

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

DISEÑO DE EQUIPO PARA EL SECADO DE ROPA EN APARTAMENTOS UTILIZANDO ENERGÍA SOLAR

Edwar Julián López García

Carlos Andrés Gómez Yepes

Ingeniería Electromecánica

Asesor

M. Ing. Luis Fernando Cardona Sepúlveda

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

FACULTAD DE INGENIERIA

MEDELLIN

2019

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RESUMEN

La mayoría de las personas que viven en apartamentos se deben enfrentar diariamente al problema de secado de ropa. Esta labor se dificulta por el poco espacio que poseen los apartamentos para realizar esta labor; además la entrada de aire al espacio de secado es transversal, dificultando la entrada del viento por su ubicación. Todo esto se podría solucionar con una secadora de ropa convencional, la cual es costosa y voluminosa, además de tener un costo de mantenimiento significativo y operación significativos.

Para dar solución a esta problemática, en este trabajo se diseñó un equipo para el secado de ropa por evacuación en apartamentos. Este equipo utiliza como fuente principal de energía la energía solar fotovoltaica, la cual se almacena en una batería y es reutilizada para alimentar unas resistencias de alambre, generando energía térmica, la cual es distribuida por medio de un ventilador axial, ubicado en la parte superior de equipo de secado.

Para la realización de este diseño, se siguió la siguiente metodología: Primero se realizó un estudio profundo sobre procesos de secado o deshumidificación en la literatura existente (libros e internet). Luego se tomó como ejemplo las dimensiones del cuarto lavado y secado de ropa de un apartamento de estrato 3, posteriormente se calculó la carga térmica a generar, dependiendo de la humedad de la ropa, espacio seleccionado y cantidad de esta.

El cuarto paso consistió en la selección de los componentes que forman parte del equipo de secado (sistema solar fotovoltaico, ventilador, etc.) basados en los parámetros anteriormente mencionados. Luego se diseñó la estructura que contiene los componentes del equipo de secado. Por último, se realizó un estudio de factibilidad, donde se evalúa la fabricación e implementación del equipo.

Este diseño puede dar solución al problema de secado de ropa en apartamentos, incluso en los días de lluvia, porque la energía se puede almacenar y utilizar cuando se desee, tiene un bajo costo porque los componentes se encuentran fácilmente en el mercado y su mantenimiento es mínimo, además no se presentarán aumentos en el recibo de consumo eléctrico, sus costos solamente serán los de compra del equipo.

Palabras claves: Secado, energía fotovoltaica, deshumidificación.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RECONOCIMIENTOS

A mi familia por su amor incondicional, a nuestro asesor por su paciencia, sabiduría y colaboración incondicional, la cual nos permitió finalizar este proyecto. Por último, a Dios por permitirnos llegar hasta acá e impulsarnos a nuevos retos y metas.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ACRÓNIMOS

IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

ISF: Instalación Solar Fotovoltaica

DANE: Departamento Administrativo Nacional de Estadística

SIEL: Sistema de Información Energético Colombiano

UNEF: Unión Española Fotovoltaica

UPME: Unidad de Planeación Minero Energética

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	7
1.1 Objetivos	8
1.1.1 Objetivo general.....	8
1.1.2 Objetivos específicos.....	8
1.2 Organización de este trabajo	8
2. MARCO TEÓRICO	10
2.1 Secado o deshumidificación.....	10
2.2 Tipos y funcionamiento de una secadora de ropa.....	11
2.3 Energía solar en Colombia	15
2.4 Sistemas solares fotovoltaicos.....	16
2.5 Baterías solares	19
2.6 Controladores de carga.....	22
2.7 Inversor off-grid	23
2.8 Resistencia eléctrica.....	24
2.9 Ventiladores.....	25
2.10 Toma de tierra de sistemas fotovoltaicos.....	26
2.11 Conceptos básicos del proceso de secado.....	27
2.11.1 Humedad absoluta o específica	28
2.11.2 Humedad de saturación.....	28
2.11.3 Humedad relativa.....	29
2.11.4 Temperatura de rocío	30
2.11.5 Entalpía total y calor húmedo.....	31
2.11.6 Balance de energía del secador	34
2.12 Humedad contenida en la ropa	36
3. METODOLOGÍA	37
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
4.1 Dimensiones del secador	38

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4.2 Selección del ventilador axial.....	40
4.3 Balance de energía del secador	40
4.4. Cálculos de dimensionamiento de sistema fotovoltaico aislado.....	44
4.5 Elementos para instalar en la secadora	48
4.6 Funcionamiento del control de la secadora	50
4.7 Estructura de soporte de los paneles solares	51
4.8 Costos y materiales de fabricación	54
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	55
Conclusiones	55
Recomendaciones.....	56
Proyección de trabajo futuro	56
ANEXOS	57
Anexo 1. Ficha técnica de la batería seleccionada.....	57
Anexo 2. Ficha técnica del módulo fotovoltaico seleccionado.....	58
Anexo 3. Ficha técnica del inversor-cargador seleccionado.....	59
Anexo 4. Ficha técnica de la estructura para módulos seleccionada.....	60
REFERENCIAS.....	61

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1. INTRODUCCIÓN

Un problema común es el secado de ropa en apartamentos, generado por factores como: poco espacio disponible, ventilación deficiente y baja radiación solar. Una de las soluciones creadas para esta problemática fue la creación de diferentes tipos de secadores de ropa (**Figura 1**), pero estos son costosos de operar y mantener y además ocupan un espacio considerable; una solución a este problema será diseñar un sistema de secado de ropa que opere con energía solar y que ocupe un espacio reducido.

Este proyecto consiste en el diseño de un sistema de secado de ropa, utilizando como fuente principal de energía del sol. Este sistema funciona bajo los principios de un sistema de secado por evacuación, el cual es alimentado por un sistema solar fotovoltaico y además contiene un sistema de ventilación forzada.



Figura 1. Secadora de ropa convencional (TIBO.BO, 2018)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general

Diseñar un equipo para el secado de ropa por evacuación en apartamentos aprovechando la energía solar.

1.1.2 Objetivos específicos

- Calcular la carga térmica para el secado de la ropa en función de la humedad contenida, espacio disponible y la cantidad de ropa a secar.
- Diseñar la estructura que soportara y contenga los componentes del equipo de secado.
- Seleccionar los componentes del equipo de secado (tipo de celdas fotovoltaicas, componentes eléctricos, convertidor, resistencias, tipo de ventilador, motor eléctrico, etc.).

1.2 Organización de este trabajo

El trabajo está compuesto por cinco capítulos: el primero es la introducción donde se habla de la problemática existente sobre el secado de ropa en apartamentos. El capítulo dos se destina a presentar todo lo relacionado con los procesos de secado, tipos de secadores existentes en la actualidad y su principio de funcionamiento.

En el capítulo tres se describe paso a paso la metodología utilizada para alcanzar el objetivo principal que es diseñar un secador de ropa para apartamentos que utilice como fuente de energía principal el sol, que contribuya a la tendencia actual de implementar fuentes de energía limpias y renovables.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En el cuarto capítulo, se presentan los resultados obtenidos en forma detallada, explicando cada una de las decisiones tomadas para el diseño y selección de los componentes del sistema de secado de ropa, con su precio que sirven de base para un estudio de viabilidad económica.

Por último, se encuentran las conclusiones y recomendaciones obtenidas del trabajo, las cuales sirven como guía para las posibles mejoras futuras a realizar en el sistema de secado.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Secado o deshumidificación

El proceso de secado o deshumidificación consiste en extraer el agua contenida en un sólido. Esta agua puede estar en estado líquido o gaseoso, la cual comúnmente es extraída por un fluido. Es común que aire caliente, o a una mayor temperatura que la del ambiente, sea el encargado de absorber el agua contenida en el sólido (Ochoa, 2018). En el este trabajo el agua líquida contenida en el sólido (ropa) se transforma en forma de vapor cuando sale de la secadora.

El método de secado depende del objeto, sus propiedades físicas, tolerancia a la temperatura y aplicación final. Existen dos métodos de secado: el método adiabático, el cual consiste en hacer circular aire caliente sobre el objeto encargándose de extraer el vapor de agua contenido en él, ver Figura 2; otro método es no adiabático y consiste en poner en contacto el objeto de forma indirecta con una superficie caliente transfiriéndole calor por conducción, ver Figura 3.

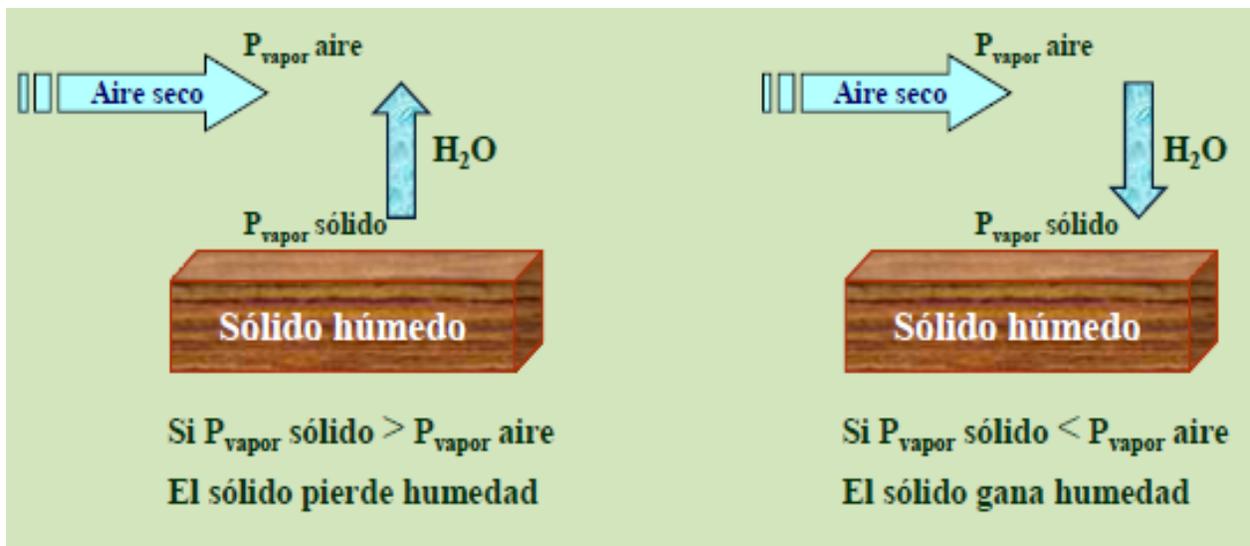


Figura 2. Proceso de secado adiabático (Ochoa, 2018).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 3. Secado por Conducción (Bolufer, 2013).

2.2 Tipos y funcionamiento de una secadora de ropa

El funcionamiento de una secadora de ropa es el siguiente: la máquina toma aire a temperatura ambiente por medio de un ventilador, haciéndolo pasar por medio de una resistencia eléctrica que lo calienta, para luego ser introducido a la cabina de secado y nuevamente extraído para ser arrojado al ambiente otra vez y el proceso se repite.

Existe una clasificación de las secadoras según la forma de evacuar el aire:

- Secadoras de evacuación
- Secadoras de condensación
- Secadoras que utilizan bomba de calor.

En las de evacuación, las secadoras toman aire del exterior, lo calientan con una resistencia eléctrica de alambre y lo hacen circular de manera forzada hacia el tambor para secar la ropa.

Este aire luego es expulsado al exterior, por medio de una manguera o ducto no mayor a 2 m para evitar la condensación del aire húmedo, ver Figura 4.



Figura 4. Secadora por evacuación (Nergiza, 2015).

El segundo tipo son las secadoras por condensación, en las cuales el aire caliente absorbe esta humedad y luego este aire es enviado hacia un condensador para condensar esta humedad, la cual es recogida y luego evacuada en un recipiente y el aire seco es recirculado, ver Figura 5 (Bosch, 2017).

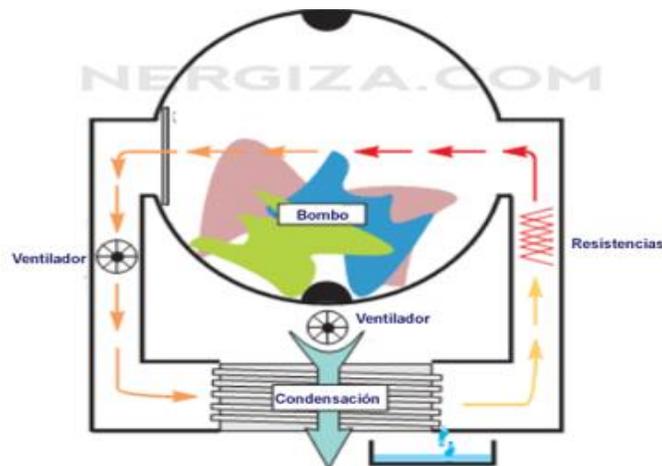


Figura 5. Secadora por condensación (Nergiza, 2015).

La secadora del tercer tipo posee una bomba de calor. Son las más sofisticadas y eficientes; su gran diferencia con las anteriores es que recirculan el aire utilizado en el proceso, funcionando de la siguiente manera: La secadora hace circular aire por el interior del tambor con un ventilador, haciéndolo pasar antes por un calentador. Este dispositivo calentador se llama condensador, ya que posee un líquido refrigerante a mayor temperatura que se condensa mientras calienta al aire que entra al tambor de secado, ver figura 6.

Cuando el aire húmedo sale del tambor de secado pasa por el evaporador. Este es un intercambiador de flujo cruzado, en el cual internamente el fluido refrigerante se evapora y en el proceso le roba calor al aire húmedo. La temperatura del aire disminuye y la humedad se condensa externamente, pudiéndose recoger en una bandeja de condensados. De esta manera, el aire seco puede calentarse nuevamente en el condensador y se repite el proceso.

