J., & González, L. (2016). Evaluación Del Potencial Energético De La Gasificación En Lecho Fijo Para Cuatro Biomosas Residuales En El Departamento De Córdoba. Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Montería.

ASTM D7176. *Standard Practice for Ultimate Analysis of Coal and Coke* ASTM international: West Conshohocken. EEUU (2009).

ASTM D7582. *Standard Test Methods for Proximate Analysis of Coal and Coke by Macro Thermogravimetric Analysis* ASTM international: West Conshohocken. EEUU (2012).

Basu, P., 2010. Biomass gasification and pyrolysis. Practical design and theory. Academic press publications, Elsevier Inc: Burlington, EEUU.

BESEL, S.A., 2007. Biomasa. Gasificación, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE): Madrid.

Biagini, E., Barontini, F., & Tognotti, L. (2014). Gasification of agricultural residues in a demonstrative plant: Corn cobs. *BIORESOURCE TECHNOLOGY*, 173, 110–116. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.09.086>

Boer, D., Medrano M., M., & Nogués A., M. (2005). Exergy and structural analysis of an absorption cooling cycle and the effect of efficiency parameters. *International Journal of Thermodynamics*, vol. 8(4) pp.191-198.

Bridgwater, A.V. (2013) The technical and economic feasibility of biomass gasification for Power generation. *Fuel*.

Buttori, D. & Di Ruscio, N. J., 2013. Estudio de prefactibilidad para la generación de energía eléctrica por gasificación de biomasa, Proyecto final: Universidad Tecnológica Nacional, Rosario

Carta, J., Calero, R., Colmenal, A. & Castro, M., 2009. Centrales de energías renovables. Generación eléctrica con energías renovables. Pearson Educación, S.A.: Madrid.

Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2015). Thermodynamics: an Engineering Approach 8th Edition. In *McGraw-Hill*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Cerdá Tena, E. (2012). Energía obtenida a partir de biomasa. Cuadernos económicos de ICE, (83), 117-140. <https://doi.org/10.1109/ICDRET.2014.6861689>

CNM. (2018). Centro Nacional de Monitoreo. Recuperado de <http://190.216.196.84/cnm/>

Consorcio Energético CORPOEMA. (2010). Formulación de un plan de desarrollo para las fuentes no convencionales de energía en Colombia. Volumen 2 – Diagnóstico de las

DANE. (2014). Boletín técnico Encuesta Nacional de Calidad de Vida, 1-38.

DANE. (2015). Tercer Censo Nacional Agropecuario. Departamento Administrativo Nacional de Estadística. Recuperado de <https://geoportal.dane.gov.co/geocna/index.html#>

DNP. (2016). Pérdida y Desperdicio de alimentos en Colombia. Departamento Nacional de Planeación, 39, 116.

Ersöz, M.A., 2015. Investigation the effects of the different heat inputs supplied to the generator on the energy performance in diffusion-absorption refrigeration systems. *Int. J. Refrig.* 54, 10–21

FAO. (2015). Global initiative on food loss and food waste reduction. United Nations, 1-

Goyal, H., Seal, D., & Saxena, R. (2008). Biofuels from thermochemical conversion of renewable resources: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol 12 (2), pp. 504-517.

IEA, 2010. Energy Technology Perspectives. Scenarios and strategies to 2050, IEA Publications: Paris, Francia

Informe de acceso a la energía, IEA (2017)

https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2017SpecialReport_EnergyAccessOutlook.pdf

IPSE. (2017). Informe Rendición Social de Cuentas 2016 – 2017

Isaza, C.A. Pilatowsky, I. Romero, R.J. Cortéz, F.B. 2010. Análisis Termodinámico de un Sistema de Refrigeración Solar por Absorción Usando Soluciones de Monometilamina-Agua para la Conservación de Alimentos, mayo 2010, Vol 8 (1), pág. 18 – 25

Julio A, Ramos A, (2015). Diseño y construcción de un sistema de refrigeración por absorción intermitente empleando energía solar para la conservación de frutas tropicales en el departamento de córdoba. Universidad de córdoba

López D, Sofán S (2019). Caracterización energética de los residuos de la agroindustria del maíz en un prototipo de gasificación multizona. Universidad de Córdoba

Martínez, P. R. (2009). Energía Solar Térmica: Técnicas para su Aprovechamiento. Marcombo.

Ministerio de Minas y Energía, R. d. (2009, 12 22). EL USO RACIONAL Y EFICIENTE DE LA ENERGÍA ES RESPONSABILIDAD DE TODOS. Retrieved from Situación energética del país en completa normalidad: https://www.isagen.com.co/comunicados/Comunicado_URE.pdf

Moran, M., & Shapiro, H. (2006). Fundamentals of Engineering Thermodynamics 5th Ed. West Sussex - England: Wiley

Mota Babiloni, A., Navarro Esbrí, J., Barragán Cervera, Á., Molés, F., Peris, B., & Verdú, G. (2015). Commercial refrigeration - An overview of current status. *International Journal of Refrigeration*, Vol. 57, pp. 186-196.

Mubashar, M., Munir, A., Ahmad, M., & Tanveer, A. (2018). Downdraft gasifier Structure and process improvement for high quality and quantity producer gas Production. *Journal of the Energy Institute*, 91(6), 1034–1044.
<https://doi.org/10.1016/j.joei.2017.07.005>

PÉRDIDA Y DESPERDICIO DE ALIMENTOS EN COLOMBIA, DNP 2016
https://mrv.dnp.gov.co/Documentos%20de%20Interes/Perdida_y_Desperdicio_de_Alimentos_en_colombia.pdf

Procolombia. (2014b). Procolombia: La guía de las oportunidades - Cauca. Procolombia.
(2014c). Procolombia: la guía de oportunidades - Nariño.

REN21. (2017). Renewables 2017 Global Status Report

Rojas A. y Burgos E, 2019. Evaluación de alternativas sobre dispositivos de refrigeración con fuentes de energía no convencional para las zonas no interconectadas de Colombia. Universidad distrital Francisco José de Caldas.

Seishu, T., & Tadashi, H. (2013). Research Approaches to Sustainable Biomass Systems. Kidlington-Oxford: Elsevier.

Trujeque, J. (2010). Diseño de refrigeración solar por adsorción para clima cálido húmedo. Querétaro. (Tesis de Maestría). Instituto Politécnico Nacional. Recuperado de <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/6810/JGTB.TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

UPME, Unidad de Planeación Minero-Energética, Boletín Estadístico (2018). Recuperado de: <http://www1.upme.gov.co/InformacionCifras/Paginas/Boletin-estadistico-de-ME.aspx>

UPME. (2015a). Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia. Ministerio de Minas y Energía. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

UPME. (2016). Plan indicativo de expansión de cobertura de energía eléctrica 2016-2020, 0-48

Verdeza, A., 2013. Caracterización del proceso de gasificación en lecho fijo para residuos agroindustriales de la región, Tesis Magister en Ingeniería Mecánica: Fundación Universidad del Norte, Barranquilla

World Energy Council, 2013. Recursos energéticos globales. Encuesta 2013. Resumen, World Energy Council: Londres.

