

## **Maestría en Ingeniería Electrónica**

**Desarrollo de una Solución de Generación Eléctrica, Modular, Autónoma, No Contaminante y Obtención de Agua Potable a Partir de la Humedad del Aire, que Requiera Poco Mantenimiento y Sea de Bajo Costo.**

**Miguel González Domínguez**

**Bogotá, D.C., 15 de febrero de 2018**

**Desarrollo de una Solución de Generación Eléctrica, Modular, Autónoma, No Contaminante y Obtención de Agua Potable a Partir de la Humedad del Aire, que Requiera Poco Mantenimiento y Sea de Bajo Costo.**

**Tesis para optar al título de magíster en Ingeniería Electrónica.**

**Director de Tesis Ingeniero Giovanni Baquero Roso.  
Magister en Ingeniería Electrónica**

**Jurado: Ingeniero Jesús Fidernan Barrera Cobos  
Jurado: Ingeniero Antonio Josué Garzón Gaitán**

**Bogotá, D.C., 15 de febrero de 2018**



La tesis de maestría titulada “Desarrollo de una Solución de Generación Eléctrica, Modular, Autónoma, No Contaminante y Obtención de Agua Potable a Partir de la Humedad del Aire, que Requiera Poco Mantenimiento y Sea de Bajo Costo” presentada por Miguel González Domínguez, cumple con los requisitos establecidos para optar al título de Magíster en Ingeniería Electrónica con énfasis en Control.

Jurado: Ingeniero Jesús Fidernan Barrera Cobos.

Jurado: Ingeniero Antonio Josué Garzón Gaitán.

Director de Tesis Ingeniero Giovanni Baquero Roso.

Magister en Ingeniería Electrónica

Bogotá, D.C., 15 de febrero de 2018

Dedicatoria:

*Dedico este modesto trabajo en primer lugar a Dios fuente de todas las energías, a mis padres dadores de mi existencia y guías de mis primeros pasos en la vida, a mis maestros desde la primaria hasta la universidad en sus diferentes escalones que han querido compartir sus conocimientos y han tenido paciencia, ya que aprender a veces no es fácil, a mi familia, mi esposa, mis hijos, que me han acompañado en mis proyectos de vida y a Colombia mi patria querida a la cual le debo mucho más de lo que he podido recibir y hacer y siempre le estaré en deuda.*

*“La preocupación por el hombre y su destino siempre debe ser el interés primordial de todo esfuerzo técnico. Nunca olvides esto entre tus diagramas y ecuaciones.”*

*(Albert Einstein)*

Agradecimientos: Agradezco a todos los profesores de la Escuela Colombiana de Ingeniería que han colaborado con este servidor a través de su enseñanza y orientación, en especial al Ingeniero Alexander Pérez Director del programa de la Maestría por su paciencia y guía en los diferentes temas abordados.

Muy especial agradecimiento al Ing. Giovanni Baquero Tutor de este trabajo, quien le dedicó tiempo para solventar deficiencias del suscrito.

A mis compañeros que de alguna u otra manera me colaboraron haciendo, más fácil el regreso a las aulas y tuvieron paciencia con algunas ocurrencias, ya que los tiempos cambian.

A la Universidad Julio Garavito que me ha permitido involucrarme en este programa, mostrándome su organización, calidad y empeño por trabajar por el país y su gente.

Muchas gracias

## Resumen Ejecutivo

El presente trabajo es una aproximación a una solución práctica que viene reclamando cada vez con mayor urgencia la sociedad moderna, en referencia a la obtención de energía eléctrica a partir de fuentes naturales no contaminantes como son el aprovechamiento de la radiación solar y las corrientes del viento a la par que la obtención de agua potable a partir del recurso de la humedad del aire que puede ser una alternativa viable, para habitantes distantes de centros urbanos y que en determinadas circunstancias no cuentan con esos servicios básicos de sobrevivencia y muy posible no están en los planes de incorporación de entes gubernamentales.

El Trabajo consta de los siguientes puntos:

- Establecer la hipótesis de que es posible la solución a costos razonables.
- Estudio de las tecnologías existentes aplicables al trabajo.
- Planteamiento de los objetivos
- Metodología empleada para llegar a la solución.
- Ensamblaje del prototipo de la solución
- Análisis pruebas y mediciones
- Conclusiones

## Abstract:

This Academic Job approximates a practical solution, that the modern society is being reclaimed about obtain electricity for rural far homes obtained from no contaminants and renewable resources, like solar radiance and wind source, at the same time obtain water from air humidity that can help people normal marginalized from big projects that normally covers cities and towns. It can become be an economical alternative solution, friendly with the ambient and easy to implement especially for dry regions and places affected for consequences of “Niño” phenomenon and other natural and geographical restriction in Colombia and other places in the region.

The main parts of this job are:

- Problem statement
- Hypothesis set up for possible solution of problem.
- Existing technologies study.
- Objectives set up.
- Methodology to get the solution.
- Prototype design and assembling.
- Test and analysis.
- Conclusions.

## INDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN.....	10
2. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA A RESOLVER.....	10
2.1 Descripción del problema.....	10
2.2 Abundancia de recursos vs escasos.....	11
3. JUSTIFICACIÓN.....	11
3.2 Planes de expansión de Energía Eléctrica en Colombia.....	12
3.3 Agua en el contexto mundial y colombiano.....	12
3.4 Población semi-rural y pequeños poblados en épocas de sequía.....	14
3.5 Otras razones de Justificación del Proyecto.....	14
4. OBJETIVOS.....	14
4.1 Objetivo General.....	14
4.2 Objetivos específicos.....	15
4.3 Solución propuesta y alcances del trabajo.....	15
5. MARCO TEORICO.....	16
5.1 Fuentes de Energía.....	16
5.1.1 Energía Solar. Estado del arte en el Mundo.....	16
5.1.2 Panel solar foto-voltaicos.....	18
5.1.3 Eficiencia vs Costo de las Celdas Solares.....	18
5.1.4 Variable Radiación Solar.....	19
5.1.5 Zonas latitudinales.....	20
5.2 Energía Eólica.....	26
5.2.1 Variable Energía del viento.....	28
5.3 Bus DC.....	29
5.3.1 Controlador (Regulador) de carga híbrido solar-Eólico 12 VDC.....	30
5.3.2 Baterías.....	31
5.3.3 Inversor de voltaje DC-AC para cargas AC.....	32
5.4 Generación de Agua.....	32
5.4.1 El Agua en Colombia.....	32
5.4.2 Variable Humedad del aire.....	34

5.4.3 Equipo Condensador de agua. ....	36
6. DISEÑO METODOLOGICO PARA EL PROTOPIPO .....	38
6.1. Determinación de las variables:.....	38
6.1.1 Variables Irradiancia solar, velocidad del viento, humedad del aire. ....	40
6.1.3 Parámetros de diseño para el prototipo: .....	45
6.1.4 Variable Agua Potable .....	46
6.2 Diseño y cálculo del Prototipo .....	47
6.2.1 Cálculos eléctricos con energía solar:.....	48
6.2.2 Cálculos eléctricos con energía mixta solar-Eólico:.....	50
6.2.3 Generador Eólico para el Proyecto .....	51
6.3 Construcción del Prototipo .....	55
6.3.1 Construcción de las bases de soporte .....	55
6.3.2 Hoja de datos Panel solar .....	57
6.3.3 Hoja de datos de Generador eólico.....	57
6.3.4 Controlador híbrido solar-eólico para el Proyecto .....	57
6.3.5 Controlador propio del generador eólico .....	58
6.3.6 Baterías. ....	59
6.3.7 Equipo condensador de agua .....	60
6.4 Protocolo de medidas y de análisis .....	63
6.4.1 Escenario Uno .....	63
6.4.2 Escenario Dos .....	64
6.4.3 Criterios de selección del escenario para el trabajo .....	66
6.4.4 Mediciones Ambientales: .....	66
6.4.5 Mediciones Eléctricas: .....	77
6.4.6 Mediciones de la cantidad y Calidad del Agua .....	96
7 CRONOGRAMA .....	103
8 COSTOS REALES DEL PROTOTIPO.....	103
9 METODOLOGIA PARA DISEÑO E IMPLEMENTACION DE PROYECTOS AFINES .	106
9.1. Etapas de la metodología.....	106
9.2. Factibilidad y Viabilidad del proyecto.....	108
9.3 Herramienta de simulación.....	109
9.4. Proyecto.....	110

10 SINTESIS DE RESULTADOS OBTENIDOS RESPECTO A LOS OBJETIVOS .....	112
11 CONCLUSIONES .....	113
12 Anexos.....	115
LISTA DE FIGURAS.....	137
LISTA DE TABLAS .....	139
Referencias .....	141
Software utilizado: .....	142

## 1. INTRODUCCIÓN

Hay elementos vitales para la supervivencia del hombre como: la disponibilidad de agua en condiciones óptimas, tener alimento necesario y poderlo conservar adecuadamente para su consumo. Otros factores que para el hombre moderno se han hecho indispensables son la disponibilidad de electricidad y las comunicaciones. Debido al crecimiento de la población y a otros factores sociales y ambientales como la contaminación del agua y del aire, el cambio climático, el calentamiento global y el fenómeno del niño, que afectan directamente a la población, en particular a la campesina e indígena que habita en viviendas distantes o rurales y que carece en gran medida de los elementos vitales e indispensables para el normal desarrollo de la vida y las actividades familiares, es necesario buscar alternativas que garanticen la disponibilidad al menos de una solución básica de generación de energía eléctrica de fuentes alternativas, para obtener agua potable en forma autónoma. Consideramos que, debido a la problemática mundial de la escasez de agua en muchas zonas, agudizada por los fenómenos naturales, aspiramos a que éste proyecto llegue a ser un aporte técnico y de alcance social importante para esas comunidades vulnerables de nuestro país y otras latitudes.

La investigación y los desarrollos tecnológicos en las universidades, enriquecen la base del conocimiento, buscan nuevas formas y metodologías de solución a los problemas que se plantea la sociedad y los países, de acuerdo a la disciplina de la ciencia que se aborde, pero fundamentalmente consideramos debe dar soluciones factibles y realizables. El presente trabajo estará enfocado al diseño y construcción de un prototipo de generación de energía eléctrica de fuentes solar y Eólica para alimentar un equipo productor de agua en base a la humedad del aire. El diseño estará basado en las condiciones atmosféricas reales de un sitio, pero los cálculos y simulaciones matemáticas se podrán utilizar para cualquier entorno, ya que se estudiarán las principales variables atmosféricas para el caso como son: La radiación solar, las corrientes y velocidad del viento, la humedad del aire y la temperatura.

## 2. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA A RESOLVER

### 2.1 Descripción del problema.

Existe en la Colombia agraria, población geográficamente dispersa, que no cuenta con disponibilidad de **energía eléctrica** y abastecimiento seguro de **agua potable** gran parte del año, lo cual agudiza varios problemas como el aislamiento, la desnutrición y la existencia de enfermedades diarreicas agudas (EDA). La población más afectada son los menores de edad, quienes, si escapan a la muerte temprana, tienen limitaciones para su desarrollo y desenvolvimiento normal en la vida. Hoy en día se está lejos de garantizar una solución a este tipo de problemas para esa población, debido a que los planes gubernamentales están enfocados en forma prioritaria a centros poblados, ver Plan nacional de desarrollo página

64 “Agua potable y saneamiento básico para vivienda rural” (Departamento Nacional de Planeación de Colombia, Presidencia de la República de Colombia, Congreso de la República de Colombia, 2015), naturalmente debe existir articulación con otras políticas de salud de los gobiernos, para dignificar la vida de esa población marginada y para hacer justicia con el postulado de igualdad entre todos los seres humanos y contribuir con el logro de los objetivos para el desarrollo sostenible (ODS) de las Naciones Unidas(ONU). Ver página 2 “Estamos decididos a poner fin a la pobreza y el hambre en todas sus formas y dimensiones, y a velar por que todos los seres humanos puedan realizar su potencial con dignidad e igualdad y en un medio ambiente saludable” (ONU, 2015) y página 16 “Objetivo 6. Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos” (ONU, 2015) . Ver “Resolución 2115, características del agua para consumo humano en Colombia” (MINISTERIO DE LA PROTECCION SOCIAL MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, 2007).

## **2.2 Abundancia de recursos vs escasos.**

Colombia es un país con abundantes recursos hídricos tanto para el consumo de agua como para la generación eléctrica, sin embargo, existen zonas donde esos recursos son escasos o inexistentes y llevar los mismos a esos sitios remotos es de difícil realización por las distancias y la falta de vías de comunicación terrestre, además que los gobiernos tienen otras prioridades para centros poblados donde también existen problemas de cobertura. El trabajo estará enfocado a resolver los siguientes interrogantes:

- ¿Se puede con las tecnologías existentes hoy en día, obtener autónomamente agua potable a partir de la humedad del aire y generar la energía eléctrica necesaria para el equipo extractor de agua, a partir de la radiación solar y las corrientes del viento a costos razonables dentro de nuestro entorno?
- ¿Es factible desarrollar la solución anterior de tal manera que requiera poco mantenimiento y no necesite insumos extras?

Para contestar las preguntas anteriores y visualizar su aplicación práctica en Colombia, es necesario tener en cuenta algunos aspectos como los planes de expansión de la red eléctrica a corto y mediano plazo y el mapa de necesidad de agua potable por regiones descritos en el capítulo siguiente sobre la justificación del proyecto.

## **3. JUSTIFICACIÓN**

### **3.1 Población rural sin cobertura de servicios de agua y electricidad.**

Una gran parte de los pobladores de áreas rurales apartadas en Colombia, población campesina, indígena y Afrodescendiente calculada en más de 9 millones de personas, que vive fuera de centros poblados no están contemplados dentro de los planes actuales inmediatos de abastecimiento de agua potable controlada, por la falta de la inversión necesaria, porque no son considerados planes prioritarios o por algunas otras razones de política económica.

El no tener disponible en muchos sitios dispersos agua potable para el consumo humano es la causa de enfermedades diarreicas en especial para la población infantil, también la desnutrición y otras enfermedades ligadas al consumo de agua no apta para consumo humano.

La falta de electricidad, aísla más a esas personas ya que no pueden tener comunicación pronta con otros sitios en especial en casos de calamidades y catástrofes y los condena al olvido y al ostracismo.

### **3.2 Planes de expansión de Energía Eléctrica en Colombia**

De acuerdo a la UPME (Unidad de Planeación Minero Energética de Colombia) entidad gubernamental encargada de la planeación de expansión eléctrica del país, y de acuerdo a los planes actuales, hay Departamentos como la Guajira y los Departamentos de la Orinoquía, Amazonía y El Chocó entre otras regiones, que por razones de su distancia y altos costos para la interconexión seguirán generando electricidad localmente con Diésel, para los poblados urbanos o semiurbanos. Ver Documento público Plan Indicativo de Expansión de Cobertura de Energía Eléctrica 2013 – 2017, página 60 “Figura 10 Mapa de Infraestructura eléctrica oferta” y página 98 “Figura 22 Mapa de centros poblados inter conectables y no inter conectables” (Unidad de Planeación Minero Energética Colombia, 2014).

Los pobladores de áreas rurales apartadas, fuera de centros poblados no están contemplados dentro de los planes actuales de expansión eléctrica al menos durante los próximos años. Para esas regiones y otras similares del país está enfocada la solución planteada de este proyecto de generación local, autónoma, no contaminante. En Colombia existen algunas instalaciones de generación de energía eléctrica en base de la radiación solar y corrientes del viento como el parque Eólico Jeripachi en la Guajira y Gaviotas en los llanos orientales y algunas instalaciones particulares pequeñas con energía solar en particular en las universidades y haciendas lejanas en los llanos orientales, sin embargo a partir de la promulgación de la ley 1715 de Mayo de 2014 se han abierto nuevas perspectivas de inversión para el desarrollo de dichas tecnología en el país como una alternativa seria y sólida además de amigable con el medio ambiente.

### **3.3 Agua en el contexto mundial y colombiano**

El agua (H<sub>2</sub>O) es el elemento vital indispensable para el desarrollo y conservación de la vida, tanto para el reino vegetal como para el reino animal y por ende para el Hombre. La tierra, símbolo de fertilidad está compuesta en un 70% de agua en sus diferentes estados. Sin embargo, solo el 2.5 % del agua total, es agua dulce, que podría ser apta para consumo humano. Lamentablemente con el desarrollo de actividades humanas y poblamiento de la tierra, gran parte de esa agua dulce se ha ido contaminando, disminuyendo en muchos sitios la oferta para la supervivencia humana. De acuerdo a estudios de la NASA (Administración nacional de la Aeronáutica y del espacio Usa) Ver: “Agua 10 datos desconocidos” (NASA, Cuido el agua.org, worldbank.org, National geographic., 2015) : La falta de agua potable causa la muerte de 4500 niños por día, más

de 2500 millones de personas no tienen acceso directo (cercano) a agua potable, 25 millones de personas mueren al año por causa derivadas de consumir agua no apta para consumo humano. A pesar de los esfuerzos hechos por los gobiernos en los últimos años, impulsados por la ONU, no han sido suficientes. En nuestro país la situación no es tan alejada del contexto mundial. De acuerdo al documento Conpes 3810 de 2014 ver página 46 “Anexo 1. Colombia. Tasa de mortalidad por EDA en menores de 5 años por Departamento. (2011)” (Departamento Nacional de Planeación, 2014) y ver nota técnica del BID IDB-TN-522 página 32 “Gràfica17. Acceso a agua segura. Países que no alcanzaron la meta al 2011” (BID, Martin Soulier Faure Jorge Ducci Mariano Altamira Alejandra Perroni, 2013). De acuerdo a dicho informe Colombia para el año 2015 debería tener un cubrimiento del 85% de disponibilidad de “Agua Segura” y un 70% de saneamiento básico para la población rural de aproximadamente 9.5 millones (23.5% de la población), plan que no se cumplió y estuvo muy por debajo del tope mínimo del 80%, por lo cual es necesario realizar en el plan 2015-2030 cuantiosas inversiones para agua potable y saneamiento básico tanto en el sector urbano como en el sector rural. El fenómeno del cambio climático y del calentamiento global que se ha ido acrecentando en el último siglo, añade un problema adicional al abastecimiento de agua para consumo humano sobre todo para la población que vive distante de los pueblos y de las ciudades. Ver páginas 17 a 21 IDEAM (Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales Colombia): (IDEAM, José Edgar Montealegre Bocanegra, 2007). La materia prima existe en gran parte de esas zonas de altas temperaturas como son el sol y el viento para generar electricidad y aire con humedad relativa (>40%) aceptable para extraer agua. El problema es el costo actual de las tecnologías, Ver tabla 1, razón por la cual éste proyecto tratará de implementar un prototipo con una solución sencilla y económica.

**Tabla 1. Cantidad de energía eléctrica necesaria para producir un 1 m3 de agua segura para consumo humano a partir de diferentes fuentes de agua.**

Fuente	Cantidad de electricidad kWh/m <sup>3</sup>	Nota: Consumo de funcionamiento
Lago o Río	0,37	El más usado hasta ahora, recurso finito
Agua Subterránea	0,48	Recurso finito
Tratamiento de Aguas Residuales	0,62 a 0,87	Solo tratamiento, recurso finito
Reutilización de aguas Residuales	1,0 a 2,5	Recurso finito
Mar	2,58 a 8,5	Disponibile en áreas cerca al mar

Fuente: Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo 2014.

### 3.4 Población semi-rural y pequeños poblados en épocas de sequía.

Son cada vez más frecuentes los cambios naturales imprevistos, veranos prolongados y muy secos dentro del llamado fenómeno del niño que hacen que sitios rurales o semi-rurales no cuenten con agua potable debido al intenso verano y también racionamientos de energía eléctrica debido a que el 75% de la generación del país es hidroeléctrica, y en épocas de sequía esas reservas llegan al mínimo, causando racionamientos tanto en la disponibilidad de energía eléctrica como en el suministro de agua potable.

### 3.5 Otras razones de Justificación del Proyecto

El prototipo diseñado e implementado puede ser la base para futuras soluciones en particular para zonas desérticas de la Guajira y otras regiones similares en Colombia debido a:

**Primero.** La dispersión en la ubicación de la población involucrada hace que las inversiones del estado en redes de energía eléctrica y de agua potable no sean factibles desde el punto de vista técnico y económico, al menos en los siguientes años, porque se han definido otras prioridades para centros urbanos que tienen problemas similares y cobijan a mayor número de población. Ver Mapas de expansión eléctrica 2013-2107 páginas 60 y 98 (Unidad de Planeación Minero Energética Colombia, 2014). Además ya existe en Colombia principios de legislación al respecto de generación eléctrica de fuentes no renovables. Ver página 1 Ley 1715-2014: (Congreso Republica de Colombia, «Archivo de la Presidencia 2010-2014,» 2014. [En línea]. Available: <http://wsp.presidencia.gov.co/Normativa/Leyes/Documents>, 2014)

**Segundo.** Es una alternativa de solución local, autónoma, factible a corto plazo utilizando materia prima local no contaminante.

**Tercero.** Ya existen elementos tecnológicos, como los propuestos en este trabajo, que, si bien aún son costosos, pueden integrarse para dar una solución satisfactoria y a corto plazo. Se espera que poco a poco vayan reduciendo de precio.

**Cuarto.** Sería un proyecto piloto en la dirección correcta de la utilización de fuentes renovables y de conservación del ambiente, teniendo en cuenta que fenómenos como el del niño se agudizarán en el futuro. Ver Informe IDEAM páginas 11, 85 a 87 (IDEAM. José Franklin Ruiz Murcia Físico, 2010)

## 4. OBJETIVOS

### 4.1 Objetivo General

Desarrollar una solución prototipo modular, autónoma, de generación de electricidad por medio del uso de fuentes alternativas no contaminantes, para alimentar un equipo condensador de agua potable.

## 4.2 Objetivos específicos

**Primer objetivo:** Diseñar, verificar, implementar y evaluar un sistema de prueba autónomo, no interconectado (off-Grid), para generar energía eléctrica de fuentes no contaminantes a partir de la radiación solar (Solar) y de las corrientes del viento (Eólica), eficiente y suficiente para la alimentación eléctrica al equipo condensador de agua. La solución debe consumir una potencia eléctrica por debajo de 100 vatios. La extracción de agua debería obtener en lo posible de 1 a 5 litros de agua potable por día. La solución prototipo debe ser, transportable, de poco mantenimiento y cuyo costo no sobrepase el valor de 1000 dólares.

**Segundo objetivo:** Plantear una metodología que indique de una manera práctica el diseño para sistemas de condensación de agua alimentados a partir de fuentes alternas: solar y eólica, de tal manera que se pueda aplicar como herramienta para soluciones a diferentes escalas de producción eléctrica y condensación de agua para otros entornos rurales distantes.

**Tercer objetivo:** Seleccionar los componentes para el prototipo con tecnologías recientes y mejores eficiencias, superiores al 20% para el panel solar, que en lo posible se consiga en el mercado local y este de acuerdo al presupuesto del proyecto. Ver gráfica “Cronología de las eficiencias de conversión logradas en células solares fotovoltaicas” (National Renewable Energy Laboratory de Estados Unidos, 2015).

**Cuarto objetivo:** A partir del sistema de energía eléctrica desarrollado plantear la posibilidad del uso más eficiente de la potencia disponible en un proyecto de energías renovables proponiendo técnicas de manejo del bus DC (Mini-Grid DC) de tal manera que se puedan minimizar las pérdidas eléctricas.

## 4.3 Solución propuesta y alcances del trabajo

A continuación, en la Figura-1 tenemos un diagrama de bloques ilustrativo que describe la solución propuesta en forma conjunta la generación eléctrica y la extracción de agua de la humedad del aire. Los valores presentados son indicativos, los valores reales del proyecto son el resultado de la metodología del diseño de acuerdo al estudio de las variables de entrada: Radiación solar, velocidad del viento y humedad del aire. Por otra parte, al tener generación eléctrica autónoma y sin respaldo de una red, debemos utilizar la energía generada lo más eficiente posible, minimizar las pérdidas bajo el esquema de bus DC.

**Figura-01 Diagrama de bloques Generación mixta solar eólica y Condensación de agua.**

## Solución Básica Energía Eléctrica



Tomadas de internet 15-08-2016. <https://www.microsoft.com/en-us/legal/Copyright/Default.aspx>

## Solución Básica (Continuación) Agua



Tomadas de internet 15-08-2016. <https://www.microsoft.com/en-us/legal/Copyright/Default.aspx>

Figuras individuales tomadas de internet, modificadas y anexadas por el autor 08-09-2016:  
<https://www.microsoft.com/en-us/legal/Copyright/Default.aspx>

Límites del alcance:

- El trabajo se enfocará al diseño, desarrollo y construcción de un prototipo básico de laboratorio que compruebe la factibilidad de funcionamiento conjunto de las partes que lo integran y que pueda en lo posible producir de 1 a 5 Litros de agua en 24 horas.
- La metodología de diseño desarrollada debe ser tal, que se puedan emplear como herramienta en la implementación de soluciones a escalas diferentes utilizando las mismas fuentes naturales y logrando obtener resultados acordes a las variables de entrada. Para la metodología se hará uso en lo posible de módulos de desarrollo cooperativos de la herramienta de Matlab/simulink.

## 5. MARCO TEORICO

### 5.1 Fuentes de Energía

#### 5.1.1 Energía Solar. Estado del arte en el Mundo.

En la generación de electricidad de fuentes alternativas, los países de Europa, en particular Dinamarca, Alemania, España han ido liderando las inversiones en proyectos de esta naturaleza. Ver la Figura-2 siguiente de acuerdo a la asociación suiza "SolarSuperState" que monitoriza periódicamente la generación y uso de la energía solar en el mundo.

**Figura-02 Distribución acumulativa de potencia en el mundo (Vatios)/habitante de energía solar fotovoltaica generada en los países pioneros para el 2015.**

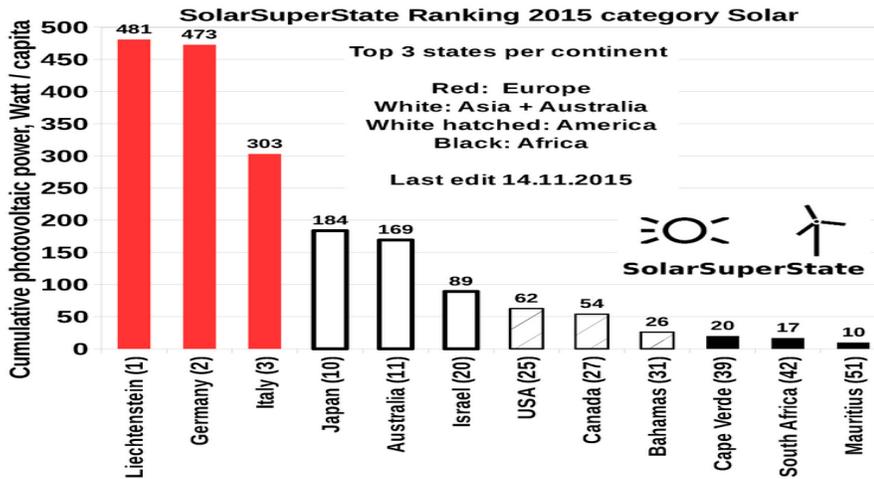


Figura-02 Tomada de internet 08-09-2016: <http://www.solarsuperstate.org>

### Potencial de Generación Eléctrica con energía solar en Colombia.

Se consulta el Atlas de Radiación Solar de Colombia del Ideam. La distribución del brillo solar y la radiación recibida del sol por regiones se muestran en la Figura-03 y 04. Debido a la localización Ecuatorial de Colombia, la radiación solar es alta y permanece durante todo el año con ligeras variaciones, lo cual nos da un excelente potencial para su utilización.

### Figura-03-04 Mapas de distribución del brillo y radiación solar en Kilovatios/Hora/metro por regiones en Colombia.

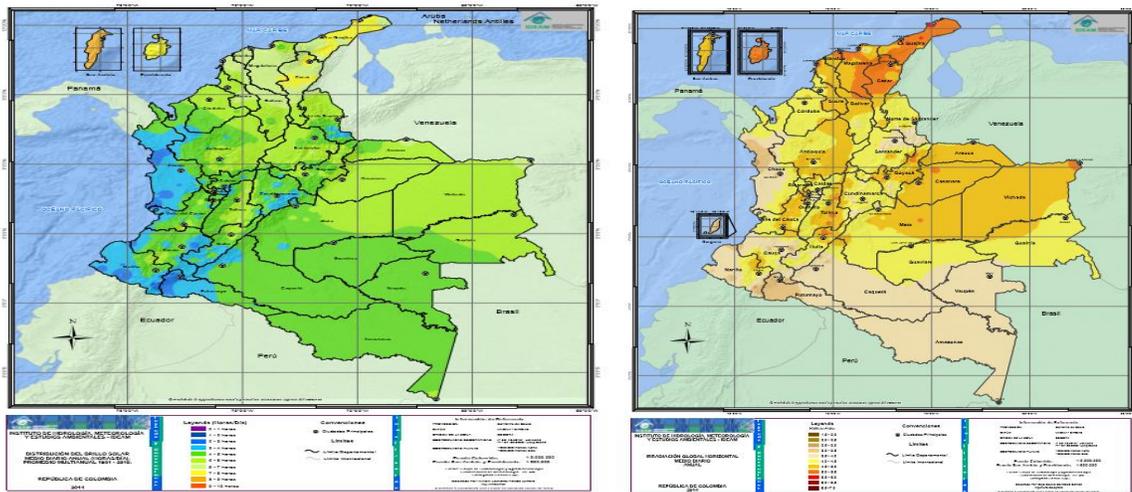


Figura-03-Tomado-de-internet-12-09-2016 <http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/BrilloSolar13.pdf>

Figura-04-Tomado-de-internet-12-09-2016 <http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/Radiacionsolar13.pdf>

En las dos figuras anteriores observamos los mapas por regiones de Colombia, del

potencial de uso de la energía solar como fuente primaria, donde la región Caribe, en particular el Departamento de la Guajira, algunas zonas de las altas montañas Andinas, Regiones de la llanura y Orinoquia y San Andrés y Providencia tienen las más altas tasas de radiación solar llegando hasta un valor de 6 Kilowatts/Hora/metro<sup>2</sup>/día, (Promedio de Colombia 4.3 Kilowatts/Hora/metro<sup>2</sup>/día) superior al promedio mundial, lo cual muestra una fuente muy grande para la generación de energía eléctrica.