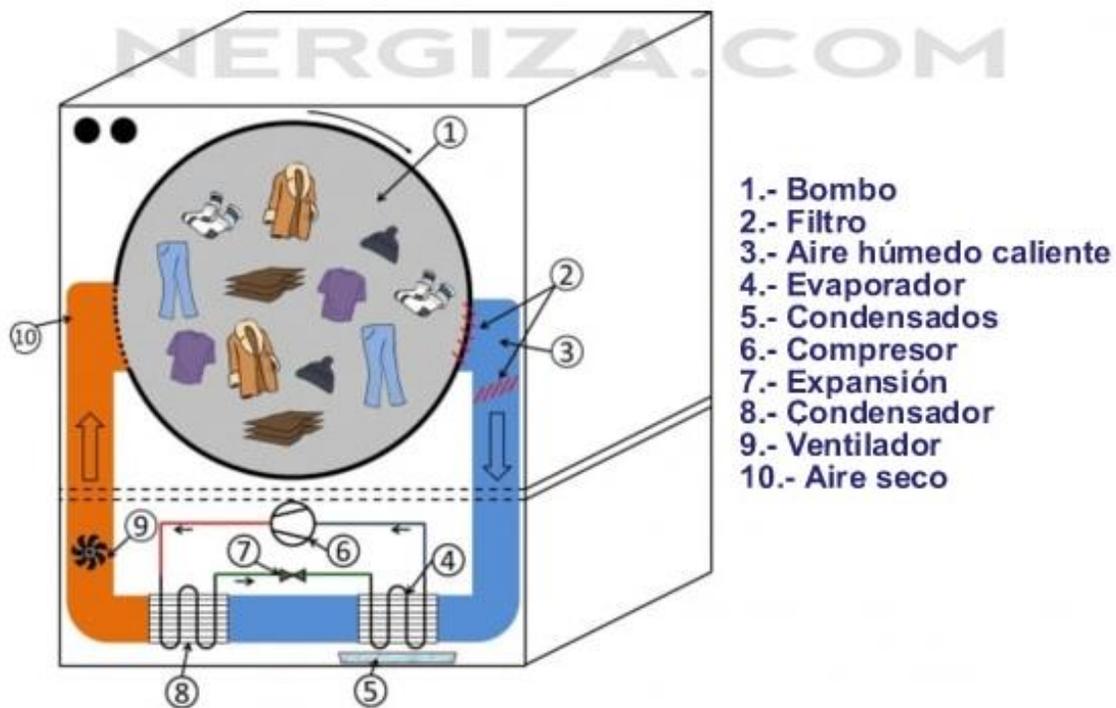


Figura 6. Secadora con bomba de calor (Nergiza, 2015).

En la Tabla 1 se puede apreciar el consumo eléctrico típico y costo de cada uno de estos tipos de secadoras:

Tabla 1. Consumo eléctrico y costo según el tipo de secadora (Nergiza, 2015).

Secadora por evacuación	Secadora por condensación	Secadora por Bomba de calor
Evacuación (8kg): 4,8 kWh \$1'935.900 para 18 kg	Condensación (8kg): 4,2 kWh \$2'450.000 para 18 kg	Bomba de calor (8kg): 2,2 kWh \$3'100.000 para 18 kg

En la actualidad, se está innovando con secadoras que funcionen con gas y no con electricidad, ver Figura 7. Aunque el costo inicial es elevado, se disminuye el consumo de electricidad mensual, el cual es uno de los factores que más se piensan a la hora de comprar una secadora de ropa. Este consumo puede llegar a aumentar la factura en un 35 % al mes.

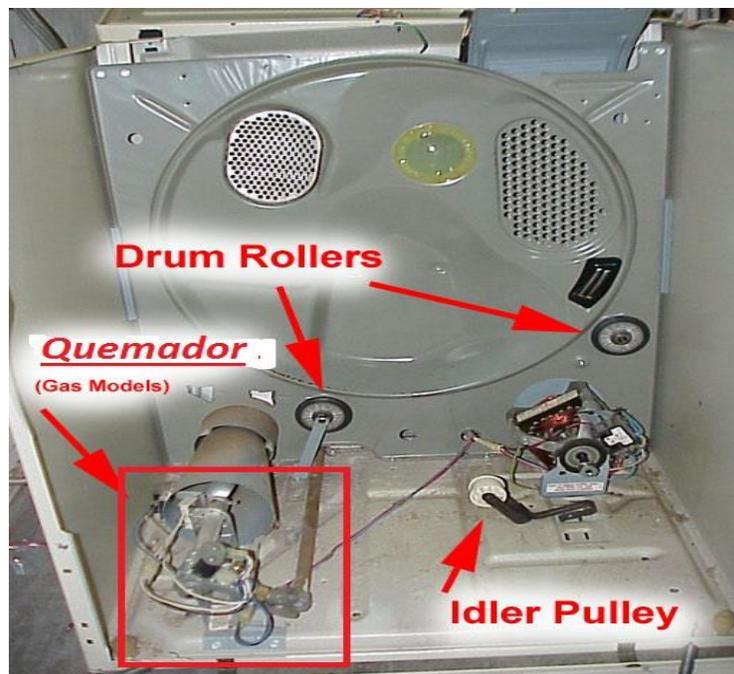


Figura 7. Secadora a Gas (Tecniciencia, 2015).

2.3 Energía solar en Colombia

En Colombia la energía solar solamente se utiliza para el calentamiento de agua y muy poco o casi nulo para la generación de energía eléctrica. Para poder pensar en generar energía eléctrica a partir de celdas fotovoltaicas, se debe consultar la radiación solar en Colombia y más específicamente la del departamento de Antioquia. La entidad encargada de proporcionar esta información en Colombia es el IDEAM, la cual genera unos mapas donde se puede apreciar la radiación solar por m² en diferentes zonas del territorio, ver Figura 8.

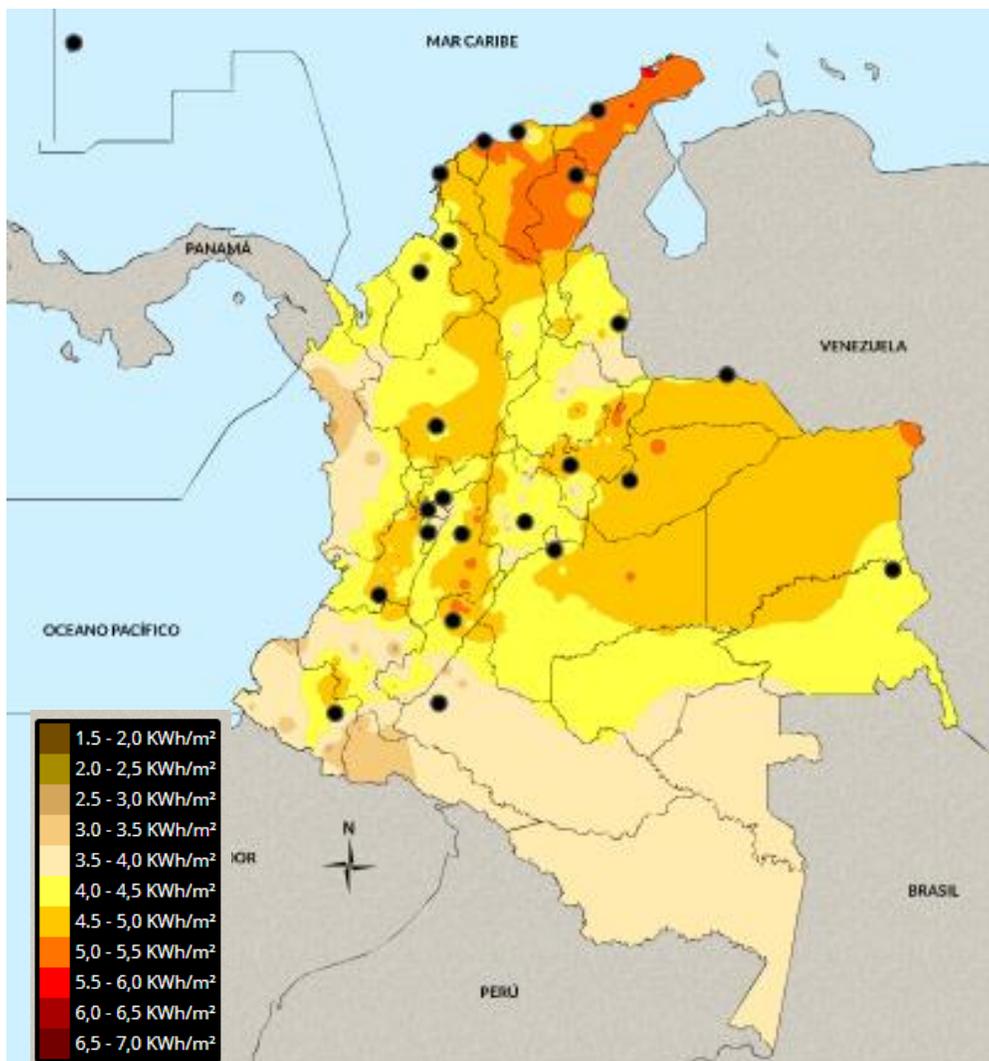


Figura 8. Radiación solar en Colombia por departamentos (IDEAM, 2015).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

El porcentaje de radiación solar está representado por colores, tal como se ve en la leyenda de la figura 8. Se puede ver que el porcentaje de radiación solar en Medellín, esta entre 4,5 y 5 kWh/m².

En Colombia los niveles de radiación solar son casi constantes; se podría asegurar que tenemos 12 horas diarias, esto implica menos celdas fotovoltaicas para lograr un efecto igual o mayor que en otros países, permitiendo abastecer fácilmente una casa o edificio de una manera eficiente.

2.4 Sistemas solares fotovoltaicos

Los paneles solares están compuestos por celdas fotovoltaicas, cuya configuración se puede apreciar en la Figura 9. Estas se encargan de transformar la energía radiada por el sol en energía eléctrica. Están compuestos por materiales que tienen la capacidad de absorber fotones de luz y emiten electrones libres los cuales son capturados generando una corriente eléctrica (Cabrera, 2017).

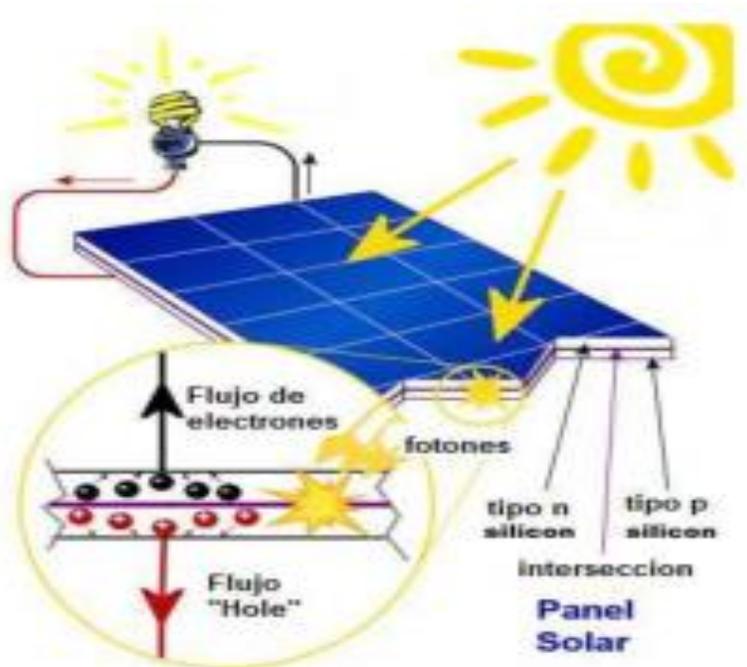


Figura 9. Componentes de una celda solar fotovoltaica (Maximosolar, 2017).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Existen varios tipos de celdas solares; entre ellas encontramos las monocristalinas, policristalinas y de capa fina, los cuales se pueden apreciar en la Figura 10. Todas tienen como base el silicio; la diferencia está en la cantidad de silicio que posee la celda y por ende mayor eficiencia a la hora de convertir energía solar en eléctrica (Gómez, 2012).

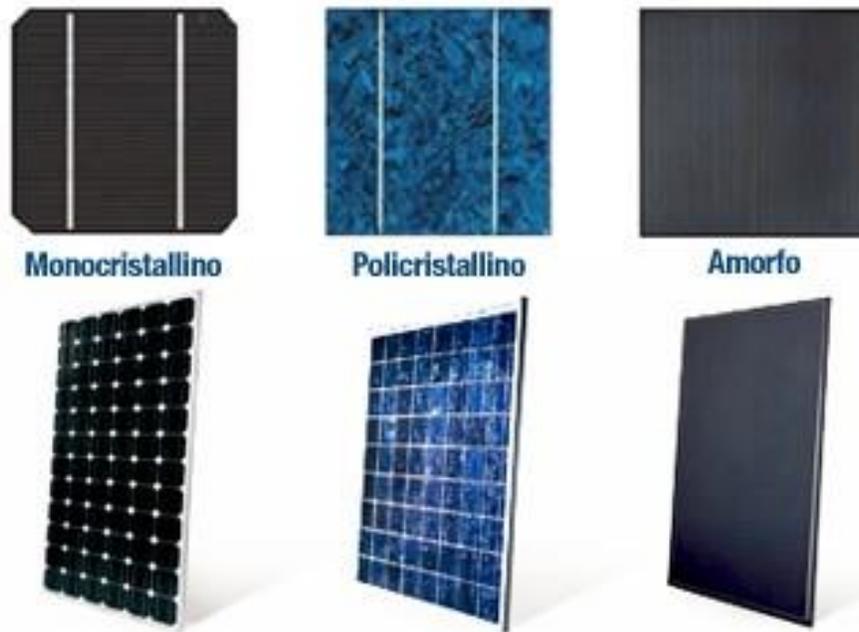


Figura 10. Tipos de paneles solares (Renovgal, 2017).

Las celdas mono cristalinas poseen la mayor eficiencia (cerca al 26.7% aprox.), pero son más costosas que las demás. Las policristalinas son más fáciles de fabricar, pero son menos eficientes (cerca al 22.3% aprox.), pero a su vez soportan mayor calor. Los amorfos son los más baratos, pero su eficiencia es baja (cerca al 10.2% aprox.), por lo tanto, se necesita mayor espacio para generar la misma cantidad de energía eléctrica, comparado con paneles de otro tipo. Se recomienda orientar los paneles hacia el sur donde se ubica el paralelo del ecuador para garantizar que se va a aprovechar el sol durante todo el día. Se debe buscar un lugar despejado donde no se tenga riesgos de sombras y que el sol impacte el panel la mayor parte del día (Green, y otros, 2018).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

La potencia nominal W_p de los paneles solares se puede estimar a partir de la siguiente expresión:

$$W_p = \frac{Wh/día}{\eta_{batería} * \eta_{inversor}} \quad \text{ecuación 1}$$

Donde $\eta_{batería}$ es la eficiencia de las baterías y $\eta_{inversor}$ es la eficiencia del inversor. A partir de la potencia nominal se puede determinar el número de módulos (o paneles) que se requiere para la aplicación:

$$\#Módulos = \frac{W_p}{W_p \text{ módulo seleccionado}} \quad \text{ecuación 2}$$

Los sistemas fotovoltaicos pueden ser On-grid (conectados a la red eléctrica) u Off-grid (aislados de la red eléctrica). Existen zonas del país que no tienen acceso al Sistema Interconectado Nacional (Por ejemplo, algunas zonas del Chocó y Amazonas), que necesariamente deben optar por sistemas Off-grid. En estos sistemas aislados, la energía eléctrica obtenida de los paneles solares usualmente se almacena en baterías para su posterior uso. Para ello se acopla al sistema un controlador de carga, encargado de vigilar la cantidad de voltaje y corriente necesaria para cargar las baterías y protegerlas. La electricidad obtenida de las baterías debe pasar por un inversor para convertir la corriente continua en corriente alterna y así poder utilizar la energía en todos los aparatos eléctricos. En la Figura 11 se puede observar un diagrama de paneles solares conectados Off-grid.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

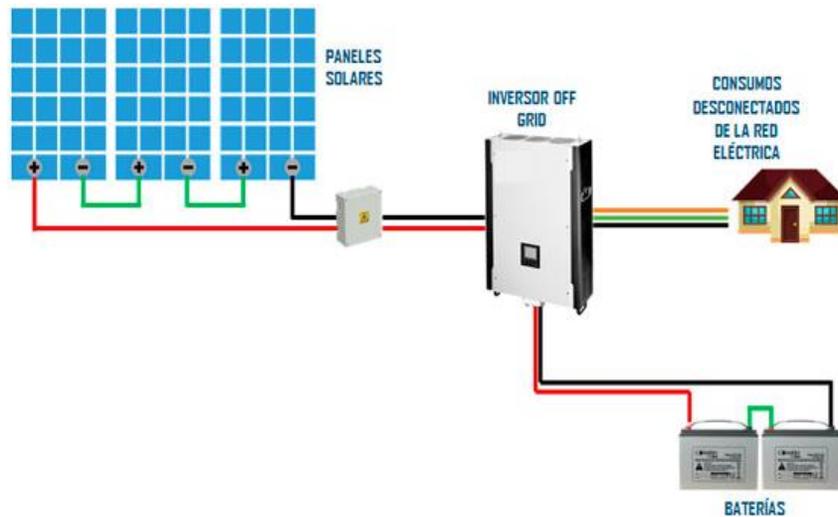


Figura 11. Sistema solar Off-grid (Renovgal, 2017).