Yousfi, M.L., Saighi, M., Dalibard, A., Schneider, D., Eicker, U., 2017. Performance of a hot water driven diffusion absorption chiller. Appl. Therm. Eng. 127, 789–799

ZONAS NO INTERCONECTADAS – ZNI Diagnóstico de la prestación del servicio de energía eléctrica 2017
<https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/SSPD%20Publicaciones/Publicaciones/2018/Sep/diagnosticozni-superservicios-oct-2017.pdf>

9. ANEXOS

Anexo 1. Distribución del uso del suelo en los departamentos principales con ZNI

Departamento	% Área agropecuaria	% Área en bosque	% Otros	Total
Casanare	71%	18%	11%	100%
Meta	56%	41%	3%	100%
Antioquia	55%	39%	6%	100%
Valle Del Cauca	54%	40%	6%	100%
Vichada	51%	46%	2%	100%
Cauca	43%	53%	4%	100%
Nariño	37%	58%	5%	100%
Putumayo	26%	71%	3%	100%
Caquetá	20%	78%	2%	100%
Chocó	12%	83%	5%	100%
Guaviare	10%	89%	1%	100%
Guainía	8%	91%	1%	100%
Vaupés	2%	97%	1%	100%
Amazonas	1%	97%	1%	100%
Promedio	32%	64%	4%	100%

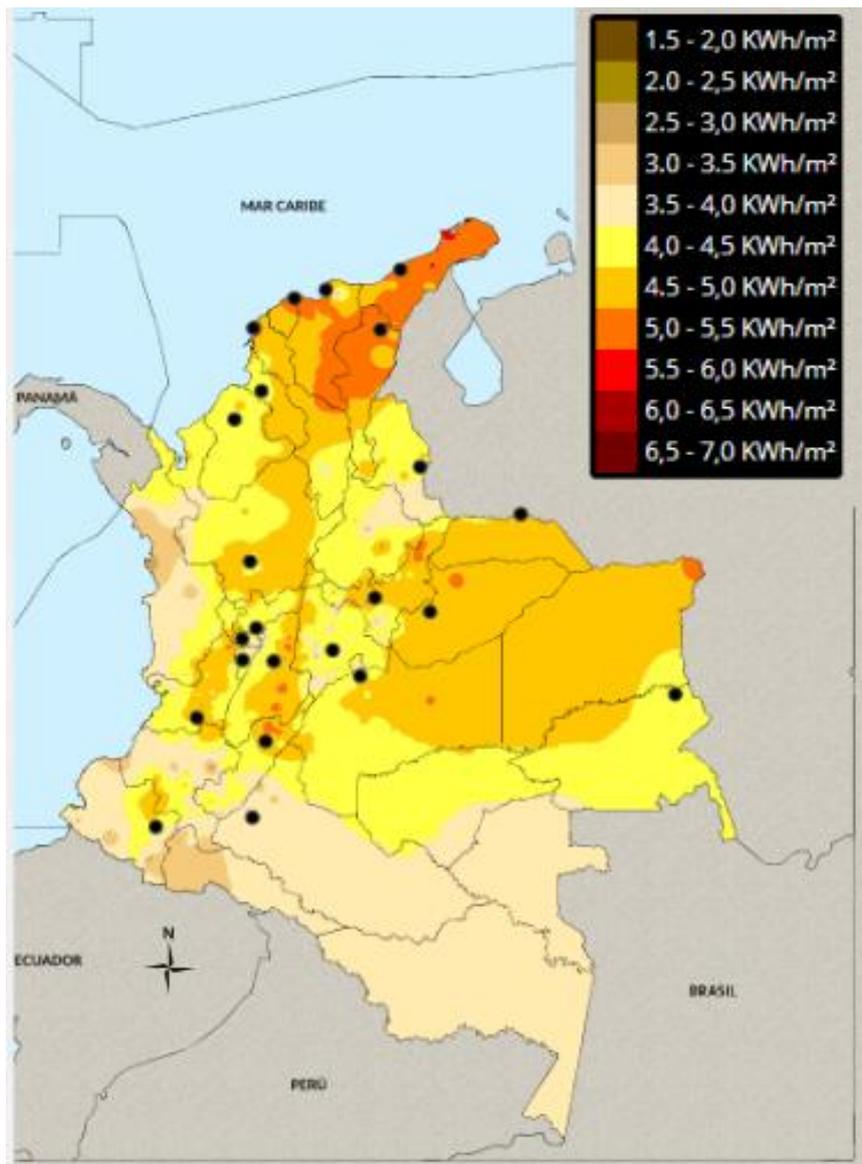
Fuente: (DANE, 2015)

Anexo 2. Distribución del uso del suelo para actividad agropecuaria en los departamentos principales con ZNI

Departamento	% Uso dominante agrícola	% Uso dominante pecuario	% Uso dominante bosques	Total
Antioquia	53%	44%	3%	100%
Casanare	52%	47%	1%	100%
Valle Del Cauca	40%	24%	36%	100%
Cauca	38%	30%	32%	100%
Nariño	26%	16%	57%	100%
Meta	23%	43%	34%	100%
Caquetá	5%	14%	80%	100%
Putumayo	0%	0%	100%	100%
Chocó	0%	2%	97%	100%
Vichada	0%	35%	65%	100%
Vaupés	0%	0%	100%	100%
Guaviare	0%	0%	100%	100%
Amazonas	0%	0%	100%	100%
Guainía	0%	0%	100%	100%
Promedio	17%	18%	65%	100%

Fuente: Adaptado de (DANE, 2015)

Anexo 3. Mapa de radiación solar global multianual en Colombia



Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM),

Anexo 4. Análisis elemental de la tusa de maíz

	INFORME DE RESULTADOS			Código: FAR-001			
	LABORATORIO DE CARBONES			Versión: 02			
			Solicitud: 201				
Ciudad	Medellín	Fecha	2014	10	08	Informe No.	278 A
INFORMACIÓN DEL CLIENTE							
Nombre	UNIVERSIDAD DEL NORTE			NIT. o CC.	890101681-1		
Dirección	Kilómetro 5 Vía Puerto Colombia			Teléfono	3308852		
Persona de contacto	Mairen López Becerra			Cargo	Centro Integrado de Materiales		
Correo electrónico	mlopez@uninorte.edu.co			Ciudad	Barranquilla		
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA							
Fecha de recepción	2014	10	02	Tipo de muestra	Biomasa	Solicitud No.	278
						Código asignado por el laboratorio	140616
Identificación asignada por el cliente				Cosecha Maíz			
RESULTADOS							
FECHA DE ANÁLISIS			ENSAYO	DOCUMENTO NORMATIVO	RESULTADO	UNIDADES	
año	mes	día					
2014	10	07	Humedad Residual	ASTM D3173	10.52	%	
2014	10	07	Cenizas	ASTM D3174	7.71	%	
2014	10	07	Materia Volátil	ISO 602	65.23	%	
2014	10	07	Carbono Fijo	ASTM D3172	16.64	%	
2014	10	08	Azufre Total	ASTM D4209	0.08	%	
2014	10	08	Poder Calorífico Superior	ASTM D5865	3.782	cal/g	

NOTAS:

1. El muestreo y la cantidad de muestra recibida por el Laboratorio de Carbones son responsabilidad exclusiva del cliente.
2. Los resultados corresponden única y exclusivamente al material recibido como muestra y están reportados en base como se recibe.
3. Los ensayos son realizados una vez la muestra alcanza el equilibrio con el ambiente.
4. Este informe no puede reproducirse en forma parcial, sólo en forma total previa autorización por escrito de la Coordinadora del Laboratorio de Carbones.