## Componentes de un sistema de generación eléctrica con energía solar

### 5.1.2 Panel solar foto-voltaicos

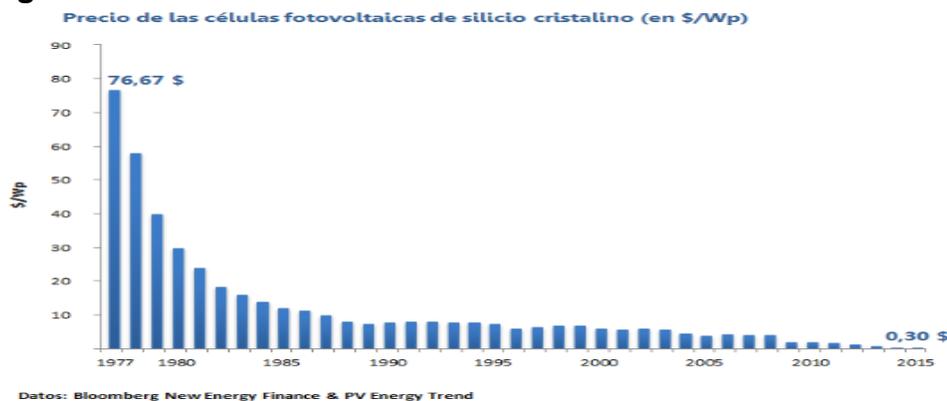
Los paneles solares son la integración geométrica de las celdas solares foto-voltaicas que captan los rayos del sol, organizadas convenientemente para lograr la máxima eficiencia posible y convierten esa energía en electricidad. Las celdas están fabricadas de materiales como el silicio y el arseniuro de galio. A modo de aclaración una celda de silicio expuesta directa a la radiación solar puede producir una energía de 90 W/m<sup>2</sup>, dependiendo del brillo solar y la eficiencia de la celda. El arseniuro de galio se está utilizando más recientemente por ser más eficiente en la captación de la energía, sin embargo, es más costoso.

### 5.1.3 Eficiencia vs Costo de las Celdas Solares

A partir del año 2000 se han ido incrementando las inversiones y nuevos desarrollos teniendo como punto de vista varios factores:

- 1- Incrementar la eficiencia de las celdas solares. Ver Gráfica “Cronología de las eficiencias de conversión logradas en células solares fotovoltaicas” (National Renewable Energy Laboratory de Estados Unidos, 2015)
- 2- Bajar los costos. Ver figura-05
- 3- Utilizar nuevos materiales o combinaciones.
- 4- Se ha logrado bajar los costos hasta un promedio de Us\$-0.30/vatio para el 2015.

**Figura-05- Evolución de los costos celdas de silicio años 1977 a 2015.**



Tomado.internet.27-09-2016

[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8e/Swanson\\_effect.svg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8e/Swanson_effect.svg)

### **Evolución de la eficiencia de las celdas solares años 1975 a 2015.**

De acuerdo al estudio del laboratorio NREL (National Renewable Energy Laboratory de estados Unidos), existen 5 direcciones de investigación y dentro de ellas varias aplicaciones, al respecto, varias compañías y varios países de diferentes continentes vienen liderando el trabajo:

- 1-Celdas multijuntura de Silicio
- 2-Celdas de una juntura de GaAs (Arseniuro de Galio)
- 3-Celdas de Silicio cristalino
- 4-Tecnologías "Thin-Film" de películas delgadas.
- 5-Emergin PV (Photo Voltaic) usando Perovskita.

Se ha logrado eficiencias en pruebas de laboratorio de hasta el 46% en el año 2015.

Se puede consultar información sobre la cronología de las eficiencias de la energía foto voltaica y temas relacionados en la página del NREL "National Renewable Energy Laboratory of USA"

#### **5.1.4 Variable Radiación Solar**

Los términos, cálculos y simulaciones siguientes están basados en los estudios hechos por: (M. Mikati, M Santos, C. Armenta. Universidad Complutence de Madrid., 2012)

La energía solar o IRRADIANCIA solar medida en (vatios/metro<sup>2</sup>) que llega a la tierra en cualquier sitio se define como la radiación solar recibida por metro cuadrado y tiene dos componentes:

- Directa: Radiación que llega directamente del sol a las celdas solares.
- Difusa: Radiación que llega indirectamente al panel solar por diferentes caminos excluyendo el directo.

La Irradiancia total o global es la suma de las dos componentes y está dada por la siguiente expresión matemática:

$$G_t = G_b + G_d \quad \text{Eq-5.1}$$

Donde:

G<sub>t</sub> Irradiancia total

G<sub>b</sub> Irradiancia Directa

G<sub>d</sub> Irradiancia difusa

La radiación solar recibida depende de múltiples factores como:

- Altitud o metros sobre el nivel del mar (Msnm) del sitio donde se coloca el panel solar.
- Latitud del sitio, grados Norte o Sur respecto a la línea Ecuatorial.

- Longitud u orientación meridiana.
- La inclinación del panel respecto a la línea horizontal del terreno.
- La orientación del mismo respecto al sol en el transcurso del día (ángulo horario).
- Condiciones atmosféricas del día como son temperatura, humedad, nubosidad, lluvia, etc.

El efecto de las anteriores variables se expresa mediante el llamado ángulo de incidencia, que se define como el ángulo entre la radiación directa y la línea normal del plano del panel solar o colector, para cualquier hora del día y una orientación dada.

La radiación solar variará menos significativamente a través del año en las áreas tropicales o cerca del ecuador y en mayor forma en las zonas lejos de los trópicos. Para entender mejor se presenta un mapa de la división por zonas del globo terráqueo aceptada internacionalmente en el mundo moderno.

### 5.1.5 Zonas latitudinales

#### Figura-06- Zonas latitudinales de referencia del globo terrestre.

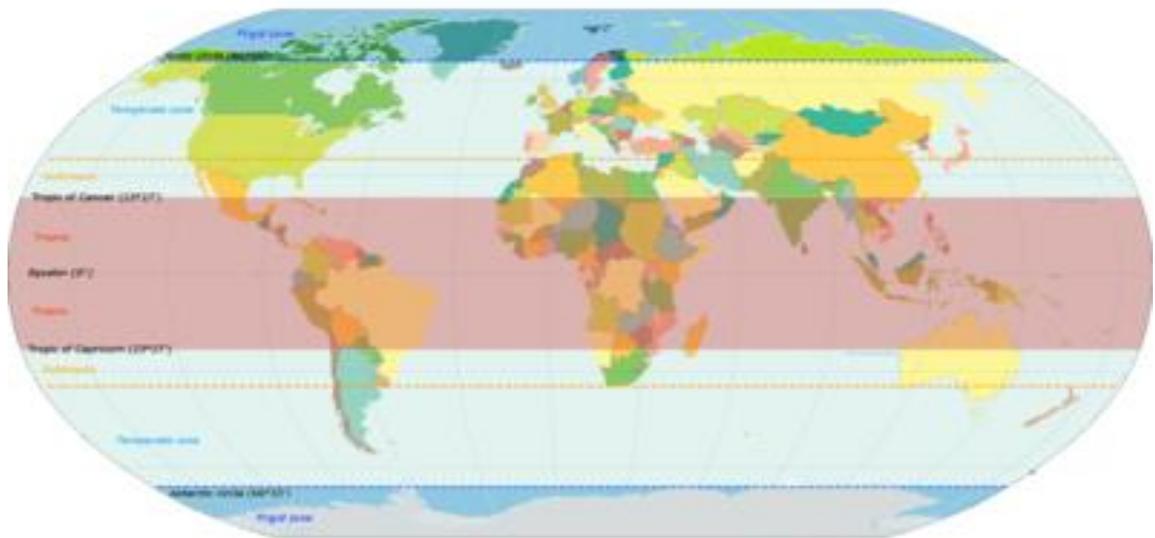


Figura 06 tomada de la página: [https://es.wikipedia.org/wiki/Zonas\\_t%C3%A9rmicas](https://es.wikipedia.org/wiki/Zonas_t%C3%A9rmicas). 29-01-2016.

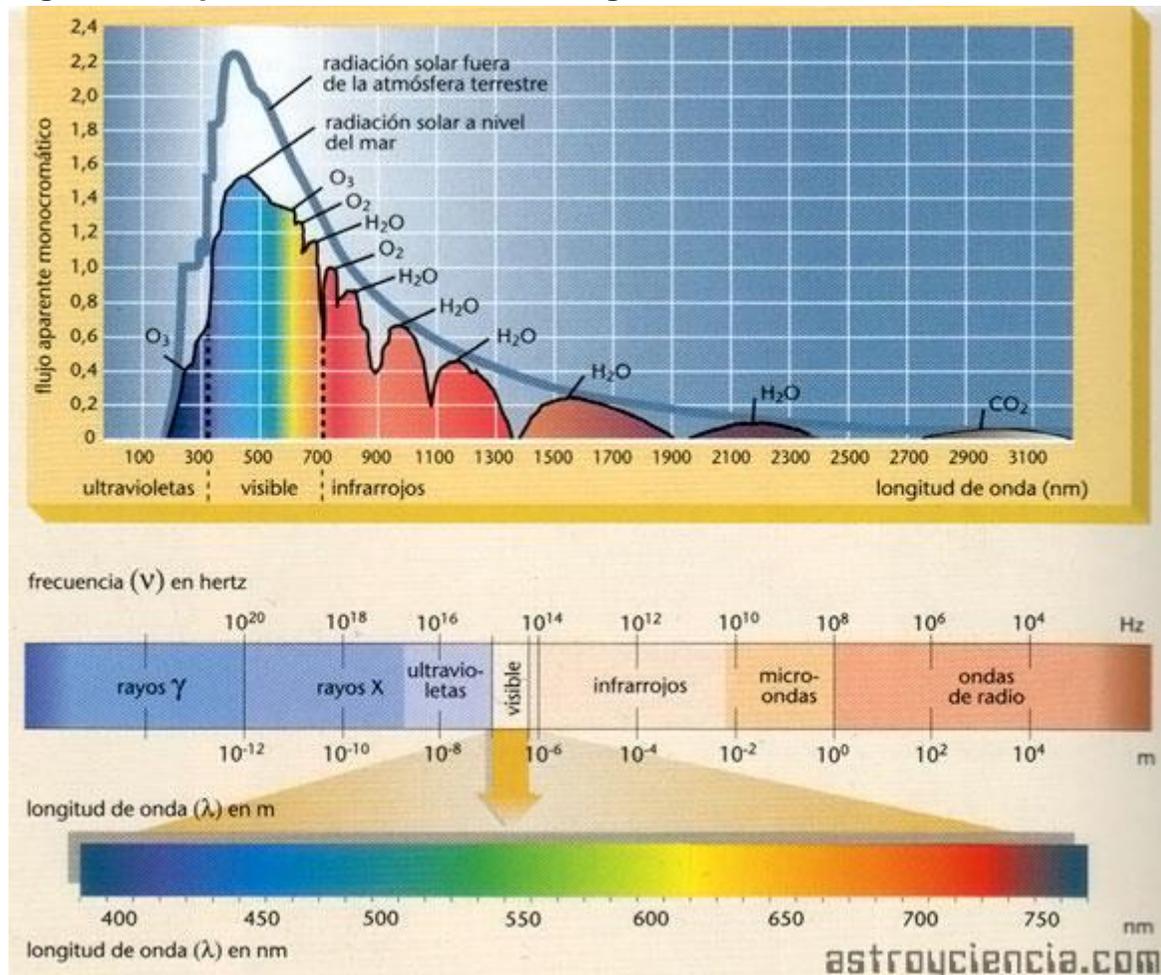
De acuerdo a la figura 5.1 existen 5 grandes zonas en el globo terrestre en referencia a su latitud:

- Zona intertropical: También llamada zona tórrida o tropical, es la que se encuentra entre el Trópico de Cáncer y el Trópico de Capricornio (entre las latitudes 23° 27'N y 23° 27'S).

- Zonas templadas: Se encuentra entre los trópicos Cáncer y Capricornio y los círculos polares 66° 33'N y 66° 33' S.
- Zonas polares: Son las áreas delimitadas por el círculo polar ártico y el círculo polar antártico, entre los 66° 33'N y 66° 33'S y los polos Norte y Sur respectivamente.

La Radiación solar es notablemente menor en el hemisferio Norte a medida que aumenta la latitud y en particular en los meses de octubre a febrero y será también menor en el hemisferio Sur en los meses Abril a agosto, ya que los rayos solares llegarán en forma oblicua al área del colector, teniendo más área a cubrir con la misma energía dando como resultado menor radiación por metro<sup>2</sup>. En la siguiente figura tenemos un diagrama ilustrativo de parte del espectro electromagnético y en particular las ondas recibidas del sol.

**Figura 07 Espectro de ondas electromagnéticas recibidas del sol.**



Tomada de <http://www.astrociencia.com/2012/02/08/tipos-radiaciones-del-sol/> 02-02-2017

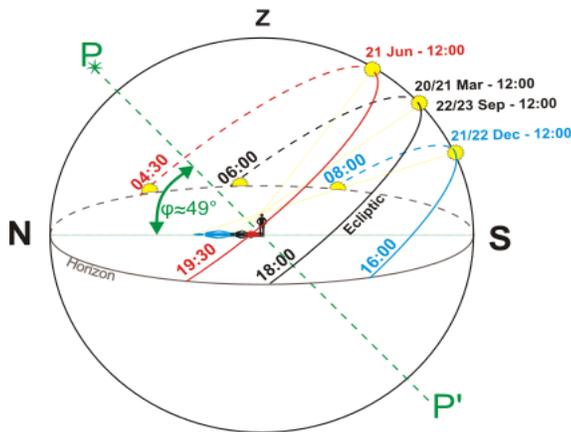
Para comprender mejor lo anterior es necesario tener en cuenta las fechas de los dos Equinoccios (Del latín: día igual que la noche) fechas en la cual el sol se encuentra en el llamado CENIT o perpendicular, es decir a  $90^\circ$  respecto a la línea ecuatorial y la radiación es la mayor en la zona tropical. Ver figura 6.

**Tabla-2. Equinoccio-hemisferios-norte-sur.**

Lugar	Altitud del sol en el equinoccio Angulo de altitud de culminación	Notas
Polo Norte	$0^\circ$	El sol sigue el círculo del horizonte
Círculo polar ártico	$23^\circ$ (Norte)	El sol culmina $67^\circ$ sur del cenit
Trópico de Cáncer	$67^\circ$ (Norte)	El sol culmina $23^\circ$ sur del cenit
Ecuador	$90^\circ$	El sol describe un semicírculo pasando por el cenit
Trópico de Capricornio	$67^\circ$ (Sur)	El sol culmina $23^\circ$ norte del cenit
Círculo polar Antártico	$23^\circ$ (Sur)	El sol culmina $67^\circ$ norte del cenit
Polo Sur	$0^\circ$	El sol sigue el círculo del horizonte

También es necesario tener en cuenta las fechas de los solsticios (Del latín sol quieto) 21 de junio y 21 de diciembre, en las cuales el sol está más cerca y más lejos de uno u otro hemisferio y se refleja en los días más largos o más cortos referente a la presencia de radiación solar en un punto de la tierra. Ver figura 8:

**Figura 08 Fechas de solsticio:** Tomada de <https://es.wikipedia.org/wiki/Solsticio>



Para poder cuantificar la radiación solar disponible en un sitio es necesario tener la simulación de un día solar típico para cada mes del año respecto a la radiación solar y las horas del día teniendo en cuenta la presencia de nubosidad y hacer la comparación con los mapas de organismos especializados en el monitoreo de las variables atmosféricas. Para lo anterior es necesario definir mínimo cuatro tipos de día de la siguiente manera:

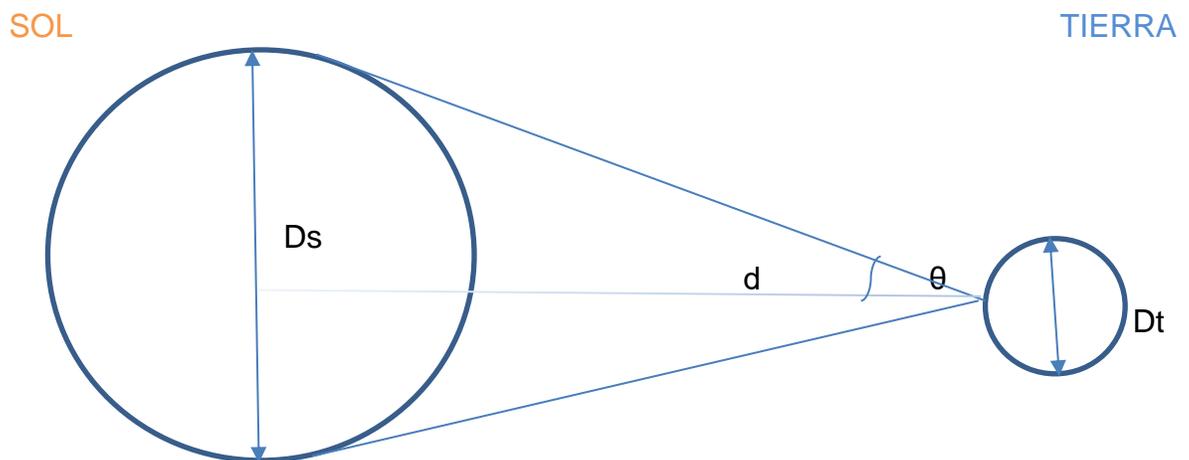
- Día completamente despejado.
- Día parcialmente despejado (poca nubosidad), restringe por períodos cortos la radiación directa.
- Día parcialmente Nublado. (alta nubosidad) que impide la radiación directa por períodos de tiempo prolongados.
- Día completamente nublado. La radiación directa es mínima a lo largo del día.

Estudios especializados de las relaciones de radiación del sol a la tierra hechos por los científicos Duffie and Beckman, 1991 nos posibilitan el uso de tablas para la radiación solar extraterrestre, es decir en ausencia de la atmósfera a través de los meses del año para poder inferir la radiación real en una superficie de la tierra teniendo en cuenta las variables descritas con anterioridad que disminuyen esa radiación recibida realmente en un metro<sup>2</sup> en un sitio determinado.

Ver: Sun-Earth relationships página 27. (John A. Duffie and William A. Beckman; Solar Engineering Laboratory. University of Wisconsin., 1991)

Para lo anterior es necesario tener en cuenta las relaciones de distancias sol y tierra de acuerdo a la figura-09.

**Figura 09. Relaciones de distancia Sol – Tierra.**



Diámetro del sol=  $1.3914 \times 10^9$  metros  
Diámetro de la tierra =  $1.2742 \times 10^7$  metros

Distancia media Sol tierra =  $1,495978 \times 10^{11}$  metros

$\Theta = 16'$ .

$G_{sc} = 1367$  vatios/ metro <sup>2</sup>. Constante Solar,  $G_{sc}$  es la energía recibida del sol por unidad de tiempo, en una unidad de área en la atmósfera de la tierra, recibida en forma perpendicular a la dirección de propagación a una distancia media fuera de la atmósfera. Solo una parte de esa radiación llega a la superficie de la tierra ya que es atenuada en parte por las capas atmosféricas que rodea la tierra. La radiación que llega a la superficie de la tierra se puede dividir en dos formas: radiación directa y radiación difusa.

El coeficiente de transmisión de la radiación directa se define como la relación entre la radiación directa y la Radiación extraterrestre y está dada por la expresión:

$$T_b = G_b/G_o = a_0 + a_1 \exp\{-k/\cos\theta_z\} \quad \text{Eq-5-2}$$

Donde  $G_o$  se obtiene a partir del ángulo cenital,  $\theta_z$ , ángulo entre la normal del plano horizontal y la radiación directa. (John A. Duffie and William A. Beckman; Solar Engineering Laboratory. University of Wisconsin., 1991) Ver Tabla Página 29. Table 1.3.1a Extraterrestrial Solar Irradiance (WRC Spectrum) in Increments of Wavelength

La constante solar extraterrestre  $G_o(G_{sc})$  admitida internacionalmente es de un valor de  $1353 \text{ w/mts}^2$  de acuerdo a la Nasa (USA).

Los parámetros  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $k$  representan las condiciones atmosféricas a partir de las siguientes ecuaciones:

$$r_0 = a_0/a'_0$$

$$r_1 = a_1/a'_1$$

$$r_k = k/k'$$

donde:

$$a'_0 = 0.4237 - 0.00821(6-A)^2 \quad \text{Eq-5.3}$$

$$a'_1 = 0.5055 + 0.00595(6.5-A)^2 \quad \text{Eq-5.4}$$

$$k' = 0.2711 - 0.01858(2.5-A)^2 \quad \text{Eq-5.5}$$

En donde  $A$  es la altitud del lugar en kilómetros,  $r_0$ ,  $r_1$ ,  $r_k$  son las constantes que caracterizan las diferentes zonas climáticas de acuerdo a la tabla siguiente:

**Tabla 3 Parámetros o constantes de corrección según el tipo de clima** (ref. página 90 (John A. Duffie and William A. Beckman; Solar Engineering Laboratory. University of Wisconsin., 1991)

Tipo de clima	r0	r1	rk
Tropical	0.95	0.98	1.02
Latitud media(verano)	0.97	0.99	1.02
Sub-Antártico	0.99	0.99	1.01
Latitud media invierno	1.03	1.01	1.00

Ya tenemos el coeficiente de radiación directa  $t_b$ . El coeficiente del componente de la Radiación difusa se relaciona con el coeficiente de radiación directa mediante la siguiente expresión:

$$T_d = G_d/G_0 = 0.271 - 0.294t_b \quad \text{Eq-5.6}$$

Los conceptos anteriores se han materializado en una hoja de cálculo por medio de la cual podemos hallar la radiación ideal en un punto determinado, teniendo algunos datos del sitio y las tablas del libro "Solar engineering laboratory" de los autores Duffie y Beckman mencionado anteriormente.

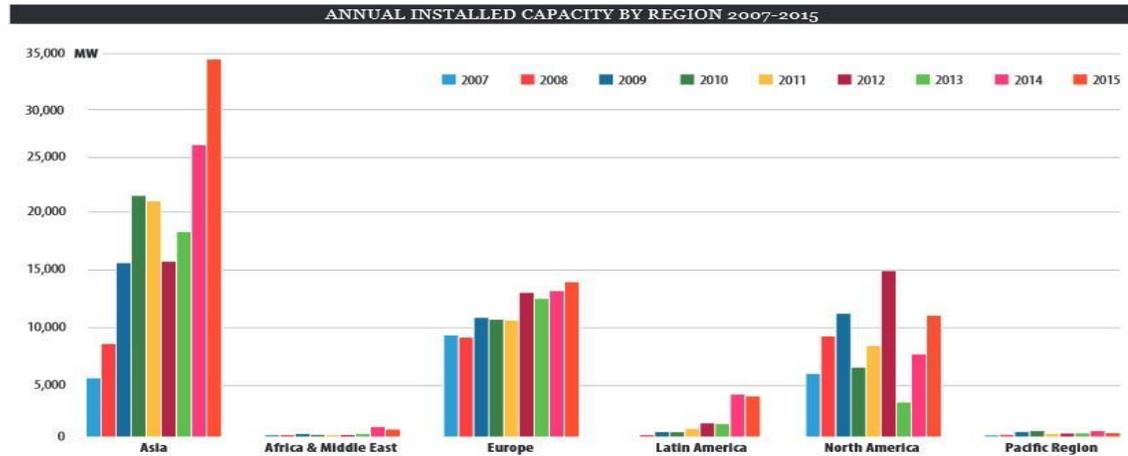
### Figura-10 Cálculo de Irradiancia.

CALCULO DE IRRADIANCIA PARA LINEA DEL ECUADOR(TROPICO), A=2,5 Kms, JUNIO, ANGULO 90°							
TIPO CLIMA	r0	r1	rk	A(Kms)	a'0	a'1	k'
TROPICO	0,95	0,98	1,02	2,5	$a'0=0,4237-(0,008216*(6-F3)*(6-F3))$	$a'1=0,5055+(0,00595*(6,5-F3)*(6,5-F3))$	$k'=0,2711-(0,01858*(2,5-F3)*(2,5-F3))$
LATITUD MEDIA VERANO	0,97	0,99	1,02			0,323054	0,6007
SUB-ANTARTICO	0,99	0,99	1,01				
LATITUD MEDIA INVIERNO	1,03	1,01	1				
G0=Constante solar=1367 watts/mts²					a0	a1	k
θz=Angulo cenital					$a0=r0*a'0$	$a1=r1*a'1$	$k=r0*a'0$
θz=Angulo Normal al plano H y Rd					0,3069013		0,588686
Rd=Radiación directa							0,276522
t <sub>b</sub> =Coeficiente radiación directa					t <sub>b</sub> =Coeficiente radiación directa	G <sub>b</sub> =Radiación directa	t <sub>d</sub> =Coeficiente radiación difusa
t <sub>b</sub> =G <sub>b</sub> /G <sub>0</sub>					$t_b=a0+a1*exp(-k/cosθz)$	G <sub>b</sub> =t <sub>b</sub> *G <sub>0</sub>	$t_d=G_d/G_0=0,271-0,294*t_b$
t <sub>b</sub> =a <sub>0</sub> +a <sub>1</sub> *exp(-k/cosθz)					0,753370731	1029,857789	0,049509005
1367							
G <sub>sc</sub> =Radiación extraterrestre						G <sub>d</sub> =Radiación difusa	
G <sub>0</sub> media-tierra=G <sub>sc</sub> *π*R²/4*R²						G <sub>d</sub> =t <sub>d</sub> *G <sub>0</sub>	
G <sub>0</sub> prom=Irradiancia terrestre w/m²/h						67,67880992	
G <sub>0</sub> =Ver tablas						G <sub>g</sub> =G <sub>b</sub> +G <sub>d</sub>	
G <sub>g</sub> =Radiación prom total watts/mts²/h						1097,536599	
Infrarrojo 49%						537,7929337	
Luz visible 42%						460,9653717	
Ultravioleta 9%						98,77829394	
Energía absorbida por la tierra 70% luz visible watts/mts²/h						322,6757602	
MGD-ECI							

## 5.2 Energía Eólica

En la siguiente Figura-06 vemos la distribución mundial a 2015 de la generación de energía eólica en los años 2007-2015.

**Figura-11 Mapa de capacidad instalada energía eólica por región en el mundo 2007- 2015.**



Tomada de internet 08-09-2016: <http://www.hispantv.com/noticias/sociedad/204770/china-ranking-mundial-energias-renovables>

China lidera la generación Eólica en el mundo. Europa ha hecho grandes inversiones en los últimos años lo mismo que Norte América.

Latino América aparece tímidamente en el ranking actual de la generación tanto solar como eólica, sin embargo, se percibe a nivel internacional como una región con gran potencial hacia el futuro próximo, si los gobiernos, la industria privada y las universidades como semillero pionero en el tema del uso de energías no contaminantes y conservación del medio ambiente, hacen un frente común y se desarrollan proyectos y se buscan las inversiones que catapulten dichas actividades.

La Generación Eólica, debe ser estudiada en cada caso y para cada sitio y por ser un sistema más dinámico y aleatorio, puede ser el respaldo del sistema solar. En zonas costeras donde tradicionalmente existen variadas corrientes de viento, lo mismo que en las altas montañas, es aprovechable mejor este recurso. Sin embargo, el transporte y mantenimiento de la infraestructura, también debe ser un factor a tenerse en cuenta a la hora de instalar un sistema Eólico.