2.5 Baterías solares

Las baterías fotovoltaicas son utilizadas principalmente en sistemas Off- grid (aislados de la red) para acumular toda la energía producida por los paneles fotovoltaicos y poder ser utilizada en las horas que no hay sol. Existen diversos tipos de baterías de acuerdo con su aplicación y composición química; generalmente las baterías utilizadas en aplicaciones solares son hechas a base de litio (Li). Es un reto de investigación obtener nuevos materiales donde la batería no pierda la eficiencia y que su ciclo de vida sea más largo. La tabla 2 presenta baterías solares típicas.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Tabla 2. Baterías solares (Paneles solares, 2019)

Imagen	Baterías solares	Tipo	Capacidad
	Batería de ciclo profundo VMAXTANKS de 12 voltios y 125Ah AGM	AGM	125Ah @ 12V
	Trojan L16RE-2V Batería de Ciclo Profundo de Energía Renovable 2V 1110Ah	Ácido de plomo inundado	1110 Ah @ 2V
	Batería de ciclo profundo Trojan T105-RE 6V 225Ah	Ácido de plomo inundado	225Ah @ 6V
	Renogy Deep Cycle Pure Gel Battery 12V 200Ah	Gel	200Ah @ 12V

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Imagen	Baterías solares	Tipo	Capacidad
	Batería AGM de ciclo profundo UB121000 12v 100AH universal	AGM	100Ah @ 12V
	Baterías Battle Born Baterías de ciclo profundo de 12 voltios LiFePO4 de 12 voltios	Ion de litio (LiFePO4)	100Ah @ 12V

Para determinar el total de baterías necesarias para una aplicación que utilice paneles solares se puede seguir la secuencia de cálculo que se presenta a continuación:

- $W/dia = (Total\ Watts * \#\ Horas)/dia$ **ecuación 3**
- $Wh/dia\ total = \frac{(Wh/dia)*días\ autonomía}{\eta_{inversor} * profundidad\ descarga}$ **ecuación 4**
- $Ah/dia = \frac{(Wh/dia\ total)}{tensión\ nominal}$ **ecuación 5**
- # Baterías serie = (tensión nominal/tensión batería) **ecuación 6**
- # Baterías en paralelo = (Ah día / Ah batería seleccionada) **ecuación 7**
- Total de baterías= (# baterías en paralelo * # baterías en serie) **ecuación 8**

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.6 Controladores de carga

Los controladores o reguladores de carga son equipos que controlan el voltaje y la corriente de un panel solar o generador eólico, entregados al parque de baterías. La figura 12 presenta un controlador de carga típico. Muchos paneles entregan 16 a 20 voltios que podrían llegar a estropear la batería por un efecto de sobrecarga, ya que esta necesita unos 14,5 voltios para una carga adecuada.



Figura 12. Ejemplo de controlador de carga (Fondear, 2018)

Existen dos tipos de controladores de acuerdo con la necesidad que se requiera:

- El regulador solar MPPT (Máximo Power Point Tracker) (Seguidor de Punto de Máxima Potencia) es capaz de separar la tensión de funcionamiento de los paneles solares de la tensión de la batería. De esta forma el seguidor del punto de máxima potencia (MPPT) podrá situar la tensión de trabajo del conjunto de paneles solares en la óptima para obtener la máxima producción posible.
- El regulador PWM (pulse width modulación) es, en esencia, un interruptor que conecta los paneles solares a la batería. El resultado es que la tensión de dichos paneles descenderá a valores cercanos de la tensión de la batería.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

La cantidad de controladores de carga y el número de módulos por cada controlador se determinan a partir de las siguientes expresiones:

$$\text{Cantidad de controladores} = \frac{W_p}{\text{Potencia máxima controlador}} \quad \text{ecuación 9}$$

$$\# \text{ Módulos por controlador} = \frac{\# \text{ Módulos}}{\text{cantidad de controladores}} \quad \text{ecuación 10}$$

2.7 Inversor off-grid

Los inversores para sistemas aislados (off-grid, fuera de red o autónomos) convierten la corriente directa, encontrada en el banco de baterías, en corriente alterna convencional como la que se obtiene de la red eléctrica para ser utilizada en los electrodomésticos y demás cargas. Un ejemplo de ficha técnica de un inversor solar se presenta en la figura 13.

Modelo	GF500	GF1000	GF2000	GF2500	GF3000
Potencia nominal	500 W	1000 W	2000 W	2500 W	3000 W
Voltaje de baterías	12 Vdc	24 Vdc	48 Vdc		
Entrada sistema fotovoltaico					
Max. V entrada PV (Voc)	60 Vdc	100 Vdc	150 Vdc		
V optimo operativo (Vmp)	16 ~ 48 Vdc	33 ~ 80 Vdc	65 ~ 120 Vdc		
Max. corriente de carga	50 A	50 A	50 A	65 A	65 A
Máx potencia PV recomendada	700 W	1400 W	2800 W	3500 W	3500 W
AC INPUT					
Bypass de entrada de CA	0 ~ 132 Vac / 0 ~ 264 Vac (high-end limit)				
Voltaje nominal de entrada	100 Vac / 110 Vac / 115 Vac / 120 Vac or 200 Vac / 220 Vac / 230 Vac / 240 Vac ± 25% (2500W only for 110Vac; 3000W only for 220Vac)				
Frecuencia nominal de entrada	50 Hz / 60 Hz ± 5% / 10% / 15% (Conf.)				
Max corriente de carga	20 A			30 A	
Salida del Inversor					
Voltaje de salida	100 Vac / 110 Vac / 115 Vac / 120 Vac ± 2% or 200 Vac / 220 Vac / 230 Vac / 240 Vac ± 2% (Conf.) (2500W only for 110Vac; 3000W only for 220Vac)				
Potencia nominal de salida	500 W	1000 W	2000 W	2500 W	3000 W
Factor de potencia	1				
Frecuencia nominal de salida	50 Hz / 60 Hz ± 1%				
Tipo de onda	Sinusoidal				
Eficiencia máxima (carga resistiva)	≥ 78%	≥ 82%	≥ 85%	≥ 85%	≥ 85%
Modo ahorro	(Conf.) (< 3% load) access in ≤ 2 min				
Distorsión de armonicas de salida	≤ 3% (linear load)				

Figura 13. Ficha técnica inversor solar Off-grid (Hissuma, 2018)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

La potencia del inversor se puede determinar mediante la siguiente expresión:

Potencia del inversor = (Potencia total * Factor de coincidencia) **ecuación 11**

Donde el factor de coincidencia se asume como el 75% (Garcia Tirado, 2016).

2.8 Resistencia eléctrica

La resistencia es un elemento que genera calor y obedece al fenómeno de aplicar un diferencial de potencial en un conductor esto genera una oposición al paso de la corriente a consecuencia de esto se genera un efecto joule, dichas resistencias poseen diversos diámetros, longitudes, potencias, fuente de alimentación, y son muy utilizadas en la industria para generar aumentos de temperaturas.

Las resistencias de alambre bobinado son fabricadas con materiales conductores de alta resistencia; su disipación de potencia está directamente relacionada con su longitud y grosor. Se fabrican para disipar potencias desde 5 W a 300 W (Unicrom, 2017). En la Figura 14 se muestran algunas de ellas.

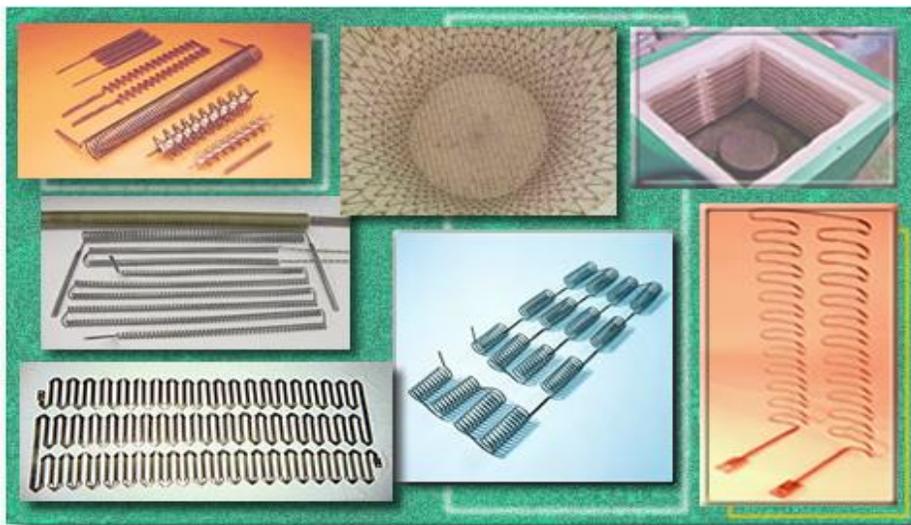


Figura 14. Resistencias de alambre bobinado (Sitecingeneria, 2017).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.9 Ventiladores

Existen tres tipos de ventiladores: centrífugos, axiales y helicocentrífugos, ver Figura 16. Estos se diferencian de la manera como el aire entra o sale; por ejemplo, en los centrífugos el aire entra de forma axial y sale de forma radial, en los axiales entra axial y sale axial, en los helicocentrífugos el aire entra como en los axiales y sale como en los centrífugos (Cengel & Cimbala, 2012).

Los ventiladores están compuestos de un motor, una hélice y una carcasa. El motor funciona en base en el principio de Faraday por el cual, al suministrar un voltaje en el bobinado, se inducen corrientes generando un campo electromagnético haciendo girar el rotor. A este motor se le suministra un diferencial de potencia, el cual energiza un bobinado que inicia el giro del rotor. En el eje del rotor se encuentra ensamblado una hélice, la cual da el suministro de aire o en nuestro caso la extracción de aire de un recinto específico. En la figura 15 se muestran algunas aplicaciones de ventiladores.

Origen	Marcas	Productos	Aplicaciones	Características Principales	
	Fläkt Fläktwoods	Ventiladores Centrífugos Industriales estándar y con ingeniería	En todos los procesos industriales para condiciones ligeras y de severidad media	Gran versatilidad en arreglos y tamaños. Alta eficiencia aerodinámica.	
	Fläkt Fläktwoods	Ventiladores axiales y centrífugos para ventilación	Ventilación de Confort Ventilación Minas, Túneles, Metro	Alta eficiencia aerodinámica, bajo nivel de ruido	
	Fläkt Solyvent	Ventiladores Industriales con ingeniería	En todos los procesos industriales para condiciones de medianas a críticas ó severas; abrasión, alta temperatura, grandes flujos	Ventiladores hechos a la medida de cada proceso y posición. La más alta eficiencia aerodinámica del mercado.	
	Garden City Fan	Ventiladores y unidades plug para Alta Temperatura	Para manejo de aire y gases hasta 2000°F (1,090 °C). Industria petroquímica, hornos de todo tipo.	Equipos fabricados en aceros y aleaciones especiales, diseño de unidades plu	
	Fläkt México	Manejadoras de Aire y Enfriamiento Evaporativo	Aire de confort bajo especificación. Máquinas de enfriamiento evaporativo simple y doble etapa	Alta eficiencia de enfriamiento, confiabilidad en grandes volúmenes	

Figura 15. Tipos de ventiladores (Flakt, 2019).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.10 Toma de tierra de sistemas fotovoltaicos

El marco de un panel solar se considera como una parte metálica expuesta que se debe poner a tierra como protección para evitar cortocircuitos, por ejemplo, en el caso de tormentas. La toma de tierra de los módulos solares fotovoltaicos se realiza a partir de una pequeña perforación con el símbolo tierra que traen en el marco de aluminio anodizado (relativamente buen aislante), ver Figura 16 (Departamento Técnico de SunFields Europe, 2019). Se recomienda utilizar un terminal de conexión de acero inoxidable para asegurar un buen contacto eléctrico.

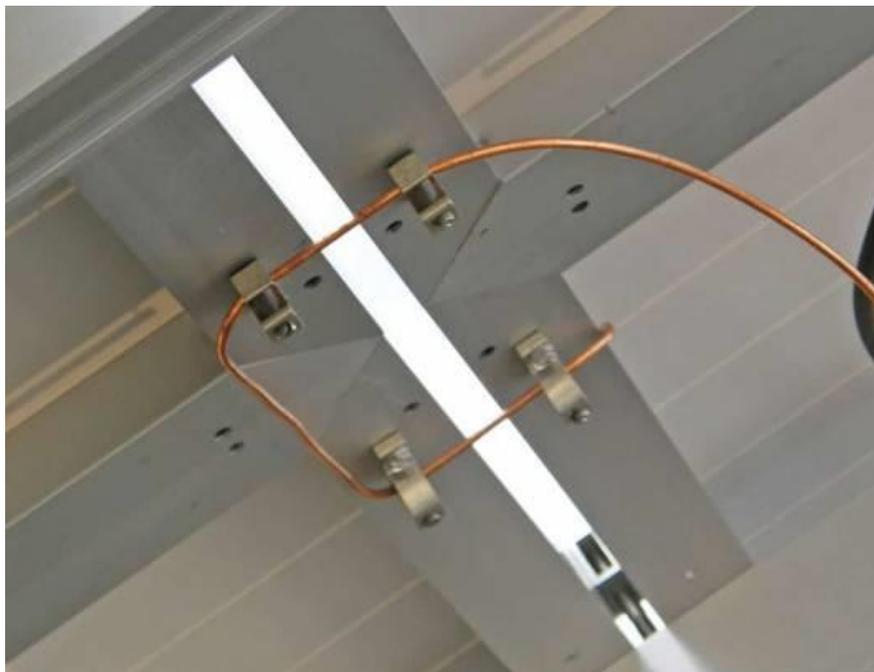


Figura 16. Conexión de puesta a tierra entre módulos

El conductor de protección a tierra de un módulo solar se debe instalar con una grapa para tierra, de modo que se pueda retirar fácilmente en caso de mantenimiento o daño, sin interrumpir la conexión a tierra del resto de la instalación. Este conductor debe conectarse a un punto de la estructura soporte y al punto de puesta a tierra de la instalación, que a su vez se conecta al electrodo principal de tierra (generalmente de tipo pica o jabalina) a través del conductor de

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

enlace (ver figura 17). El conductor de puesta a tierra del sistema fotovoltaico debe ir desnudo, o protegido bajo tubo.