Aprobó: **LQ. EDER JOSÉ EMERY GENES**
Coordinador Laboratorio de Carbones (e)

Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín – Facultad de Minas – Laboratorio de Carbones
Calle 65 #78-29 Bloque M1-204 Teléfono 4255238 – 4255244 Correo Electrónico: labcarbon@unalmed.edu.co

Página 1 de 1

Anexo 5. Análisis próximo de la tusa de maíz



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE MEDELLÍN
LABORATORIO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA

Medellín, Noviembre 7 de 2014

ING. MARLÉN LÓPEZ MSc.
Centro Integrado de Materiales y Manufactura
Departamento de Ingeniería Mecánica
Universidad del Norte
Km 5 Antigua Vía Puerto Colombia
Tel: (5) 3509238

Envío a continuación el resultado de la corrección del análisis de la muestra correspondiente

ITEM	MUESTRA	%C	%H	%N
1	Ajonjolí	33,67	3,81	0,98
2	Coco	39,40	4,27	0,70
3	Algodón	39,30	4,70	1,21
4	Arroz	39,27	4,91	0,59
5	Maíz	39,95	4,97	0,60
6	Carbón	60,29	4,61	1,47
7	Bioag-C	4,37	1,09	0,03
8	Bioag-A	2,76	0,76	0,07
9	Bioag-M	3,00	0,73	0,01

Los resultados se presentan en % peso/peso tal como se recibe la muestra.
Los resultados corresponden al promedio de dos análisis realizados a cada muestra.

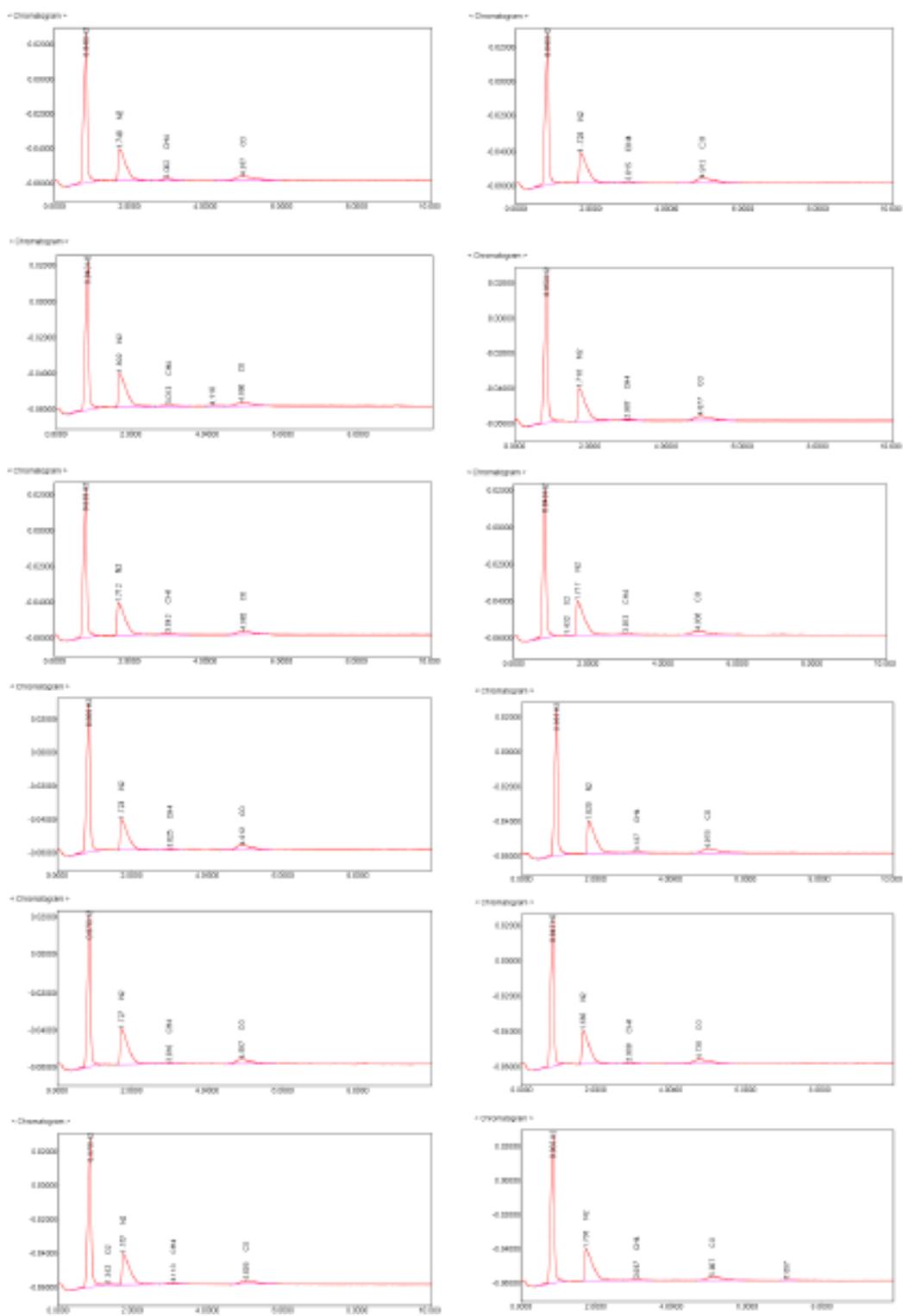
Cordialmente

CARLOS FRANCISCO VALDÉS RENTERÍA
Coordinación de laboratorio

Laboratorio Ciencias de la Energía
Calle 75 No. 78A - 51 Bloque M18
Tel: 4255389 Ext. 44100

Facultad de Minas
Universidad Nacional de Colombia

Anexo 6. Cromatografía del gas



Fuente: Autores

Anexo 7. Adquisición de nevera de refrigeración por absorción



Fuente: Autores

Anexo 8. Kit solar fotovoltaico



Fuente: Autores

Anexo 10. Temperaturas durante la prueba con energía eléctrica (AC 110V)-Nevera

Tabla 8. Temperaturas durante la prueba con energía eléctrica (AC 110V)-Nevera

T₁ = entrada de generador; T₂ = salida de generador; T₃ = entrada condensador; T₄ = entrada evaporadora; T₅ = salida evaporadora; T₆ = carga térmica; T₇ = interna de evaporador