Parámetros como la velocidad y dirección del viento, ver figuras 12 y 13, son muy importantes en la generación Eólica y se exponen a continuación. Otro parámetro muy importante a tener en cuenta cuando vamos a generar energía y agua a partir de la radiación solar, de las corrientes del viento y de la humedad del aire es la temperatura que ralentiza e influye en todos los procesos que se dan en la naturaleza. Ver Mapa Temperatura Colombia. (IDEAM, 2016)

**Figura-12-13 Mapas históricos de Velocidad y dirección de corrientes de viento por Regiones de Colombia de acuerdo al Ideam.**

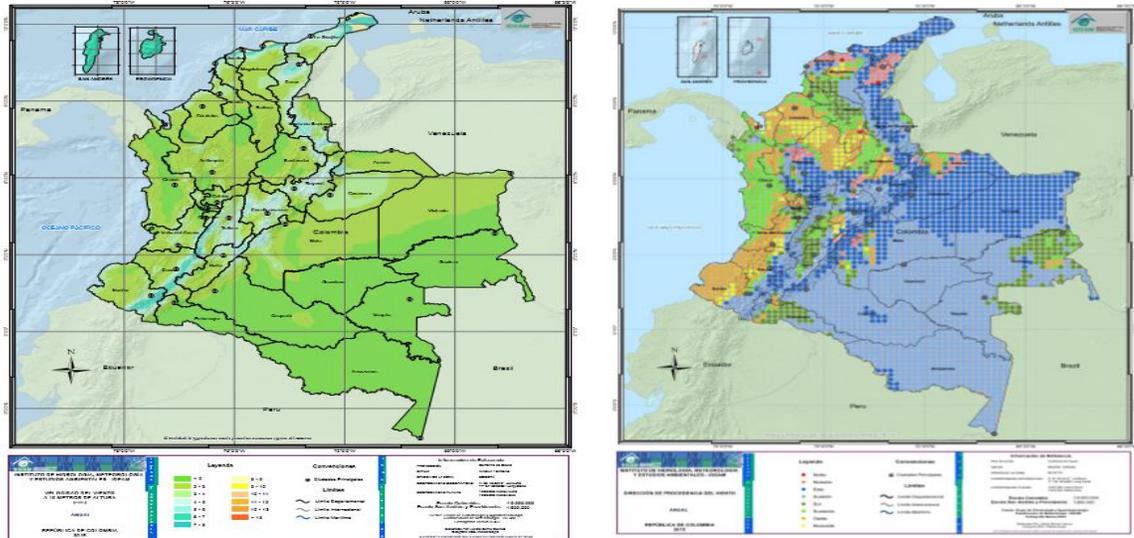


Figura-12-Tomado-de-internet-12-09-2016.  
[http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/Velocidad\\_Col\\_13.pdf](http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/Velocidad_Col_13.pdf)  
 Figura-13-Tomado-de-internet-12-09-2016.  
[http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/Direccion\\_Col\\_13.pdf](http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/Direccion_Col_13.pdf)

La dirección del viento es muy importante a la hora de instalar un sistema Eólico. En nuestro caso el Ideam nos provee esa información base, sin embargo, es necesario la confirmación y ajustes necesarios con las mediciones y observaciones de trabajo de campo en cada sitio. El Sistema generador debe tener la capacidad de girar en los 360° para acomodarse a los cambios de dirección y lograr la mayor transferencia de energía cinemática del viento al rotor del generador. Existen en el mercado internacional muchos tipos y gamas de generadores eólicos para diferentes voltajes y potencias. China lidera el mercado de generadores de bajo consumo, los podemos clasificar en forma general:

- Caseros e Industriales de baja potencia de generación del orden de vatios y de decenas de Kilovatios (Autosuficiencia energética). No conectados a la red eléctrica pública (Off-Grid).
- Industriales. De potencias altas, Decenas de Kilovatios y Megavatios, con conexión a la red eléctrica pública. Ver mayores parques Eólicos del mundo. (Roca., 2015)
- Existen en el mercado generadores DC que traen su propia rectificación y son fácilmente conectados a un Controlador híbrido al cual también se conectan las celdas solares. En las figuras siguientes 14-15 se muestran las características principales de un fabricante particular.

**Figuras-14-15 Generador Eólico tipo 12 VDC de 200 a 400 vatios efectivos**



CARACTERISTICAS PRINCIPALES GENERADOR EOLICO DE 12 VDC FABRICANTE HAWT			
Modelo	FA1-200	FA1-300	FA1-400
Potencia Nom	200 watos	300 watos	400 watos
Potencia Max	250 watos	350 watos	420 watos
Tension Nom	12/24 VDC	12/24 VDC	12/24 VDC
Tension freno	14.4/28.8 VDC	14.4/28.8 VDC	14.4/28.8 VDC
Diametro rotor	1200 mm	1200 mm	1200 mm
Velocidad Giro	900 rev/min	900 rev/min	900 rev/min
velocidad arranque	2m/seg	2m/seg	2m/seg
Velocidad corte L-H	2.6...40 m/seg	2.6...40 m/seg	2.6...40 m/seg
Velocidad media	12m/seg	12m/seg	12m/seg
Tipo motor trifásico	Imanes perman	Imanes perman	Imanes perman
Estructura Motor	Horizontal	Horizontal	Horizontal
Protección ambiental	IP56	IP56	IP56
Material	Fundición AL	Fundición AL	Fundición AL
Hojas fibra de Carbón	3 o 5	3 o 5	3 o 5
Vida util	15 años	15 años	15 años
Temperatura trabajo	-40°C...+80°C'	-40°C...+80°C'	-40°C...+80°C'
Peso	8 kgs	8 kgs	8 kgs
Dimensiones mm	700X380X250	700X380X250	700X380X250
Batería sugerida	12V80AHX2	12V100AHX2	12V100AHX2
Inversor sugerido	200 watos	300 watos	400 watos
Altura sugerida	12 mts	12 mts	12 mts

Tomadas.de.internet.y.reformadas.27-09-2016.

<https://www.aliexpress.com/item-img/400W-12V-or-24VDC-3-blades-wind-turbine-generator-with-built-in-controller-2m-small/32297420451.html>

### 5.2.1 Variable Energía del viento

La generación de energía eléctrica en base a la energía Eólica proveniente de las corrientes de aire también es un recurso que se puede implementar en paralelo con la energía solar, sin embargo, su variabilidad en el tiempo es su gran inconveniente, por lo que un estudio de las posibilidades del sitio, acompañado de los mapas existentes son de gran ayuda para predecir con que recurso se puede contar y cuál es su aporte real en una solución.

Las corrientes de aire dependen de la situación geográfica del sitio, de la altitud, de la topografía y también se pueden buscar tendencias de comportamiento respecto a los meses del año.

El comportamiento de la velocidad del viento dependerá de la estación del año que en forma general es cíclica y de la variación térmica.

La velocidad del viento(aire) se mide con un anemómetro y la potencia eléctrica que se puede generar está dada por la siguiente expresión:

$$P = A \cdot \frac{1}{2} \cdot (\rho \cdot v^3) \quad \text{Eq-5.7}$$

Donde:

P(watos) = Potencia eléctrica generada.

A(metros<sup>2</sup>) = Área total de las aspas del generador Eólico.

$\rho$ (Kgrs/metro<sup>3</sup>) = Densidad del aire.

v(metros/segundo) = Velocidad de la corriente del aire.

Un análisis simple deduce que la velocidad del viento es la principal variable del sistema. Para lo anterior es esencial simular días de viento típicos durante los diferentes meses del

año en un sitio determinado, teniendo en cuenta un factor de turbulencia o cambio repentino corto.

Se puede hacer uso de herramientas de software disponibles en la red como world wind online software, software development kit. <https://worldwind.arc.nasa.gov/index.html>

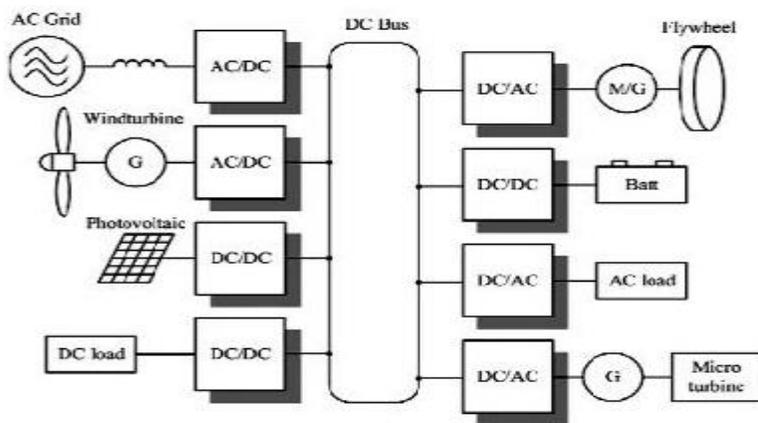
### 5.3 Bus DC.

El control y manejo del bus DC es uno de los puntos importantes a tener en cuenta en el proyecto. Los Generadores de la energía son la entrada al bus y pueden ser DC o AC. Las salidas del bus son la carga DC a las baterías y las cargas propiamente de consumo tanto DC como AC. Debido al avance y abaratamiento de la electrónica aplicada, existen dispositivos que facilitan esta tarea. Para un proyecto de baja potencia y sencillo como el presente, que debe tener en cuenta los costos como un insumo importante es necesario mirar los dispositivos que, cumpliendo los requerimientos técnicos, sean de tecnologías recientes y de relativa fácil adquisición en nuestro entorno. Las redes DC (Mini-Grid DC) (Mírez Tarrillo, 2009) ver figura-16, se han venido estudiando últimamente como alternativas para su utilización en entornos locales debido entre otros a que pueden presentar ventajas como las siguientes:

- Al ser voltajes DC no necesitan módulos de sincronía complejos como las redes AC.
- Cálculos de potencia más simples.
- Menos pérdidas en la conducción de corriente eléctrica en los conductores por efecto pelicular (Skin).
- Uso más eficiente de las fuentes alternativas de energía.
- Se puede tener interconexión con redes típicas AC.

El Controlador Híbrido de carga de las baterías es el dispositivo clave importante que se describe a continuación.

**Figura-16 Diagrama general de Manejo de Bus DC-DC**



Tomado de internet 25-09-2016 Jorge Mírez Tarrillo. Universidad Nacional de ingeniería Lima Perú. <https://jmirez.files.wordpress.com/2016/03/conceptual-diagram-of-a-dc-bus-microgrid-system.jpg>

### 5.3.1 Controlador (Regulador) de carga híbrido solar-Eólico 12 VDC

Es el encargado de regular la carga de la batería y de controlar la alimentación DC hacia las cargas DC y hacia un eventual inversor DC-AC. Existen en el mercado gran variedad de controladores, también llamados reguladores de carga de la batería, que básicamente se diferencian en la capacidad de manejo de potencia. Para un proyecto que se estima trabaje las 24 horas, debido a las fluctuaciones en la recepción de energía solar, por las nubosidades y por la ausencia en las noches, lo mismo que las fluctuaciones en las corrientes del viento, es necesario tener un módulo de almacenamiento de la energía y para regular dichas corrientes provenientes de dos fuentes diferentes, es necesario tener el módulo regulador de alto rendimiento (heavy duty), que para el caso es un regulador híbrido de acuerdo a las tecnologías más recientes con las siguientes características:

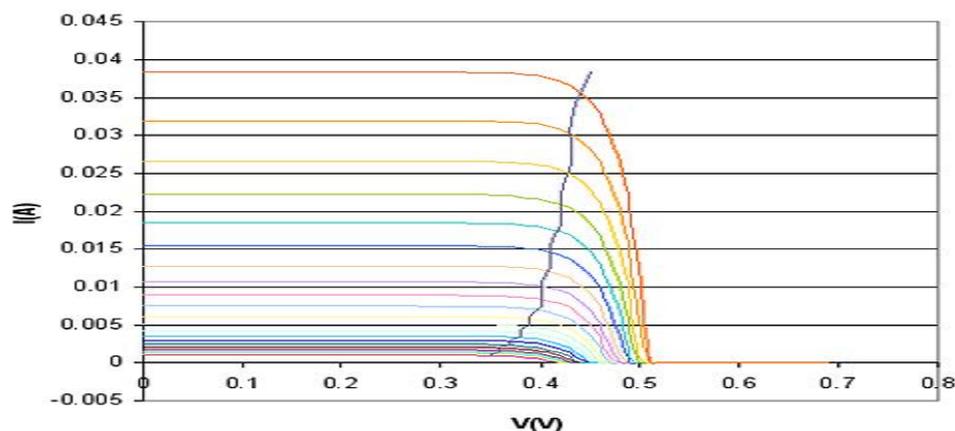
Technology MPPT (Maximum power point tracking)

LVD (Low voltage disconnect) y BTL (Battery temperature compensation).

Debe tener puertos de conexión para panel solar, para generador Eólico, conexión para carga de batería y puertos de salida para las cargas DC e incluyendo salida para un inversor DC-AC.

El controlador debe ser capaz de manejar dinámicamente los cambios en la potencia generada tanto por el Sistema solar como por el Sistema Eólico debido a las fluctuaciones de las variables de entrada (Radiación solar y velocidad del viento), de tal manera que se logre trabajar en el punto de máxima transferencia de energía, (Máximo power point tracking MPPT). La figura 12 muestra una gama de curvas de la relación entre el voltaje y la corriente de una celda solar con radiación variable. El valor óptimo está dado por la línea azul en las intersecciones con las otras líneas donde se sitúan los puntos MPPT ( $W=V \times I$ ).

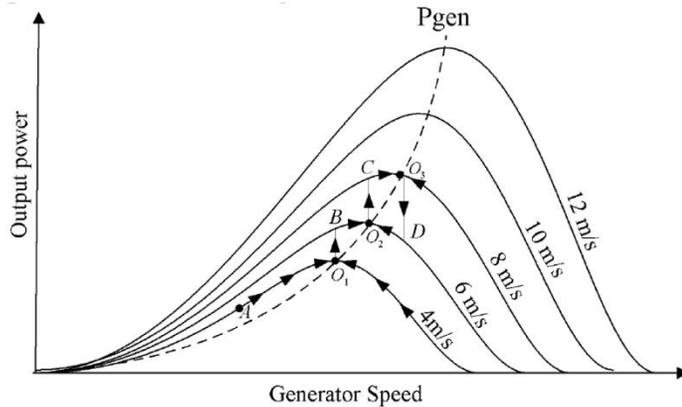
**Figura-17 Puntos MPPT para una celda solar típica con variación de la radiación solar.**



Tomado internet 21-02-2017

[http://batteryuniversity.com/learn/article/charging\\_with\\_solar\\_and\\_turbine](http://batteryuniversity.com/learn/article/charging_with_solar_and_turbine)

**Figura-18 Puntos MPPT para un generador eólico típico con variación de la velocidad del viento.**



Tomado.internet.21-02-2017.<https://www.google.com.co/search?q=Eolic+generator+theory+MPPT>

### 5.3.2 Baterías.

Las baterías que se usan en los sistemas con energías renovables son en general de plomo ácido y deben ser en lo común selladas con válvulas de escape de seguridad PRV (Pressure regulated valve) para manejar eventuales sobrepresiones internas. Las principales características para sistemas pequeños y medianos son:

- 1-Baterías Lead-Acid son las más usadas para sistemas Photo Voltaicos y eólicos.
- 2-Baterías secas (Sealed) sin mantenimiento y mayor duración (más de 7 años) con tecnología Deep cycle.
- 3-Sistema DC 12 voltios
- 4-Ciclo de trabajo al día (Duty cycle/day) 24 horas.
- 5-VRLA (Valve regulated lead acid).

Existen tres clases principales de baterías de plomo ácido selladas usadas para sistemas de energías renovables por su construcción interna:

- AGM. Con malla de fibra de vidrio interna.
- GEL. Usa electrolito gelatinoso.
- VRA. Regulada por válvula.

La fórmula de la reacción química interna está dada por la siguiente expresión:



En la descarga  $\rightarrow$  el ácido sulfúrico se reduce.

En la recarga  $\leftarrow$  el ácido sulfúrico se regenera y se produce agua internamente.

La batería debe ser suficiente para alimentar la carga las horas que se necesite de acuerdo a la aplicación. Para un diseño determinado el valor de la carga a suplir debe estar por lo menos un 20% en Amph (Amperios hora) por encima del máximo de carga eléctrica a alimentar las horas necesarias. Por otra parte, debe ser recargada automáticamente para tener siempre energía disponible, sin llegar al voltaje mínimo de descarga permitido por el fabricante.

Las siguientes normas dan las recomendaciones para instalación, mantenimiento y reemplazo de baterías de acuerdo a la siguiente información:

IEEE-450 para baterías de plomo ácido inundadas (No selladas)

IEEE-1188 para baterías de plomo ácido selladas.

IEEE-1106 Para baterías de Níquel Cadmio.

### **5.3.3 Inversor de voltaje DC-AC para cargas AC.**

Equipo necesario, si existen cargas eléctricas de corriente alterna (AC) en el proyecto, en particular el equipo condensador.

1- Voltaje de entrada bus DC 12 VDC.

2-Debe generar Onda sinusoidal 120 voltios AC 60 Hertz.

3-Potencia a consumir por el Equipo productor de agua (Condensador de agua) a 120 VAC, 60 Hertz, si es un equipo AC.

4-Potencia a suministrar por el inversor debe ser igual o mayor a la solicitada por las cargas.

5-Para trabajo continuo las 24 horas en clima de temperatura promedio de 30°C

## **5.4 Generación de Agua**

### **5.4.1 El Agua en Colombia**

El agua en nuestro país está en los tres estados más conocidos:

- Hielo en las zonas glaciares.
- Líquido en el mar (agua salada), agua dulce en ríos, lagos y humedales.
- Gaseoso en las nubes y en la humedad del aire.

Nuestro particular objetivo en el proyecto es utilizar el estado gaseoso de la humedad del aire por medio de la condensación. En las siguientes figuras 19 y 20 se presentan mapas de la distribución histórica de las precipitaciones (lluvia) y de la distribución de la humedad relativa en las regiones de Colombia de acuerdo al Ideam.

**Figuras-19-20 Mapas de distribución precipitación histórica Colombia 1981-2010. y de humedad relativa por regiones según el Ideam.**

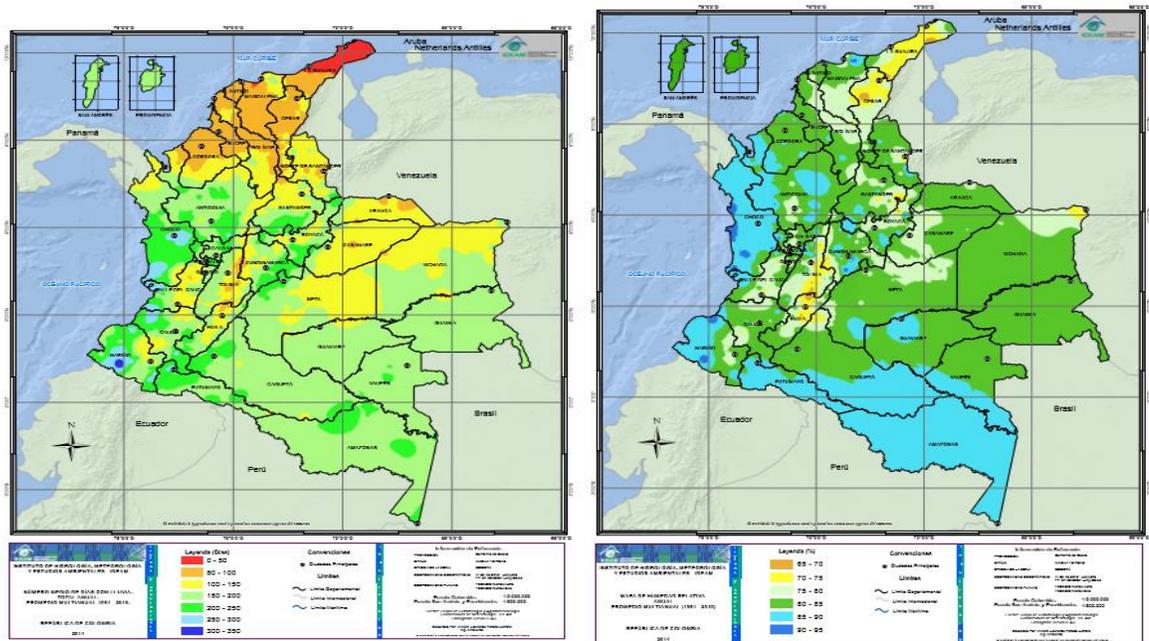


Figura-19-Tomado-de-internet-12-09-2016. <http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/pdf>  
 Figura-20-Tomado-de-internet-12-09-2016. [http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/HR\\_Anuual.pdf](http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/HR_Anuual.pdf)

Observamos en el mapa que en general, la humedad relativa de las regiones está por encima del 55% y en particular donde los climas son más ardientes, se presenta más radiación solar y al mismo tiempo la humedad para la generación de agua está en promedio del 65% o mayor, siendo lugares aptos para la generación tanto de energía eléctrica a partir de la radiación solar como para la extracción de agua potable de la humedad del aire. Con todos estos insumos y los que podemos encontrar en los documentos publicados por el Ideam y otros organismos del estado encargados del monitoreo, desarrollo y conservación de los recursos naturales y de su correcta utilización podemos enfocarnos en el tema de la generación de electricidad y agua potable para regiones apartadas y vulnerables de Colombia en particular para la Guajira.

Para la correcta y eficiente implementación de un proyecto en un sitio determinado tendremos que medir en campo y/o acudir a información actualizada a la fecha del proyecto de la información publicada tanto en la red como en los organismos especializados del tema del medio ambiente. Siempre debemos tener las mediciones de al menos los últimos tres meses de los siguientes parámetros:

- Temperatura °C
- Humedad Relativa %
- Radiación solar
- Velocidad del viento.
- Dirección predominante del viento.
- Precipitaciones de lluvia mm

- Otros datos como: Altura sobre el nivel del mar, msnm, coordenadas de Longitud y Latitud, distancia al poblado más cercano, vías de comunicación terrestre, existencia o no de servicios públicos o comunitarios, censo poblacional.
- Consultar los planes de expansión eléctrica nacional (Ver sección 3.2 de este trabajo) Como se puede consultar en el mapa e planes de expansión eléctrica, particularmente en el departamento de la Guajira, existen áreas donde no hay interconexión eléctrica, no hay generación Diésel ya que es para poblados de cierta cantidad de habitantes, por lo que para la población distante la solución de generación eléctrica autónoma e individual sería una solución posible y real.
- Otras condiciones de vida de los moradores.

#### 5.4.2 Variable Humedad del aire.

Psicrometría es la ciencia que estudia las propiedades y relaciones termodinámicas del aire húmedo con su entorno. Existen tablas psicrométricas que nos cuantifican diversos parámetros que nos ayudan a entender dichas relaciones y cartas psicrométricas que las visualizan.

Aunque el alcance de este trabajo no es el diseño de un deshumidificador o de un condensador, el autor considera que es importante conocer los conceptos básicos en que se basan, para la correcta selección.

La humedad del aire es la cantidad de vapor de agua que está presente en la atmósfera, resultado de la evaporación del agua que proviene del mar, lagos y ríos. La temperatura influye en la cantidad de vapor de agua que puede tener el aire en determinado sitio, a mayor temperatura puede existir mayor vapor de agua en la atmósfera.

**Tabla 4 composición del aire**

Elemento	% porcentaje	Volumen específico mts <sup>3</sup> /Kg	Constante de los gases J/(Kg.K)
Nitrógeno	75.47		
Oxígeno	23.19		
Argón	1.29		
Dióxido de Carbono	0.05		
Vapor de agua (h <sub>2</sub> O)	Variable	Ver tabla 5	461.5
Aire Seco		Ver tabla 6	287.05

El volumen específico para el aire seco está dado por:

$$V_a = R_a \cdot T / P_a \quad \text{Eq-5.8}$$

Donde  $R_a = 287,05 \text{ J}/(\text{Kg.K})$  constante de los gases.

T temperatura en grados Kelvin.  
Pa Presión del aire en Pascales.  
Va Volumen específico en Mts<sup>3</sup>/Kg

El volumen específico para el vapor de agua en el aire está dado por:

$$V_v = R_v \cdot T / P_v \quad \text{Eq-5.9}$$

Donde  $R_v = 461.5 \text{ J}/(\text{Kg} \cdot \text{K})$  constante de los gases para el vapor de agua.  
T temperatura en grados Kelvin.  
Pv Presión del vapor de agua en Pascales.  
Vv Volumen específico vapor de agua en Mts<sup>3</sup>/Kg

De acuerdo a la ley de Dalton la presión total de una mezcla de gases es igual a la suma de las presiones individuales de los componentes a la misma temperatura, y a la ley de Amagat el volumen específico de una mezcla de gases es igual a la suma de los volúmenes individuales de la mezcla a la misma temperatura.

$$\begin{aligned} P_t &= P_a + P_v \\ V_t &= V_a + V_v \end{aligned} \quad \text{Eq-5.10}$$

Donde:  
Pt presión total de la mezcla.  
Pa Presión aire.  
Pv Presión del vapor de agua.  
Vt = Volumen total de la mezcla.  
Va = Volumen del aire.  
Vv = Volumen del vapor de agua.

**Temperatura de punto de Rocío:** Es la temperatura a la cual el vapor de agua contenido en el aire se empieza a condensar (desprender agua líquida) a una presión constante, en este caso se ha llegado a que la mezcla tiene el 100% de humedad relativa. La humedad relativa es el Porcentaje de humedad que contiene el aire respecto al punto de saturación 100% de humedad y está dado por las siguientes expresiones

$$H\% = 100 \cdot P_v / P_{vs} \quad \text{Eq-5.11}$$

Donde:  
Pv = Presión de vapor del aire a una temperatura dada.  
Pvs = Máxima presión de vapor que puede tener el aire a esa temperatura.

El instrumento que mide la humedad relativa se llama Higrómetro y normalmente está calibrado para una escala de 0 a 100%.

Tabla 5 de Propiedades del aire seco. Anexo-01.

Tabla 6 Propiedades del vapor saturado: Anexo-02.

### 5.4.3 Equipo Condensador de agua.

El diseño del equipo productor de agua a partir de la humedad se considera fuera del alcance de este trabajo. Sin embargo, el estudio básico de las condiciones ambientales para su correcto funcionamiento y la escogencia del equipo que cumpla con las especificaciones del proyecto se incluirán en el desarrollo del trabajo, ya que es una de las dos piezas modulares. Los Generadores de agua a base de la humedad del aire en forma básica se pueden dividir en pasivos, que no necesitan energía eléctrica para su funcionamiento y los hay de diferentes formas y tecnologías, por lo general ocupan un gran espacio físico y aprovechan las variables físicas del entorno para la condensación y activos que se han ido diseñando y patentando más recientemente, normalmente necesitan fuentes de electricidad para su funcionamiento por lo que deben ser muy eficientes. Estos últimos tienen en común los siguientes componentes:

- Filtro de entrada para remover partículas del aire.
- Condensador de la humedad del aire.
- Extracción de aire caliente.
- Filtros UV y de carbono para el agua generada.
- Depósito de agua producida.

En general se puede hablar de tres tipos de condensadores activos:

- Refrigerados por aire.
- Evaporativos
- Refrigerados por agua

Existe en el mercado una solución patentada US-9400131-B2 (PCT/FR2006/002602) Tratado de Cooperación en materia de Patentes, administrado por la OMPI). Ver: "Convirtiendo el viento en agua potable". (EOLEWATER, David G Artes .Spoknews., 2012) En la cual se propone un equipo compacto de generación de energía eléctrica Eólico (Turbina) que alimenta un condensador, unidad de osmosis y filtros, todos dentro de un compartimiento aéreo compacto que genera agua hacia un tanque de almacenamiento en la parte baja del sitio. Es una solución, novedosa, modular y moderna. Sin embargo, tiene algunos inconvenientes para nuestro medio. El primero, deben existir siempre corrientes de viento para la generación eléctrica propia y la condensación posterior, otro inconveniente, es un equipo bastante sofisticado para su mantenimiento, el cual por su

diseño y construcción debe ser efectuada por personal especializado, por otro lado, los costos para un equipo que genera alrededor de 15 Litros/día está por encima de los EU\$30.000.

También se han desarrollado otras invenciones, en particular en Chile y Perú de obtener agua de la humedad del aire, por medio de unas mallas captadoras que no necesitan energía eléctrica llamados “atrapa nieblas”. Es una tecnología muy buena aplicable normalmente en las altas cumbres(cordilleras) donde casi siempre existen corrientes de viento fuertes, y se trata de sistemas robustos, grandes que ocupan cierta área, para proyectos comunitarios y con financiación gubernamental.

En Colombia existe un desarrollo patentado bajo la marca QIAN que produce equipos condensadores productores de agua del ambiente, normalmente para uso en ambientes de oficina. Ver:” Generadores de agua” (QIAN, 2015). Se estará atento a nuevos desarrollos ya que los actuales consumen elevada potencia eléctrica (800 w) y también a la evolución de los costos.

Para este trabajo tendremos que asumir un valor de producción de agua diaria esperada para una humedad relativa y una temperatura que varía durante el día para el sitio escogido. Posteriormente se escoge en el mercado un equipo condensador de agua que satisfaga la variable producción de agua al día, pero también esté dentro de los requerimientos eléctricos de consumo y de precio, para el proyecto general.