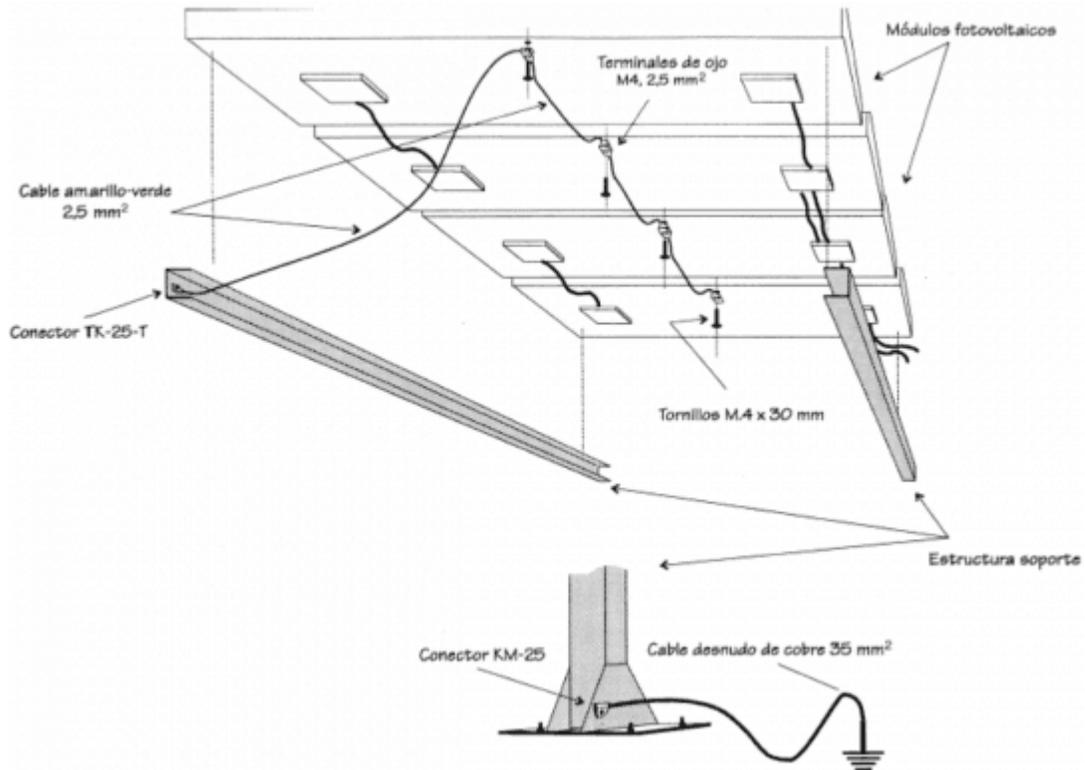


Figura 17. Despiece detallado de la estructura a sistema de puesta a tierra.

2.11 Conceptos básicos del proceso de secado

En un proceso de secado, la humedad contenida en el material se encuentra presente de dos formas: líquida y gaseosa. La líquida es el porcentaje de humedad que tiene en el exterior el material y la gaseosa es la contenida en el elemento en forma de vapor. Para el caso de una secadora de ropa, solamente existe humedad en forma de vapor, porque la ropa sale de la lavadora casi seca. Esta humedad se encuentra entre las fibras de la ropa a secar.

Una de las variables fundamentales en el secado es la velocidad con que este se realiza, determinando el tiempo que llevará la operación. Esta velocidad dependerá de la velocidad de transferencia de calor y de la velocidad de evaporación (Ochoa, 2018).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.11.1 Humedad absoluta o específica

La humedad absoluta o específica (ω) de una mezcla aire-agua se define como:

$$\omega = \frac{m_v}{m_a} \quad \text{ecuación 12}$$

Donde m_v es la masa de vapor de agua en kg y m_a es la masa de aire seco en kg. Utilizando la ecuación general de los gases ideales se puede expresar la ecuación anterior como:

$$\omega = \left(\frac{M_A}{M_B}\right) * \left(\frac{P_v}{P-P_v}\right) = 0.622 \left(\frac{P_v}{P-P_v}\right) \quad \text{ecuación 13}$$

Donde:

P_v = Presión parcial del agua en el aire en kPa

P = Presión total de la mezcla aire-agua en kPa

M_A = Peso molecular del agua (18 g/mol)

M_B = Peso molecular del aire (29 g/mol)

Se puede deducir de la ecuación anterior que la humedad sólo depende de la presión parcial del agua y de la presión total del sistema.

2.11.2 Humedad de saturación

Una mezcla aire-agua está saturada a cierta temperatura y presión, cuando la presión parcial del agua en la mezcla es igual a la presión de vapor del agua pura de tal manera que:

$$\omega_S = \left(\frac{M_A}{M_B}\right) * \left(\frac{P_g}{P-P_g}\right) = 0.622 \left(\frac{P_g}{P-P_g}\right) \quad \text{ecuación 14}$$

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Donde:

ω_s = humedad de saturación.

P_g = Es la presión de vapor del agua pura a la temperatura y presión dadas.

2.11.3 Humedad relativa

La humedad relativa ϕ se define como la cantidad de humedad que contiene el aire (m_v), respecto a la cantidad máxima de humedad que el aire puede contener a la misma temperatura (m_g):

$$\phi = \frac{m_v}{m_g} \quad \text{ecuación 15}$$

Utilizando la ecuación general de los gases ideales se puede expresar la ecuación anterior como:

$$\phi = \frac{P_v}{P_g} \quad \text{ecuación 16}$$

Donde:

P_v = Presión parcial del agua en el aire en kPa

P_g = Presión de saturación del agua pura en kPa (este dato depende de la temperatura).

También es posible expresar la humedad relativa en función de la humedad absoluta:

$$\phi = \frac{\omega P}{(0.622 + \omega) P_g} \quad \text{ecuación 17}$$

La humedad relativa varía de 0 para aire seco a 1 para aire saturado.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.11.4 Temperatura de rocío

El punto de rocío de una mezcla aire-agua es la temperatura T_{pr} a la cual dicha mezcla (sin estar en contacto con agua) se satura al ser enfriada a presión total constante, ver figura 17. Por definición, la humedad relativa en el punto de rocío es 1. Cuando una mezcla en su punto de rocío se enfría más allá de ese punto, el vapor de agua se condensa formando una neblina o rocío; en este proceso la humedad de la mezcla no cambia, de tal manera que se puede calcular el punto de rocío de una mezcla utilizando la carta psicométrica (Ochoa, 2018).

En la figura 18 se observa un diagrama de temperatura vs entropía. Este se utiliza en la termodinámica para visualizar cambios de temperatura y entropía específica durante un proceso termodinámico o ciclo. Es una herramienta útil y común, particularmente porque ayuda a visualizar la transferencia de calor durante un proceso. Para procesos reversibles (ideales), el área bajo la curva T-S de un proceso es el calor transferido al sistema durante ese proceso; Por ejemplo, para un proceso de enfriamiento a presión constante, la temperatura inicial T_1 está ubicada fuera de la campana de vapor saturado (es decir, es vapor sobrecalentado). Se evidencia una pérdida de energía interna y de temperatura llevando al estado 2 a la línea de saturación y una temperatura más baja.

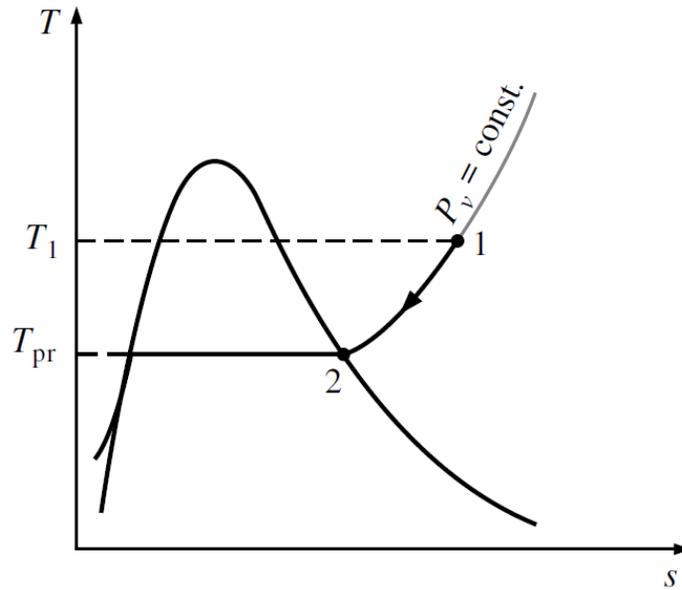


Figura 18. Diagrama T-s para un proceso de enfriamiento a presión constante (Cengel & Boles, Termodinámica, 2015).

2.11.5 Entalpía total y calor húmedo

La entalpía total H_T de un kg de aire seco y su vapor acompañante está dada por:

$$H_T = H_a + H_v = m_a h_a + m_v h_v \quad \text{ecuación 18}$$

Dividiendo la anterior ecuación por la masa de aire seco m_a se obtiene:

$$h_t = \frac{H_T}{m_a} = h_a + \frac{m_v}{m_a} h_v = h_a + \omega h_v \quad \text{ecuación 19}$$

Donde h_t tiene unidades de kJ/kg de aire seco. La entalpía del vapor de agua en el aire (h_v) a bajas presiones, puede considerarse igual a la entalpía del vapor saturado h_g a la misma temperatura:

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$h_v \approx h_g \quad \text{ecuación 20}$$

Por tanto, la entalpía total específica es:

$$h_t = h_a + \omega h_g \quad \text{ecuación 21}$$

Para un rango de -10°C a 50°C, la entalpía del vapor de agua h_g se puede aproximar como:

$$h_g = 2500.9 + 1.82T \quad \text{ecuación 22}$$

Con la temperatura en °C. En esta expresión se ha asumido una temperatura de referencia de 0°C, para la cual la entalpía del vapor de agua es 2500.9 kJ/kg. Para el aire seco de igual manera se puede obtener una expresión aproximada para la entalpía (con la temperatura en °C):

$$h_a = 1.005T \quad \text{ecuación 23}$$

De estas expresiones se deriva que:

$$h_t = 1.005T + \omega(2500.9 + 1.82T) \quad \text{ecuación 24}$$

De las ecuaciones 21 a 24, es posible mostrar que el calor húmedo (la capacidad calorífica de la mezcla aire-vapor de agua) es:

$$C_p = C_{p_a} + \omega C_{p_v} = 1.005 + \omega 1.82 \quad \text{ecuación 25}$$

Donde C_p es el calor húmedo de la mezcla [kJ/kg aire seco-K]. Cuando no existe cambio de estado (evaporación o condensación) el calor necesario para incrementar la temperatura ΔT grados de una masa (m_a) de aire y su vapor acompañante, puede ser calculada con la siguiente expresión:

$$Q = m_a * C_p * \Delta T \quad \text{ecuación 26}$$

Los valores de entalpía y temperatura se pueden leer de una carta psicrométrica, ver Figura 19.

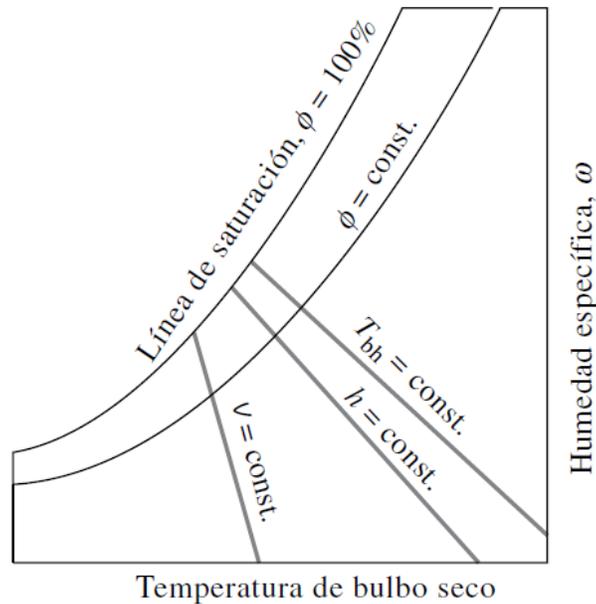


Figura 19. Carta psicrométrica (Cengel & Boles, 2015).

La carta psicrométrica es un diagrama de doble entrada, en el que se relacionan múltiples parámetros referentes a una mezcla de aire húmedo: temperatura, humedad relativa, humedad absoluta, punto de rocío, entalpía específica o calor total, calor sensible, calor latente y volumen específico del aire (Se necesitan conocer previamente, al menos tres de ellos). Se fija una de las variables: la presión atmosférica. Esto implica que se requiere un diagrama distinto para cada localidad, según sea su altitud sobre el nivel del mar, o bien, resolver el problema sobre un diagrama cualquiera y posteriormente corregir los resultados en función de la diferencia de presiones entre el diagrama utilizado y la localidad en cuestión. La mayor parte de los diagramas están contruidos para la presión a nivel del mar (101325 Pa). Este diagrama permite calcular rápidamente las propiedades del aire en procesos de humedad, entalpía, volumen y temperatura constantes.

2.11.6 Balance de energía del secador

En la figura 20 se muestra un proceso de calentamiento con humidificación. Este proceso se aproxima al proceso termodinámico que ocurre dentro de una secadora. El serpentín de calentamiento corresponde a la resistencia eléctrica y el humidificador corresponde a la ropa húmeda que se pretende secar. El proceso sigue como se describe a continuación (Cengel & Boles, 2015):

- El aire ambiente entra en 1 con una humedad absoluta ω_1 , humedad relativa ϕ_1 y temperatura T_1 .
- Este aire se calienta con la resistencia eléctrica, aumentando su temperatura a T_2 . La humedad absoluta ω_2 es igual a la ω_1 , ya que no hubo adición de agua en esta etapa. Sin embargo, la humedad relativa ϕ_2 disminuye, por lo que el aire en 2 está en mayor capacidad de absorber agua que en 1.
- El aire caliente pasa por una etapa de humidificación (la ropa a secar), la cual adiciona agua y por tanto la humedad absoluta ω_3 es mayor que la humedad absoluta ω_2 .