Tiempo (min)	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	T ₃ (°C)	T ₄ (°C)	T ₅ (°C)	T ₆ (°C)	T ₇ (°C)
0	27,6	29,2	24,7	24,1	24,3	26,1	26,2
15	27,6	62,1	25,2	23,6	24,4	26,1	25,0
30	34,9	101,2	31,3	28,0	26,8	26,0	18,2
45	38,3	103,6	33,3	29,3	14,3	25,5	12,5
60	38,9	103,5	34,0	29,7	7,1	24,7	9,1
75	38,4	103,8	34,3	30,0	6,4	23,9	7,1
90	38,2	103,7	34,4	29,9	6,6	23,0	5,8
105	38,1	103,2	34,3	29,8	6,4	22,0	4,7
120	37,8	102,2	34,3	29,7	6,0	21,2	3,9
135	38,0	103,4	34,3	29,8	5,8	20,2	3,3
150	37,6	103,4	34,3	29,8	5,9	19,4	2,9
165	37,6	103,6	34,2	29,7	6,0	18,6	2,6
180	37,7	104,5	34,6	30,1	5,8	17,9	2,4
195	37,6	103,3	34,4	29,9	5,3	17,2	2,0
210	37,2	102,9	33,8	29,3	5,3	16,4	1,5
225	37,3	103,5	34,0	29,6	5,5	15,7	1,0
240	37,1	102,9	35,2	30,6	5,7	15,0	0,6
255	38,1	104,9	35,6	31,1	6,1	14,6	0,5
270	37,9	104,3	35,5	31,0	5,7	14,0	0,4
285	38,3	104,8	35,3	30,9	5,4	13,5	0,2
300	38,0	105,2	34,9	30,4	5,3	12,9	-0,1
315	38,2	104,2	36,4	31,6	5,9	12,4	-0,3
330	38,4	104,8	37,3	32,5	6,6	11,9	-0,5
345	38,5	105,2	36,6	32,1	6,6	11,5	-0,5
360	38,4	105,6	36,3	31,9	6,3	11,1	-0,5
375	38,9	105,3	36,4	31,8	6,3	10,8	-0,6
390	38,8	104,5	36,7	32,4	6,8	10,4	-0,6
405	38,9	104,5	35,8	31,6	6,3	9,9	-0,6
420	38,6	105,1	36,1	31,7	7,0	9,6	-0,8
435	38,6	105,2	36,2	32,0	6,7	9,4	-0,8
450	38,8	105,1	36,3	32,0	6,9	9,2	-0,8
465	38,8	104,9	36,3	31,9	6,6	9,0	-0,8
480	39,8	106,2	36,5	32,1	6,2	8,7	-0,9
495	40,9	109,9	40,0	36,6	7,2	8,5	-1,0
510	41,6	110,9	40,9	37,1	8,6	8,3	-0,8
525	41,9	109,9	41,3	37,7	9,1	8,2	-0,5
540	42,5	110,3	41,5	37,8	9,3	8,1	-0,3
555	42,6	111,5	41,7	38,5	9,0	7,9	-0,2

570	43,2	110,2	41,8	38,7	9,0	7,8	-0,1
585	43,4	108,0	41,8	38,6	9,0	7,8	-0,1
600	43,1	112,0	41,8	38,7	8,5	7,7	0,0
615	42,9	111,5	41,7	38,6	8,3	7,6	0,0
630	43,1	111,7	41,8	38,7	8,5	7,6	0,0
645	43,1	111,0	41,8	38,7	9,7	7,5	0,1
660	43,2	111,0	41,9	38,7	9,7	7,5	0,2
675	43,2	111,1	41,9	38,8	9,3	7,5	0,1
690	43,3	110,9	41,9	38,8	9,3	7,4	0,1
705	43,0	110,5	41,9	38,9	9,4	7,4	0,2
720	43,3	110,3	41,9	38,9	9,6	7,4	0,2
735	43,1	110,3	42,0	39,0	9,5	7,4	0,1
750	43,3	109,7	41,9	39,0	9,5	7,3	0,2
765	42,7	110,5	42,1	39,1	9,0	7,4	0,2
780	43,0	111,4	42,2	39,1	9,2	7,3	0,2
795	43,3	107,9	42,3	39,0	8,7	7,3	0,1
810	43,5	109,2	42,2	39,1	9,1	7,2	0,1
825	43,4	108,2	42,3	39,1	9,1	7,2	0,1
840	43,3	110,1	42,5	39,3	9,6	7,3	0,2
855	43,3	110,3	42,5	39,3	9,6	7,2	0,2
870	43,2	110,6	42,5	39,2	9,4	7,2	0,2
885	43,4	110,6	42,5	39,4	9,7	7,2	0,2
900	43,3	111,4	42,4	39,3	9,3	7,2	0,1
915	43,1	110,7	42,6	39,5	9,4	7,2	0,1
930	43,0	111,8	42,5	39,4	9,9	7,1	0,1
945	43,1	111,6	42,6	39,6	9,7	7,1	0,1
960	43,3	111,8	42,5	39,5	9,8	7,2	0,1
975	43,5	112,0	42,6	39,5	9,7	7,1	0,1
990	43,6	110,5	42,8	39,8	9,5	7,2	0,1
1005	43,6	112,6	42,8	39,7	9,3	7,1	0,1
1020	43,6	111,4	42,8	39,8	9,7	7,2	0,1
1035	43,7	111,1	42,8	39,7	9,7	7,1	0,1
1050	43,7	111,4	43,0	39,9	9,6	7,1	0,1
1065	44,0	111,1	43,1	40,0	9,5	7,2	0,2
1080	43,9	111,9	43,0	40,0	9,5	7,1	0,1
1095	43,7	111,9	43,1	40,0	9,7	7,1	0,1
1110	43,8	112,9	43,1	40,0	9,6	7,1	0,1
1125	44,0	111,0	43,2	40,2	9,5	7,1	0,1
1140	44,2	111,5	43,2	40,1	9,0	7,1	0,1
1155	44,1	112,0	43,2	40,2	9,0	7,1	0,1
1170	44,2	111,8	43,6	40,6	9,2	7,1	0,1
1185	44,5	112,1	43,7	40,6	9,5	7,1	0,1
1200	44,6	113,6	43,7	40,5	9,2	7,1	0,1
1215	44,3	113,0	43,4	40,4	9,4	7,1	0,1
1230	44,2	112,1	43,5	40,3	8,8	7,1	0,1
1245	44,5	112,4	43,4	40,3	8,9	7,1	0,1

1260	44,3	111,8	43,3	40,3	8,9	7,1	0,1
1275	43,8	112,6	42,9	39,9	8,7	7,1	0,1
1290	44,3	111,6	42,8	39,7	8,1	7,1	0,1
1305	44,1	111,6	42,9	39,9	8,2	7,1	0,1
1320	43,7	111,9	42,7	39,7	8,3	7,1	0,1
1335	42,6	109,4	41,6	36,9	8,1	7,2	0,1
1350	41,3	107,1	37,7	33,0	5,7	7,3	0,0
1365	40,1	106,3	36,4	31,8	4,7	7,2	-0,6
1380	39,3	106,5	35,5	31,1	4,7	7,0	-1,1
1395	38,9	105,9	35,7	30,9	4,2	6,9	-1,5
1410	38,8	105,8	36,0	31,0	4,1	6,8	-1,8
1425	38,9	106,4	36,1	31,2	4,1	6,7	-2,0
1440	38,9	106,1	36,0	31,2	4,1	6,8	-1,9

Fuente: Autores

Anexo 11. Temperaturas durante la prueba con GLP- Nevera

Tabla 9 Temperaturas durante la prueba con GLP- Nevera

T₁ = entrada de generador; T₂ = salida de generador; T₃ = entrada condensador; T₄ = entrada evaporadora; T₅ = salida evaporadora; T₆ = carga térmica; T₇ = interna de evaporador