**Figura-21 Curvas típicas de un Generador (Condensador) comercial de agua.**

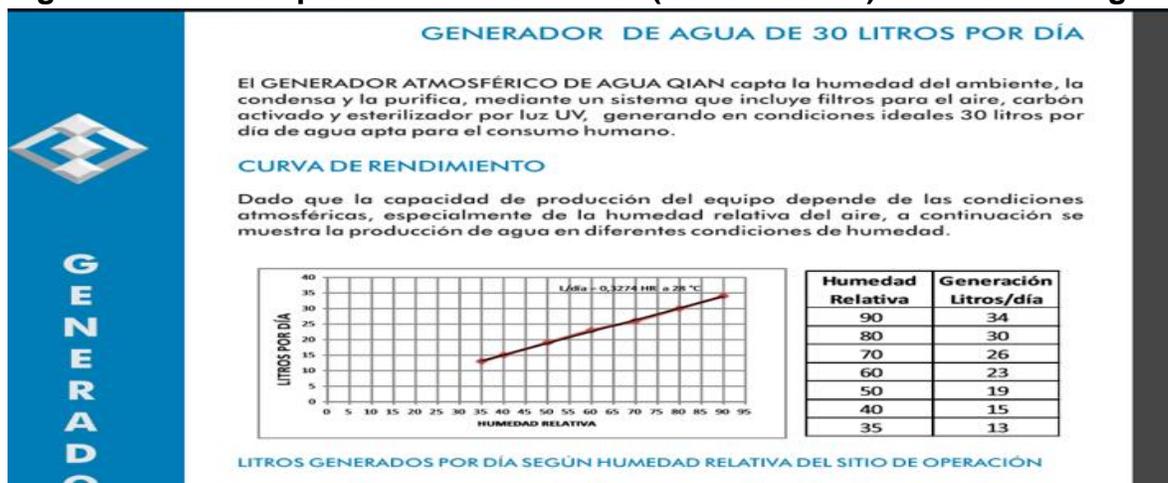


Figura-21-Tomado-de-internet catálogo del fabricante-12-09-2016 <http://www.qian.com.co/>

## 6. DISEÑO METODOLOGICO PARA EL PROTOPIPO

La metodología para el diseño estará basada en los siguientes pasos:

- Determinación de las principales variables que intervienen en el proceso: Radiación solar, velocidad del viento y humedad del aire para el sitio.
- Diseño del prototipo y cálculo de la solución.
- Construcción del prototipo.
- Protocolo de pruebas y medidas eléctricas. Ajustes al prototipo.
- Medida y análisis del agua producida
- Análisis y conclusiones.

### 6.1. Determinación de las variables:

Como el diseño y las pruebas se harán inicialmente en Bogotá y Chía, se tienen en cuenta en cuenta los datos de los parámetros meteorológicos suministrados por la RMCAB (Red de monitoreo de la calidad del aire en Bogotá) de la Secretaría Distrital de Ambiente y los mapas suministrados por el Ideam, para el sitio determinado. Las pruebas y mediciones se harán en Bogotá, así como en Chía-la Balsa con características similares. Pruebas adicionales del componente eólico y solar se harán en una parte rural del municipio de Suaita Departamento de Santander del Sur, y en veredas de Zipaquirá (Cundinamarca) donde se puede tener mejor comportamiento de las corrientes de viento.

**Humedad relativa:** Cantidad de vapor de agua (%) presente en el aire.

**Radiación solar:** Cantidad de potencia (vatios) entregada por el brillo solar por metro<sup>2</sup> de área en un sitio determinado.

**Velocidad del viento:** Medida del flujo de la corriente de aire por unidad de tiempo.

**Dirección predominante del aire:** Orientación predominante de las corrientes del viento en un sitio en un tiempo determinado.

**Otros parámetros:**

**Temperatura(°C):** Parámetro global importante que influye en todos los procesos químicos y físicos.

**Latitud:** Ubicación referencial de un punto determinado respecto a la línea ecuatorial en grados, minutos y segundos.

**Longitud:** Ubicación referencial de un punto determinado respecto al meridiano de Greenwich(London) en grados, minutos y segundos.

**Altura sobre el nivel del mar:** Diferencia de altura de un sitio determinado tomada en metros respecto al nivel del mar (msnm).

**Nivel Pluviométrico:** Cantidad de precipitación de agua (lluvia) en un sitio por metro cuadrado en un tiempo determinado (día).

La Secretaría del Ambiente de Bogotá (SDA) tiene una red de estaciones de monitoreo que proporciona la información con las principales características generales de calidad del

aire y parámetros atmosféricos. En nuestro caso utilizaremos los datos de la estación Guaymaral ubicada dentro de los predios de la Escuela de Ingeniería Julio Garavito.

**Tabla 7 Parámetros meteorológicos Estación Guaymaral.**

Ubicación estaciones RMCAB							
Estación	Latitud	Longitud	Altitud	Localidad	Dirección	Tipo de zona	Tipo de estación
Guaymaral	4°47'1.52"N	74°2'39.06"W	2580 m	Suba	Autopista Norte # 205-59	Suburbana	De fondo

Características de medición estaciones RMCAB				
Estación	Altura del suelo	Localización toma muestra	Altura punto de muestra al suelo	Altura viento al suelo
Guaymaral	0 m	Zona Verde	4 m	10 m

Contaminantes							
Estación	PM <sub>10</sub>	PST	PM <sub>2.5</sub>	O <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	CO	SO <sub>2</sub>
Guaymaral	X			X	X		

Variables Meteorológicas y ambientales							
Estación	V V	DV	T (°C)	Prcp	R. S	H R	Ps. Atm
Guaymaral	X	X	X	X	X	X	X

CONVENCIONES
--------------

VV	Velocidad del viento m/s	Prpc mm(lts/m <sup>2</sup> )	Precipitación (Pluviosidad)	PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub> , PST	Material particulado (u micrones) (<10u, <2,5u, Total)	T°C	Temperatura
RS	Radiación solar w/m <sup>2</sup>	HR	Humedad Relativa %	O <sub>2</sub>	Oxígeno	CO	Monóxido de Carbono
DV	Dirección del viento	P. A	Presión Atmosférica Atm	NO <sub>2</sub>	Dióxido de Nitrógeno	SO <sub>2</sub>	Dióxido de Azufre

Fuente SDA Bogotá D. C.

A continuación, se establecerán las variables principales:

### 6.1.1 Variables Irradiancia solar, velocidad del viento, humedad del aire.

A modo de ilustración se describe la tabla de datos con promedios suministrada en el portal público de La Secretaría del medio Ambiente de Bogotá (SDA). Tomamos a manera de ejemplo el día 01-01-2017. Para los cálculos reales se tomarán promedios del año anterior (2016) y de los tres primeros meses del año 2017 (enero, febrero, marzo).

Tabla 8. Tipo de parámetros ambientales Estación Guaymaral Bogotá

Fecha y Hora	NO2	OZONO	PM10	PM2.5	Rad Solar	Precipitación	NOX	NO	Vel Viento 10M	Dir Viento 10M	Temperatura 2m	Temperatura 8M	Humedad	Presion Baro	Temperatura 20M
	ppb	ppb	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	W/M <sup>2</sup>	mm	ppb	ppb	m/s	Grados	C°	C°	%	mmHg	C°
Mínimo	0,1	2,4	0,0	0,0	0	0,0	6,43	6,2	0,0	(16 Grados)	8,0	9,2	46	562	8,1
Fecha Min	01-01-2017 10:00:00	01-01-2017 1:00:00	01-01-2017 14:00:00	01-01-2017 2:00:00	01-01-2017 1:00:00	01-01-2017 1:00:00	01-01-2017 10:00:00	01-01-2017 10:00:00	01-01-2017 4:00:00	01-01-2017 1:00:00	01-01-2017 5:00:00	01-01-2017 3:00:00	01-01-2017 14:00:00	01-01-2017 17:00:00	01-01-2017 6:00:00
Máximo	16,8	17,5	17,0	19,0	647	0,0	50,52	39,6	2,5	(349 Grados)	19,8	18,0	84	565	18,9
Fecha Max	01-01-2017 22:00:00	01-01-2017 12:00:00	01-01-2017 4:00:00	01-01-2017 6:00:00	01-01-2017 14:00:00	01-01-2017 1:00:00	01-01-2017 22:00:00	01-01-2017 3:00:00	01-01-2017 18:00:00	01-01-2017 1:00:00	01-01-2017 17:00:00	01-01-2017 17:00:00	01-01-2017 4:00:00	01-01-2017 10:00:00	01-01-2017 17:00:00
Prom.	6,1	9,2	8,9	4,0	166	0,0	23,21	16,9	0,7	68	13,7	13,4	66	563	13,2
Num	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Dato[%]	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
STD	4,7	6,2	4,8	5,1	209,1	0,0	14,1	10,7	0,7	149,1	4,2	3,0	15,1	0,8	3,7

La tabla anterior y las siguientes de este capítulo son tomadas y adaptadas sin modificar ningún dato de la red de estaciones meteorológicas RMCAB Secretaria del ambiente. En éste caso los datos pertenecen a la Estación Guaymaral localizada en los predios de la ECI (Calle 205 Autopista Norte Bogotá).

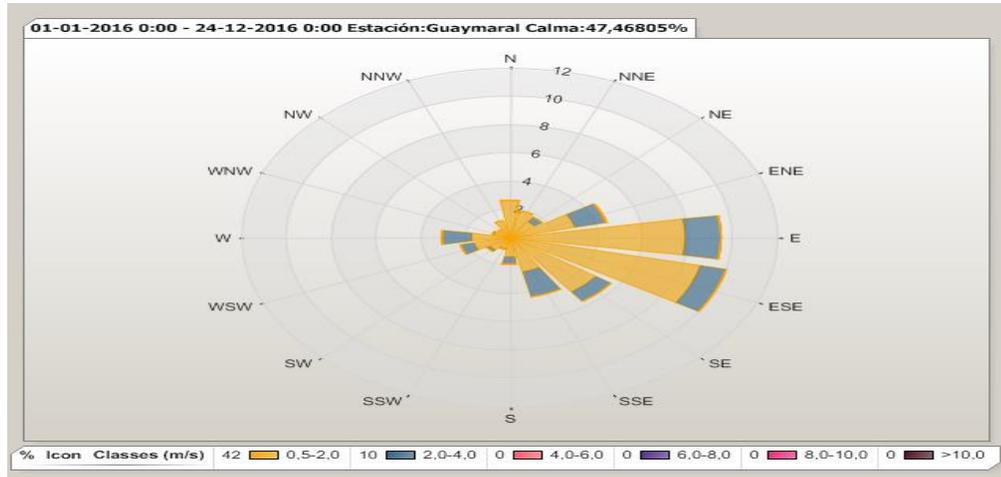
**Tabla 9. Reporte de parámetros Meteorológicos. Promedios año 2016**

SMA-BOGOTA-Tipo de Reporte : StationReport-Estación Guaymaral-promedios año 2016

Fecha	Tiempo	Rad Solar	Precipitacion	Vel Viento 10M	Dir Viento 10M	Temperatura 2m	Humedad	Presion Baro
		W/M2	mm	m/s	Grados	C°	%	mmHg
31/12/2015	24:00:00	0	0	0,8	71	12,2	77	564
01/01/2016	1:00	0	0	0,5	48	10,9	76	564
01/01/2016	2:00	0	0	0,6	64	10,6	80	563
01/01/2016	3:00	0	0	0,6	18	10,1	81	563
01/01/2016	4:00	0	0	0,5	19	9,7	80	563
01/01/2016	5:00	0	0	0,1	356	9,3	81	563
01/01/2016	6:00	0	0	0,3	295	8,5	80	563
01/01/2016	7:00	50	0	0,1	333	9,5	83	563
01/01/2016	8:00	240	0	0,9	75	17	69	564
01/01/2016	9:00	482	0	1,3	104	18,6	55	564
01/01/2016	10:00	554	0	1,8	118	19,6	48	564
01/01/2016	11:00	623	0	2,4	103	19,9	46	564
01/01/2016	12:00	613	0	2,3	152	21,1	44	563
01/01/2016	13:00	511	0	2	139	21	44	563
01/01/2016	14:00	782	0	2,5	113	22,3	40	563
01/01/2016	15:00	694	0	2,4	111	23	37	562
01/01/2016	16:00	337	0	2,4	107	21,4	39	562
01/01/2016	17:00	111	0	1,5	119	19,2	47	562
01/01/2016	18:00	23	0	1	170	17,3	54	562
01/01/2016	19:00	1	0	1,9	137	15,5	63	563
01/01/2016	20:00	1	0	0,8	122	14,9	65	563
01/01/2016	21:00	0	0	0,9	109	14,3	67	564
01/01/2016	22:00	0	0	0,7	109	13,7	69	564
01/01/2016	23:00	0	0	0,7	105	12,9	71	564
01/01/2016	24:00:00	0	0	0	146	12	74	564
Mínimo		0	0	0	(0 Grados)	3	19	560
Fecha Min		42370	42370	42371	01/01/2016 0:00	19/01/2016 6:00	17/01/2016 14:00	26/10/2016 16:00
Máximo		1335	39,9	5,4	(359 Grados)	27,3	87	567
Fecha Max		28/03/2016 12:00	11/03/2016 16:00	05/11/2016 12:00	01/01/2016 0:00	17/01/2016 14:00	26/01/2016 8:00	10/06/2016 22:00
Prom.		197	942,1	0,8	59	15	67	563
Num		8485	8485	8485	8485	8486	8485	8485
Dato[%]		96	96	96	96	96	96	96
STD		285,3		0,7	176,5	3,9	14,4	1,9

**Figura 22. Rosa de los vientos, año 2016. Estación Guaymaral**

Fuente: Red de monitoreo de calidad del aire de Bogotá. Secretaría del medio ambiente.



**Tabla 10. Reporte parámetros Meteorológicos mes de ENERO-2017.**

SMA-BOGOTÁ-Tipo de Reporte : StationReport-Estación Guaymaral-promedios-Enero-2017

Fecha	Tiempo	Rad Solar W/M2	Precipitación mm	Vel Viento 10M m/s	Dir Viento 10M Grados	Temperatura 2m C°	Humedad %	Presion Baro mmHg
01/01/2017	1:00	0	0	0,1	108	9,1	82	564
01/01/2017	2:00	0	0	0,4	65	8,5	83	564
01/01/2017	3:00	0	0	0,3	17	8,4	83	563
01/01/2017	4:00	0	0	0	143	8,4	84	563
01/01/2017	5:00	0	0	0,1	47	8	83	563
01/01/2017	6:00	0	0	0,2	101	8,2	84	563
01/01/2017	7:00	45	0	0,1	16	8,8	84	564
01/01/2017	8:00	168	0	0,1	348	12,9	82	564
01/01/2017	9:00	330	0	0,8	243	15,9	64	564
01/01/2017	10:00	528	0	0,3	100	18,2	52	565
01/01/2017	11:00	583	0	1,6	107	18,2	50	565
01/01/2017	12:00	272	0	1,7	102	17,6	48	564
01/01/2017	13:00	388	0	1,6	90	18,5	49	564
01/01/2017	14:00	647	0	1,7	71	19,5	46	563
01/01/2017	15:00	347	0	1,4	102	18,8	47	563
01/01/2017	16:00	299	0	1,4	116	19	46	563
01/01/2017	17:00	310	0	1,2	81	19,8	46	562
01/01/2017	18:00	66	0	2,5	68	16,3	55	563
01/01/2017	19:00	1	0	1,5	78	14,5	63	563
01/01/2017	20:00	0	0	0,1	297	13,3	68	564
01/01/2017	21:00	0	0	0,6	64	12,7	72	564
01/01/2017	22:00	0	0	0,4	61	12,4	74	565
01/01/2017	23:00	0	0	0,1	349	10,9	76	565
01/01/2017	24:00:00	0	0	0,2	338	11,4	79	565
Mínimo		0	0	0	(0 Grados)	2,2	25	561
Fecha Min		01/01/2017 1:00	01/01/2017 1:00	01/01/2017 4:00	01/01/2017 1:00	22/01/2017 7:00	22/01/2017 15:00	03/01/2017 15:00
Máximo		1169	11,7	3,5	(359 Grados)	24,2	86	566
Fecha Max		22/01/2017 12:00	03/01/2017 17:00	10/01/2017 15:00	01/01/2017 1:00	24/01/2017 14:00	05/01/2017 7:00	27/01/2017 10:00
Prom.		209	48,3	0,7	15	14	67	563
Num		744	744	744	744	744	744	744
Dato[%]		100	100	100	100	100	100	100
STD		309,2		0,7	203,8	4,3	15,1	1,3

**Tabla 11. Reporte parámetros Meteorológicos. Mes de FEBRERO-2017**

SMA-BOGOTA-Tipo de Reporte : StationReport-Estación Guaymaral-promedios-febrero-2017

Fecha	Tiempo	Rad Solar	Precipitacion	Vel Viento 10M	Dir Viento 10M	Temperatura 2m	Humedad	Presion Baro
		W/M2	mm	m/s	Grados	C°	%	mmHg
Mínimo		0	0	0	(0 Grados)	3,6	11	561
Fecha Min	01/02/2017 1:00	01/02/2017 1:00	01/02/2017 1:00	01/02/2017 22:00	01/02/2017 1:00	06/02/2017 5:00	07/02/2017 16:00	01/02/2017 16:00
Máximo		1275	10,6	4,4	(359 Grados)	24,4	87	566
Fecha Max	02/02/2017 14:00	20/02/2017 14:00	06/02/2017 14:00	01/02/2017 1:00	08/02/2017 14:00	04/02/2017 8:00	16/02/2017 8:00	
Prom.		253	42,4	0,7	349	14,4	63	563
Num		672	672	672	672	672	672	672
Dato[%]		100	100	100	100	100	100	100
STD		362,3		0,9		5	19,1	1,1

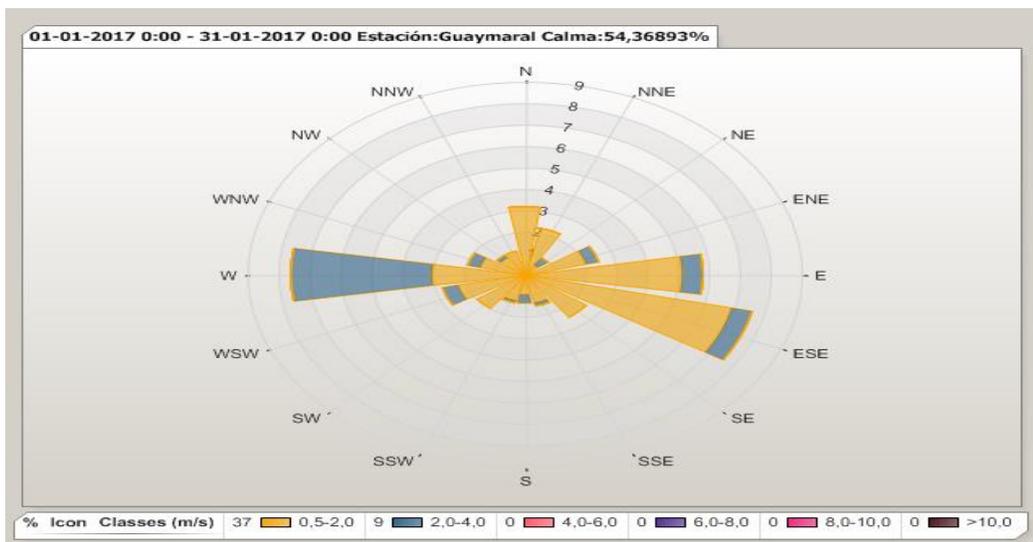
Tabla 12. Reporte parámetros Meteorológicos. Mes de MARZO-2017

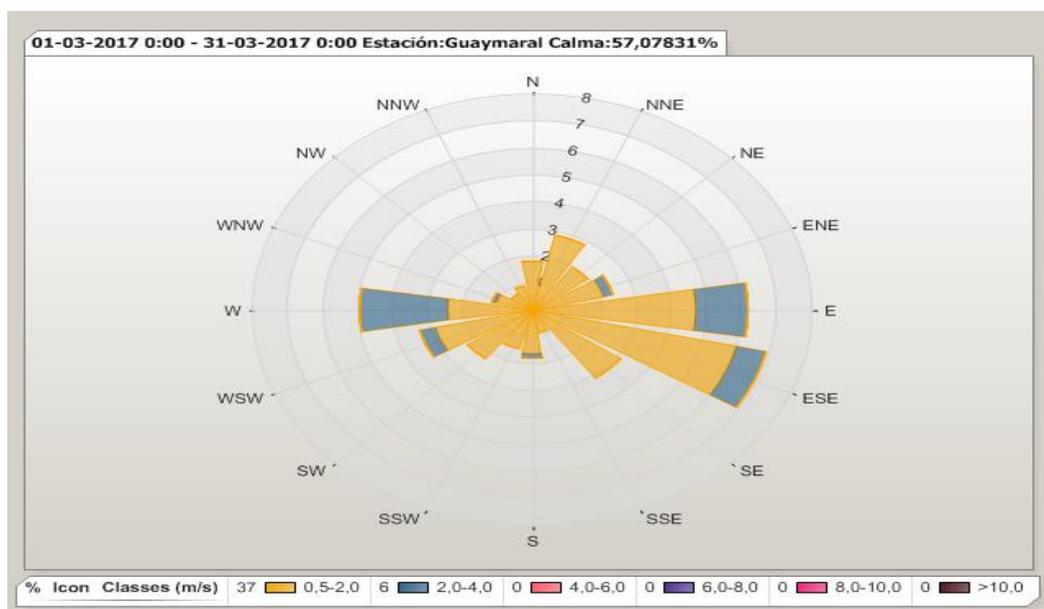
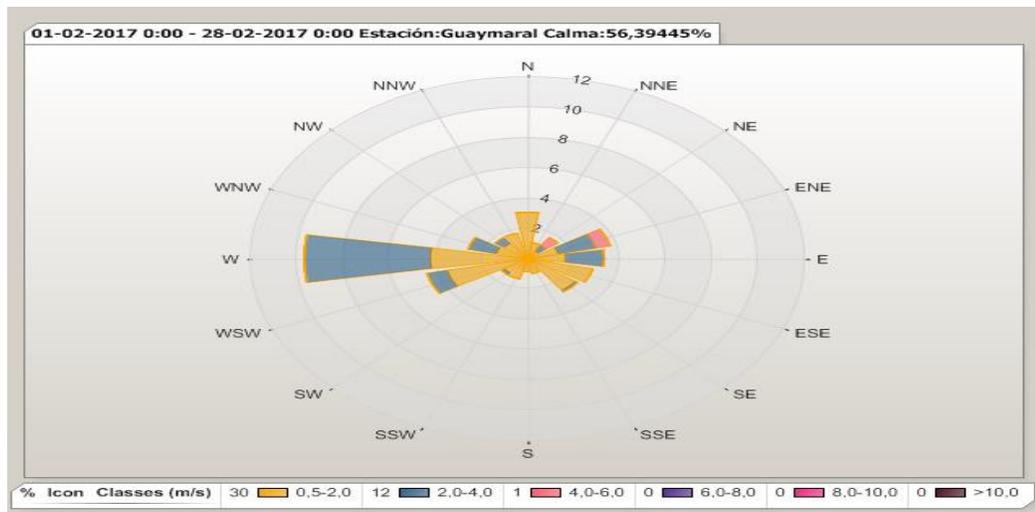
SMA-BOGOTA-Tipo de Reporte : StationReport-Estación Guaymaral-promedios-Marzo-2017

Fecha	Tiempo	Rad Solar	Precipitacion	Vel Viento 10M	Dir Viento 10M	Temperatura 2m	Humedad	Presion Baro
		W/M2	mm	m/s	Grados	C°	%	mmHg
Mínimo		0	0	0	(0 Grados)	4,8	35	561
Fecha Min	01/03/2017 1:00	01/03/2017 1:00	02/03/2017 7:00	01/03/2017 1:00	04/03/2017 6:00	03/03/2017 15:00	01/03/2017 15:00	
Máximo		1271	20,2	3,7	(359 Grados)	23	87	565
Fecha Max	16/03/2017 12:00	27/03/2017 15:00	17/03/2017 14:00	01/03/2017 1:00	07/03/2017 14:00	01/03/2017 8:00	08/03/2017 10:00	
Prom.		175	169,8	0,6	26	14,6	70	563
Num		663	663	663	663	663	663	663
Dato[%]		89	89	89	89	89	89	89
STD		265,5		0,6	195	3,4	13,8	1,3

Figura 23,24,25. Rosa de los vientos, enero, febrero y marzo-2017. Estación Guaymaral

Fuente: Red de monitoreo de calidad del aire de Bogotá. Secretaría del medio ambiente.





### 6.1.2 Especificaciones generales de componentes para el prototipo

Las siguientes son las especificaciones generales de componentes para el prototipo

- Equipo condensador-generador de agua en base a la humedad del aire. Para el modelo básico Prototipo de ésta propuesta debe generar en lo posible de 1 a 5 litros/día, trabajar dentro de un rango de humedad del aire entre 40% al 100%,

temperaturas que fluctúan entre 5°C y 40°C. El equipo debe tener los filtros necesarios para partículas en el aire. Si posee algún insumo (Refrigerante) debe ser de fácil consecución en el mercado colombiano. En lo posible ser debe un equipo DC o convertible a DC.

- Paneles Solares de tecnología Mono cristalino, en lo posible con una eficiencia superior al 19%, de 100 vatios efectivos, 12 VDC, de dimensiones máximas de 1.40 más X 1 mts, con bases de aluminio, con terminales listos para la conexión, de fácil limpieza y mantenimiento por el usuario.
- Equipo generador Eólico de 12 V con cobertura mínimo IP54 (Intemperie), con terminales listos para la conexión, de fácil mantenimiento, apto para conectarlo a un regulador híbrido.
- Regulador de carga de batería Híbrido con puertos para la conexión de entrada de paneles solares de 12 VDC y otro para generador Eólico 12 V. Puerto de conexión para batería 12 VDC y puertos de conexión de cargas DC y para conexión de inversor VDC-VAC.
- Inversor de voltaje 12 VDC a 120 VAC, 60 Hertz, 600 vatios de potencia efectiva (Opcional).
- Batería 12 VDC 100 Amph.
- Cables, conectores eléctricos y accesorios para el proyecto de acuerdo al diseño final.
- Tubería PVC para transporte de Agua potable de acuerdo al diseño final lo mismo que tanque de PVC de mínimo 300 Litros de capacidad (colocado por el usuario final, no en el prototipo).
- Otros materiales locales para la construcción en el desarrollo del trabajo.

### 6.1.3 Parámetros de diseño para el prototipo:

**Tabla 13 Parámetros para el diseño**

Valores a obtener	Mínimo	Medio	Máximo
Energía Eléctrica	100 vatios/hora	150 vatios/hora	200 vatios/hora
Cantidad de agua	Por determinar en las pruebas	1 Litros / día	5 Litros / día
Calidad del agua	IRCA 0-5	IRCA-5.1-14	IRCA 14
Condensador	Deshumidificador Vdc sin compresor		
Costo solución		\$Us 900.	\$Us 1000

IRCA = Índice de riesgo calidad del agua para consumo humano.

En este capítulo se estudian las variables de entrada que intervienen directamente para el desarrollo del prototipo para un sitio determinado.

#### 6.1.4 Variable Agua Potable

Se define desde tres aristas:

- **Cantidad:** Se mide por el número de litros/día o fracción de agua potable que produce el sistema en las condiciones atmosféricas previstas. Para nuestro prototipo será entre 1 a 5 litros/día.
- **Calidad:** Se abordan desde el punto de vista de la medición de los parámetros fundamentales que debe cumplir acorde a una legislación vigente. Se definen a continuación.
- **Costos:** Se definen como el costo en dinero de producir un litro de agua potable por este medio. Debido a que es un proyecto mixto de producción de electricidad y agua para regiones apartadas, los costos del proyecto se analizan desde el punto de vista global.

#### Parámetros para la Calidad del agua potable:

La potabilidad se define como agua, que, por el contenido de sus componentes, cumple con unas normas predefinidas para ser consumida directamente por el ser humano. En Colombia existen varias normas que hablan de dichos parámetros. La Resolución No. 1096 de 17 de noviembre de 2000 del Ministerio de Desarrollo económico da las metodologías de medición y control de dichos parámetros. La resolución 2115 del 2007 y el decreto 1575 del 2007, dan a conocer los límites permisibles de esos parámetros para el agua potable en Colombia. Al respecto se definen los siguientes términos principales extractados de la Resolución No 1096 para agua de fuentes aceptables, debido a que no existe una normatividad en particular para el agua de fuentes de humedad del aire. Debido a lo especializado del tema es necesario tomar mínimo una muestra del agua producida y enviarlas bajo un protocolo estricto a un laboratorio especializado para que nos devuelva los análisis respectivos, si los resultados no son coherentes se debe enviar una segunda muestra al laboratorio para tener un resultado más confiable.

IRCA: Índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano.

De 0 a 5	Sin riesgo
De 5.1 a 14	Riesgo bajo.
De 14.1 a 35	Riesgo medio. Consumir solo bajo cautela.
De 35.1 a 80	Riesgo alto. En lo posible no consumir.
80.1 a 100 o mayor	No se debe consumir.

**Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):** Demanda de oxígeno. Mide indirectamente el contenido de materia orgánica biodegradable.