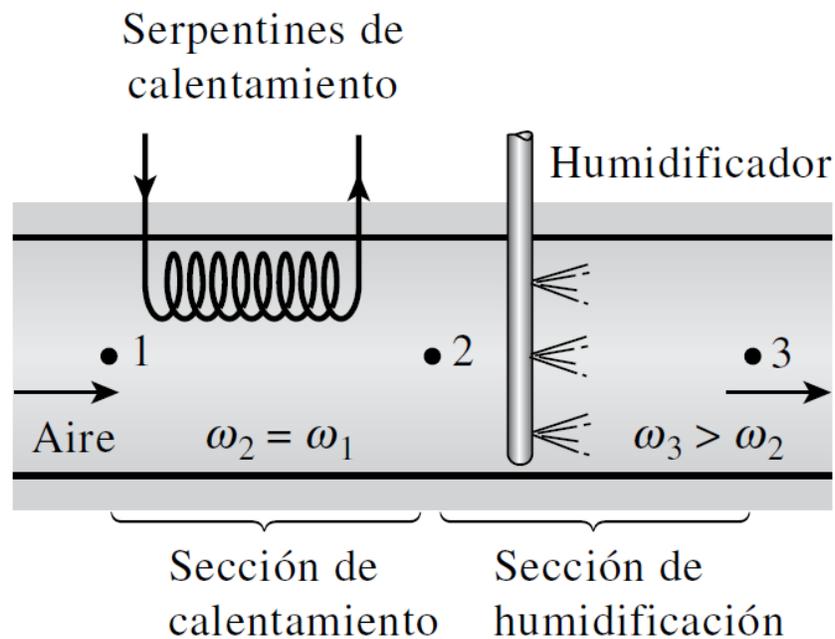


Figura 20. Proceso de calentamiento de aire con humidificación (Cengel & Boles, 2015).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Los balances de masa y energía para el proceso de calentamiento 1→2 son:

- Balance de masa de aire seco

$$\dot{m}_{a,1} = \dot{m}_{a,2} = \dot{m}_a \quad \text{ecuación 27}$$

- Balance de masa de agua:

$$\dot{m}_{a,1}\omega_1 = \dot{m}_{a,2}\omega_2 \rightarrow \omega_1 = \omega_2 \quad \text{ecuación 28}$$

- Balance de energía:

$$\dot{Q}_{entrada} + \dot{m}_{a,1}h_{t,1} = \dot{m}_{a,1}h_{t,2} \rightarrow \dot{Q}_{entrada} = \dot{m}_{a,1}(h_{t,2} - h_{t,1}) \quad \text{ecuación 29}$$

Donde:

$\dot{Q}_{entrada}$ es el calor (en Watts) que debe suministrar la resistencia para pasar el aire de 1 a 2.

\dot{m}_a es el flujo másico de aire seco (en kg/s)

h_t es la entalpía total específica del aire (en kJ/kg)

Siguiendo un procedimiento similar, para el proceso de humidificación 2→3 se tiene que:

- Balance de masa de agua

$$\dot{m}_{a,2}\omega_2 + \dot{m}_w = \dot{m}_{a,3}\omega_3 \rightarrow \dot{m}_w = \dot{m}_a(\omega_3 - \omega_2) \quad \text{ecuación 30}$$

Donde \dot{m}_w es el flujo másico de agua evaporada.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.12 Humedad contenida en la ropa

El porcentaje de humedad absoluta restante en la ropa después de su lavado depende de la velocidad de trabajo de la centrifugadora de la lavadora (Milar, 2018). Actualmente existen lavadoras con centrifugadoras que trabajan diferentes velocidades y obtienen diferentes grados de humedad absoluta al final del proceso de secado, ver tabla 3:

Tabla 3. Velocidad de centrifugado vs humedad. Adaptado de (Milar, 2018).

CENTRIFUGADORA (RPM)	% DE HUMEDAD
600	80
800	60
1400	40

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3. METODOLOGÍA

Para dar solución al problema de secado de ropa en apartamentos, se ha seguido la siguiente metodología: Primero se realizó un estudio profundo sobre procesos de secado o deshumidificación en la literatura actual (libros de termodinámica, tratamiento de aire, fenómenos de transporte e internet). Luego se midieron las dimensiones del cuarto lavado y secado de ropa en apartamentos, tomando como ejemplo un apartamento de estrato 3, con disponibilidad de 1,5 m x 2 m para la instalación del equipo.

La tercera etapa consistió en calcular la carga térmica a generar, dependiendo de la humedad contenida en la ropa, espacio seleccionado y cantidad de esta. La humedad contenida en la ropa se calcula con las fórmulas descritas en el estado del arte, en la sección 2.11.

En el cuarto paso se realizó la selección de los componentes que formaran parte del equipo de secado (tipo de celdas fotovoltaicas, componentes eléctricos, convertidor, resistencias, tipo de ventilador, motor eléctrico, etc.), basados en los parámetros como: humedad a extraer, cantidad de ropa seca, radiación diaria emitida, espacio disponible por el sistema de aprovechamiento solar, etc. Esta selección se realizó en base a las fórmulas descritas en las secciones 2.4 a 2.9.

Luego se seleccionó la estructura que soportará los paneles, utilizando fichas técnicas de fabricantes, teniendo en cuenta el peso de los paneles. Finalmente se presentan los costos aproximados de la fabricación del equipo.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Dimensiones del secador

Para el secado de la ropa se dispone de las siguientes dimensiones: 1,20 m de ancho, 1,8 m alto y 0,6 m espesor, ver Figura 21.

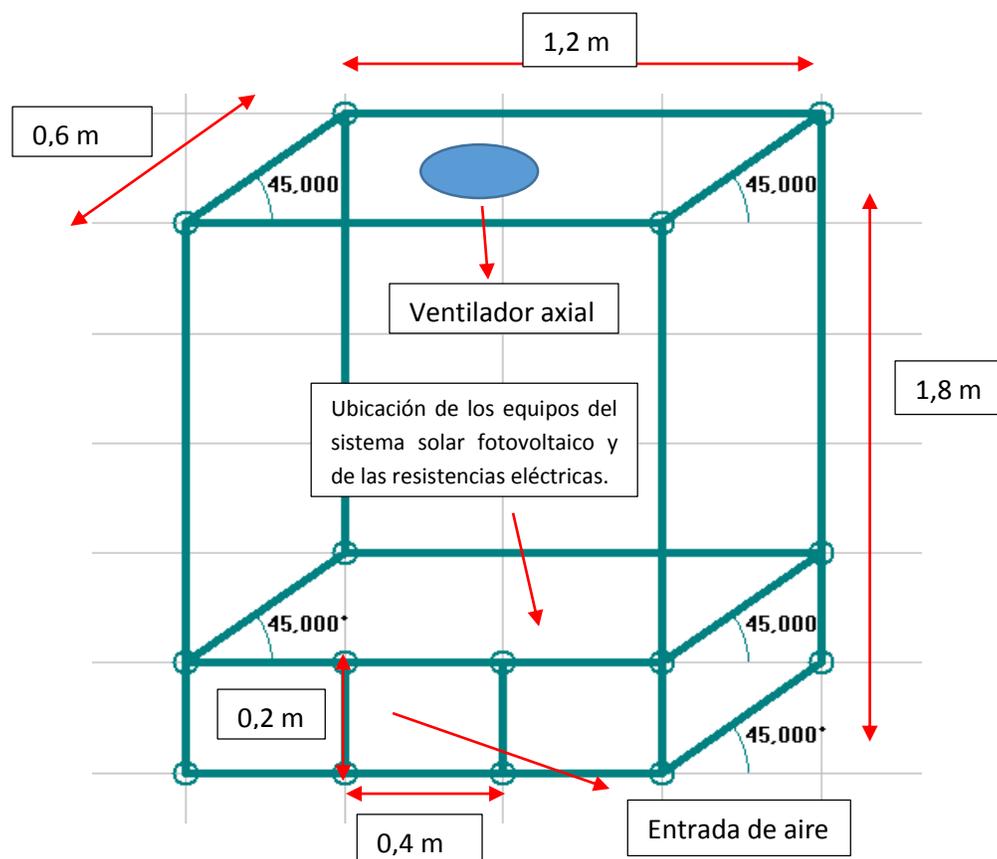


Figura 21. Estructura del secador.

Esta estructura está hecha de ángulos de aluminio de 5/32" de espesor (aprox. 4 mm) de 40x40mm, para que la estructura quede rígida y liviana, ver figura 22. Está cubierta además por una tela plástica carioca (Sanisidrolonas, 2014), con características importantes como: resistencia al desgarre, atracción, abrasión, penetración de agua, etc. (ver figura 23). Esta secadora contará

con una resistencia eléctrica encargada de calentar el aire, la cual estará ubicada a la entrada del secador y un ventilador axial en la parte superior, encargado de extraer el aire contenido en el secador.



REF.	DESCRIPCIÓN mm	ESPESOR Mm	RADIO mm	PESO Kg/ml	PERIMETRO m2/ml
9714*	17.75 x 17.75	1.5	0.75	0.138	0.070
8841	25 x 25	1.2	0.3	0.159	0.099
9752	25.4 x 25.4	1.6	0.3	0.213	0.101
6105	30 x 30	10	0.5	1.350	0.119
5687	40 x 40	1.1	0.3	0.235	0.159
5976	40 x 40	1.5	0.5	0.319	0.159
9771	40 x 40	2	0.25	0.421	0.159
8938	40 x 40	2	0.5	0.421	0.159
6998	40 x 40	3	0.5	0.624	0.159
6011	40 x 40	4	0.5	0.821	0.159
6478	40 x 40	5	0.3	1.013	0.159
7570	40 x 40	6	0.3	1.196	0.159
6174	60 x 60	2	0.3	0.637	0.239
8883	150 x 150	3	0.5	2.406	0.599

Figura 22. Perfil de aluminio elegido para la estructura de la secadora de ropa (Extrusax, 2017)

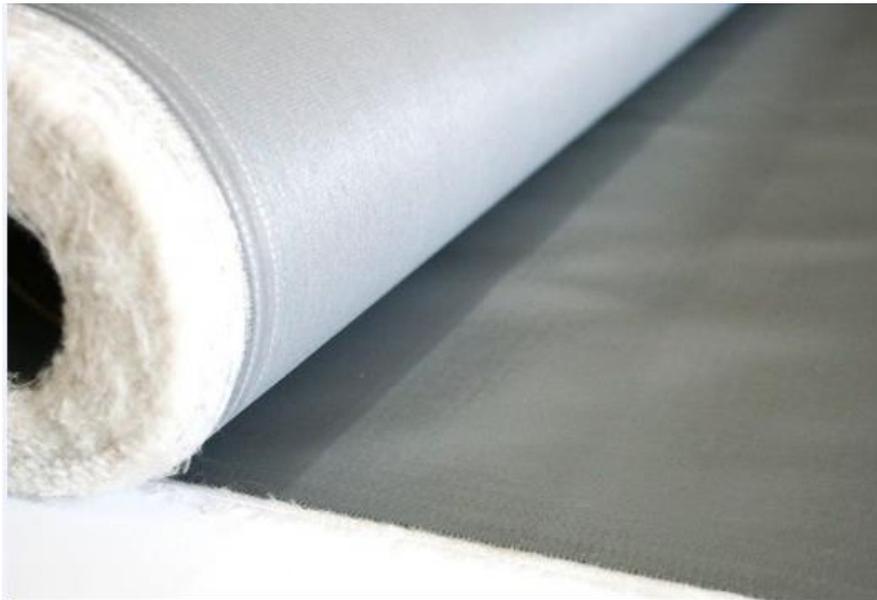


Figura 23. Tela carioca (Sanisidrolonas, 2014)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4.2 Selección del ventilador axial

Para extraer el aire húmedo se utilizará un ventilador axial marca EBM-PAPST 4414 H con las siguientes características: voltaje 18 a 24VCC, de 8.6 W y su flujo volumétrico es de 4 m³/min, ver Figura 24. Este ventilador entrega un caudal de aire adecuado para la aplicación, tal como se describe en los cálculos de la siguiente sección.



Figura 24. Ventilador Axial (TME, 2019).

4.3 Balance de energía del secador

En la figura 25 se muestra el proceso de calentamiento y humidificación que se lleva a cabo en la secadora diseñada en este trabajo.

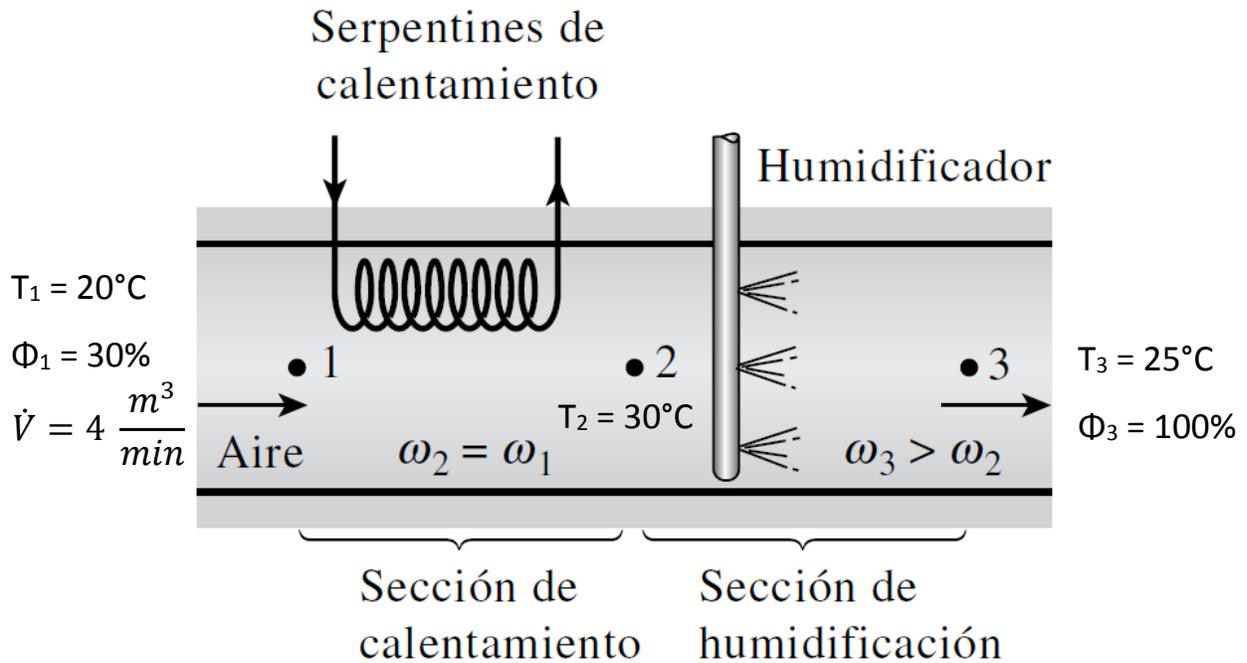


Figura 25. Sistema de análisis. Adaptado de (Cengel & Boles, 2015)