Tiempo (min)	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	T ₃ (°C)	T ₅ (°C)	T ₆ (°C)	T ₆ (°C)	T ₇ (°C)
0	29,4	36,5	29,5	29,1	29	27,1	27,7
15	40,5	132,5	51,6	48,2	17,3	26,6	18,3
30	47,3	135,8	52,5	48,9	17,7	26	16,3
45	51,2	139,7	52,8	49,6	18,1	25,4	15,1
60	55,2	137,6	53,4	50,2	18	24,5	14,4
75	57,7	136,6	53,3	49,8	17,9	23,8	13,7
90	55	137,3	54,1	50,7	18,1	23,1	13,3
105	52,2	139,6	53,3	50,2	18	22,5	12,8
120	51,7	135,8	53,8	50,3	17,9	21,9	12,5
135	56,1	137,6	54,7	51	18	21,4	12,3
150	57	139,1	54,2	51	18,2	20,8	11,6
165	57,7	139,9	53,9	51,1	17,9	20,4	11,4
180	57,3	141,1	54,4	51,6	18,4	19,9	11,2
195	58,1	140,8	55	51,9	18,2	19,5	11
210	58,5	140,8	54,5	51,7	18,2	19,2	10,8
225	58,7	140,2	55,3	52,5	18,6	18,9	10,7
240	57,7	140,5	55,2	52,4	18,6	18,6	10,6
255	58,5	140,8	55,7	52,8	18,5	18,3	10,5
270	58,8	138,5	55,4	52,4	18,6	18,1	10,4
285	58,1	140,2	55,5	52,4	18,6	17,9	10,3
300	59,2	140,3	55,9	53	18,8	17,7	10,2
315	59,2	139,6	55,7	52,9	18,8	17,4	10,2
330	59,7	139	55,9	52,6	18,6	17,3	10,1
345	54,1	114	40,1	38,1	17	17,2	10
360	49,9	109	38,1	36,3	14,1	16,8	9
375	49,7	111,7	37,7	35,8	13	16,6	8,3
390	50,1	111,6	37,7	35,5	12,9	16,3	8,1
405	49,9	110,3	37,1	35,3	12	16	7,7
420	49,2	109,6	37,4	35,2	12,1	15,6	7,4
435	49	109,8	36,2	34,4	11,8	15,3	7,2
450	48,6	109,3	35,8	33,8	11,8	14,7	6,5
465	49	111,2	36,3	34,3	12,1	15	6,8
480	48,6	109,3	35,8	33,8	11,8	14,7	6,5
495	47,1	109	35,9	33,8	11,4	14,4	6,2

510	52,7	125,7	43	39,1	9,2	14	5,8
525	56,2	133,2	50,6	47,4	13,8	13,9	6,2
540	57,5	134,6	51,5	48,5	15,1	13,8	6,5
555	56,8	136,3	50,6	47,8	15,3	13,6	6,7
570	56,8	133,5	50,5	47,3	15,5	13,4	6,8
585	56,8	135,5	50,4	47,6	15,1	13,3	6,8
600	56,4	135,1	50,6	47,6	15,4	13,2	6,9
615	56,9	133,9	50,7	47,7	15,3	13,1	6,8
630	57,2	133,5	50,3	47,3	15	12,9	6,6
645	55,3	134,9	49,3	46,3	15,2	12,9	6,7
660	56	134,8	49,9	46,9	15	12,8	6,6
675	56,5	132,9	49,8	47	15	12,7	6,4
690	57,3	133,6	50,2	46,3	14,9	12,6	6,3
705	56,7	134	50,3	47,1	15,1	12,5	6,2
720	57,2	133	49,9	46,6	14,9	12,3	6,2
735	56,7	132,5	50,2	47,1	15	12,3	6,1
750	57,1	132,7	49	46,1	14,3	12,2	6
765	54,4	131,4	47,9	44,2	14,4	12,3	6
780	55	132,1	48,7	45,3	14,4	12	5,9
795	54,9	131,5	48,2	45	14,1	12	5,8
810	55,1	131,4	48,7	45,6	14,1	11,9	5,7
825	54,5	130	49,2	46,2	14,5	11,7	5,6
840	55,5	131,6	48,3	45,3	14,4	11,7	5,6
855	55,5	130,1	48,9	45,5	14,5	11,6	5,6
870	55,7	131,3	48,8	45,5	14	11,5	5,5
885	56,7	131,1	49,1	46,2	14	11,4	5,5
900	57,9	131,3	49,5	46,6	14,4	11,4	5,5
915	55,7	131,5	48,2	45,1	14,5	11,4	5,3
930	55,7	132	48,3	45,6	14,2	11,3	5,2
945	54,7	128	47,5	44,4	14,4	11,3	5,2
960	57	131,2	48,2	45,4	13,7	11,2	5,1
975	55,2	130,7	48,1	45,4	14,4	11,2	5,1
990	57,1	130,3	49,4	46,1	14,1	11,1	5
1005	56,1	131,7	48,3	45,3	14,1	11	4,9
1020	56,8	132	47,8	44,9	14,3	11	5
1035	56,4	129,9	48,4	45,5	13,8	10,9	4,9
1050	55	131,4	48,1	45,4	14,3	10,9	4,8
1065	55,6	130,5	48	45,1	13,6	10,8	4,8
1080	55,8	131,2	47,4	44,5	13,4	10,9	4,8
1095	54,3	130,1	46,8	43,7	13,3	10,8	4,6
1110	56,4	130,2	48,3	45	13,6	10,7	4,5

1125	55,7	122,3	48	45,1	13,3	10,6	4,4
1140	56,2	128,9	47,2	44,8	13,1	10,6	4,4
1155	56,5	130,1	48,5	45,5	13,4	10,5	4,3
1170	55,7	130,3	47,3	44,3	13,5	10,4	4,3
1185	56,2	129,9	48,3	45	13,6	10,5	4,3
1200	54,9	129,7	46,6	44,3	13,1	10,3	4,2
1215	55,7	129,4	47,7	44,7	13,2	10,3	4
1230	55,6	128,1	47,3	44,6	12,8	10,1	3,9
1245	55,8	129,6	47,7	44,5	13,1	10,2	3,8
1260	55,3	126,9	48,2	44,8	13,3	10,1	3,8
1275	56,1	130,3	47,8	44,9	13,4	10	3,8
1290	56,1	129,8	47,1	44,1	13,1	10	3,8
1305	56,2	129,8	48,5	45,4	13,3	9,9	3,7
1320	55,3	130,8	49	45,8	13,7	9,8	3,8
1335	56,2	130,9	48,8	45,9	13,7	9,7	3,8
1350	56,1	131,8	49,3	46,1	14,1	9,8	4
1365	47,9	109,1	34,1	32,5	11,2	9,6	3,7
1380	47,5	109	33,8	32,1	10,2	9,5	3,3
1395	53	127,6	46,1	42,4	9,7	9,4	3
1410	55,9	131,6	50,4	47	12,8	9,6	3,5
1425	56,1	131,4	51	47,3	13,6	9,6	3,9
1425	56	131,5	50,8	47,1	13	9,4	3,6

Fuente: Autores

Anexo 12. Temperaturas durante la prueba con Kit solar Fotovoltaico- Nevera

Tabla 10. Temperaturas durante la prueba con Kit solar Fotovoltaico- Nevera

T₁ = entrada de generador; T₂ = salida de generador; T₃ = entrada condensador; T₄ = entrada evaporadora; T₅ = salida evaporadora; T₆ = carga térmica; T₇ = interna de evaporador