**PH:** Medida de la acidez o alcalinidad de un compuesto en este caso el agua. (concentración de iones de hidrógeno (H<sup>+</sup>). Escala de 0 a 14.

**Turbidez:** Manifestada por la turbiedad del agua. Medida de la luz reflejada por las partículas en suspensión.

**Sólidos en suspensión:** Partículas de sólidos dispersas en el agua; no disueltas en contraposición a partículas sedimentadas.

**Oxígeno disuelto:** Concentración de oxígeno en un líquido. Se expresa en mg/L

**Metales pesados:** Elementos tóxicos con un peso molecular relativamente alto. Tienen una densidad superior a 5,0 g/cm<sup>3</sup>, por ejemplo, plomo, plata, mercurio, cadmio, cobalto, cobre, hierro, molibdeno, níquel, zinc.

**Coliformes:** Indicador de contaminación biológica. Bacterias gram negativas capaces de fermentar lactosa con producción de gas a la temperatura de 35 o 37°C (coliformes totales). Coliformes fecales: Aquellas que tienen las mismas propiedades a la temperatura de 44 o 44.5°C.

**Otros componentes:** Medida de la existencia de otros componentes menores que de alguna manera afectan la calidad del agua.

**Tabla 14. Indicativos mínimos de análisis químico del agua potable de una fuente aceptable. Ref. Página 44 Resolución 1096. Min Desarrollo Colombia.**

Parámetro	Valor min	Valor med	Valor max	Notas
DBO mg/L	0.75 ppm	1 ppm	1.5 ppm	Demanda Bioquímica de Oxígeno
PH	6.0	7	8.5	
Turbidez (sólidos en suspensión)	0 ppm	1 ppm	< 2 ppm	
Oxígeno disuelto mg/L			= > 4	
Metales pesados				
Coliformes totales NMP/100mL	0		50	
Cloruros mg/L	0		< 50	
Fluoruros mg/L	0		< 1.2	
Índice IRCA	0		35	
Otros				

## 6.2 Diseño y cálculo del Prototipo

Una vez definida la cantidad de agua potable L que se desea obtener en 24 horas de trabajo continuo, se debe seleccionar el condensador que nos ofrezca como mínimo extraer esa cantidad con el consumo de potencia eléctrica menor y al precio más bajo. L= 1 a 5 litros/día para el prototipo y que pueda trabajar dentro del rango de las variables ambientales medidas con anterioridad.

Una vez seleccionado el Condensador se obtiene de los datos del fabricante:

- Potencia eléctrica que consume en vatios. (PT)
- Cantidad de agua producida por día para unos rangos de humedad relativa.
- Requerimiento de alimentación eléctrica (DC o AC). Ver Tabla 15
- Precio.

**TABLA 15. Consumo eléctrico solución prototipo.**

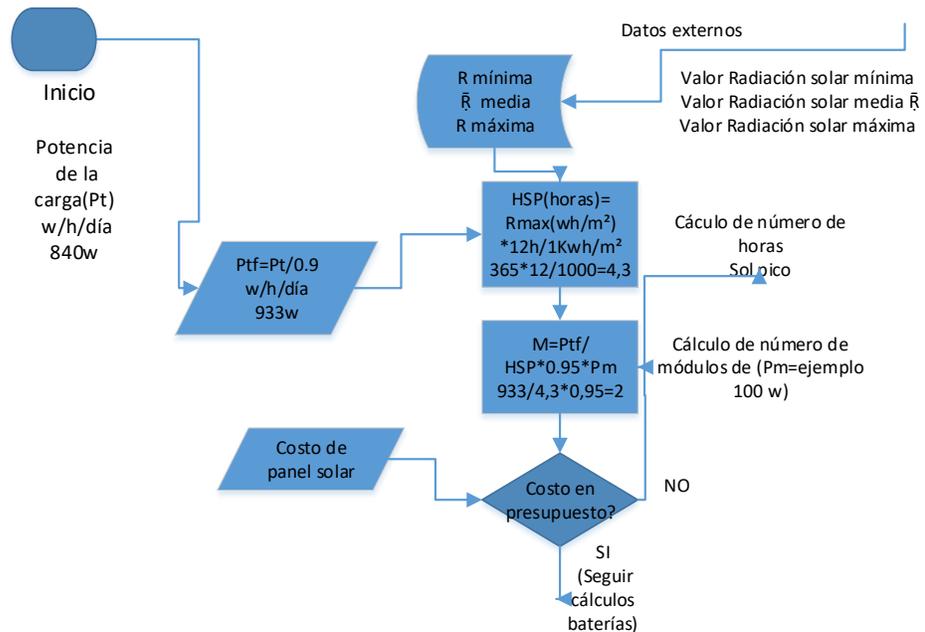
Descripción	# de aparatos	Consumo medio w/hora	# de horas/día	Consumo total w/día	Consumo real medido w/día
Deshumidificador dc	1	35	12	420	420
Carga adicional opcional Lámpara Uv dc	1	10	0,1	0,2	Opc
Carga adicional opcional bombillos Led dc	2	5	3	30	Opc
Total				470,2	470,2

Hacemos los cálculos eléctricos inicialmente solo alimentados con energía solar y para la carga principal.

### 6.2.1 Cálculos eléctricos con energía solar:

**Figura 26 Diagrama de flujo cálculo de energía solar. # paneles solares.**

## CALCULOS DE ENERGIA SOLAR



Nota: Para este cálculo se consideró la carga conectada las 24 horas y una  $R_{max}=365\text{wh/m}^2$  y paneles solares de 100w .

Diagrama de elaboración propia

Diagrama de flujo- cálculos de módulos solares. Elaboración propia.

Teniendo en cuenta el diagrama de la figura 26 se parte de la premisa general que en una hora pico de radiación solar en el trópico se recibe del sol:  $1000\text{ vatios/metro}^2 = 1\text{Kw-hora-pico/metro}^2$ .

- 1- Se utilizarán paneles solares de mínimo 19% de eficiencia de acuerdo al fabricante.
- 2- Se planea un proyecto mixto de generación eléctrica solar eólico de trabajo las 24 horas/día.
- 3- Se debe tener un regulador común, mixto (Híbrido solar eólico) para manejo del bus DC.
- 4- Se requiere trabajar el sistema de generación de agua las 24 horas al día. Definimos la potencia eléctrica necesaria al día:  $PT1 = PT * 24\text{ vatios/hora/día}$  de acuerdo a la tabla 15. Le adicionamos por seguridad un factor de eficiencia del 90%.

$$PT1f = \frac{PT1}{0.90} \text{ vatios/hora/día.}$$

Eq-6.1

$$PT1f = \frac{840}{0.90} \text{ vatios/hora/día} = 933 \text{ vatios/hora/día}$$

**Potencia disponible:** Necesitamos calcular la potencia disponible con energía solar. Para lo anterior debemos tener en cuenta la medición de la radiación máxima (Rmax) y radiación promedio (Rmed) para la zona donde se colocarán los paneles. De acuerdo a los datos de la estación Guaymaral de la secretaría del ambiente de Bogotá Radiación media durante los doce meses año 2016 Rmedia=197.77wh/m<sup>2</sup> y Rmax=365wh/m<sup>2</sup>. Ver tabla 9 de valores las 24 horas del día

Hallamos el valor del HSP (Horas sol pico) que es el número de horas equivalente que tendría que brillar el sol a una intensidad de 1000 w /m<sup>2</sup> para obtener la insolación total de un día, ya que en realidad el sol varía la intensidad a lo largo del día.

$$HSP = Rmax \cdot \frac{wh}{m^2} * \frac{12}{1kwh} / m^2 \quad \text{Eq-6.2}$$

$$HSP = 365 \cdot \frac{wh}{m^2} * \frac{12}{1kwh} = 4.3 \text{ horas}$$

**Cálculo de # de módulos:** De acuerdo a la fórmula Número de módulos(X), Pp potencia nominal de un panel solar, 0.9 factor de trabajo de los paneles.

$$X = PT1f / (HSP * 0.9 * Pp) \quad \text{Eq-6.3}$$

$$X(\# \text{ de módulos}) = \frac{933 \left( \frac{Wattios}{h.d} \right)}{4,3 * 0.95 * 100 (w/h.d)} = 2.2 \text{ Paneles solares de 100 vatios.}$$

Con un panel solar de 100 vatios sería suficiente para alimentar el deshumidificador propuesto 12 horas, para 24 horas tendríamos 2 paneles solares de 100 vatios

### 6.2.2 Cálculos eléctricos con energía mixta solar-Eólico:

En el caso de fuente Eólica paralela a la solar es necesario, tener la medición en el último mes de las corrientes y dirección del viento, comparándolas con los mapas de Ideam, para seleccionar el Generador Eólico que en lo posible nos debe soportar 50% de la generación eléctrica. Para éste caso se debe replantear el cálculo de los paneles necesarios, que en el ideal deben reducirse a la mitad. De todas maneras, para un diseño comercial de mayor consumo eléctrico y mayor producción de agua, siempre habrá un compromiso compartido de generación eléctrica que nos lleva a obtener la mayor eficiencia posible del sistema de acuerdo a las mediciones de las variables ambientales en el sitio.

Para nuestro caso esperamos generar el 50% de la energía proveniente del sol por lo cual teniendo en cuenta los costos construiremos nuestro prototipo empleando un panel solar de 100 vatios mono-cristalino y un Generador eólico de 200 vatios. En las mediciones de la estación Guaymaral la velocidad promedio es muy baja, ver tabla 9, por lo que no es recomendable para ese sitio a no ser que se haga un estudio más detallado y ver la posibilidad de instalar el generador eólico a una altura considerable donde si pueda existir

velocidades de viento mayores a 2 metros/segundo. Para los cálculos suponemos una velocidad de 4 metros/seg.

### **6.2.3 Generador Eólico para el Proyecto**

De acuerdo a los objetivos del proyecto se requiere un Generador Eólico:

- 1-Debe ser de tecnología reciente y de fácil adquisición local o importación.
- 2-Apto para instalarse en ambientes tropicales y cerca al mar (Norma IP56)
- 3-Fácil instalación y mantenimiento sencillo.
- 4-Precio de acuerdo al presupuesto.
- 5-Sistema mecánico automático de alineación con la dirección del viento.
- 6-Potencia útil de 200 vatios y para carga de batería de 12 voltios.
- 7-Controlador propio del generador con salida DC para carga directa de la batería(opcional)

**Figura 27. Diagrama de flujo cálculos energía eólica.**

CALCULO ENERGÍA DE FUENTE EOLICA

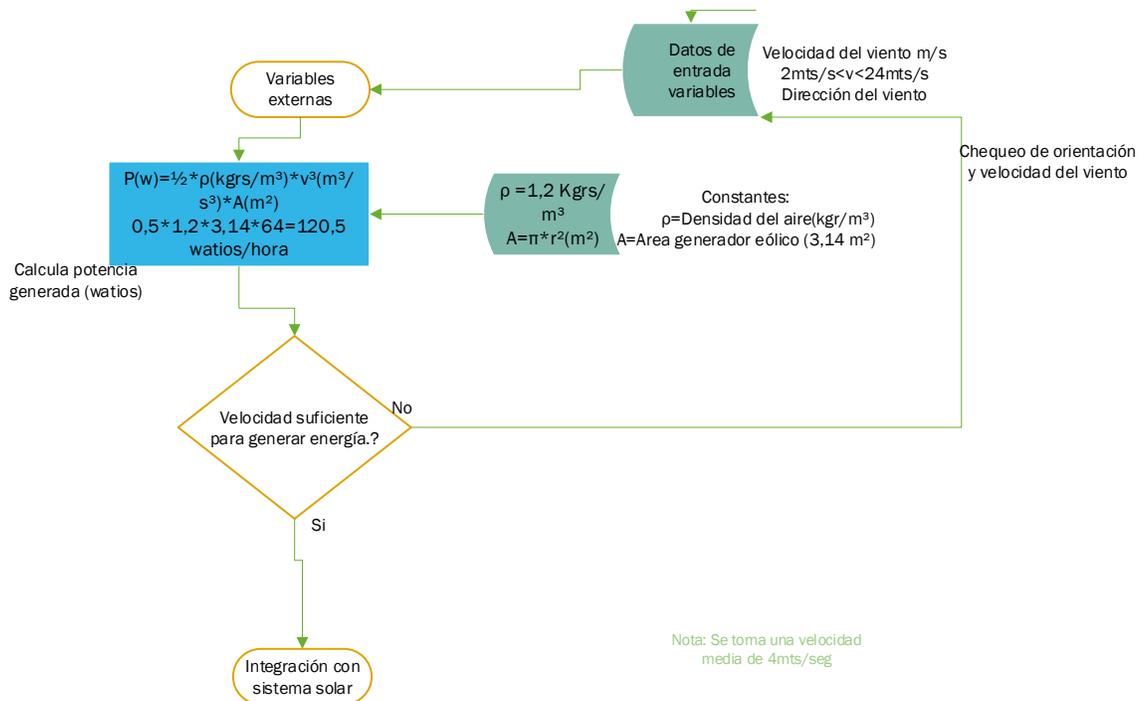


Diagrama de elaboración propia

Diagrama de flujo- cálculos Eólicos. Elaboración propia.

**Datos de Ingeniería para cálculo de potencia de un Generador Eólico:**

$$P(\text{wattios}) = \frac{1}{2} * \rho \left( \frac{\text{krs}}{\text{mts}^3} \right) * v \left( \frac{\text{mts}}{\text{seg}} \right)^3 * A(\text{mts}^2) \text{ Donde:} \tag{Eq-6.4}$$

$\rho$  = Densidad del aire = 1.2Kgrs/metro<sup>3</sup>

$v$  = Velocidad del aire en metros/seg

$A$  = Área transversal del generador en metros<sup>2</sup>

$P$  = Potencia en vatios efectivos.

$E$  = Eficiencia teórica 50%

$$P(\text{wattios}) = \frac{1}{2} * 1,2 \left( \frac{\text{krs}}{\text{mts}^3} \right) * 4 \left( \frac{\text{mts}}{\text{seg}} \right)^3 * 3,14(\text{mts}^2) = 120,5 \text{ wattios/hora}$$

### **Cálculo para la selección de la batería:**

$W_c$  = Consumo medio de potencia del deshumidificador (carga básica).

$T_c$  = Horas al día que la carga estará conectada a la red DC.

$V_b$  = Voltaje de la batería y de la red DC.

$$Amph = \frac{W_c}{V_b} * T_c \quad \text{Eq-6.5}$$

$$Amph = 36w/12V*12h = 36 Amph.$$

En caso que se necesite conectar el deshumidificador las 24 horas la cantidad de Amph sería el doble = 72 Amph.

La batería debe ser en todo caso superior a ese valor, por eso la escogemos de 100 Amph. Si en el sitio seleccionado existen corrientes de viento mayores a 2 metros/segundo (velocidad de arranque del generador) sumadas durante el día por al menos 4 horas, sería suficiente para garantizar la carga de la batería sin añadir otro panel solar.

Para nuestro prototipo daría lo mismo usar dos paneles solares de 100 vatios/hora o un panel solar de 100 vatios/hora y un generador eólico de 120 vatios/hora en forma mixta, la ventaja de tener una solución mixta es que no dependemos de una sola variable en este caso la irradiancia solar sino que dependemos de dos la irradiancia solar y las corrientes del viento, que es posible se compensen, cuando falte la irradiancia en la noche muy posible habrá corrientes del viento, es decir trabajan complementariamente, sin embargo la irradiancia solar es más fija todos los días en mayor o menor proporción. En la siguiente tabla se especifican ventajas y desventajas que se concedieran en un proyecto dependiente de una sola variable y mixto de dos variables.

### **Cálculo para la selección de cargas adicionales(opcionales):**

Los cálculos anteriores, nos indica que es posible conectar cargas adicionales pequeñas como dos bombillos led de 12vdc y 5 vatios de consumo durante 3 horas al día y si tenemos la lámpara Uv de 12vdc 10 vatios durante 10 minutos para purificar el agua:

$$Amph = 10w/12V*3h = 2,5 Amph$$

$$Amph = 10w/12V*0,2h = 0,2 Amph$$

**TABLA 16. COMPARATIVA SISTEMA PEQUEÑO SOLAR vs SISTEMA MIXTO (SOLAR-EOLICO) INDEPENDIENTE DE LA RED. (No grid)**

Sistema	Costo inicial paneles o generador	Infraestructura de montaje	Costos de instalación	Mantenimiento	Horas de trabajo	Puntaje sobre 10
Solar	Valor más bajo 8	Más sencilla 8	Baja 8	Bajo 8	Solo de día 5	7,4
Eólico	Valor más costoso 6	Más complicada 6	Más costosa 6	Bajo 8	Las 24 horas 8	6,8
Mixto	Valor medio 7	Media 7	Media 7	Medio 7	Las 24 horas 8	7,2

La tabla anterior, si bien aplica para un proyecto pequeño, muestra que las diferencias son menores y hasta cierto punto subjetivas, nos dicen que es mejor tener un proyecto mixto, si las condiciones atmosféricas y la presencia de radiación solar y corrientes de viento están presentes en el sitio, sin embargo, si miramos la facilidad de la instalación y la consecución de la tecnología localmente, se podría concluir que es mejor un sistema solo solar.

Para un proyecto de cierta magnitud del orden de decenas de kilovatios o mayor y hasta Mega vatios es necesario un estudio más complejo, ya que entran a jugar un papel importante los siguientes parámetros:

- Sistema interconectado (Grid) o no interconectado (No Grid).
- Área disponible para el proyecto.
- Estudios topográficos del terreno y estudio de suelos para montaje turbinas eólicas de magnitud y pesos considerable.
- Costos de facilidades para transporte e instalación.
- Redes de Interconexión.
- Estrategias y costo de mantenimiento preventivo y correctivo.
- Legislación del país.
- Consecución y disponibilidad de equipos y de repuestos.
- Entrenamiento de personal para instalación, manejo y mantenimiento.
- Influencia paisajística y del medio ambiente.
- Estudios de seguridad para personas, animales y ambiente.
- Otros.

Para sistemas interconectados a la red, en particular para parques eólicos, se han elaborado normas muy estrictas tanto para el montaje y la puesta en marcha como para la medición de la energía a transferir hacia la red. Consultar norma IEC61400-1-2-3 página 102 y siguientes: (Navalez & TelmoMartínez, 2008)

## 6.3 Construcción del Prototipo

### 6.3.1 Construcción de las bases de soporte

En primer lugar, hemos calculado que para el prototipo vamos a instalar un panel solar de 100 vatios y un generador Eólico de 200 vatios. Para instalar los equipos anteriores necesitamos unas bases móviles, de fácil transporte y que sean modulares. Hacemos uso para este objetivo de elementos de fácil consecución e instalación desde el punto de vista mecánico.

- Dos bases fijas mecánicas de soporte y anclaje con una superficie de madera firme para cada uno.
- Tubos PVC de 2" y de 1" de trabajo pesado para izaje y soporte.
- Tornillería, cables, conectores y accesorios.
- En las figuras siguientes vemos detalles del ensamblaje de las bases.
- Hojas de datos de otros componentes electrónicos

### Figuras 28, 29, y 30 Fotos construcción prototipo.



## Construcción del prototipo



Ensamblaje de las bases





## Construcción del prototipo



Montaje de panel solar y Generador eólico



ESCUELA  
COLOMBIANA  
DE INGENIERÍA  
JULIO GARAVITO



## Construcción del prototipo



Módulos de la solución: Panel solar, Generador eólico, Batería, Controlador híbrido, Deshumidificador 65w, Led 12VDC 5 watts, Filtro y lámpara uv (pendiente)



COLOMBIANA  
DE INGENIERÍA  
JULIO GARAVITO

### 6.3.2 Hoja de datos Panel solar

Tecnología	Mono cristalino de celdas de silicio
Eficiencia	> a 19%
Voltaje de salida nominal	12 VDC
Potencia eléctrica	100 vatios
Dimensiones	100 X 80 cts.
Tiempo promedio de vida	15 años

### 6.3.3 Hoja de datos de Generador eólico

En la siguiente tabla se describen los datos del fabricante

**Tabla 17 Datos técnicos del fabricante del Generador Eólico de la solución**

Rated power	200W
Maximum power	220W
Rated voltage	12V/24V
Start-up wind speed	2.0m/s
Rated wind speed	11.5m/s
Survival wind speed	55m/s
Top net weight	6.2kg
Wheel diameter	1.3m
Number of blades	3/5
Blades material	Nylon fiber
Generator	Three phase permanent magnet ac synchronous generator
Magnet	NdFeB
Generator case	Casting aluminum alloy
Control system	Electromagnet/wind wheel yaw
Speed regulation	Automatically adjust windward direction
Working temperature	-40°C-80°C

Tomado de internet: 26-03-2017  
[www.aliexpress.com/snapshot/0.html?orderId=82487666900901&productId=32775473312](http://www.aliexpress.com/snapshot/0.html?orderId=82487666900901&productId=32775473312)

### 6.3.4 Controlador híbrido solar-eólico para el Proyecto

**Tabla 18. Características técnicas del controlador híbrido y manejador del bus DC del proyecto de acuerdo al fabricante**

System Capability	
Rated wind-turbine Power	200W to 600W
PV Max. power	150W / 300W
Rated battery voltage	12V/24V Auto configuration
Output current Max.	10A
Output power Max.	120W / 150W
Indication	LED or LCD
Performance	
static power consumption	≤30mA (LED);≤80mA (LCD)
Data-transfer	RS232 to RS485,RJ45 converter (optional, needs extra charges)
Operating temperature	-35C to +55C
Store temperature	-35C to +80C
Humidity	10% - 90% (NC)
Temperature compensation	-35mV/C (25C ref.)
Altitude	≤5000 meter
Protection class	IP55
Net-weight	1.3 kg

Tabla adaptada de la información del fabricante

### 6.3.5 Controlador propio del generador eólico

**Tabla 19. Características técnicas del controlador del generador eólico, con salida DC para carga directa de la batería o a través del controlador híbrido.**

System Capability	
Rated wind-turbine Power	200W to 300W
PV Max. power	300W
Rated battery voltage	13.5 VDC
Maximun output voltaje	15 VDC
Output current maximun	10 A
Drain current Max	<8mA
Indication.	LEDS
Protection Class	IP67
Overcurrent Protection	Yes

Tabla adaptada de la información del fabricante.

### 6.3.6 Baterías.

Par el proyecto es necesario escoger un batería que con carga completa pueda soportar el equipo DC funcionando al menos durante 12 horas, de tal manera que en ausencia de viento, se pueda de nuevo recargar con la energía proveniente de panel solar el día siguiente, es la condición extrema, sin embargo es necesario en la práctica contar con el aporte del generador eólico, por lo que en un proyecto determinado el estudio previo del sitio y la instalación de dicha fuente es muy importante, para asegurar el aporte de esa fuente de energía.

Se escogió una batería, seca sin mantenimiento interno, para 12 Voltios DC, 100 Amph y 10 Horas de régimen de descarga. A continuación, un cuadro con las principales características:

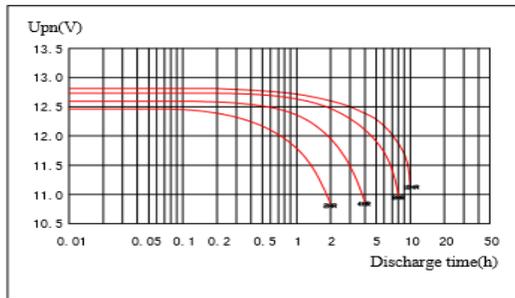
**Tabla 20. Características técnicas de la batería para el prototipo**

Marca	Shoto	6-FMX-100B
País de procedencia	RPC	
Voltaje nominal	12 VDC	
Capacidad de corriente	100 Ah	a 25°C
Peso	33.5 Krgs	
Resistencia interna	5.00 mΩ	Full charge 25°C
Máxima descarga	726 Amp	5 segundos 25°C
Rango de temperatura de operación, carga, almacenamiento, Recomendada de operación	-40 °C a +50°C -20°C a +45°C -20°C a +40°C +15°C a 25°C	
Auto descarga	a 25°C	Menos de 8% en 90 días
Corriente Máxima de carga	20 A	Límite
Voltaje de carga por celda	2.35 V/cell	
Material del contenedor	ABS	
Terminales	M6 y TU2	
% de efecto de la Temperatura en la capacidad respecto a 25°C	105% a 40°C 85% a 0°C 60% a -20°C	

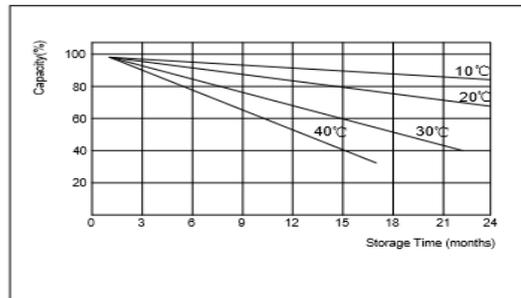
Datos Tomados y adaptados de la información del fabricante.

**Figura 31. Curvas características de la batería de acuerdo a información del fabricante:**

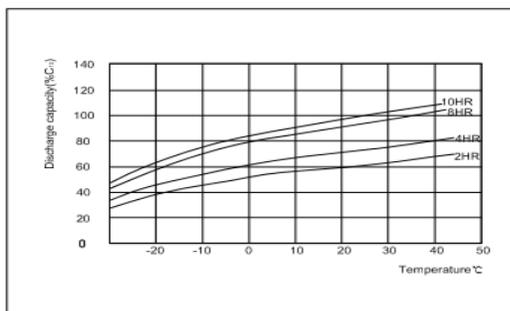
Discharge Performance at Different Discharge Rate



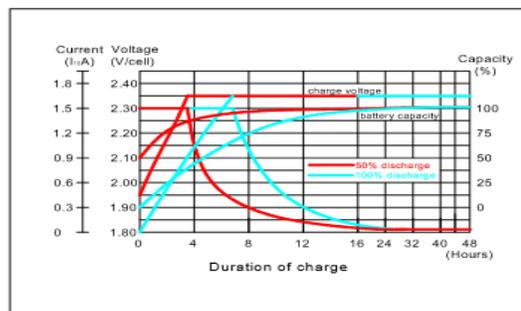
Curve of Self-discharge at Different Temperature



Capacity at Different Temperature



Constant Voltage Charge Characteristics



En el primer cuadro vemos los tiempos de descarga en horas de la batería a diferentes velocidades de descarga. La descarga es constante y el voltaje se mantiene constante aproximadamente la primera hora, posterior hasta las 10 horas el voltaje va cayendo lentamente hasta el límite.

En el segundo cuadro vemos la influencia de la temperatura en la descarga autónoma (al aire) en meses, a mayor temperatura la descarga es más rápida. A 20°C de ambiente se auto-descarga al 75% en dos años.

En el tercer cuadro también vemos la influencia de la temperatura en la carga. La temperatura recomendada por el fabricante para operación es de 25°C, sin embargo, si la temperatura es superior hasta los 40°C la batería se cargará hasta en un 10% más y más rápido, si la temperatura es inferior ejemplo 10°C la carga demorará un poco más en tiempo.

Finalmente, el cuarto cuadro da las curvas del comportamiento de la corriente, voltaje, % de la capacidad de carga y tiempo de carga de las celdas de la batería.

### 6.3.7 Equipo condensador de agua

De acuerdo a los objetivos del proyecto se requiere un Equipo condensador de agua de la humedad del aire:

- 1-Debe ser de tecnología reciente y de fácil adquisición local o importación.
- 2-Apto para instalarse en ambientes tropicales y cerca al mar.
- 3-Fácil instalación y mantenimiento sencillo.

4-Precio de acuerdo al presupuesto.

5-Sistema que consuma muy poca potencia eléctrica, en lo posible por debajo de los 100 vatios y en lo posible trabaje DC.

6-Su rango de trabajo debe estar entre 30 y 100 % de humedad del aire.

7- La potabilización del agua puede darse por medio de un módulo externo.

8-Si consume insumos deben ser de fácil adquisición localmente.

Para las pruebas del prototipo se hará con un deshumidificador de consecución local marca Bonaire modelo BMD100 que consume poca potencia eléctrica, trabaja con voltajes DC y dentro de los rangos de humedad y temperatura deseados con las siguientes características:

**Tabla 21. Características técnicas del Deshumidificador**

Características BMD100	
Voltaje de entrada	120 VAC con adaptador AC-DC 60 Hertz.
Voltaje de entrada	12 VDC sin adaptador.
Potencia máxima consumida	60 vatios
*Potencia consumida promedio medida	35 vatios
Temperatura de operación recomendada	0°C a 35 °C
Capacidad tanque de agua	1.5 litros
Tasa des-humidificación 30 MI	A 30°C y 80% humedad.
Apagado automático.	Por llenado de tanque
Ambiente de operación	Uso interior
Tecnología Radiador disipador	Sin compresor.
RPM max	2400
Air Flow	13.7 cfm (Cubic feet minute)
Max noise	23 dB
Air pressure	0.08 inch H <sup>2</sup> O

Datos Tomados y adaptados de la información del fabricante.

\*Dato tomado de las mediciones en el trabajo.