La figura 26 presenta un pantallazo del software EES versión académica, el cual es utilizado para encontrar las propiedades de los fluidos, según el estado que se encuentre en cada punto. En este caso, se utilizaron las temperaturas del agua a 20, 30 y 35°C y las calidades de 1, para poder obtener las entalpías y las presiones según el estado. En este programa se calculó:

- $P_{g,1}$: Presión de saturación del agua pura en el punto 1 (en kPa)
- $P_{g,31}$: Presión de saturación del agua pura en el punto 3 (en kPa)
- $h_{g,1}$: Entalpía del vapor de agua en el punto 1 (en kJ/kg)
- $h_{g,2}$: Entalpía del vapor de agua en el punto 2 (en kJ/kg)
- $h_{g,3}$: Entalpía del vapor de agua en el punto 3 (en kJ/kg)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

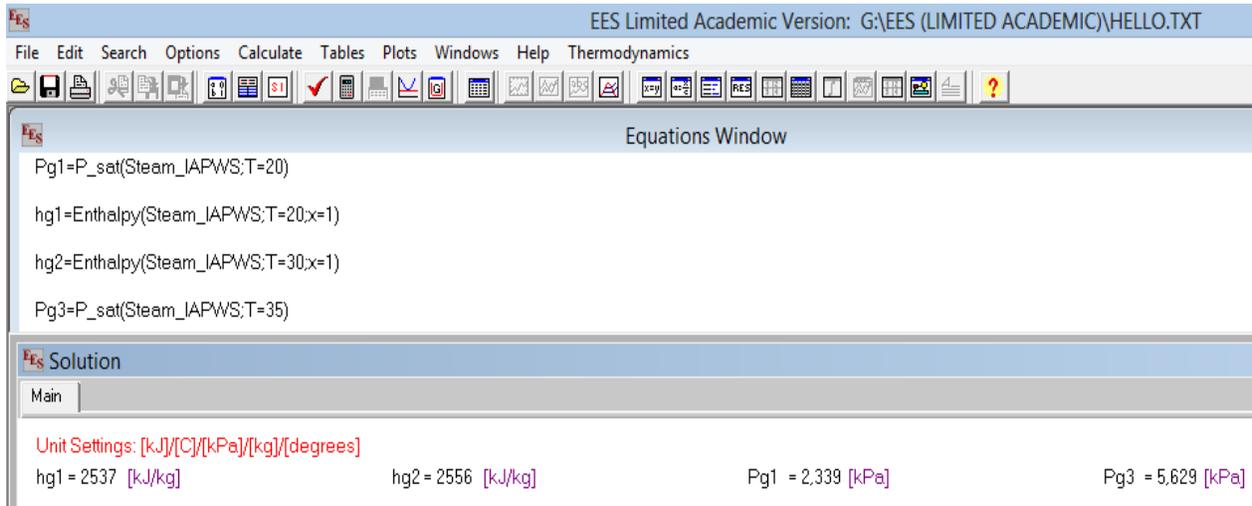


Figura 26. Cálculos de propiedades en EES

A continuación, se calcula la presión parcial en del agua en el aire en el estado 1 ($P_{v,1}$):

$$P_{v,1} = \phi P_{g,1} = \phi P_{sat \text{ a } 20^{\circ}C} = (0.3)(2,339 \text{ kPa}) = 0,7017 \text{ kPa}$$

$$P_{a,1} = P_1 - P_{v,1} = (86 - 0,7017) \text{ kPa} = 85,29 \text{ kPa}$$

Donde P_1 es la presión atmosférica en sitio, la cual es aproximadamente 86 kPa para Medellín. A continuación, se estima el volumen específico del vapor de agua a partir de la ecuación de gas ideal para aire:

$$v_1 = \frac{R_a T_1}{P_{a,1}} = \frac{(0,287 \text{ kPa} \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \cdot \text{K})(296 \text{ K})}{85,29 \text{ kPa}} = 0,996 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Este resultado es importante porque revela la cantidad de vapor que va a extraer el ventilador en una tasa de minuto:

$$\dot{m}_a = \frac{\dot{V}}{v_1} = \frac{4 \text{ m}^3/\text{min}}{0,996 \text{ m}^3/\text{kg}} = 4,01 \text{ kg}/\text{min}$$

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$\omega_1 = \frac{0,622P_{v,1}}{P_1 - P_{v,1}} = \frac{(0,622)(0,7017)kPa}{86 - 0,7017kPa} = 0,00511 \text{ kg } H_2O/\text{kg aire seco}$$

$$\omega_2 = \omega_1$$

$$\omega_2 = 0,00511 \text{ kg } H_2O/\text{kg aire seco}$$

$$h_{t,1} = C_p T_1 + \omega_1 h_{g,1} = \left(1,005 \frac{kJ}{kg^\circ C}\right) (20^\circ C) + (0,00511) \left(2537 \frac{kJ}{kg}\right)$$

$$h_{t,1} = 33,06 \text{ kJ/kg aire seco}$$

$$h_{t,2} = C_p T_2 + \omega_2 h_{g,2} = \left(1,005 \frac{kJ}{kg^\circ C}\right) (30^\circ C) + (0,00511) \left(2556 \frac{kJ}{kg}\right)$$

$$h_{t,2} = 43,21 \text{ kJ/kg aire seco}$$

$$h_{t,3} = C_p T_3 + \omega_3 h_{g,3} = \left(1,005 \frac{kJ}{kg^\circ C}\right) (30^\circ C) + (0,00511) \left(2556 \frac{kJ}{kg}\right)$$

Con estas entalpías se puede calcular la tasa de transferencia de calor que debe suministrar la resistencia eléctrica al aire, para poder secar la ropa:

$$\dot{Q}_{ent} = \dot{m}_a (h_{t,2} - h_{t,1}) = 4,01 \frac{kg}{min} * (43,21 - 33,06) \frac{kJ}{kg} = 40,7 \frac{kJ}{min} = 680 \text{ W}$$

La humedad absoluta en el punto 3 es:

$$\omega_3 = \frac{0,622P_{v,3}}{P_3 - P_{v,3}} = \frac{0,622\phi_3 P_{g,3}}{P_3 - \phi_3 P_{g,3}} = \frac{0,622(1)(5,629 \text{ kPa})}{86 - (1)(5,629 \text{ kPa})} = 0,04356 \text{ kg } H_2O/\text{kg aire seco}$$

A partir del balance de masa para el agua en la sección de humidificación se puede calcular la tasa de masa de agua evaporada:

$$\dot{m}_w = \dot{m}_a (\omega_3 - \omega_2) = 4,01 \frac{kg}{min} * (0,04356 - 0,00511) = 0,158 \frac{kg}{min}$$

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Un jean con una masa promedio de 400 gr cuando está seco, luego de ser lavado en una lavadora con una centrifugadora que trabaja a 1600 rpm, aumenta su masa aprox. 50 gr (llega a 450 gr aprox.). Por tanto, el tiempo necesario por ciclo de funcionamiento de la secadora para una prenda de este tipo será:

$$\frac{1 \text{ min}}{x} = \frac{0.158 \text{ kg}}{0.05 \text{ kg}} \rightarrow x = 0.31 \text{ min por prenda para quedar seca} = 18.6 \text{ segundos}$$

El tiempo teórico mínimo necesario para secar la ropa con las condiciones ideales (que el aire tenga completamente contacto con la prenda y sin asumir pérdidas) sería de 19 segundos. Para las 10 prendas tendría que secar 0.5 kg de agua lo que tardaría el proceso de funcionamiento 3 minutos. Por condiciones de diseño, se recomienda aplicar un proceso de secado de 8 minutos para lograr el secado completo. Por tanto, se puede afirmar que el secador tendrá la capacidad de secar 5 kg de ropa (lo que es equivalente a 10 jeans por carga) en un tiempo de 3 minutos.

4.4. Cálculos de dimensionamiento de sistema fotovoltaico aislado

A continuación, se llena la tabla de cargas implementadas en el sistema y su tipo de corriente alterna o directa (tabla 4).

Tabla 4. Cuadro de cargas

Cargas	Cantidad	Potencia (W)	AC	DC	Tiempo de uso (h/día)	Energía (Wh/día)
Resistencia	1	680	x		2	1360
Ventilador	1	9	x	X	2	18
Control de temperatura	1	1	x		2	2
Stand by	0	0	x	X	24	

Energía en AC (Wh/día)	1380
Energía en DC (Wh/día)	2
Potencia en AC (W)	689
Potencia en DC (W)	1

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Para calcular el banco de baterías primero se debe determinar la demanda diaria (D_{md}) requerida por las baterías. Esta se obtiene a partir de los datos consignados en la tabla de cargas anteriormente presentada:

$$D_{md} = \frac{D_{md,DC} + \frac{D_{md,AC}}{\eta_{inversor}}}{\eta_{cables}} = \frac{18 + \frac{1362}{0,9}}{0,99} = 1546,8 \text{ Wh/día}$$

Donde $\eta_{inversor}$ es la eficiencia del inversor y η_{cables} la eficiencia de los cables. Una “regla de dedo” común es establecer el voltaje a utilizar del sistema, de modo que sea 12V por cada 1kWh demandada. La idea en todo caso es evitar corrientes continuas mayores a 100 Amperios. En este caso se selecciona a 24V como voltaje a utilizar del sistema.

Como criterio de diseño, se seleccionan 2 días como la autonomía de las baterías. Para calcular la capacidad del banco de baterías (C_{sist}) se utiliza la siguiente expresión:

$$C_{sist} = \frac{D_{md} \times DA}{V_{sist} \times DOD} = \frac{1546,8 \times 2}{24 \times 50\%} = 257,8 \text{ Ah}$$

Donde DA son los días de autonomía de la batería, V_{sist} es el voltaje del sistema, DOD es el porcentaje de descarga batería, también llamada profundidad de descarga (50% es un valor típico para baterías libre de mantenimiento) y D_{md} es la demanda diaria requerida.

Se selecciona entonces una batería monobloc Modelo AGM Power 260 con una capacidad $C_{bat} = 250 \text{ Ah}$ y un voltaje $V_{bat} = 12 \text{ V}$. La ficha técnica de la batería se adjunta en el Anexo 1 de este trabajo.

El número de baterías conectadas en serie (NB_{serie}) y en paralelo ($NB_{paralelo}$) se determinan con las siguientes expresiones:

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$NB_{paralelo} = \frac{C_{sist}}{C_{bat}} = \frac{257,8}{250} \approx 1$$

$$NB_{serie} = \frac{V_{sist}}{V_{bat}} = \frac{24}{12} = 2$$

La energía requerida por los paneles para alimentar el sistema (E_d) se puede calcular como:

$$E_d = \frac{D_{md,DC} + \frac{D_{md,AC}}{\eta_{inversor}}}{\eta_{conversor} \times \eta_{bateria} \times \left(\frac{1-Pérdidas_{cables}}{100}\right) \times \left(\frac{1-Pérdidas_{Temp}}{100}\right) \times \left(\frac{1-Pérdidas_{Suciedad}}{100}\right)}$$

$$= \frac{18 + \left(\frac{1362}{0.9}\right)}{(0.98 \times 0.98 \times 0.99 \times 0.93 \times 0.97)} = 1787,7 Wh$$

G_{stc} es la irradiancia en condiciones estándar de medida ($G_{stc} = 1000W/m^2$ a $T = 25^\circ C$). De acuerdo con la figura 8, en Medellín $G_{Medellin} = 4500 Wh/m^2$. Por tanto, las horas solar pico son:

$$HPS = 4500/1000 = 4,5 h$$

La potencia fotovoltaica se calcula entonces como:

$$P_{Fv} = \frac{E_d}{HSP} = \frac{1787,7}{4.5} = 397,26 W_{pico}$$

En este trabajo se elige un módulo Amerisolar AMS 270 W, ver ficha técnica en el Anexo 2. Este módulo tiene una potencia de $P_{stc,panel} = 270 W$. Para este panel, el voltaje en circuito abierto es $V_{oc} = 38,8 V$, mientras que la corriente en cortocircuito es $I_{sc} = 9,09 A$.

El número de módulos necesarios es entonces:

$$\#Módulos = \frac{P_{Fv}}{P_{stc,panel}} = \frac{397,26}{270} = 1,47 \approx 2 \text{ módulos}$$

De acuerdo con lo visto anteriormente, el número de módulos en serie es igual a 2. El voltaje en circuito abierto máximo en este caso es:

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$V_{oc, \text{máx}} (V) = \# \text{ MODULOS SERIE} * V_{oc} = (38.8 * 2) = 77,6 \text{ V}$$

El número de módulos en paralelo es 1. Por tanto, la corriente máxima de cortocircuito:

$$I_{sc, \text{máx}} (A) = \# \text{ MOD EN PARALELO} * I_{sc} = (9.09 * 1) = 9.09 \text{ A}$$

La potencia total del arreglo es:

$$\text{Potencia total} = \# \text{MódulosSerie} * \# \text{ModulosParalelo} * \text{Potencia1Modulo} = 2 * 1 * 270 = 540 \text{ Wpico}$$

Para seleccionar el controlador-inversor se asume un factor de seguridad del 25% para la corriente máxima.

$$I_{sc, \text{máx controlador}} (A) = (I_{sc, \text{máx arreglo}} * 1.25) = 9.09 * 1.25 = 11.36 \text{ A}$$

$$I_{\text{carga nominal controlador}} (A) = (\text{Potencia AC} * \text{Voltaje sistema} * 1.25) = 689 / 24 \text{ V} * 1.25 = 35,89 \text{ A}$$

$$V_{oc, \text{máx controlador}} (V) = V_{oc \text{ Max}} = 78 \text{ V}$$

Assumiendo una eficiencia del inversor de 90%, se tiene que la mínima potencia que requiere el inversor es:

$$Min P_{inversor} = \frac{P_{max, AC}}{\eta_{inversor}} = \frac{689}{0,9} = 765,5 \text{ W}$$

La potencia aparente máxima en el inversor es:

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$S_{m\acute{a}x} = \frac{Min P_{inversor}}{Factor\ de\ potencia} \times Factor\ de\ dise\~{n}o = \frac{765,5}{0.9} * 1,1 = 935.6VA$$

El inversor cargador seleccionado es MEDIPLUS C24/1200/25 (ver ficha técnica de este equipo en el Anexo 3). (Monsolar, 2018)

4.5 Elementos para instalar en la secadora

Resistencia eléctrica: En nuestro caso para el diseno del secador se utilizará una resistencia tubular de diámetro 5/16" con una fuente de alimentación a 220V y una potencia de 300 Watts. Una resistencia de este tipo se muestra en la figura 27.



Figura 27. Resistencia Eléctrica Tubular (Presa, 2018).