Tiempo (min)	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	T ₃ (°C)	T ₄ (°C)	T ₅ (°C)	T ₆ (°C)	T ₇ (°C)
0	28,9	29,4	30	29,4	29,1	27,1	27,4
15	30,8	38,3	29,7	29,4	29,2	27,4	27,9
30	38,5	88,2	31,7	30,4	30	27,4	27
45	43,4	104,1	34,7	33,6	32,9	27,4	21,8
60	43,2	75,2	33,4	32,3	32,8	27,1	19,8
75	41,4	68,1	32,1	31,5	31,1	26,6	21,9
90	44,1	100,3	34,5	33	32,3	26,4	20,3
105	45,8	100,3	36,1	34,6	33,8	26	16,4
120	46,5	98,3	35,9	34,9	33,9	25,5	14,2
135	47,2	104,7	36,3	35	33,7	24,9	13
150	46,1	102,1	35,7	34,5	32,9	24,3	12,8
165	47,6	106,3	36,8	35,6	33,7	23,7	11,3
180	47,7	102,2	37,2	35,2	33,2	23	9,9
195	46,2	91,7	36,1	34,8	32,1	22,3	9,9
210	47,6	104,5	37,2	35,5	32,9	21,7	9,1
225	48	103,1	37,5	35,9	32,8	21	8,1
240	48	102	37,5	35,8	31,9	20,5	7,7
255	47,4	90,2	37,2	35,4	31,5	20	7,3
270	48,4	104,4	37,7	35,9	32,3	19,5	7,3
285	47,9	102,3	37,9	36	32,6	19,3	7,1
300	49,1	106,7	38,4	36,7	32,2	19	6,9
315	48,5	104,2	38,2	36,3	31,7	18,5	6,5
330	48,5	103,6	38,5	36,6	31,9	18,1	6,3
345	48,6	102,1	38,7	36,9	31,8	17,8	6,1
360	48,8	106,8	38,8	36,9	31,3	17,5	5,9
375	49,1	107	39	36,9	31,2	17,1	5,8
390	47,8	94,6	38,6	37,2	31,8	16,7	5,8
405	47,7	102,5	38,7	36,7	32,4	16,5	6,4
420	49,8	108,8	40,4	38,4	32,9	16,2	5,7
435	50,2	108,7	40,7	37,9	30,3	16	5,3
450	50,4	108,6	40,7	37,6	28,7	15,7	4,9
465	50,3	109,4	40,8	37,7	27,6	15,5	4,7
480	50,3	109,2	40,8	37,9	27,3	15,3	4,6
495	50,3	109,3	40,9	37,8	27,3	15	4,4

510	49,7	108,9	40,3	37,1	27	14,9	4,3
525	49,1	108,4	39,5	36,4	26,7	14,7	4,1
540	48,9	107,2	39,1	35,9	26,4	14,4	3,8
555	48,6	104,6	38,9	35,5	26,2	14,2	3,5
570	484	1081	385	354	261	140	33
585	48,1	106,7	38	34,9	24,8	13,7	3
600	47,9	107,1	37,7	34,7	24,7	13,6	2,7
615	47,1	106,3	37,2	34	23,8	13,2	2,5
630	47	105,1	37,3	34	24	13	2,1
645	46,7	106	36,7	33,5	23,3	12,7	1,9
660	46,4	106,6	36,3	33,2	23,4	12,5	1,7
675	45,6	104,4	36	32,5	22,9	12,3	1,5
690	45,4	105,3	35,9	33	23	12,1	1,3
705	46	105,5	36	33,2	22,4	11,8	1,2
720	46	106,5	35,9	32,9	22,3	11,6	1
735	45,4	104,3	36,2	32,9	22,7	11,4	0,7
750	45,5	105,9	35,8	32,6	22,1	11,1	0,6
765	45	104	35,4	32,4	22,3	11	0,7
780	45,2	106,2	35,5	32,5	22,4	10,7	0,2
795	45,2	105	35,2	32,4	21,7	10,5	0,1
810	44,6	102,5	35,3	32	21,6	10,4	0
825	45,1	104,6	35,1	32,5	21,2	10,2	-0,1
840	45,3	105,5	35,2	31,9	21,6	10	-0,2
855	44,9	105,3	34,8	31,6	21,6	9,8	-0,4
870	44,4	103,7	34,6	31,4	21,2	9,6	-0,5
885	44,7	103,3	34,7	31,5	20,3	9,5	-0,6
900	44,3	104	34,4	31	20,5	9,3	-0,7
915	44,2	103,5	34,7	31,3	21	9,2	-0,8
930	43,5	103,4	34,4	30,8	20,2	9,1	-0,9
945	43,4	101,8	34,3	30,6	20,3	8,9	-1
960	43,9	103,2	33,7	31	19,7	8,7	-1,2
975	43,8	103,5	34,1	30,8	20,1	8,6	-1,3
990	44,1	103,8	34,2	30,9	19,8	8,4	-1,4
1005	44,2	103,8	34,2	31	19,7	8,3	-1,5
1020	44	104,1	33,9	30,5	18,9	8,2	-1,7
1035	44	103,9	34,1	30,8	18,8	8,1	-1,8
1050	43,6	104	33,6	30,4	18,7	7,9	-1,9
1065	43,2	102,1	33,2	30,2	18,3	7,8	-2
1080	43,5	104,5	33,9	30,1	18,6	7,8	-2,1
1095	43,3	101,7	33,2	29,7	18,4	7,6	-2,2
1110	43,1	104	33,5	29,7	18,4	7,4	-2,3

1125	42,6	104,3	33,9	29,9	18,5	7,4	-2,4
1140	42,5	103,9	33,4	29,8	18,3	7,3	-2,6
1155	42,6	102,8	33,3	30	17,5	7,1	-2,7
1170	42	104,3	33,4	29,6	17,9	7,1	-2,8
1185	42,3	103,2	33,1	29,1	17,1	6,9	-2,9
1200	42,4	103,4	33,3	29,5	17	6,8	-0,3
1215	42,1	102,5	33,1	29,3	17,6	6,7	-2,5
1230	42,1	101,9	33	29,1	17,3	6,6	-2,9
1245	42,3	102,9	32,7	29,1	16,8	6,6	-3
1260	42	103,3	32,9	29,1	16,7	6,5	-3,2
1275	42,4	102,3	32,9	29,2	16,8	6,4	-3,2
1290	42,2	102,8	32,6	29,1	16,4	6,3	-3,3
1305	42,3	103,3	32,6	29,2	16,7	6,2	-3,4
1320	41,9	103,4	32,6	28,9	16,3	6,2	-3,4
1335	42,2	102,8	32,5	29	16,4	6	-3,5
1350	42,1	103,4	32,7	29,2	16,5	6	-3,6
1365	41,8	103,1	33	29,4	16	5,9	-3,5
1380	41,6	102,9	32,8	29,6	16,1	5,7	-3,4
1395	42,8	104,6	34,4	30,5	17,3	6	-2,9
1410	43	105	34,7	31,1	17,8	5,8	-2,7
1425	43,4	104,9	34,5	31,4	17,8	5,8	-2,3
1440	43,7	105	34,9	31,4	18,4	5,8	-2

Fuente: Autores

Anexo 13. Temperaturas durante la prueba con Gas de síntesis- Nevera

Tabla 11. Temperaturas durante la prueba con Gas de síntesis- Nevera

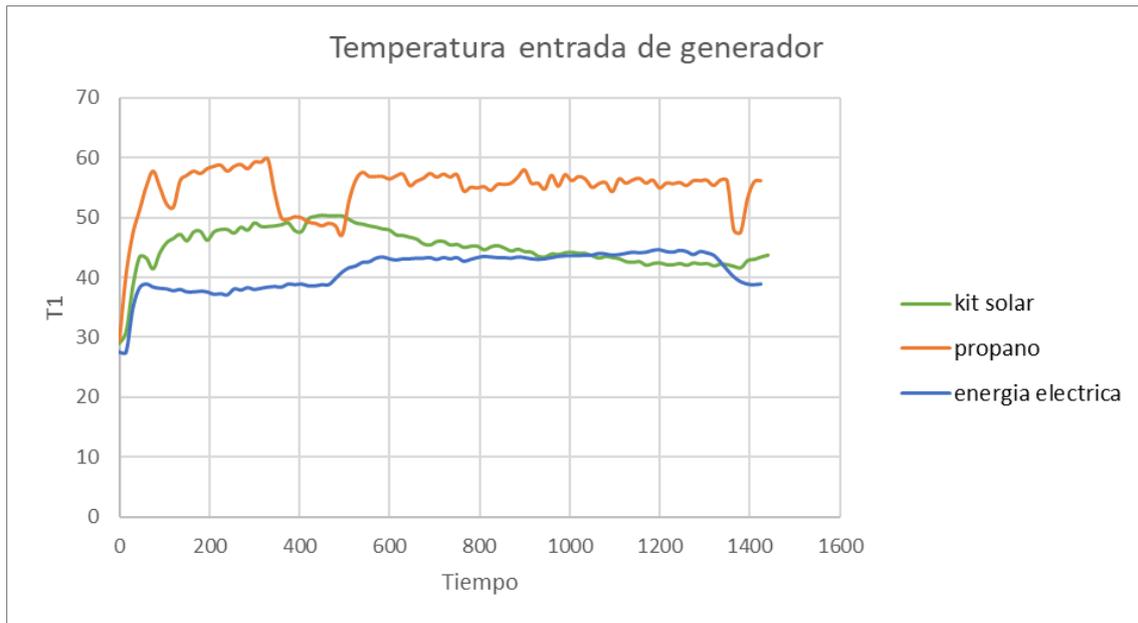
T_2 = salida de generador, T_6 = carga térmica;