**Figura 32 Diagrama de flujo del sistema de condensación de agua.**

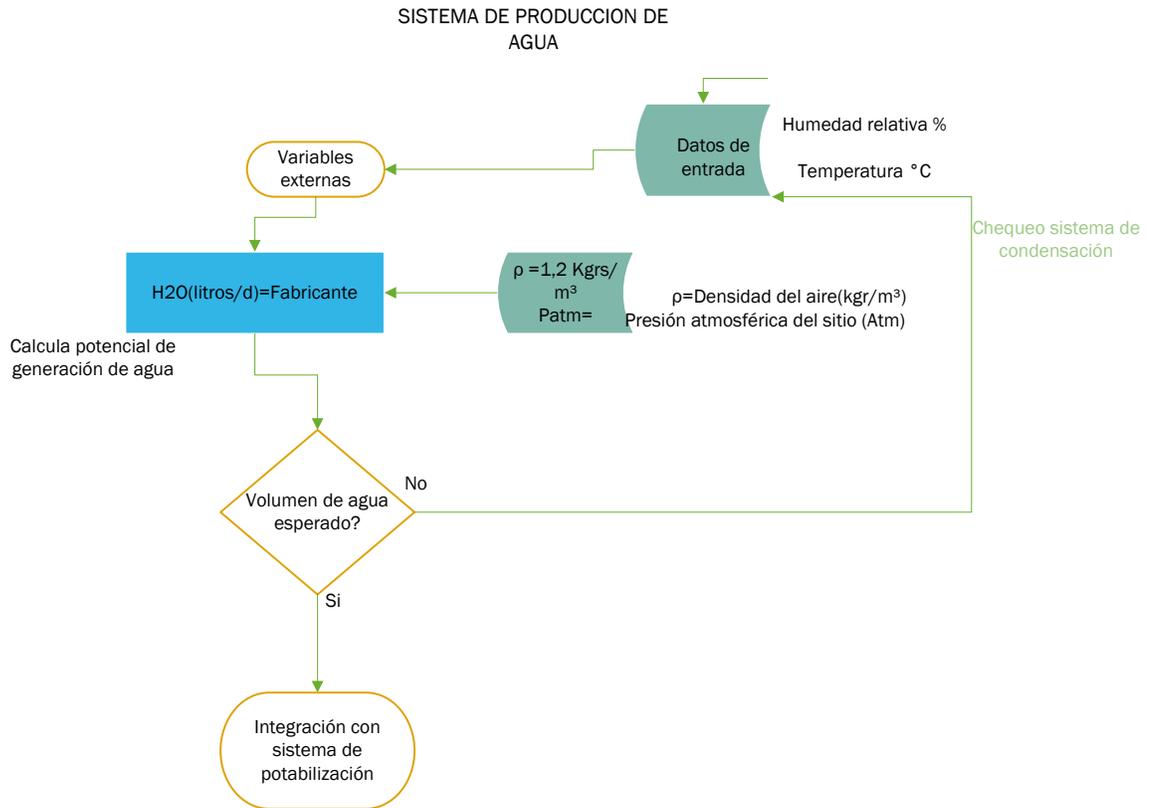


Diagrama de flujo- Sistema de condensación de agua. Elaboración propia.

Si bien los cálculos del agua a obtener dependen de la tecnología del dispositivo condensador adquirido y están por fuera del alcance de este trabajo se dan a continuación las ecuaciones matemáticas principales que nos permiten hacer una predicción sobre la cantidad de agua extraída de la humedad del aire y su variable ambiental más importante. El aire ambiental se considera una mezcla de vapor de agua, factible de condensar y aire seco como una mezcla de los componentes vistos en el capítulo 5.4.3 es decir Nitrógeno, Oxígeno, Argón y otros que no se condensan a temperaturas y presiones atmosféricas normales a las cuales se hace el presente trabajo, por tanto, el agua que se obtiene, solo será el resultado de la cantidad de vapor de agua presente en la mezcla, de su temperatura y de su saturación. La presión atmosférica en un sitio determinado se considera constante (ver cuadros de medición estación Guaymaral meses año 2016 y enero y febrero 2107) ya que su variación es mínima.

Se define:

- x La humedad absoluta.
- u Grado de saturación.

HR Humedad relativa.

$$x = m_v \text{ (gramos de vapor) } / m_{\text{sat}} \text{ (Kgrs aire seco)}$$

$$u = x / x \text{ saturación (P, T constantes)}$$

$$HR = P_v / P_{\text{sat}} \text{ (P, T, x constantes)}$$

Eq-6.6

#### 6.4 Protocolo de medidas y de análisis

En el desarrollo del diseño y prototipo, además de los estudios y mapas de IDEAM, Los valores y tablas obtenidos de la estación Guaymaral del SDA de Bogotá se desarrolla un protocolo escrito de medición de las variables ambientales humedad y temperatura y eléctricas descritas anteriormente donde se determinen los valores presentes en las pruebas, los mínimos, máximos y valores promedios. Una vez medidos se llena la tabla correspondiente y se visualizarán en gráficos que nos ayudan hacer los análisis y dar las conclusiones.

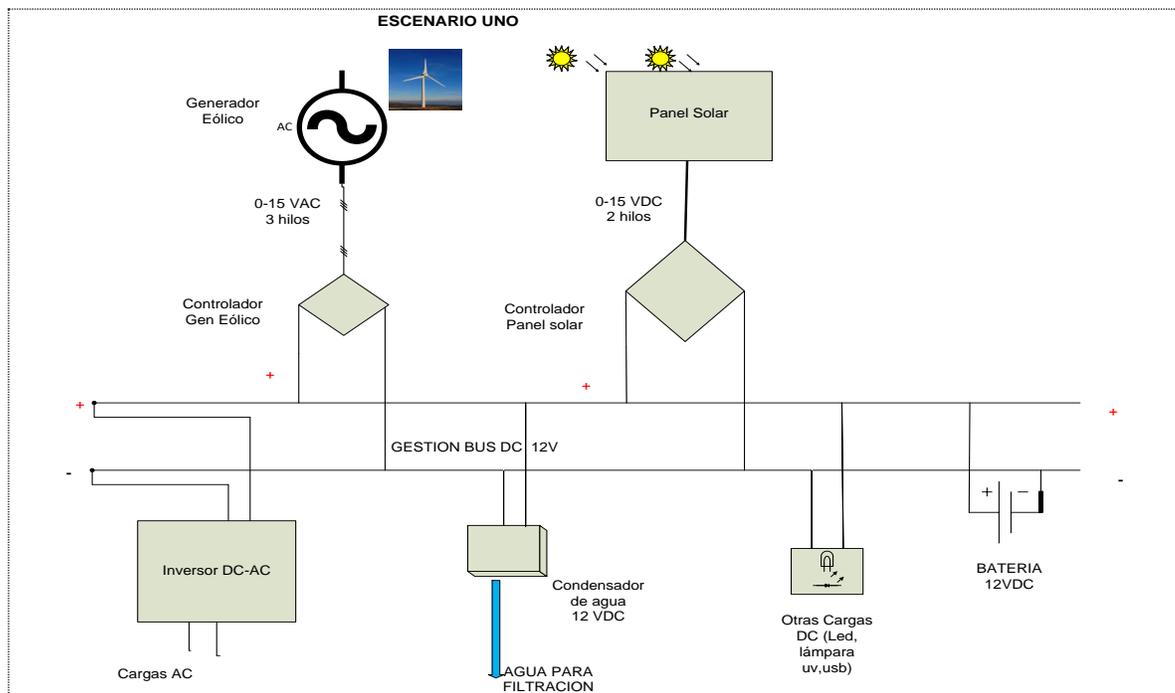
- Variables a medir.
- Frecuencia de medición.
- Tiempo de las mediciones.
- Valores o rangos aceptables.
- Conclusiones

Para lo anterior estudiaremos primero dos posibles escenarios más prácticos de nuestra solución para escoger uno de acuerdo a los criterios de:

- Menor consumo de potencia de la solución.
- Mayor eficiencia del proceso.
- Facilidad y fiabilidad en el proceso de medida.
- Simplicidad de la instalación y mantenimiento.
- Costo según presupuesto.

##### 6.4.1 Escenario Uno

#### Figura 33 Escenario de prueba Uno

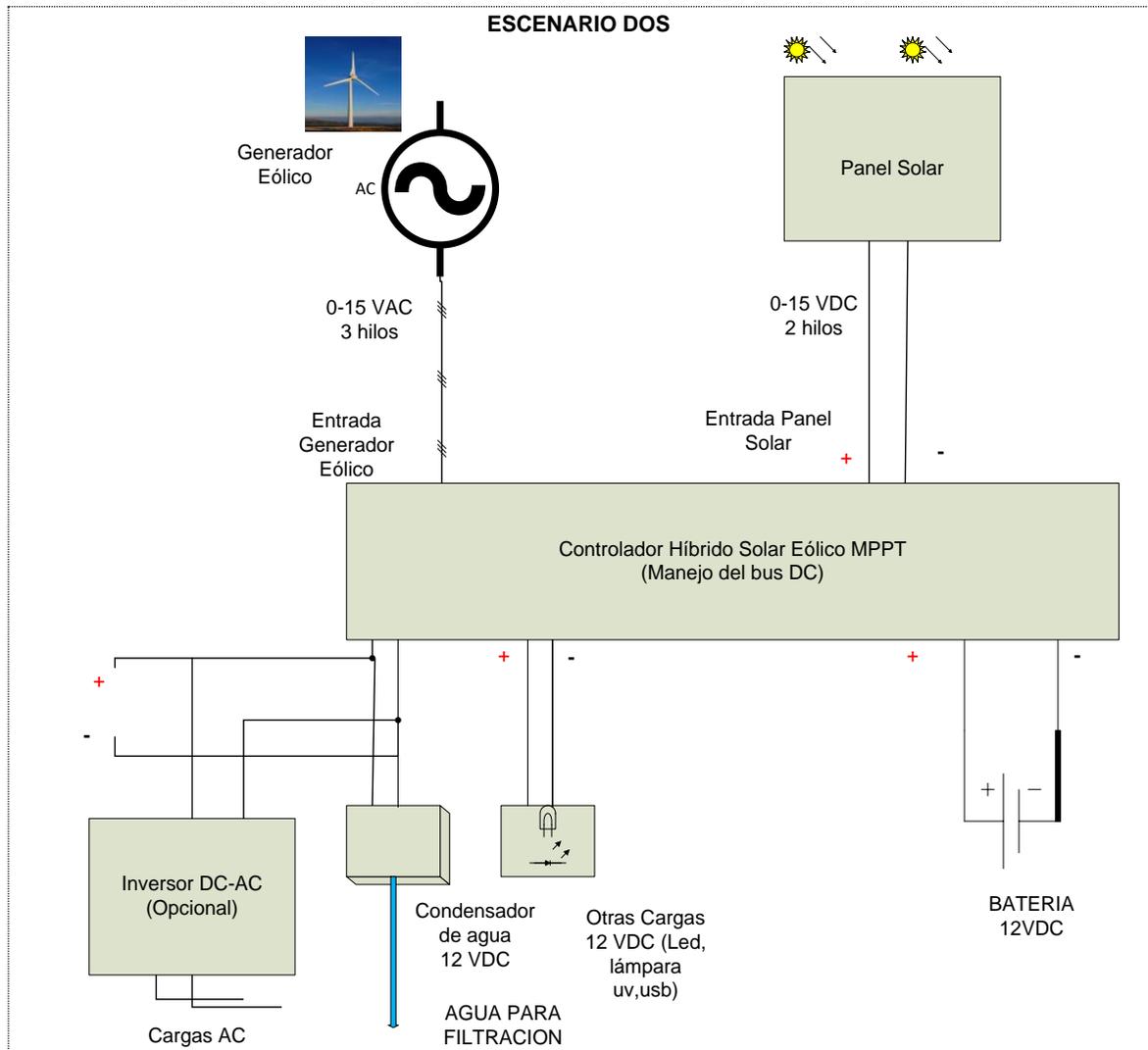


En este primer escenario se tienen los siguientes componentes:

- Generador Eólico 12 VAC con su controlador propio.
- Arreglo de panel(s) solar con su controlador.
- Dispositivo externo para el manejo del bus DC.
- Inversor DC-AC
- Batería 12 VDC
- Conexiones a cargas DC desde el control del bus DC.

#### 6.4.2 Escenario Dos

**Figura 34 Escenario de prueba Dos**



En el segundo escenario se tienen los siguientes componentes:

- Generador Eólico 12 VA. (Opcional convertidor AC-DC incorporado)
- Arreglo de panel(s) solar.
- Controlador híbrido solar eólico y cargador regulador de batería.
- Inversor DC-AC
- Batería 12 VDC
- Conexiones a cargas DC desde el control del bus DC.

### 6.4.3 Criterios de selección del escenario para el trabajo

En la siguiente tabla se analizan y califican los criterios para la selección del escenario. Se da un valor de 1 a 10 en cuanto a la importancia de la característica. y se da un valor de 1 a 10 en cuanto a la calificación del ítem siendo el valor de uno menos significativo y 10 valor máximo significativo.

**Tabla 22. Criterios de selección del escenario para el prototipo.**

Característica	Importancia	Escenario uno	Escenario dos	Observaciones
Número de componentes	8	7	8	
Eficiencia energética	9	6	7	
Complejidad	8	7	8	
Facilidad de conexionado	8	7	8	
Puntos de medición	8	7	8	
Complejidad de la solución	8	7	8	
Costo	9	6	8	
Subtotal		47	55	
Controlador adicional eólico		Incluido	-6	Para facilidad de medición
Total		47	49	

De acuerdo a la tabla anterior, apreciación subjetiva del autor del presente proyecto en base a la experiencia es preferible elegir el escenario dos con un pequeño cambio para facilitar la medición a la salida del generador eólico, le colocamos el controlador propio del generador eólico que nos convierte la corriente AC generada a corriente DC, y nos da facilidad de medir Voltaje y corriente DC a la entrada del controlador híbrido y comparar para nuestro proyecto con la potencia generada por ambas fuentes, solar y eólica.

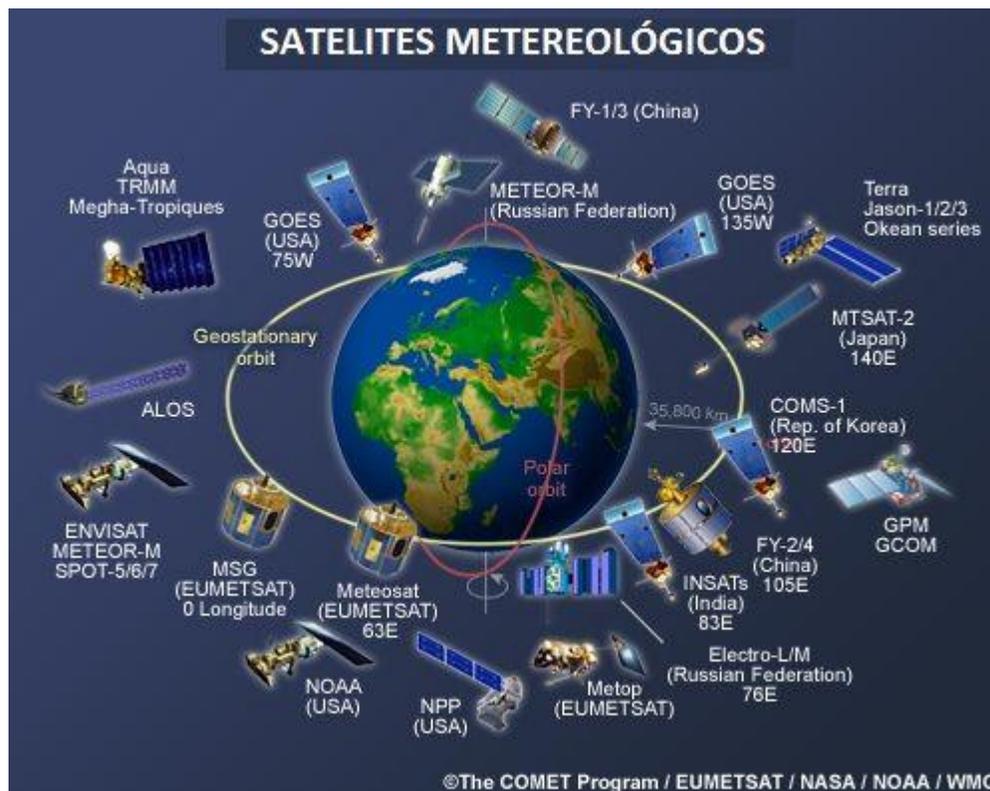
### 6.4.4 Mediciones Ambientales:

- Coordenadas del sitio
- Temperatura °C
- Humedad Relativa %
- Radiación solar
- Velocidad y Dirección predominante del viento.

- Distancia al poblado más cercano, Vías de comunicación terrestre (solo para desarrollo de un proyecto específico).
- Existencia o no de servicios públicos o comunitarios, censo poblacional. (solo para desarrollo de un proyecto específico).
- Otras condiciones de vida de los moradores (solo para desarrollo de un proyecto específico).

**Satélites Meteorológicos:** En la figura siguiente se muestra parte de la Red moderna de satélites especializados de los diferentes países más avanzados que actualmente están enviando información continua a los laboratorios en tierra sobre todas las variables meteorológicas que pueden predecir futuros comportamientos del clima y la agricultura y afectan otras actividades como las comunicaciones, el transporte aéreo, naval y terrestre en el año 2016. El personal especializado en tierra elabora los mapas del tiempo actuales y hace las predicciones, además de emite las alertas tempranas para manejo de fenómenos meteorológicos fuera de los estándares normales para prevenir consecuencias catastróficas.

**Figura-35 Satélites Meteorológicos**



Fuente NASA Tomado del internet 26-03-2017

Para la medición de la mayoría de los parámetros ambientales se debe contar con un medidor multiparámetro o una estación de medida de parámetros atmosféricos portátil que pueda almacenar y transferir los datos aun PC para su manejo y análisis. En el mercado es posible conseguir entre otros de la marca Lutron Electronic el instrumento medidor: Anemómetro, Humidity Light Meter, Thermometer Model: LM-8000A ISO-9001CE,IEC1010.Fabricante:SPECTRUM.

En el cuadro siguiente se dan las especificaciones de una la estación meteorológica profesional del mercado. Modelo WatchDog 900ET con sus rangos, resoluciones y precisión a medida de ejemplo. Para nuestro trabajo, por cuestiones de presupuesto no se contará con dicha estación profesional, por lo que algunas medidas como temperatura y humedad las haremos por medio de sensores y la placa Arduino con programas típicos (Sketch) de libre acceso y completados en este trabajo.

**Figura-36 Características de medida de una estación meteorológica.**

Sensores para la Estación Meteorológica WatchDog 900ET			
Sensor	Rango de Medición	Resolución	Precisión
Dirección del viento	0°...360°	2°	± 7°
Velocidad del viento	0...281 km/h	1 km/h	± 5%
Temperatura ambiente	-20°C...70°C	0.1°C	± 0.7°C
Humedad relativa	10% a 100%	0.1%	± 3%
Punto de rocío	-73°C a 60°C		± 2°C
Pluviometría	0.25 cm resolución		± 2%
Radiación solar	1 a 1,250 w/m <sup>2</sup>		± 5%
Humedad de suelo	0...100%		± 0.2 %
Temperatura de suelo	-30°C... 100°C		± 0.6%
Humedad foliar	0(seco) - 15(mojado)		
Riego (presión)	Cambia a 5 psi		± 1 psi

**Especificaciones - Características WatchDog 900ET**

Tomado.internet.25-10-2016

[http://www.infoagro.com/instrumentos\\_medida/categoria\\_medidor.asp?k=90](http://www.infoagro.com/instrumentos_medida/categoria_medidor.asp?k=90).

Para la localización es necesario contar con un GPS de precisión aceptable (20 metros).

**Coordenadas del sitio:**

Hacemos uso de la placa Arduino Uno R3 y del módulo GPRS+GPS A7 que tenemos disponible para el trabajo, del cual podemos obtener la Latitud y la Longitud conforme

al estándar de NMEA (National Marine Electronics association) muy utilizado hoy en día tanto para navegación como localización. El actual trabajo medición se desarrolla en tres sitios, la ciudad de Chía al norte de Bogotá, la vereda Josef del municipio de Suaita en Santander y también veredas de la ciudad de Zipaquirá, también se recolectan los datos de la estación Guaymaral perteneciente a la Secretaría del ambiente de Bogotá instalada dentro del campus de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, datos que son representativos para la parte norte de Bogotá y sede principal donde se desarrolla el presente trabajo. En las siguientes figuras y tablas de datos siempre se hará mención del sitio de la prueba para lo cual establecemos en primer lugar su ubicación o coordenadas geográficas por medio de la placa Arduino, el GPS y la temperatura y humedad por medio del sensor DHT11.

**Hoja de datos principales** de módulo GPRS+GPS A7 obtenidos del fabricante.

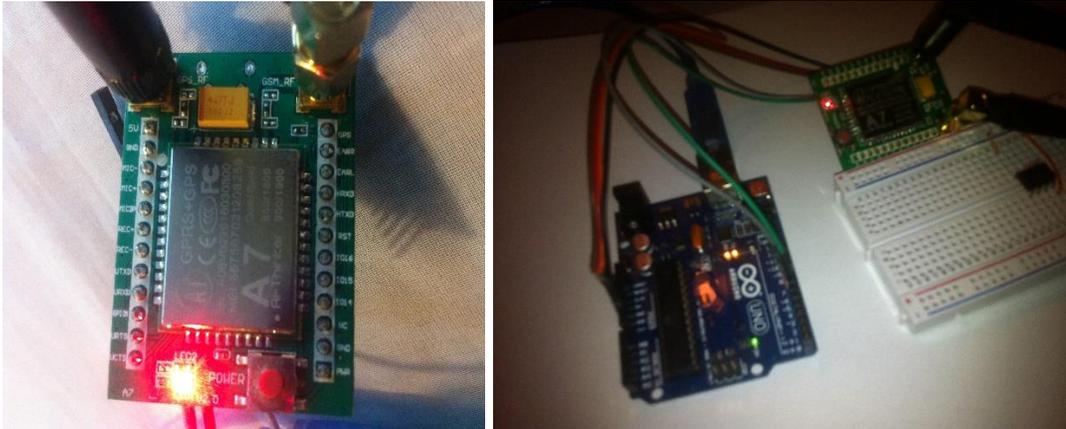
- Size: A7size:22.8x19.8x2.5mm ;
- Working temperature: -30°Cto+80°C ;
- Workingvoltage:3.3V-4.2V;
- Power voltage:>3.4V ;
- Standbycurrentsbelow3ma, A7increase2m ;
- Supportquad-bandGSM/GPRS, include850,900,1800,1900MHZ ;
- GPRSClass10;
- Sensitivity:<-105;
- Supportsvoicecalls and SupportsSMSmessages;
- GPIO-level2.8V ;
- Supports GPRS data services, the maximum data rate, download 85.6Kbps, upload42.8Kbps;
- Support standard GSM07.07,07.05 AT command and Ai Thinker extended commands;
- Supports 2 serial ports: download a serial port and AT command port;
- AT commands support the standard AT, and TCP/IP command interface ;
- Support for digital audio and analog audio, support HR, FR, EFR, AMR speech coding ;
- GPS location information support a separate serial NEMA output and read by AT (onlyA7support);
- Supportexternal300,000pixelwebcam ;
- Support ROHS, FCC, CE, CTA certification ;
- SMT42 PIN package ;

**Conexionado:**

- Conectamos +5VDC y Tierra del Arduino al GPS.

- Conectamos Rx y Tx del GPS a los pines Digitales D7 y D8 del Arduino.
- Cargamos el sketch de software (Código abierto) de lectura del GPS.
- Coleccionamos los datos.

**Figura 37: Foto de la conexión Arduino GPS A7**



Ver Anexo-1 Programa de software para placa Arduino Uno R3 y GPS-A7 y obtener datos de latitud, longitud, y otros de acuerdo al estándar NMEA (National Marine Electrical Association de Usa).

**Tabla 23-Datos obtenidos de acuerdo al estándar NMEA para el sitio requerido.**  
(Chía, Colombia Prueba-01)

FRAME ID	TIEMPO(UTC)	LATITUD	H	Longitud	S	Fix	# Satélites	HDOP(mts)
+GPSRD:\$GPGGA	213125	4,508580	N	74,03579	W	1	4	4,6
+GPSRD:\$GPGGA	213126	4,508581	N	74,03579	W	1	4	4,6
+GPSRD:\$GPGGA	213127	4,508580	N	74,03578	W	1	4	4,6
+GPSRD:\$GPGGA	213128	4,508580	N	74,03578	W	1	4	4,6
+GPSRD:\$GPGGA	213129	4,508583	N	74,03578	W	1	4	4,6
+GPSRD:\$GPGGA	213130	4,508584	N	74,03578	W	1	4	4,6
+GPSRD:\$GPGGA	213131	4,508585	N	74,03578	W	1	4	4,6
+GPSRD:\$GPGGA	213132	4,508589	N	74,03578	W	1	4	4,6
+GPSRD:\$GPGGA	213133	4,508590	N	74,03579	W	1	4	4,6
+GPSRD:\$GPGGA	213134	4,508593	N	74,03579	W	1	4	4,6

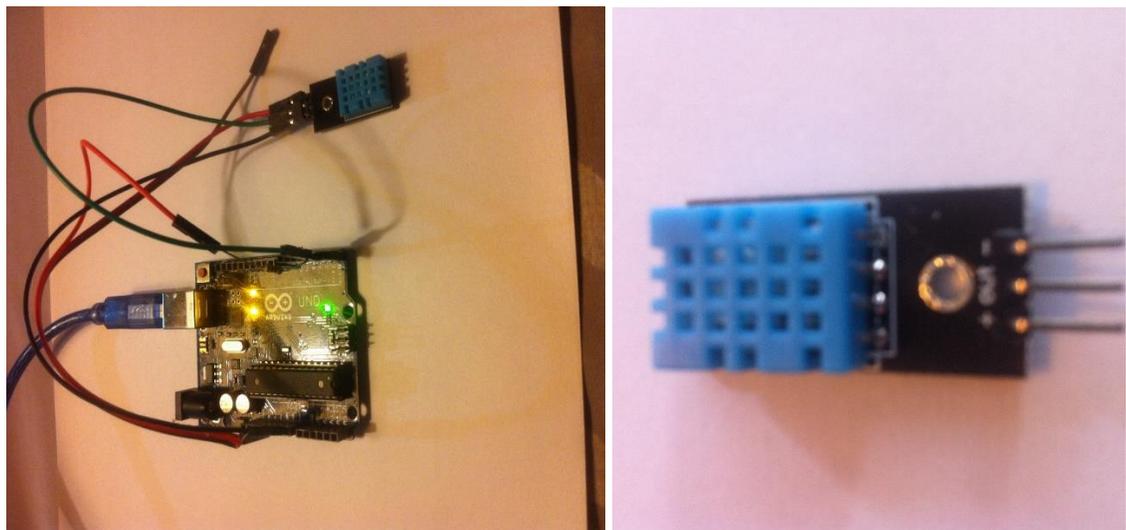
**Tabla 24-Datos obtenidos de acuerdo al NMEA para el sitio requerido (Vereda Josef municipio de Suaita Santander, Colombia Prueba-02)**

FRAME ID	Tiempo(UTC)	Latitud °G	H	Longitud °G	S	Fix	# Satélites	HDOP(mts)
GPSSD:\$GPGGA	180334	6,0474436	N	73,235515	W	1	4	3,8
+GPSSD:\$GPGGA	180335	6,0474443	N	73,235515	W	1	4	3,8
+GPSSD:\$GPGGA	180336	6,0474443	N	73,235515	W	1	4	3,8
+GPSSD:\$GPGGA	180337	6,0474441	N	73,235515	W	1	4	3,8
+GPSSD:\$GPGGA	180338	6,0474442	N	73,235515	W	1	4	3,8
+GPSSD:\$GPGGA	180339	6,0474443	N	73,235515	W	1	4	3,8
+GPSSD:\$GPGGA	180340	6,0474441	N	73,235515	W	1	4	3,8
+GPSSD:\$GPGGA	180341	6,0474441	N	73,235515	W	1	4	3,8
+GPSSD:\$GPGGA	180342	6,047444	N	73,235515	W	1	4	3,8
+GPSSD:\$GPGGA	180343	6,0474437	N	73,235515	W	1	4	3,8
+GPSSD:\$GPGGA	180344	6,0474435	N	73,235515	W	1	4	3,8

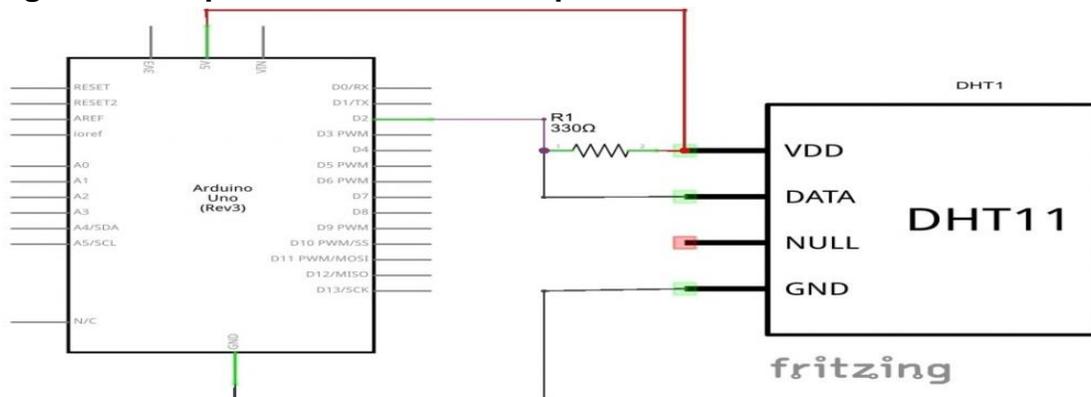
**Temperatura y humedad relativa en el sitio de las pruebas:**

Se hace uso de la placa Arduino Uno R3, del sensor digital de temperatura y humedad relativa DHT11, junto con los programas de libre acceso para utilizar el sensor.