Controlador de temperatura: Se utiliza un controlador de temperatura, el cual también es llamado pirómetro. Este dispositivo traduce la temperatura la cual está censando el termopar en tiempo real, traduciendo el voltaje que entrega el termopar a una lectura en números fácil de interpretar. La figura 28 muestra un controlador de temperatura que se podría usar en la secadora de este trabajo.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 28. Controladores de temperatura (Termocuplas , 2019)

Termopar tipo J: Para el sensado de la temperatura a la cual está sometida el cuarto de secado, se tendrá un termopar tipo J, que tiene un rango de temperatura de 0 a 700°C, la cual mandará una señal en voltios. Esta será tomada por el controlador de temperatura, dando indicaciones al relé de estado sólido para abrir o cerrar el circuito que alimenta la resistencia y el ventilador. La figura 29 muestra un termopar de este tipo.



Figura 29. Termopar (Vallana, 2019)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Relé de control: El relé de control recibe la señal del controlador, para energizar o des-energizar su bobina y por medio de este cambiar el estado de su contacto sea abierto o cerrado. En este caso se utilizará el contacto del relé NO (normalmente abierto) para energizar la resistencia y ventilador. Generalmente se utilizan estos relés para proteger la salida del controlador de las altas corrientes que pueden consumir los elementos finales. La figura 30 muestra uno de estos relés.



Figura 30. Relé de control (Neumática y sensores del sur oeste, 2019)

4.6 Funcionamiento del control de la secadora

La figura 31 muestra el plano de control de los elementos electrónicos y muestra la conexión de estos. este plano se hizo en el programa CADe SIMU (Villanueva Montoto, 2018). Este programa es muy importante ya que permite también simular en tiempo real, como pueden suceder las cosas cuando se conectan de una forma u otra, ahorrando tiempo y dinero en costos de ensayo y error.

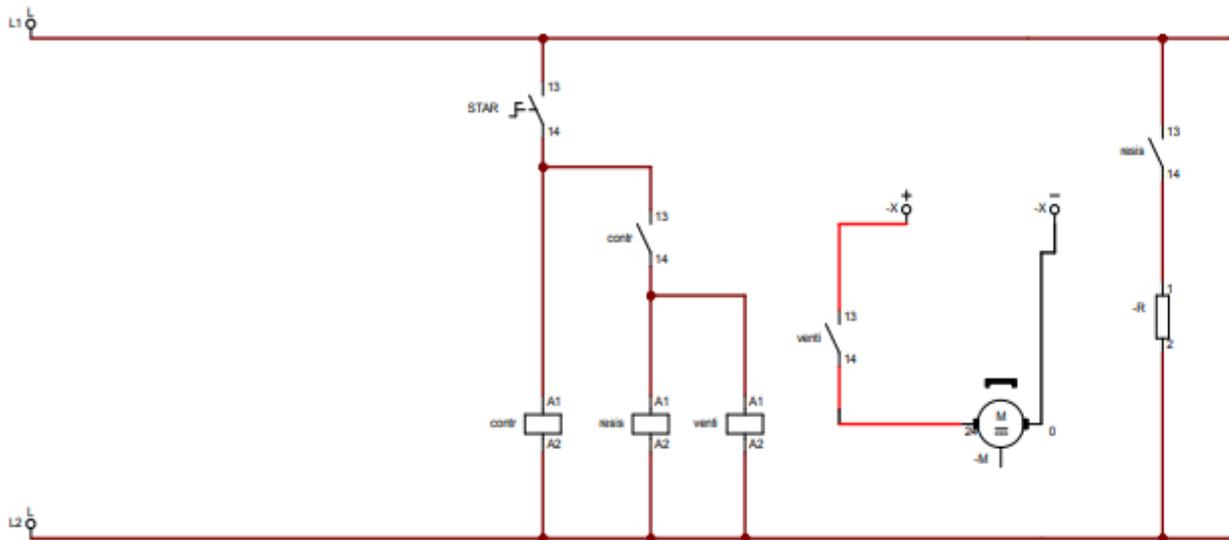


Figura 31. Plano de control de la secadora

Para iniciar el equipo se debe accionar la muletilla “start”, la cual energiza el controlador. Cuando este cense la temperatura ambiente 23°C , accionará su contacto interno NO y energizará las bobinas del relé, las cuales se les asociaron a sus contactos internos la resistencia y el ventilador para proteger la salida del controlador.

Cuando se llegue a la temperatura deseada (35°C) el controlador abrirá su contacto y desenergizará el ventilador y su resistencia hasta que vuelva a llegar a la temperatura de 23°C y así repetirá el proceso.

4.7 Estructura de soporte de los paneles solares

Cada panel solar tiene aprox. 16 kg. En total son 32 kg. Debido al poco peso de ambos paneles se decide escoger una estructura comercial prefabricada que sea liviana y de bajo costo. Se selecciona la estructura modelo ventó 2A DIC, que tiene un peso de 9 kg. La ficha técnica de este soporte se presenta en el Anexo 4. En la Figura 32 se muestra como es la estructura para soportar los dos paneles fotovoltaicos; estas son estructuras construidas en aluminio (Al 6005-t5) que

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ofrecen una opción duradera dinámica y de fácil instalación de paneles fotovoltaicos. Esta estructura ofrece la posibilidad de ajustar la inclinación a 0°, 10°, 15° y 20° con menores tiempos de instalación, ya que la estructura es pre-ensamblada. Para realizar la instalación solo es necesario dos llaves de 6 mm; incluye robustas anclas de acero y sistema de anclaje con altura regulable. Esta estructura está diseñada para soportar vientos continuos de 120 km/h.



Figura 32. Estructura sobre la que va montada un panel solar (Connera, 2018)

En la figura 33 se puede apreciar los diferentes componentes que ofrece esta estructura para lograr la fijación del módulo, optimizando los métodos y los tiempos de ensamble dando mayor facilidad y garantizando todas las propiedades mecánicas para lograr una fijación que cumpla estándares de calidad.

Es completamente amigable con el instalador: se utiliza el clamp (fijador final) para fijar los extremos del panel a la estructura, mediclamp (fijador intermedio) se utiliza para colocarlo y fijar la estructura entre los dos módulos, el clip para colocar los cables que conectan el panel y el ancla con empaque de neopreno para evitar filtraciones en los techos.

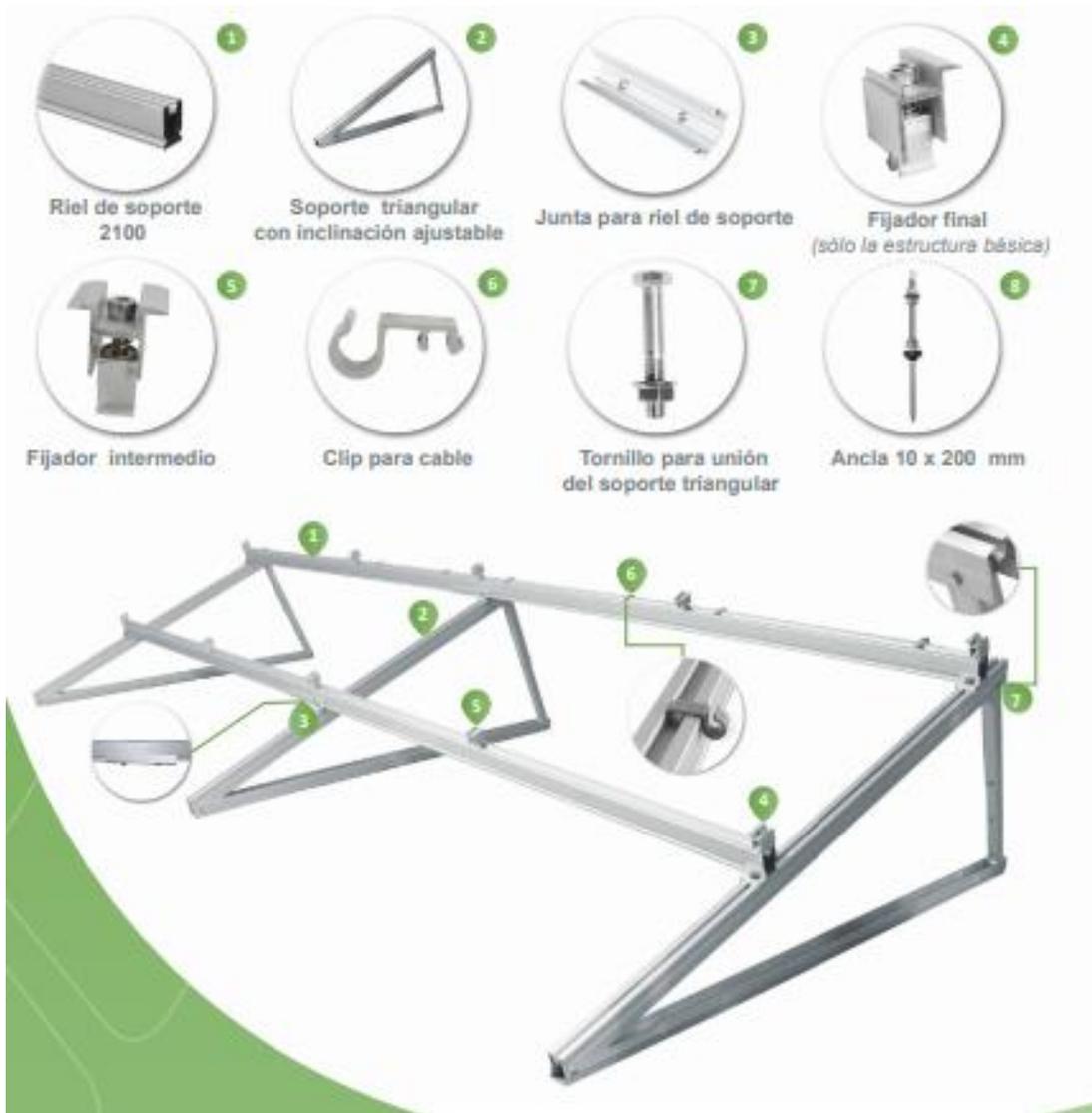


Figura 33. Elementos de fijación para los paneles (Connera, 2018)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4.8 Costos y materiales de fabricación

En la tabla 5 se relaciona los costos de los elementos y sus proveedores se evidencia que el mayor costo es de los elementos que componen el sistema fotovoltaico. El valor del costo total para la fabricación del equipo es de un estimado \$ 4.926.854 (COP); a pesar de que su costo es un poco más que el de los secadores convencionales, hay que verle las ventajas que trae: su fuente de energía es una fuente limpia, inagotable y gratis, además los mantenimientos serían prácticamente nulos de acuerdo con el funcionamiento de las baterías. A diferencia de las otras secadoras, al estar la ropa colgada en ganchos como si se fuera a almacenar, no se arrugaría la ropa durante el secado. El espacio y el tiempo de secado es fundamental y es el fuerte de este proyecto para que sea implementado en futuros apartamentos.

Tabla 5. Tabla de costos y materiales de fabricación

elemento	unidad	cantidad	vr unitario	vr total	Fuente
Panel solar	und	2	574321	1148642	Hibrytech
Batería	und	2	475895	951790	Hibrytech
Inversor	und	1	960000	960000	Hibrytech
Controlador de temp. Max. termo	und	1	257300	257300	Hibrytech
Termocupla tipo j	und	1	49343	49343	Medición y control
Resistencia 680w	und	1	75432	75432	Medición y control
Ventilador axial 8.6w	und	1	112653	112653	Presis Ltda
Tela carioca	mtr	10	63765	637650	Multiaires estimado
Angulo aluminio 5/32	mtr	18	7543	135774	Equielect
Tubo aluminio 2"	mtr	2	3689	7378	Equielect
Caja eléctrica	und	1	76000	76000	Equielect
Relé de control	und	4	13453	53812	Equielect
End clamp	und	2	12640	25280	Galco
Mid clamp	und	2	9800	19600	Galco
Estructura de p/panel /eualizable	u triang	2	175000	350000	Galco
Muletilla on/off	und	1	4500	4500	Equielect
Cable teldo #14	mtr	8	2650	21200	Equielect
Cable solar #12	mtr	15	2700	40500	Equielect
TOTAL				\$4926854	

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

Conclusiones

En este trabajo se presenta el diseño de un equipo secador, cuyos componentes fueron calculados y seleccionados para que cumpla su función con un buen rendimiento, utilizando una fuente de energía no convencional de energía como la fotovoltaica, aprovechando los espacios pequeños para satisfacer una necesidad de secar la ropa en poco tiempo en un apartamento.

De los cálculos de este estudio se concluye que el elemento que mayor potencia requiere (680 W) es la resistencia eléctrica, la cual se requiere para poder calentar el aire que permite evacuar la cantidad de humedad contenida en las prendas por muy poco tiempo. Este es el elemento principal que condiciona el cálculo y selección de los paneles solares. Debido a esta potencia requerida fueron necesarios 2 paneles solares conectados en serie en un arreglo off-grid.

Otras conclusiones que se derivan de este trabajo son:

- El sistema de secado diseñado es costoso (cerca de 5 millones de pesos) y el retorno de inversión sería muy lento, pero la esencia de la secadora solar es solventar la problemática del poco espacio en los apartamentos, reduciendo el tiempo de secado para la ropa y utilizando una fuente inagotable de energía como lo es el sol.
- El mantenimiento que necesitaría el sistema solo sería enfocado en la vida útil de las baterías y limpieza de paneles.
- La estructura que sostiene los paneles es de un material muy económico y liviano, que brinda gran confiabilidad por sus propiedades mecánicas.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Recomendaciones

En este sistema fotovoltaico se deben respetar los tiempos de uso diarios, para perdurar la vida útil de las baterías por los ciclos de carga y descarga. Se recomienda utilizar esta clase de equipos en las horas donde la radiación solar está a la máxima, entre las 9 am y 3 pm.

Proyección de trabajo futuro

El mayor reto que tiene este proyecto es la acumulación que tienen las baterías para poder suplir el sistema y lograr que su uso sea ilimitado. Se están encontrando nuevos materiales como lo son las baterías redox de vanadio, aleaciones de litio que pueden hacer de que el tiempo de uso de las baterías sea más eficiente, además la tecnología de paneles solares también está avanzando y se pueden encontrar a un futuro que generen más potencia. Aquí queda abierta la oportunidad de desarrollar y mejorar este proyecto en el tema de eficiencia energética fotovoltaico y se espera que estos sistemas sean más implementados en la construcción de nuevos apartamentos (Periodico Energía, 2018).

ANEXOS

Anexo 1. Ficha técnica de la batería seleccionada.

Batería monobloc AGM

Modelo AGM POWER 260



Máxima calidad

Las baterías AGM POWER pasan estrictos procesos de control, desde la materia prima a la entrega del producto al cliente final.

Válvulas de regulación de gases

Gracias a su diseño las AGM POWER disponen de una mejor recombinación de los gases con la mínima pérdida de hidrógeno. Este hecho ayuda a la regulación interna de la presión, incrementando el rendimiento y la seguridad.