Tiempo (min)	T_2 (°C)	T_6 (°C)
0	26,00	27,43
15	29,59	26,94
30	33,86	26,47
45	36,86	26,24
60	40,61	25,90
75	47,07	25,44
90	54,14	25,11
105	60,65	24,91
120	65,42	24,46
135	73,22	24,40
150	78,88	23,83
165	86,22	23,78
180	91,13	23,22
195	98,53	22,92
210	101,37	22,75
225	106,65	22,59
240	111,40	22,30
255	113,63	22,02
270	117,40	21,62
285	118,75	21,47
300	121,74	21,20
330	122,15	20,67
345	125,43	20,17
360	125,50	20,04
375	125,38	19,79
390	126,11	19,67
405	126,72	19,17
420	129,22	19,06
435	129,64	18,70
450	127,98	18,72
465	128,26	18,49
480	129,49	18,01
495	129,68	17,92
510	129,84	17,57
525	130,97	17,36
540	131,07	17,39
555	131,16	17,06
570	131,23	16,73
585	131,29	16,52
600	129,34	16,32
615	129,38	16,25
630	130,41	15,93
645	130,43	15,74
660	130,46	15,80
675	130,47	15,49
690	130,49	15,18

705	129,50	15,00
720	130,51	14,95
735	130,52	14,65
750	131,53	14,73
765	129,53	14,31
780	129,54	14,39
795	131,54	14,10
810	130,54	13,94
825	131,54	13,65
840	129,55	13,62
855	129,55	13,46
870	128,55	13,31
885	129,55	13,16
900	128,55	13,13
915	131,55	12,86
930	129,55	12,59
945	128,55	12,70
960	130,55	12,31
975	130,55	12,17
990	131,55	12,16
1005	128,56	11,90
1020	130,56	12,02
1035	129,56	11,64
1050	128,56	11,51
1065	128,56	11,51
1080	131,56	11,51
1095	129,56	11,13
1110	131,56	11,01
1125	131,56	11,14
1140	130,56	10,78
1155	128,56	10,79
1170	130,56	10,55
1185	129,56	10,56
1200	128,56	10,32
1215	128,56	10,21
1230	130,56	10,11
1245	129,56	10,13
1260	128,56	9,90
1275	129,56	9,79
1290	130,56	9,69
1305	130,56	9,84
1320	129,56	9,74
1335	129,56	9,40
1350	131,56	9,43
1365	131,56	9,21
1380	128,56	9,36
1395	129,56	9,15
1410	131,56	9,18
1425	129,56	9,09
1440	129,56	9,01
1455	132,56	8,80