**Figura 38 Foto de placa Arduino y sensor digital de T°C y humedad % DHT11**



**Figura 39. Esquema de conexión de placa Arduino a DHT-11 o DHT-22**



Tomado por cortesía de Fritzing <http://www.prometec.net/sensores-dht11/>:

Ver: Anexo-2 Software para medición de humedad relativa y temperatura empleando placa Arduino Uno R3 y sensor DHT11 o DHT22.

**Tabla-25. Datos obtenidos humedad temperatura. Chía.**

Fecha Medida digital de temperatura y humedad relativa-DIA-09-05-017

Fecha	Hora	Sitio	Temperatura °C	Humedad relativa %	Notas
	1am	Chía(Cundinamarca)	8°C	58%	
	3am	Chía(Cundinamarca)	8°C	58%	
	5am	Chía(Cundinamarca)	9°C	58%	
	7am	Chía(Cundinamarca)	10°C	57%	
	9am	Chía(Cundinamarca)	14°C	56%	
	11am	Chía(Cundinamarca)	15°C	55%	
	13pm	Chía(Cundinamarca)	18°C	54%	
	15pm	Chía(Cundinamarca)	17°C	54%	
	17pm	Chía(Cundinamarca)	16°C	54%	
	19pm	Chía(Cundinamarca)	14°C	55%	
	21pm	Chía(Cundinamarca)	12°C	56%	
	23pm	Chía(Cundinamarca)	10°C	56%	
Promedio			12,58°C	56%	

**Tabla-26 Datos obtenidos Vereda Josef Municipio de Suaita Santander.**

Fecha Medida digital de temperatura y humedad relativa-DIA-05-06-017

Fecha	Hora	Sitio	Temperatura °C	Humedad relativa %	Notas
	1am	Vereda Josef	14°C	78%	Vereda Josef municipio de Suaita
	3am	Vereda Josef	14°C	78%	
	5am	Vereda Josef	15°C	78%	
	7am	Vereda Josef	16°C	76%	
	9am	Vereda Josef	20°C	74%	
	11am	Vereda Josef	23°C	70%	
	13pm	Vereda Josef	24°C	68%	
	15pm	Vereda Josef	24°C	68%	
	17pm	Vereda Josef	23°C	67%	
	19pm	Vereda Josef	20°C	68%	
	21pm	Vereda Josef	18°C	70%	
	23pm	Vereda Josef	15°C	76%	
Promedio			18.8°C	72,58%	

**Tabla 27 Promedio año 2016 Humedad Relativa % Estación Guaymaral.**

Promedio Mensual Estación Guaymaral-Humedad relativa %. Año 2016.

Month	MonthlyAverage	MonthlyMaximum	MonthlyMinimum
ene	64,32	70	56
feb	63,52	70	57
mar	66,77	74	59
abr	70,37	81	63
may	70,29	78	63
jun	67,4	72	58
jul	66,45	75	57
ago	66,19	75	62
sep	67,33	76	62
oct	69,54	76	61
nov	72,13	79	65
dic	68,12	77	61
Anual	67,7025	75,25	60,33333333

Fuente: Portal de la secretaría del medio ambiente Bogotá.

**Tabla 28 Promedio Temperatura año 2016. Estación Guaymaral.**

Promedio Mensual Estación Guaymaral-Temperatura a 2 mts °C. Año 2016.

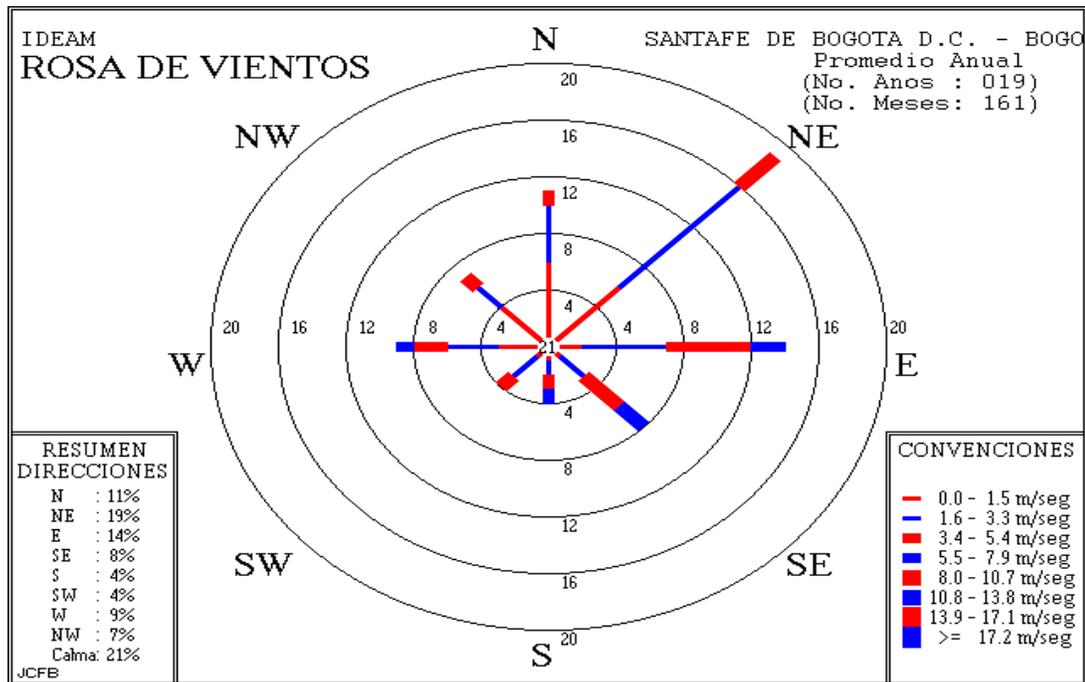
Month	MonthlyAverage	MonthlyMaximum	MonthlyMinimum
ene	15,65	17,5	14,1
feb	16,24	18,3	14,8
mar	16,22	17,7	15,1
abr	15,72	16,8	14
may	15,14	16,7	12,7
jun	14,34	16,3	13,3
jul	14,3	15,4	12,9
ago	14,28	15,3	12,8
sep	14,34	15,5	12,4
oct	15,03	16,9	13,1
nov	14,75	16,1	12,8
dic	14,75	16,1	13,7
Anual	15,06333333	16,55	13,475

Fuente: Portal de la secretaría del medio ambiente Bogotá.

Corrientes de viento. Se utilizan tablas del IDEAM.

Dirección predominante del viento (Rosa de los vientos) en los últimos 18 años de acuerdo al IDEAM. Ver la siguiente figura-40.

**Figura-40 Climatología... Régimen anual de viento: Santafé de Bogotá:**



**Figura 40 Bajada de la página del IDEAM 07-02-2017**  
<http://bart.ideam.gov.co/cliciu/rosas/viento.htm>

Se observa la mayor intensidad de los vientos provenientes del Nor-Oriente(N-Este), Oriente(Este) y Norte con un promedio de 8 metros/seg.Velocidad del viento Se hace uso de las tablas del SDA del Distrito especial de Bogotá.

**Tabla 29 Promedio velocidad del viento año 2016. Estación Guaymaral.**

Promedio Mensual Estación Guaymaral-velocidad del viento m/s. Año 2016.

Month	MonthlyAverage	MonthlyMaximum	MonthlyMinimum
Ene	0,82	1,2	0,6
Feb	0,92	1,3	0,5
Mar	0,79	1,2	0,5
Abr	0,71	1,1	0,5
May	0,76	1,2	0,5

Jun	0,91	1,3	0,5
Jul	0,95	1,6	0,6
Ago	0,97	1,4	0,6
Sep	0,82	1,1	0,4
Oct	0,61	0,9	0,3
Nov	0,59	1,8	0,3
Dic	0,66	1	0,3
Anual	0,7925	1,2583333333	0,466666667

Fuente: Portal de la secretaría del medio ambiente Bogotá.

De acuerdo al UPME La distribución horaria de la velocidad del viento en zonas con mayor aprovechamiento de potencial eólico en el país y en particular en la estación del aeropuerto el Dorado en la zona de Santafé de Bogotá es la siguiente.

AEROPUERTO EL DORADO PISTA 1-2 – DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA (ID 16)

En general prevalecen vientos débiles en la mayor parte del año. No obstante, vale la pena mencionar algunas épocas para las cuales el viento alcanza valores cercanos a 5 m/s, caso mes de enero y a mitad de año entre julio y agosto entre la 1 y 4 p.m. La dirección predominante de donde sopla el viento es mayormente del noreste. Sin embargo, observando la rosa de vientos, las intensidades más altas se logran cuando el viento sopla mayormente del oeste.

Radiación solar, se hace uso de las tablas del SDA del Distrito especial de Bogotá

### Tabla 30 Promedio radiación solar año 2016. Estación Guaymaral.

Promedio Mensual Estación Guaymaral-Radiación solar w/m<sup>2</sup>. Año 2016.

Month	MonthlyAverage	MonthlyMaximum	MonthlyMinimum
Ene	238,23	313	99
Feb	221,93	352	83
Mar	229,81	365	87
Abr	169,37	282	73
May	165,94	259	69
Jun	188,03	298	116
Jul	193,74	278	118
Ago	192,48	265	113
Sep	196,53	299	122
Oct	192,54	314	107
Nov	182,8	314	70
Dic	201,88	326	80
Anual	197,77333333	365	69

Fuente: Portal de la secretaría del medio ambiente Bogotá.

#### 6.4.5 Mediciones Eléctricas:

- Voltaje DC
- Voltaje AC
- Corriente Eléctrica DC.
- Corriente eléctrica AC
- Potencia máxima
- Medida de Resistencia eléctrica(Ohmios)
- Medición del estado de carga y salud de la batería (SoC, SoH).

Variables Eléctricas de salida:

En el desarrollo del proyecto se miden parámetros eléctricos de salida en puntos específicos mostrados en las figuras 47 y 51.

**Tabla-31 Variables y parámetros eléctricos de salida**

Dispositivo	Voltaje voltios DC horas pico	Corriente Amperios	Potencia vatios (SoC)	HSP Horas	Módulos #	Eficiencia %	Notas
Generador solar	14,2	4,9	70,12	4,3	1	70%	
Generador eólico	9,09	12,1	110		1	55%	
Controlador híbrido	14,5	20	300		1		
Bus DC	13,5						
% carga de Batería	100 %						
Baterías	13,5				1		
Condensador (deshumidificador)	12	2,9	35				24 horas al día
Otras cargas (3 bombillos Led 5.vatios c/u(opcional)	12	1,23	15				2 horas al día
Lámpara Uv (opcional)	12	1					0,1 horas al día

Se hace uso de un multímetro digital portátil para comprobar estáticamente las mediciones iniciales, para mediciones dinámicas se hace por medio de la placa Arduino y los medidores

(sensores) de voltaje y corriente y los códigos de software descritos en los anexos de éste documento.

**1-Medición de voltajes DC:** Lo hacemos a través de la placa de desarrollo Arduino el sensor DC 0-25VDC el sketch de programa código abierto para placa de desarrollo Arduino (Based on Code Created By T.K.Hareendran open your Arduino serial monitor) en los puntos indicados en la tabla 31. Cambiando al programa los valores de resistencias y cálculo del voltaje de acuerdo al módulo ARD 0-25V.

Características:

Voltaje a medir: DC0-25V

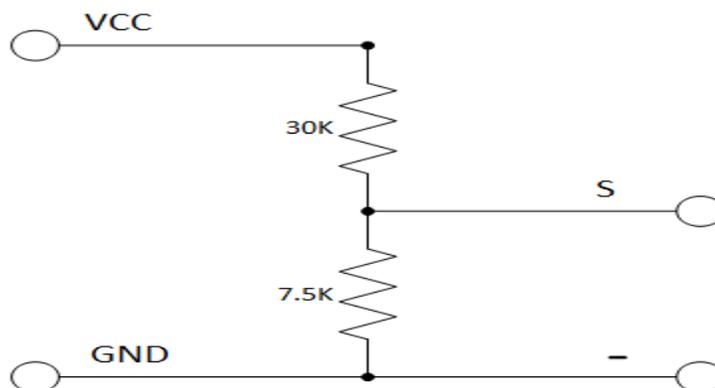
Rango: VDC 0.02445V-25V.

Alimentación de 5 VDC

Resolución analógica de tensión; 0.00489 V

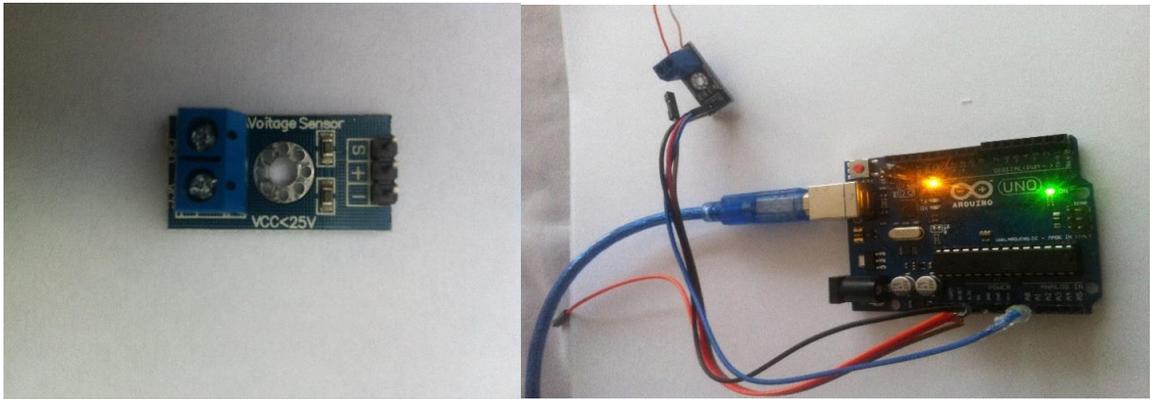
Compatible con placas de desarrollo incluyendo Arduino

**Figura 41- Esquema de Conexión Sensor de voltaje ARD 0-25V a placa Arduino Uno R3**



Ver anexo 3: Software para medir voltajes DC empleando placa Arduino y sensor ARD-0-25VDC

**Figura 42- Fotos conexión Sensor de voltaje ARD 0-25V a placa Arduino Uno R3**

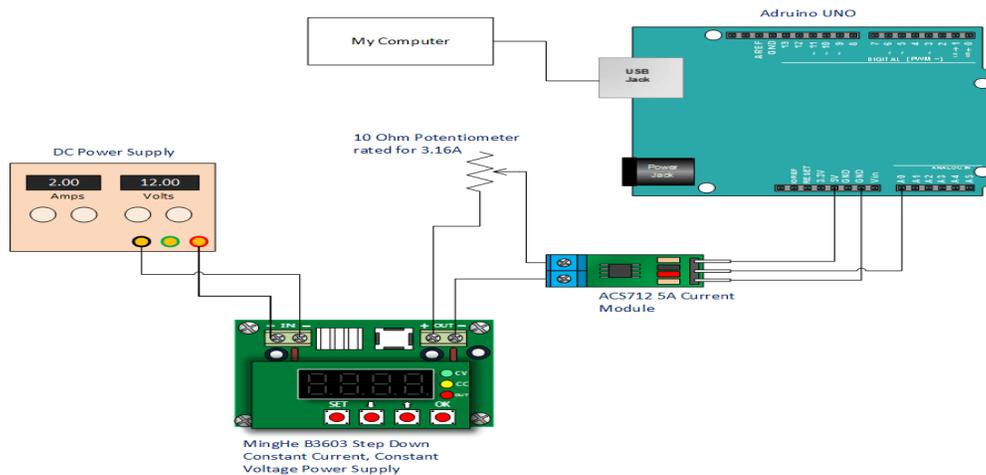


**2-Medición de Corrientes DC (30AMP):** Lo hacemos a través de la placa de desarrollo Arduino el sensor ACS712 30A y el sketch de programa de Arduino abierto suministrado por Henry's Bench.

Características:

- Alimentación: 5V
- Indicador de energía
- Salida analógica de 185 mV / A
- Mide corriente DC de 0 a 30 Amperios.

**Figura-43. Diagrama conexión placa Arduino sensor de corriente ACS712:**

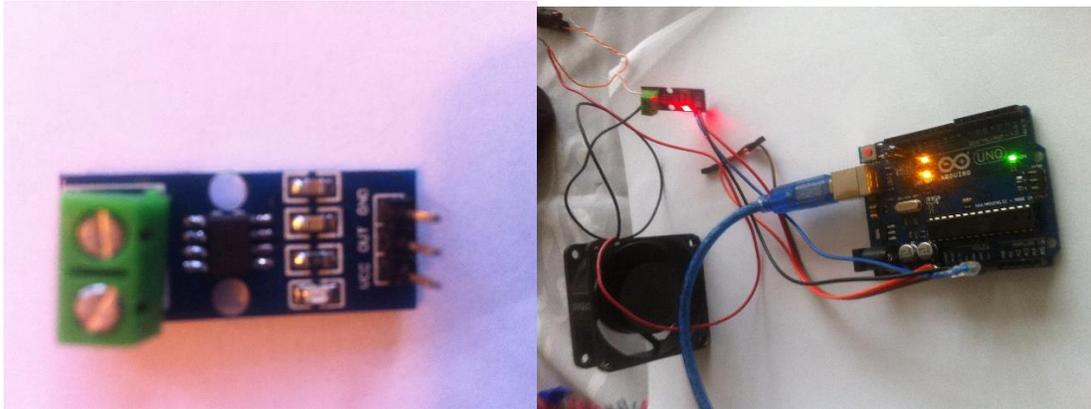


Tomado de proveedor: <http://henrysbench.cdnfatz.com/henrysbench/arduino-current-measurements/the-ac712-current-sensor-with-an-arduino/>

Para el caso nuestro la fuente de corriente se considera la salida hacia la carga del controlador híbrido y la carga real el deshumidificador 12VDC.

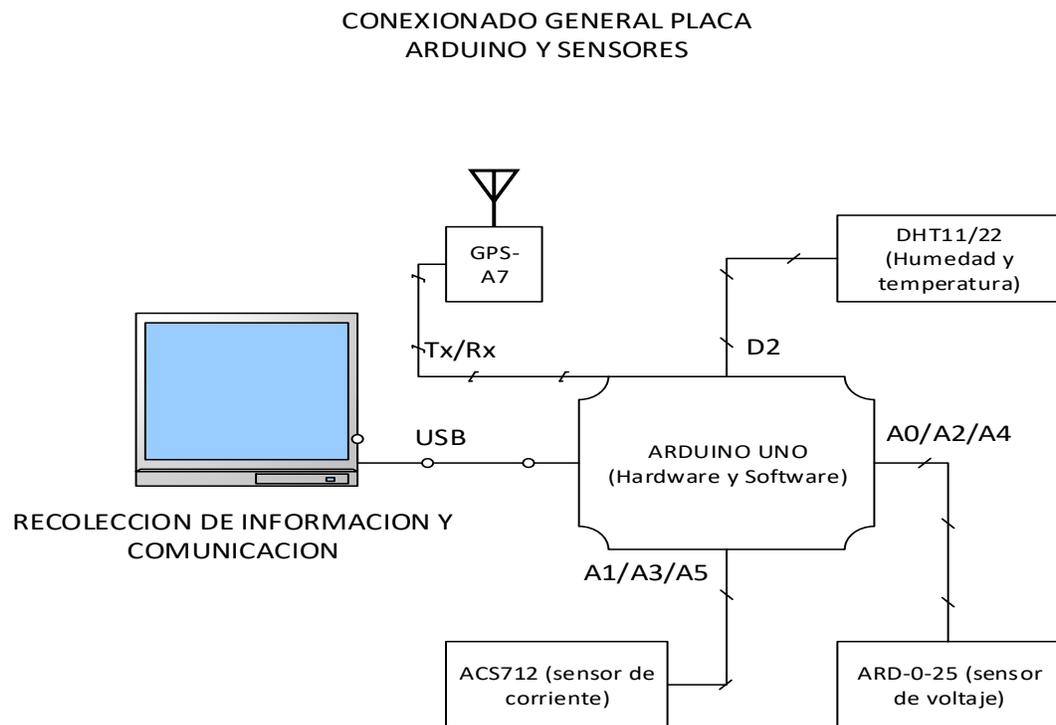
Ver: Anexo-4 Software para medir corrientes DC utilizando placa Arduino y sensor ACS712-30A

Figura 44 Foto de Sensor ACS712 conectado a la placa Arduino.



En la figura 45 se presenta un diagrama típico para conexionado de sensores de humedad, temperatura, voltaje, corriente y Gps concurrentemente a la placa Arduino.

Figura 45 Diagrama de Conexionado Placa Arduino y sensores:

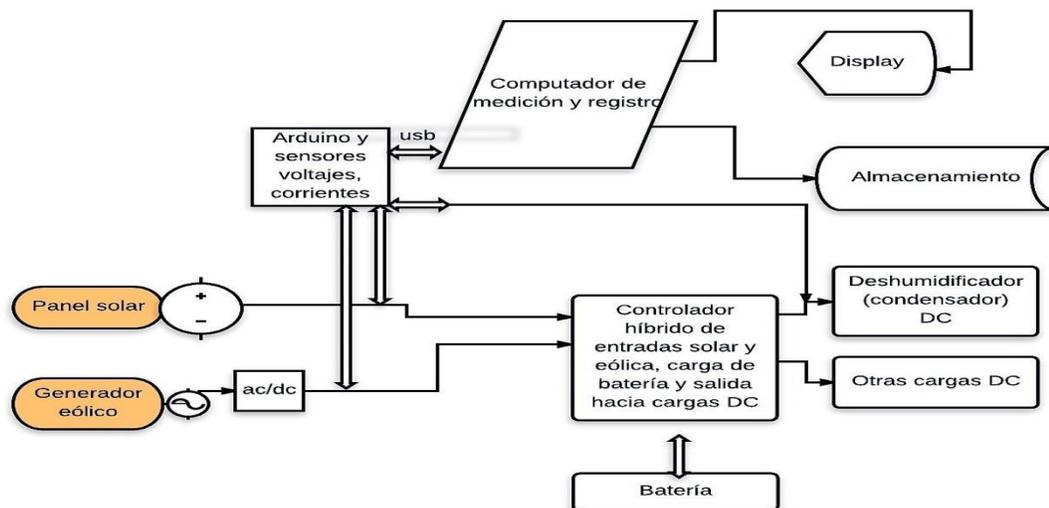


Se hace uso del programa general para medir Voltaje, corriente y Potencia de las fuentes solar y eólica de entrada al controlador solar, eólica y en la salida hacia la carga del deshumidificador utilizando la placa Arduino Uno R3:

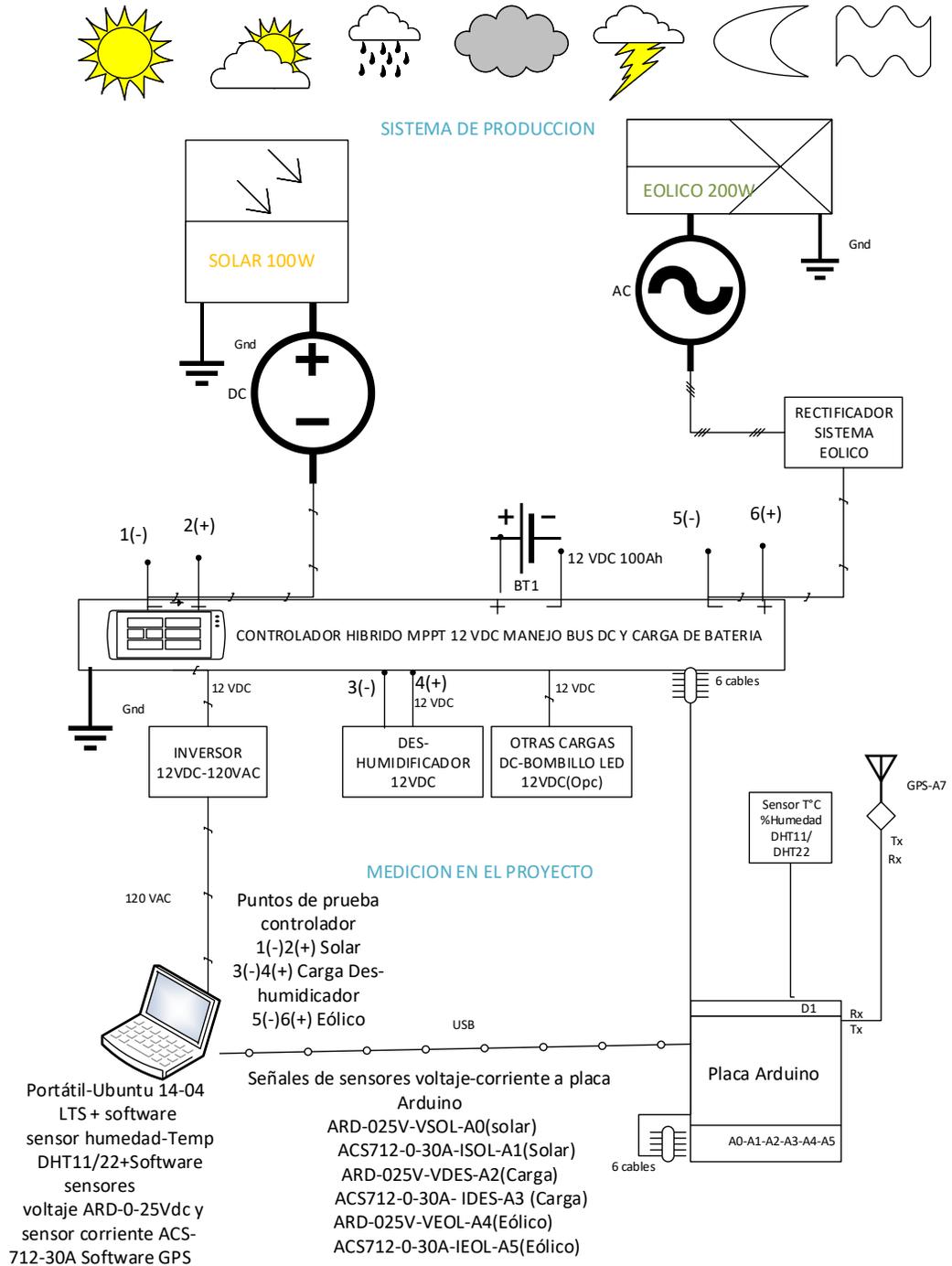
El programa está basado en el software GNU de uso libre para placa Arduino y disponible en la red desarrollado por T.K. Hareendran y los tutoriales de Henry's Bench usando los sensores para medir corriente DC hasta de 30 amperios ACS712 y el sensor ASR 0-25VDC para medir voltajes. Para la medida de temperatura y humedad relativa se usa el sensor DHT11 y el software GNU para Arduino desarrollado por Rob Tillaart

// VERSION: 0.1.01. Los programas anteriores fueron integrados reformados y completados para este trabajo de tesis por el autor haciendo la definición de constantes y variables, las instrucciones para el cálculo de promedios y las instrucciones para la visualización.