Aplicaciones

Las baterías AGM POWER han sido diseñadas para aplicaciones en telecomunicación, sistemas solares, sistemas de respaldo y náutica entre muchas otras. Todas nuestras baterías AGM disponen de la certificación ISO 9001 así como la aprobación CE y UL

CARACTERÍSTICAS	AGM POWER 260
Voltaje	12V
Número de células	6 células
Longitud	522mm
Ancho	240mm
Altura	219mm
Altura total	223mm
Peso	57.9Kg
Capacidad en C100	260A
Capacidad en C10	200A

METODO DE CARGA: voltaje constante de carga a 77°	AGM POWER 260	REQUERIMIENTOS AMBIENTALES	AGM POWER 260
Uso cíclico	14.4-15.0V	Temperatura de descarga	-20 /50°
Corriente inicial	60A	Temperatura de carga	-10/50°
Temperatura de compensación	-30mV/°C	Temperatura de almacenaje	-20 /50°
Uso flotación	13.6-13.8V		

Tomada de: www.monsolar.com

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Anexo 2. Ficha técnica del módulo fotovoltaico seleccionado.



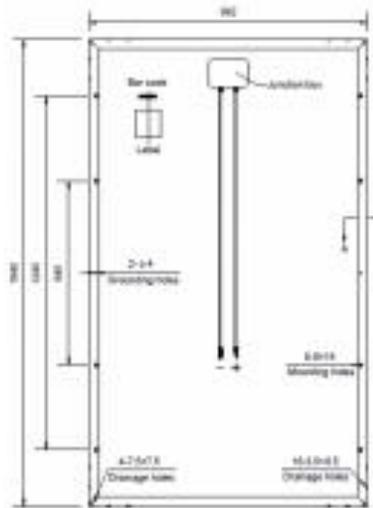
Módulo fotovoltaico AMS 270W

Amerisolar, empresa ubicada en Estados Unidos, tiene una trayectoria y experiencia en la fabricación de módulos de 19 años. Sus módulos, gracias a los más estrictos estándares de calidad y control, ofrecen una alta eficiencia de hasta 16,29% y la mejor garantía frente a cualquier otro módulo del mercado: 12 años de garantía de producto y una garantía de potencia lineal de hasta 30 años.

Los módulos Amerisolar disponen de certificados UL, TÜV, KTL, MCS, CEC, ISO9001, ISO14001, OHSMS18001.



Visualización



Características técnicas

Medida	AMS270
Potencia máxima (P _{max}) [w]	270
Voltaje a potencia máxima (V _{mp}) [V]	31.1
Intensidad a potencia máxima (I _{mp}) [A]	8.69
Voltaje en circuito abierto (V _{oc}) [V]	38.4
Intensidad de cortocircuito (I _{sc}) [A]	9.06
Eficiencia del módulo	16.60

Tomada de: www.monsolar.com

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Anexo 3. Ficha técnica del inversor-cargador seleccionado.



MultiPlus	12 voltios 24 voltios 48 voltios	C 12/800/35 C 24/ 800/16	C 12/1200/50 C 24/1200/25	C 12/1600/70 C 24/1600/40	C 12/2000/80 C 24/2000/50	12/3000/120 24/3000/70 48/3000/35	24/5000/120 48/5000/70
PowerControl		SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
PowerAssist		SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
Commutador de transferencia (A)		16	16	16	30	16 6 50	100
INVERSOR							
Rango de tensión de entrada (VCC)	9,5 – 17V 19 – 33V 38 – 66V						
Salida	Tensión de salida: 230 VAC ± 2% Frecuencia: 50 Hz ± 0,1% (1)						
Potencia cont. de salida a 25°C (VA) (3)	800	1200	1600	2000	3000	5000	
Potencia cont. de salida a 25°C (W)	700	1000	1300	1600	2400	4000	
Potencia cont. de salida a 40°C (W)	650	900	1200	1400	2200	3700	
Potencia cont. de salida a 65°C (W)	400	600	800	1000	1700	3000	
Pico de potencia (W)	1600	2400	3000	4000	6000	10,000	
Eficacia máxima (%)	92 / 94	93 / 94	93 / 94	93 / 94	93 / 94 / 95	94 / 95	
Consumo en vacío (W)	8 / 10	8 / 10	8 / 10	9 / 11	20 / 20 / 25	30 / 35	
Consumo en vacío en modo de ahorro (W)	5 / 8	5 / 8	5 / 8	7 / 9	15 / 15 / 20	25 / 30	
Consumo en vacío en modo de búsqueda (W)	2 / 3	2 / 3	2 / 3	3 / 4	8 / 10 / 12	10 / 15	
CARGADOR							
Entrada CA	Rango de tensión de entrada: 187-265 VCA Frecuencia de entrada: 45 – 65 Hz Factor de potencia: 1						
Tensión de carga de "absorción" (V CC)	14,4 / 28,8 / 57,6						
Tensión de carga de "flotación" (V CC)	13,8 / 27,6 / 55,2						
Modo de almacenamiento (VCC)	13,2 / 26,4 / 52,8						
Corriente de carga batería auxiliar (A) (4)	35 / 16	50 / 25	70 / 40	80 / 50	120 / 70 / 35	120 / 70	
Corriente de carga de la batería de arranque (A)	4 (solo modelos de 12 y 24V)						
Sensor de temperatura de la batería	Sí						
GENERAL							
Salida auxiliar (5)	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	Sí (16A)	Sí (25A)	
Relé programable (6)	Sí						
Protección (2)	a – g						
Puerto de comunicación VE.Bus	Para funcionamiento paralelo y trifásico, supervisión remota e integración del sistema						
Puerto de comunicaciones de uso general	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	Sí	Sí	
On/Off remoto	Sí						
Características comunes	Rango de temp. de trabajo: -40 a + 65°C (refrigerado por aire) Humedad (sin condensación): máx 95%						
CARCASA							
Características comunes	Material y color: aluminio (azul RAL 5012) Categoría de protección: IP 21						
Conexión de la batería	cables de batería de 1,5 metros			Pernos M8	Cuatro pernos M8 (2 conexiones positivas y 2 negativas)		
Conexión 230 V CA	Conector G-ST18i			Abrazadera de resorte	Bornes de tornillo de 13 mm ² (6 AWG)	Pernos M6	
Peso (kg)	10	10	10	12	18	30	
Dimensiones (al x an x p en mm.)	375x214x110			520x255x125	362x258x218	444x328x240	

Tomada de: www.monsolar.com

Anexo 4. Ficha técnica de la estructura para módulos seleccionada.

ESTRUCTURAS SOLARES

ESPECIFICACIONES

El sistema de montaje modular construido en aluminio le ofrece una opción duradera, dinámica y de fácil instalación en las aplicaciones de paneles fotovoltaicos.

Gracias a sus sistema de montaje modular le permite instalar cualquier cantidad de paneles fotovoltaicos partiendo de la combinación e interconexión de 3 tipos de módulos:

- Módulo básico (base) para 4 paneles
- Módulo de extensión para 4 paneles
- Módulo de extensión para 2 paneles

Seleccionados de acuerdo a la cantidad de filas y los paneles máximos en cada una de ellas.

VENTAJAS

- Mayor durabilidad: las estructuras son construidas en aluminio
- Mayor rendimiento: ángulo de inclinación ajustable 0°, 10°, 15° y 20°
- Menores tiempos de instalación: ya que la estructura es entregada pre-ensamblada para facilitar su instalación y además es diseñada para realizar el montaje de los paneles con sólo dos herramientas (llave de media pulgada y llave Allen de 6 mm)
- Menores tiempos de montaje: todos los elementos de fijación son fácilmente colocados en la posición deseada
- Mayor flexibilidad: el sistema de montaje modular le permite ampliar su instalación fotovoltaica de manera práctica, ágil, segura y sencilla
- Su diseño permite la instalación de la mayoría de los paneles fotovoltaicos (consulte la sección de dimensiones)
- Incluye robustas anclas de acero inoxidable
- Sistema de anclaje con altura regulable
- Resistente: la estructura está diseñada para soportar vientos continuos de hasta 120 km/hr (valor considerado a 20° de inclinación, con soportes triangulares espaciados cada 2 metros)
- Tornillos en acero inoxidable
- Instalación en techos planos e inclinados



MATERIALES PRINCIPALES DE CONSTRUCCION

Aluminio: AL 6005-T5
Acero inoxidable: SUS304

MONTAJE

- Techos planos
- Techos inclinados

DESCRIPCIÓN DEL CÓDIGO

VENTO4BASIC

Serie

Montaje máximo de paneles
4= 4 paneles

Tipo de estructura
BASIC: Básica
ADIC: Adicional

TABLA DE SELECCIÓN

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
VENTO4BASIC	ESTRUCTURA BÁSICA DE ALUMINIO PARA 4 MÓDULOS FV
VENTO4ADIC	ESTRUCTURA ADICIONAL DE ALUMINIO PARA 4 MÓDULOS FV
VENTO2ADIC	ESTRUCTURA ADICIONAL DE ALUMINIO PARA 2 MÓDULOS FV

Tomado de: bmasdigital.com/image/data/Manuales/Serie-Soportes_Solares_AURA_ft.pdf

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

REFERENCIAS

- Bolufer, P. (15 de marzo de 2013). Recuperado el 10 de julio de 2018, de <http://www.interempresas.net/Alimentaria/Articulos/107082-Estabilizacion-de-alimentos-por-calentamiento-no-ohmico.html>
- Bosch. (3 de enero de 2017). *Tipos de secadoras*. Obtenido de <http://innovacionparatuvida.bosch-home.es/que-tipos-de-secadoras-existen/>
- Cengel , Y. A., & Cimbala, J. M. (4 de enero de 2012). *Mecanica de Fluidos* (2da ed.). Mexico: Mc Graw Hill.
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2015). *Termodinámica* (8va ed. ed.). Mexico: McGraw Hill.
- Connera. (2018). *Soporte solar Aura*. Obtenido de https://www.bmasdigital.com/image/data/Manuales/Serie-Soportes_Solares_AURA_ft.pdf
- Departamento Técnico de SunFields Europe. (2019). Obtenido de <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/puesta-a-tierra-de-instalaciones-con-placas-solares/>
- Extrusax. (2017). *Catálogo de perfiles de aluminio normalizados*. Obtenido de <http://www.extrusax.com/imagenes/descargas/es/12/STANDARD%20PROFILES%20-%20PERFILES%20NORMALIZADOS.pdf>
- Flakt. (2019). *Tecnología de Ventiladores* . Obtenido de <http://www.flakt.com.mx/tecnolog%C3%ADa.html>
- Fondear. (2018). *Controlador de carga*. Obtenido de http://www.fondear.org/infonautic/Equipo_y_Usos/Electricidad_Energia/ControladorCarga/ControladorCarga.htm
- Garcia Tirado, L. F. (2016). *Evaluacion de factibilidad de implementar generacion distribuida fotovoltaica que permita aumentar la cobertura y la confiabilidad de energia en sectores rurales del operador de red*. Bogota : Universidad Nacional de Colombia .
- Green, M. A., Hishikawa, Y., Dunlop, E. D., Levi , D. H., Hohl-Ebinger, J., Yoshita, M., & Ho-Baillie, A. W. (25 de DICIEMBRE de 2018). Solar cell efficiency tables (version 53). *Progress in photovoltaics*, 3-12. Obtenido de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/pip.3102>
- Hissuma. (2018). *Inversores off-grid*. Obtenido de <https://www.hissuma-materiales.com.ar/energia-solar-y-eolica/energia-electrica-solar/inversores/inversores-off-grid/inversor-offgrid-1kw-220v/>

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

IDEAM. (2015). *Atlas de radiación*. Obtenido de <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>

Maximosolar. (6 de enero de 2017). Obtenido de <http://www.maximosolar.com/es/aprende/como-funciona>

Milar. (2018). *Centrifugado de lavadora*. Obtenido de <https://www.milar.es/blog/funcion-centrifugado-una-lavadora-caracteristicas-tipos-velocidades/>

Monsolar. (2018). Obtenido de <https://www.monsolar.com/inversor-cargador-victron-multiplus-c-24-1200-25-24v-1200w-cargador-25a.html>

Nergiza. (23 de marzo de 2015). *Secadoras de ropa*. Recuperado el 13 de julio de 2018, de <https://nergiza.com/secadoras-de-ropa-evacuacion-condensacion-o-bomba-de-calor/>

Neumática y sensores del sur oeste. (2019). Obtenido de www.neumaticaysensoresdelsuroeste.com/relevadores-y-temporizadores

Ochoa, S. H. (2018). *Planta Piloto de Fermentaciones - proceso de secado*. Obtenido de <http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/sho/Secado.pdf>

Paneles solares. (2019). Obtenido de <https://panelessolaresfotovoltaicos.org/instalacion-de-paneles-solares-tipos-de-baterias-utilizadas-para-almacenar-energia-solar/las-mejores-baterias-solares/>

Periodico Energía. (2018). Obtenido de <https://elperiodicodelaenergia.com/vanadio-el-metal-precioso-que-puede-revolucionar-el-almacenamiento-energetico/>

Presis. (2018). *Presis resistencias electricas*. Obtenido de <https://www.resistenciaselectricaspresis.com/www.resistenciaselectricaspresis.com//presis@colombia.com/vp3083/sp/>

Renovgal. (4 de enero de 2017). Obtenido de http://www.renovgal.es/solar_fotovoltaica

Sanisidrolonas. (2014). Obtenido de <http://www.sanisidrolonas.com.ar/telas-plasticas/tela-carioca#.W2o8NtJKjIU>

Siteingenieria. (3 de enero de 2017). Obtenido de <http://www.siteingenieria.com/resistenciabobibadeaire.html>

Tecniciencia. (31 de marzo de 2015). Recuperado el 11 de julio de 2018, de <http://eqipoceintifico.blogspot.com/2015/03/secadoras-kenmore.html>

Termocuplas . (2019). Obtenido de <http://www.termocuplas.com.co/product/controlador-pid-de-temperatura/>

TIBO.BO. (2018). *TIENDAS TIBO*. Obtenido de <http://www.tibo.bo/tiendasbolivia/electrolux-secadora-de-ropa-de-6-kg.html>

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

TME. (2019). Obtenido de <https://www.tme.eu/es/details/4414h/ventiladores-de-cc-24v/ebm-papst/4414-h/>

Unicrom. (3 de enero de 2017). Obtenido de <https://unicrom.com/resistencias-de-alambre-bobinado/>

Vallana, M. (2019). Obtenido de <https://www.marcovallana.com.ar/product/termocuplas/>

Villanueva Montoto, J. L. (2018). CADe_SIMU. Obtenido de <http://personales.ya.com/canalPLC>

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FIRMA ESTUDIANTES Julian Lopez Garcia
Carlos Andrés Gómez y.

FIRMA ASESOR [Handwritten Signature]

INFORME FINAL APROBADO 6:00 PM FECHA ENTREGA: 28-03-2019

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO ___ ACEPTADO ___ ACEPTADO CON MODIFICACIONES _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____