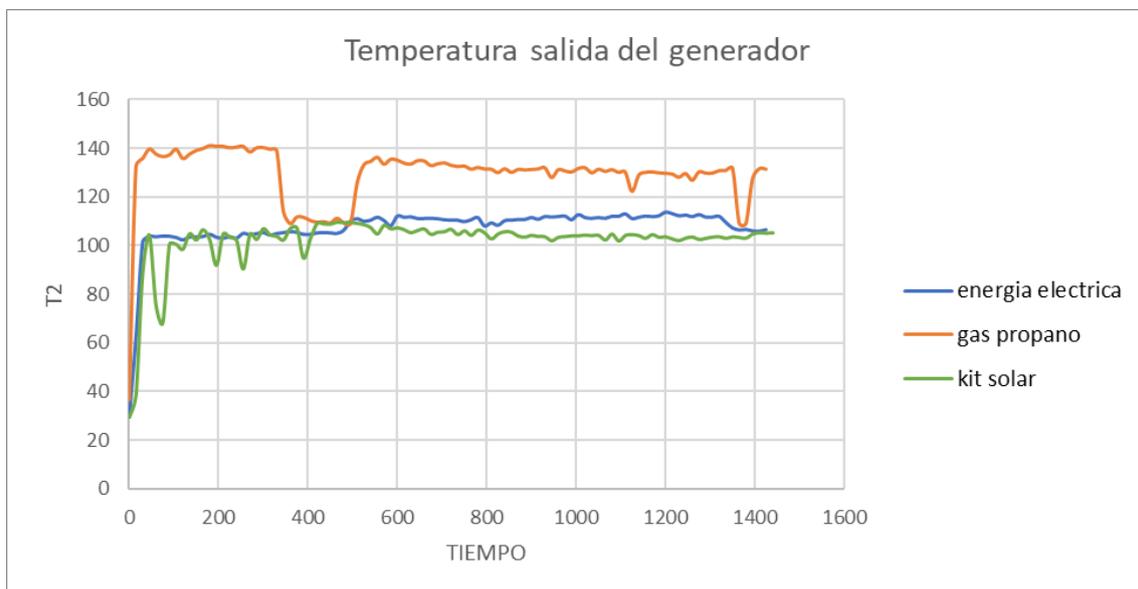
Fuente: Autores

Anexo 14. Curvas de temperatura en la entrada del generador



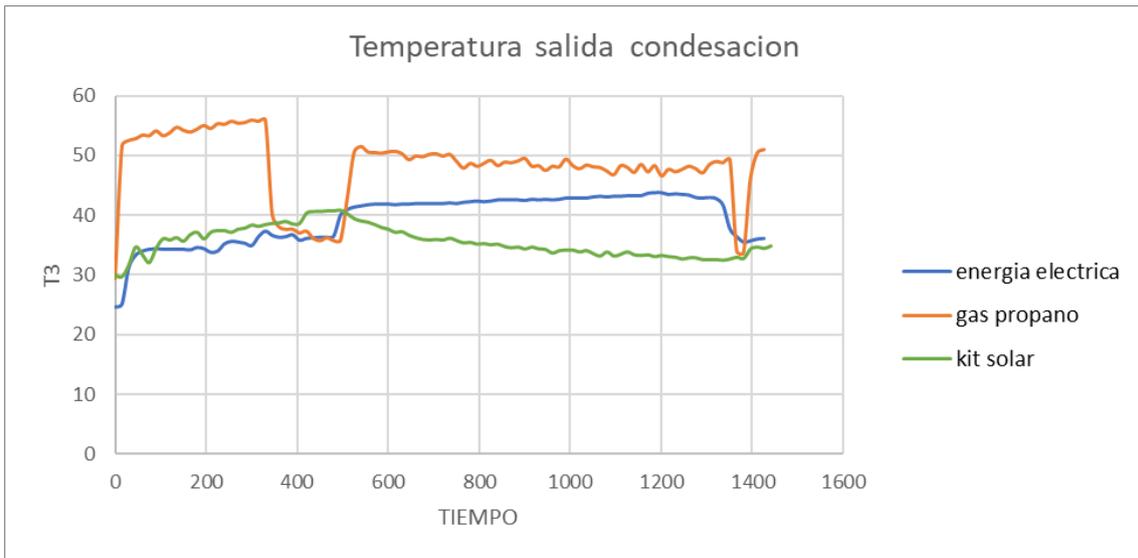
Fuente: Autores

Anexo 15. Curvas de temperatura en la salida del generador



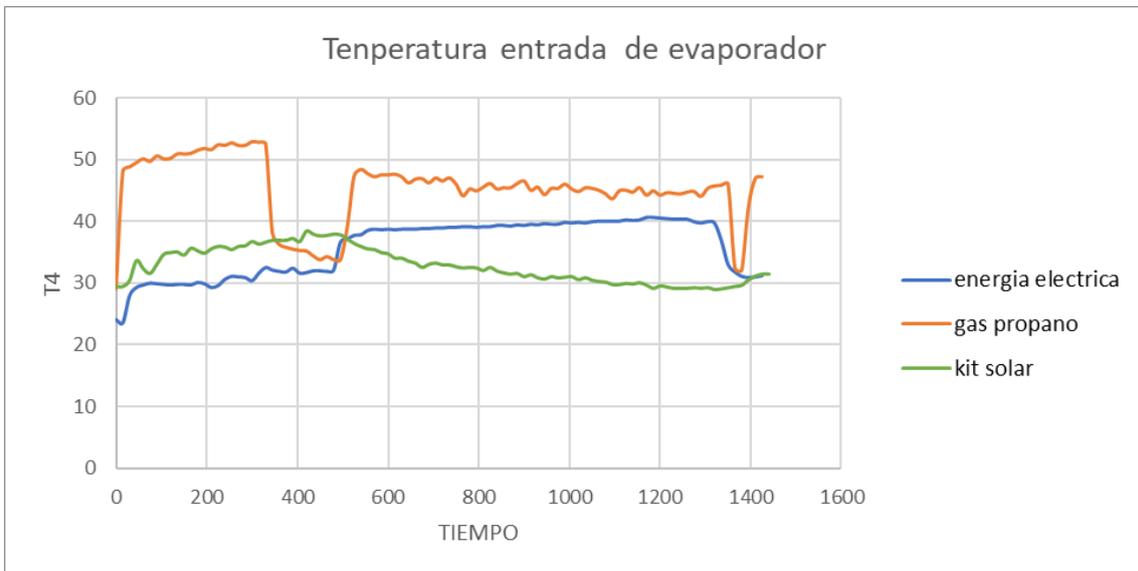
Fuente: Autores

Anexo 16. Curvas de temperatura en la salida del condensador



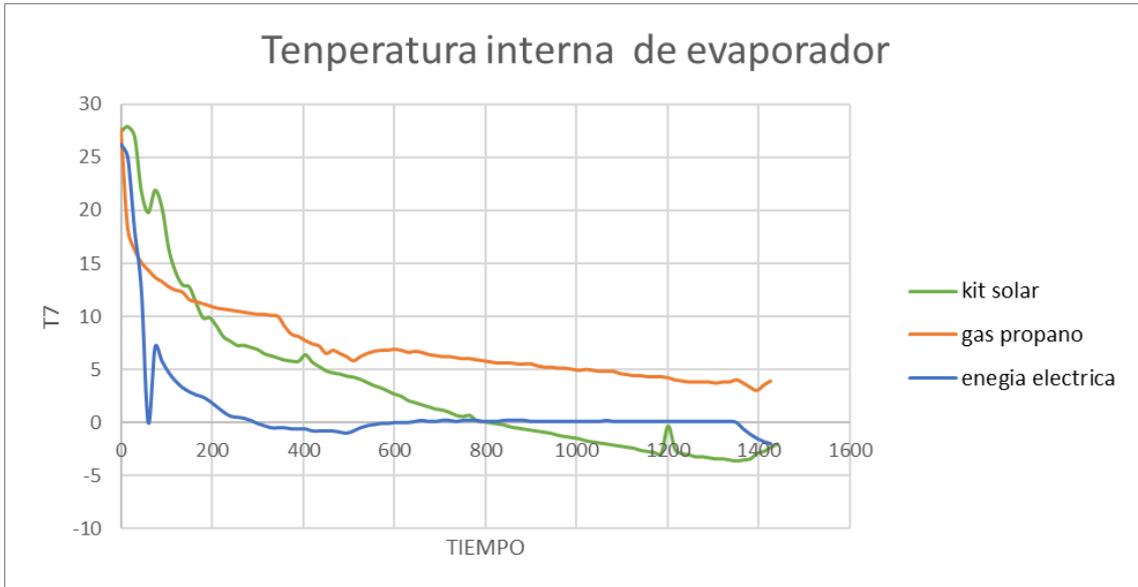
Fuente: Autores

Anexo 17. Curvas de temperatura en la entrada del evaporador



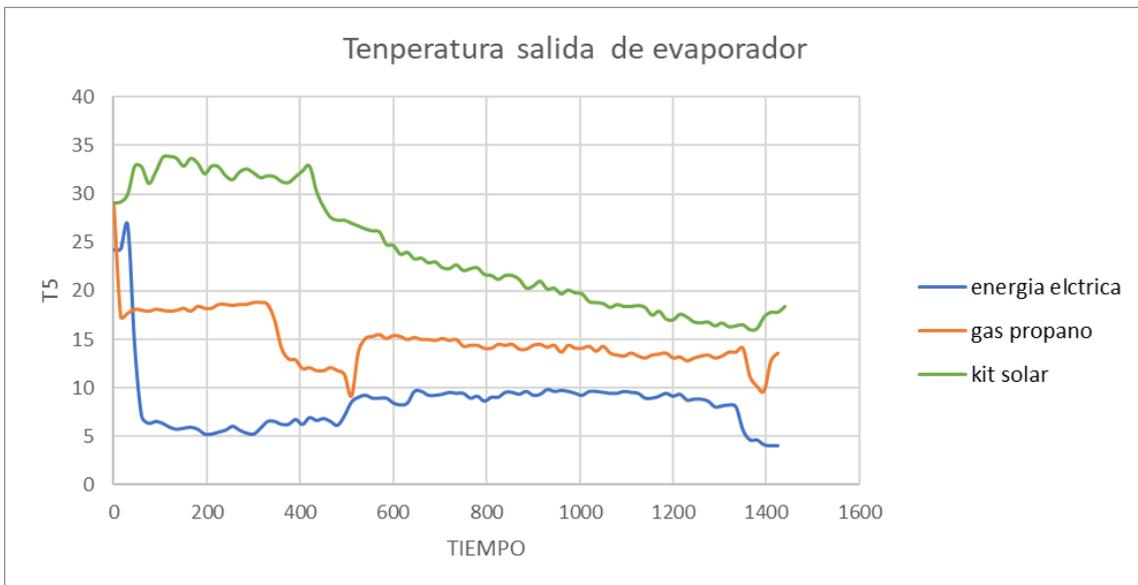
Fuente: Autores

Anexo 18.Curvas de temperatura en la zona interna del evaporador



Fuente: Autores

Anexo 19 .Curvas de temperatura en la salida del evaporador



Fuente: Autores