**Figura 46 Diagrama general de medición variables eléctricas**

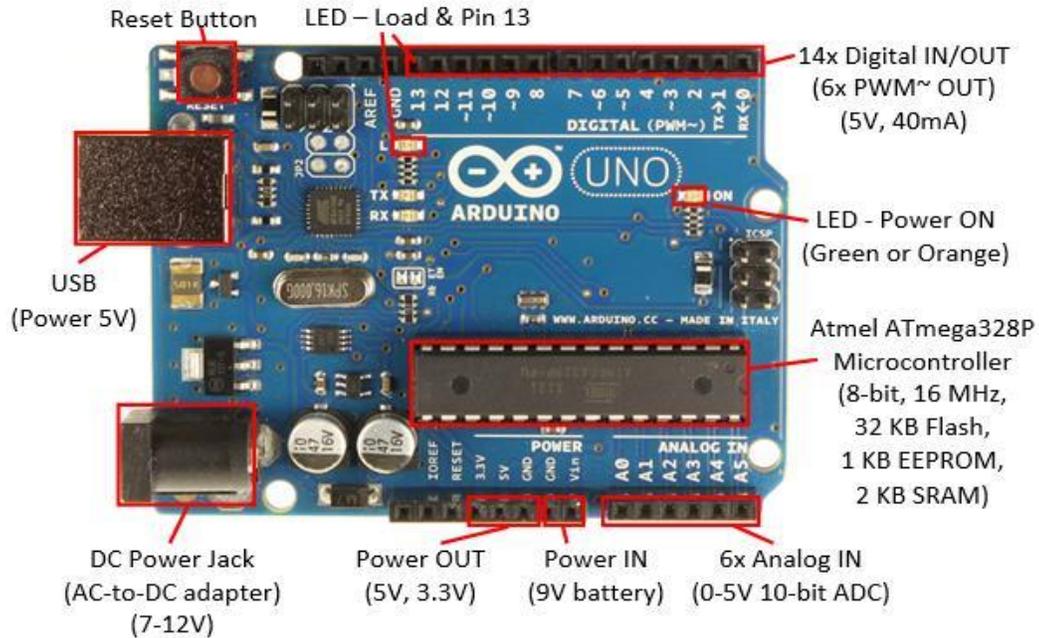


**Figura 46A Diagrama general del Proyecto**



Nota: Todos los sensores y GPS conectan 5VDC y GND en la placa Arduino

**Figura 46B Diagrama general de la placa Arduino Uno** Imagen tomada de: (<https://www.google.com.co/search?q=especificaciones+arduino+uno+R3>)



**Especificaciones y conexión de la tarjeta Arduino a sensores:**

- Especificaciones internas mostradas en la figura 46B.
- Conexión de 5 VDC y Retorno de placa Arduino a sensores directamente.
- Alimentación DC y comunicación con computador por cable USB.
- GPS A7 a pines Tx y Rx.
- Sensor de voltaje panel solar ARD0-25VDC Pin A0.
- Sensor de corriente panel solar ACS712-30Amp Pin A1.
- Sensor de voltaje deshumidificador ARD0-25VDC Pin A2.
- Sensor de corriente deshumidificado ACS712-30Amp Pin A3.
- Sensor de voltaje generador eólico ARD0-25VDC Pin A4.
- Sensor de corriente generador eólico ACS712-30Amp Pin A5.

**Conexión de la tarjeta Arduino a Computador y software involucrado**

- Computador portátil Lenovo Intel I-7.
- Sistemas operativo Ubuntu 4.04 LTS.
- Software libre de GPS A7 Anexo 3
- Software libre de sensor de temperatura y humedad DHT11/22 Anexo 4
- Software libre de sensor voltaje ARD-025VDC Anexo 5.
- Software libre de sensor de corriente ACS712-30 Amp Anexo 6.

En el diagrama de la figura 46A podemos visualizar el sistema de producción que es la parte principal del proyecto para obtener energía eléctrica de la radiación del sol como fuente principal y de las corrientes del viento como fuente auxiliar, además del almacenamiento de la energía eléctrica por medio de la batería. Una vez obtenida la energía necesaria se alimenta en 12 VDC el deshumidificador el cual produce gota a gota el agua de la humedad del aire. Por otro lado, se alimenta un inversor DC-AC para obtener la potencia necesaria para alimentar un computador portátil basado en el sistema operativo Linux Ubuntu, y una carga adicional de 5 vatios 12 VDC representada en un bombillo Led de esas características. Todos los elementos anteriores se conectan por medio de un controlador híbrido inteligente que regula la carga y descarga de la batería.

### **Listado de módulos del sistema de Producción**

- Panel solar. Especificaciones pag-57
- Generador eólico. Especificaciones pag-57
- Rectificador controlador del generador eólico. Especificaciones pag-58
- Controlador híbrido MPPT. Especificaciones pag-58
- Batería. Especificaciones pag-59
- Deshumidificador. Especificaciones pag-61

### **Listado de módulos del sistema de medición**

- GPS A7. Especificaciones Pag-69
- Sensor de temperatura y humedad DHT11/22 pag-71
- Sensor de voltaje ARD-0-25VDC pag-78
- Sensor de corriente ACS712-30 Amp pag-79
- Placa Arduino Uno R3 pag-82

El sistema auxiliar de medición consiste en tomar las variables de voltaje y corriente en los tres puntos principales (+, -), dos de generación (Solar y Eólica) y uno de consumo eléctrico del deshumidificador (+, -) por medio de los sensores de voltaje ARD-0-25VDC y de corriente ACS712 uno para cada punto de prueba y cablearlos a las entradas análogas de la placa Arduino Uno R3. Por otra parte, las variables atmosféricas temperatura y humedad relativa por medio del sensor DHT11 o DHT22 se cablea a la entrada digital D2 y el GPS a las entradas Tx/Rx. La tarjeta Arduino se conecta vía USB al computador portátil en el cual se corre en tiempo real las aplicaciones de monitoreo y medición de las variables atmosféricas Temperatura y humedad del aire, localización de las coordenadas del punto de pruebas por medio del GPS A7 y también el software aplicativo para la medición de voltajes y corrientes eléctricas DC en los puntos de medición previstos (ver anexo 7 y 7A). La placa Arduino toma la alimentación de la conexión USB y los sensores se alimentan en 5 vdc y Tierra(Ground) desde la placa Arduino.

No se contempló en el proyecto la medición de la velocidad del viento, la cual se toma de los mapas suministrados por entes especializados como el Ideam.

El sistema de producción es la parte central desarrollada en este trabajo y en el transcurso del desarrollo del proyecto se implementó un sistema de medición auxiliar para poder documentar las pruebas. Se hace claridad que para desarrollos y aplicaciones en la vida real ya sea para una entidad gubernamental o una empresa particular es necesario contar con un sistema profesional de medición de variables atmosféricas tal como el mencionado en la página 68 de este escrito y un desarrollo más robusto de medición de variables eléctricas, para lo anterior necesariamente se debe contar con una fuente de financiación. Sin embargo, como se describe el capítulo 11 uno de los objetivos de este trabajo es plantear la Metodología como guía para desarrollar proyectos reales, la cual esperamos sea útil para personas que se involucren en el tema.

#### **Criterios de selección de lugares para efectuar las pruebas:**

La selección de los sitios para las pruebas y medidas es un evento crítico ya que se necesita que concuerden varios factores que enumeramos a manera de guía:

1. Deben existir condiciones de seguridad para las personas y para los equipos, ya que son pruebas que llevan muchos días e inclusive meses, y los equipos tanto de producción como de medida se desconectan por períodos de tiempo y por su peso no se pueden transportar todos los días.
2. Los sitios escogidos son en campo libre donde deben coexistir la radiación solar en lo posible todo el día y la posibilidad de corrientes de viento mayores a 2 metros/segundo.
3. Estos sitios no deben quedar lejos de un espacio cerrado como una casa donde las personas involucradas se puedan rápidamente proteger de la lluvia y/o tormenta eléctrica y el transporte de la energía hacia la carga no tenga pérdidas apreciables debido a la longitud y calibre del cable.
4. Por seguridad de las personas y protección del computador y módulos de medida electrónicos como la placa Arduino y sensores las pruebas se interrumpen al presentarse tormentas eléctricas.

La presente etapa de medición para obtener los datos que muestren los resultados se elaboró en varios períodos de tiempo durante los meses desde marzo de 2017 a octubre de 2017 que suman más de 60 días de pruebas y se realizaron en cuatro sitios diferentes:

#### **Lugares para efectuar las pruebas de este proyecto:**

- Casa en Chía, Departamento de Cundinamarca Colombia.
- Finca en la vereda Josef corregimiento de Vado-real, municipio de Suaita en el Departamento de Santander Colombia.

- Finca en la vereda Páramo de Guerrero municipio de Zipaquirá Departamento de Cundinamarca Colombia.
- Finca en la vereda San Jorge municipio de Zipaquirá Departamento de Cundinamarca Colombia.

Por razones de orden logístico y de seguridad institucional no fue posible realizar pruebas en la Universidad ECI.

Los resultados que se presentan en el presente trabajo son los más significativos teniendo en cuenta los siguientes puntos:

Las curvas de generación eléctrica de fuente solar son repetitivas en el día tomando como período de tiempo el día de 5 am a 7 pm y varían de acuerdo al porcentaje de radiación solar recibida en cada día en particular, debido principalmente a la existencia de nubosidad en el sitio a medida que transcurren las horas.

Las curvas de generación eléctrica de fuente eólica son completamente aleatorias ya que las corrientes de viento se presentan un par de minutos, un par de horas o simplemente pueden existir en horas de la noche o acompañados de lluvia intensa y/o tormentas eléctricas que dificultan la toma de los datos. De los cuatro sitios, solo en las veredas de san Jorge y páramo de Guerrero en Zipaquirá fue posible obtener datos confiables en varios períodos sin tener presencia de tormentas eléctricas. Por razones de consecución de repuesto se reemplazó el sensor DHT11 por el DHT22 en las pruebas del mes de octubre de 2017, que es un sensor más sensible y estable, por lo cual se incluye los códigos en el anexo 7A. En los anexos 3-4-5-6 se visualizan los códigos para el GPS y los sensores de voltaje y corriente usados en el presente trabajo.

En las siguientes figuras se muestra el montaje en dos sitios de prueba y módulos electrónicos conectados.

**Figura 46C (foto izquierda) vereda san Jorge Zipaquirá Cundinamarca. Figura 46D (foto derecha) vereda Josef Suaita Santander.**



**Figura 46E (foto izquierda) controlador-rectificador para el generador eólico. Figura 46F (foto derecha) Controlador Híbrido solar- eólico.**



**Figura 46G (foto izquierda) Caja con cerramiento Norma IP54 con módulos electrónicos de medida. Figura 46H (foto derecha) interior de la caja con tarjeta Arduino, sensores de voltaje, corriente, humedad-temperatura.**



**Figuras 46I. Ver Anexo 12 Videos de pruebas en campo.**

### **Pruebas y mediciones con el Panel solar**

Las pruebas y mediciones con el panel solar son relativamente prácticas de hacer y requieren los siguientes pasos de acuerdo a la experiencia de este trabajo:

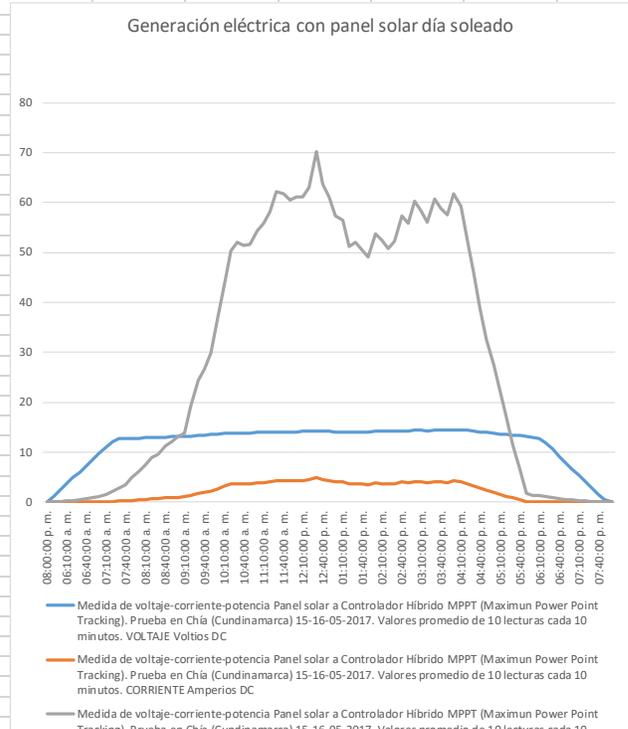
1. Selección del sitio de la prueba, donde la luz del sol pueda dar directamente al panel solar en lo posible desde las 6am hasta las 6pm.
2. Exista espacio cubierto a 3 metros del panel donde se pueda de manera rápida guardar el computador y otros elementos electrónicos vulnerables con el agua en caso que se presente lluvia.
3. Las personas involucradas en las medidas deben tener y usar elementos de protección personal para protegerse de los rayos del sol.
4. Si hay más personas en el sitio, se debe evitar que las personas se acerquen y en lo posible se debe colocar una cinta con la leyenda "Peligro no traspasar" alrededor o una barrera, de tal manera, que se eviten accidentes.
5. Conectar los equipos y los sensores y efectuar las mediciones de acuerdo a lo mostrado en la figura 46A y grabar la información en forma digital para su análisis y presentación.

**Figura 47: Gráfica de medición voltaje, corriente y potencia panel solar en chía(Cundinamarca).**

Medida de voltaje-corriente-potencia Panel solar a Controlador Híbrido MPPT (Maximun Power Point Tracking).

Prueba en Chía (Cundinamarca) 15-16-05-2017. Valores promedio de 10 lecturas cada 10 minutos.

Hora:	VOLTAJE	CORRIENTE	POTENCIA
Hora	Voltios DC	Amperios DC	Wattos
08:00:00 PM	0,029	0,007	0
05:50:00 AM	1,143	0,074	0,085
06:00:00 AM	2,378	0,074	0,176
06:10:00 AM	3,616	0,074	0,267
06:20:00 AM	4,856	0,074	0,359
06:30:00 AM	6,099	0,081	0,496
06:40:00 AM	7,344	0,096	0,706
06:50:00 AM	8,591	0,111	0,953
07:00:00 AM	9,841	0,126	1,238
07:10:00 AM	11,077	0,141	1,557
07:20:00 AM	12,207	0,178	2,167
07:30:00 AM	12,666	0,222	2,811
07:40:00 AM	12,705	0,281	3,572
07:50:00 AM	12,761	0,392	5,004
08:00:00 AM	12,812	0,481	6,161
08:10:00 AM	12,871	0,577	7,427
08:20:00 AM	12,932	0,688	8,898
08:30:00 AM	12,976	0,747	9,696
08:40:00 AM	13,032	0,858	11,184
08:50:00 AM	13,079	0,925	12,095
09:00:00 AM	13,123	0,999	13,106
09:10:00 AM	13,157	1,051	13,822
09:20:00 AM	13,274	1,457	19,346
09:30:00 AM	13,384	1,827	24,457
09:40:00 AM	13,447	1,983	26,662
09:50:00 AM	13,506	2,205	29,776
10:00:00 AM	13,623	2,671	36,384
10:10:00 AM	13,755	3,189	43,859
10:20:00 AM	13,875	3,633	50,399
10:30:00 AM	13,906	3,736	51,955
10:40:00 AM	13,904	3,699	51,432
10:50:00 AM	13,914	3,714	51,674
11:00:00 AM	13,965	3,891	54,344
11:10:00 AM	13,997	3,995	55,917
11:20:00 AM	14,033	4,143	58,139
11:30:00 AM	14,114	4,409	62,232
11:40:00 AM	14,114	4,38	61,815
11:50:00 AM	14,104	4,291	60,52
12:00:00 PM	14,124	4,321	61,021
12:10:00 PM	14,136	4,328	61,179
12:20:00 PM	14,175	4,439	62,921
12:30:00 PM	14,297	4,905	70,126
12:40:00 PM	14,211	4,476	63,609
12:50:00 PM	14,185	4,306	61,075
01:00:00 PM	14,128	4,054	57,28
01:10:00 PM	14,131	4,002	56,558
01:20:00 PM	14,075	3,633	51,127
01:30:00 PM	14,104	3,684	51,963
01:40:00 PM	14,099	3,588	50,589
01:50:00 PM	14,089	3,485	49,095
02:00:00 PM	14,185	3,788	53,729
02:10:00 PM	14,192	3,699	52,497
02:20:00 PM	14,172	3,588	50,852
02:30:00 PM	14,199	3,677	52,209
02:40:00 PM	14,302	4,002	57,242
02:50:00 PM	14,292	3,906	55,828
03:00:00 PM	14,37	4,195	60,279
03:10:00 PM	14,36	4,062	58,326
03:20:00 PM	14,338	3,906	56,009
03:30:00 PM	14,431	4,202	60,642
03:40:00 PM	14,419	4,084	58,884
03:50:00 PM	14,407	3,995	57,555
04:00:00 PM	14,478	4,261	61,694
04:10:00 PM	14,46	4,099	59,268
04:20:00 PM	14,346	3,662	52,536
04:30:00 PM	14,219	3,226	45,864
04:40:00 PM	14,072	2,752	38,729
04:50:00 PM	13,938	2,338	32,585
05:00:00 PM	13,813	1,998	27,593
05:10:00 PM	13,684	1,62	22,171
05:20:00 PM	13,552	1,25	16,944
05:30:00 PM	13,416	0,851	11,414
05:40:00 PM	13,293	0,481	6,393
05:50:00 PM	13,157	0,141	1,849
06:00:00 PM	13,076	0,111	1,451
06:10:00 PM	12,766	0,104	1,322
06:20:00 PM	11,848	0,089	1,052
06:30:00 PM	10,574	0,081	0,86
06:40:00 PM	9,275	0,074	0,686
06:50:00 PM	7,974	0,067	0,531
07:00:00 PM	6,675	0,067	0,444
07:10:00 PM	5,378	0,067	0,358
07:20:00 PM	4,106	0,067	0,273
07:30:00 PM	2,815	0,067	0,187
07:40:00 PM	1,565	0,059	0,093
07:50:00 PM	0,562	0,059	0,033
08:00:00 PM	0,173	0,067	0,012



Lugar de la prueba: Chía (Cundinamarca)  
 Fecha: Mayo 15 a 16 de 2017.  
 Condición atmosférica: Día mayormente soleado  
 Controlador: Placa Arduino Uno R3  
 Sensor de voltaje: 0-25 VDC Resolución 0.00489v.  
 Sensor corriente 0-25 Amps DC Sensibilidad 66 mV/A.  
 Potencia = Voltaje X Corriente.  
 Controlador: Placa Arduino Uno R3  
 Software de medición y cálculo Ver: Referencia.  
 Nota: Se ocultan los datos de 8 PM a 5-10 AM por tener valores cercanos a 0.

En la figura 47 vemos el comportamiento de la generación solar las 24 horas de un día típico con escasa nubosidad. Para este día en particular tomadas las medidas a través de la placa Arduino en la ciudad de Chía Cundinamarca entre el 15 y 16 de mayo de 2017 podemos visualizar:

- La Generación empieza a las 5,30 AM.
- Alcanza su máximo a las 12,40 PM en la tarde.
- Declina hacia las 6,30 PM

Las variaciones dependen de la nubosidad pasajera presentada ese día en particular. Para un día sin nubosidad como en los días de pleno verano en el mes de agosto, se espera que las curvas serán más lineales, y la generación llega a ser la máxima hacia la una de la tarde. Para esta prueba en particular se llegó a generar 70 vatios en la hora de máxima captación de rayos solares a las 12:30 del día.

Debido a que se tiene un panel solar fijo, sin movimiento, la prueba se realiza sin contratiempos.

En la figura 48 vemos la instalación del sistema completo en la vereda Josef del municipio de Suaita en Santander

**Figura 48 Foto prueba inicial de medición híbrida solar eólica vereda Josef municipio de Suaita Santander.**



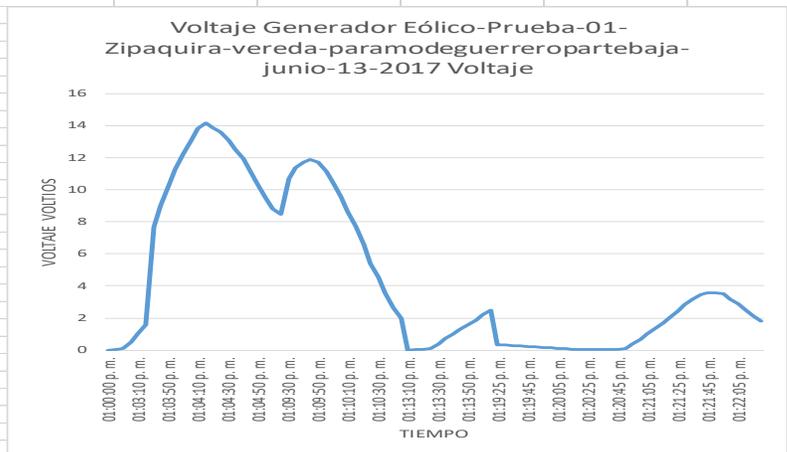
### **Pruebas y medidas con el Generador Eólico:**

Las mediciones con el Generador Eólico son bastante más dispendiosas comparadas con la generación solar, debido a que se necesita una base estable y sólida para el pedestal del generador, medidas de protección por haber partes móviles y normalmente se debe instalar a una altura considerable respecto a la superficie del suelo donde hay más posibilidades de corrientes de viento, normalmente a una altura mayor de 4 metros. En general se deben seguir los siguientes pasos:

1. Buscar y planear con anterioridad un sitio donde haya posibilidad de corrientes de viento mayores a 2 metros/segundo.
2. Un espacio adecuado donde ubicar la plataforma que sostiene el generador.
3. La plataforma debe fijarse al suelo o tener algún tipo de contrapesos, de tal manera que el eje o hasta quede completamente vertical respecto al piso y no presente oscilaciones o peligros de volcamiento del sistema del generador debido a su peso suspendido en el aire o al movimiento rotatorio de las aspas del generador.
4. Si hay más personas en el sitio, se debe evitar que las personas se acerquen y se debe colocar una cinta con la leyenda "Peligro no traspasar" alrededor o una barrera, de tal manera, que se eviten accidentes, ya que las aspas giran a una gran velocidad por lapsos de tiempo cortos y son una fuente latente de accidentes graves para personas y/o animales.
5. Tener cerca un área cubierta donde se puedan llevar el computador y otros objetos electrónicos de medición, en caso que se presente lluvia.
6. Las personas involucradas en las medidas deben tener y usar elementos de protección personal para protegerse de los rayos del sol.
7. Instalación del generador y conexión del controlador, la batería, el computador y los sensores para la medición.
8. Una vez todo instalado, hacer correr el programa de medición y captura de datos en el portátil.
9. Debido a que se está trabajando al aire libre es muy importante realizar estas pruebas en días que no presenten existencia de tormentas eléctricas en el sitio o cerca de él, ya que podríamos resultar seriamente lesionados.
10. Si las pruebas deben suspenderse por lluvia, dejar los equipos eléctricos y electrónicos apagados y protegidos.
11. Una vez terminadas las pruebas dejar el sitio en igual o mejores condiciones de las encontradas.

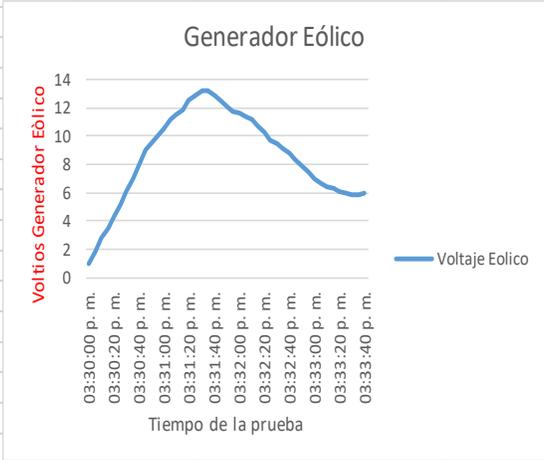
**Figura 49 Gráfica de medición de voltaje Generador eólico (Prueba 1 en Zipaquirá. Vereda-páramo-de-Guerrero. Cundinamarca)**

Eólico-Zipaquira-vereda-paramodeguerreropartebaja-junio-13-2017	
Hora	Voltaje Voltios
01:00:00 PM	0
01:02:55 PM	0,032
01:03:00 PM	0,11
01:03:05 PM	0,493
01:03:10 PM	1,006
01:03:15 PM	1,572
01:03:40 PM	7,639
01:03:45 PM	8,987
01:03:50 PM	10,237
01:03:55 PM	11,27
01:04:00 PM	12,195
01:04:05 PM	13,091
01:04:10 PM	13,831
01:04:15 PM	14,124
01:04:20 PM	13,87
01:04:25 PM	13,574
01:04:30 PM	13,059
01:04:35 PM	12,524
01:04:40 PM	11,929
01:04:45 PM	11,189
01:04:50 PM	10,286
01:04:55 PM	9,424
01:05:00 PM	8,796
01:05:05 PM	8,459
01:09:30 PM	10,701
01:09:35 PM	11,362
01:09:40 PM	11,699
01:09:45 PM	11,877
01:09:50 PM	11,721
01:09:55 PM	11,145
01:10:00 PM	10,476
01:10:05 PM	9,529
01:10:10 PM	8,645
01:10:15 PM	7,734
01:10:20 PM	6,563
01:10:25 PM	5,408
01:10:30 PM	4,517
01:10:35 PM	3,582
01:10:40 PM	2,681
01:10:45 PM	1,978
01:13:10 PM	0
01:13:15 PM	0,024
01:13:20 PM	0,059
01:13:25 PM	0,103
01:13:30 PM	0,383
01:13:35 PM	0,703
01:13:40 PM	1,013
01:13:45 PM	1,292
01:13:50 PM	1,577
01:13:55 PM	1,88
01:14:00 PM	2,195
01:14:05 PM	2,476
01:19:25 PM	0,342
01:19:30 PM	0,315
01:19:35 PM	0,283
01:19:40 PM	0,256
01:19:45 PM	0,232
01:19:50 PM	0,205
01:19:55 PM	0,176
01:20:00 PM	0,139
01:20:05 PM	0,11
01:20:10 PM	0,085
01:20:15 PM	0,066
01:20:20 PM	0,056
01:20:25 PM	0,051
01:20:30 PM	0,042
01:20:35 PM	0,024
01:20:40 PM	0,01
01:20:45 PM	0,032
01:20:50 PM	0,081
01:20:55 PM	0,356
01:21:00 PM	0,647
01:21:05 PM	0,984
01:21:10 PM	1,353
01:21:15 PM	1,694
01:21:20 PM	2,051
01:21:25 PM	2,439
01:21:30 PM	2,83
01:21:35 PM	3,181
01:21:40 PM	3,479
01:21:45 PM	3,569
01:21:50 PM	3,567
01:21:55 PM	3,494
01:22:00 PM	3,167
01:22:05 PM	2,861
01:22:10 PM	2,537
01:22:15 PM	2,166
01:22:20 PM	1,775



**Figuras 50 Gráficas de medición de voltaje Generador eólico (Prueba 2 Zipaquirá. Vereda páramo de Guerrero. Cundinamarca)**

Zipaquirá-veredapáramodeguerreroparte baja-junio132017-Eolico-004				
Humedad %	Temperatura °C	Hora	Voltaje Eolico	
59	15	03:30:00 PM	0,999	
60	15	03:30:05 PM	1,902	
59	15	03:30:10 PM	2,754	
60	15	03:30:15 PM	3,506	
59	15	03:30:20 PM	4,312	
60	16	03:30:25 PM	5,217	
60	16	03:30:30 PM	6,05	
60	16	03:30:35 PM	6,965	
60	16	03:30:40 PM	7,925	
60	16	03:30:45 PM	9,031	
60	16	03:30:50 PM	9,475	
60	16	03:30:55 PM	10,022	
60	16	03:31:00 PM	10,522	
60	16	03:31:05 PM	11,147	
59	16	03:31:10 PM	11,487	
59	16	03:31:15 PM	11,868	
60	16	03:31:20 PM	12,471	
60	16	03:31:25 PM	12,891	
60	16	03:31:30 PM	13,208	
60	16	03:31:35 PM	13,247	
60	16	03:31:40 PM	12,861	
60	16	03:31:45 PM	12,478	
60	16	03:31:50 PM	12,078	
59	16	03:31:55 PM	11,682	
60	16	03:32:00 PM	11,577	
60	16	03:32:05 PM	11,411	
60	16	03:32:10 PM	11,121	
60	16	03:32:15 PM	10,728	
60	16	03:32:20 PM	10,21	
60	16	03:32:25 PM	9,736	
60	16	03:32:30 PM	9,441	
60	16	03:32:35 PM	9,116	
60	16	03:32:40 PM	8,787	
60	16	03:32:45 PM	8,384	
60	16	03:32:50 PM	7,881	
61	16	03:32:55 PM	7,432	
60	16	03:33:00 PM	6,936	
60	16	03:33:05 PM	6,594	
59	17	03:33:10 PM	6,392	
60	16	03:33:15 PM	6,277	
60	16	03:33:20 PM	6,091	
60	16	03:33:25 PM	5,911	
59	17	03:33:30 PM	5,876	Velocidad del viento de arranque: 2mts/seg
59	17	03:33:35 PM	5,864	Velocidad del viento estandar: 11,5 mts/seg
59	17	03:33:40 PM	5,952	Velocidad del viento de frenar: 20 mts/seg



El comportamiento del generador eólico depende de la presencia del viento, que es una variable bien aleatoria. Fue necesario buscar un sitio que presentara corrientes de viento con cierta regularidad y a su vez hubiera seguridad para las personas y equipos.

En el primer sitio de pruebas, la ciudad de Chía, no fue posible hacer pruebas por falta de vientos a baja altura y dificultad en conseguir un sitio apropiado.

Se intentaron varias pruebas en la vereda Josef del municipio de Suaita Departamento de Santander, donde tenemos un campo a nuestra disposición, sin embargo aunque hubo corrientes de viento presentes, el invierno constante presente todos los días y la presencia de tormentas eléctricas, ya que la hoya del río Suarez está situada dentro de una zona de confluencia intertropical y es proclive a la presencia de fenómenos eléctricos naturales, fue necesario por seguridad de las personas involucradas y la conservación de los equipos cancelar las pruebas y mediciones en ese sitio en varias oportunidades.

Se buscó una alternativa cerca a Bogotá y fue posible en la vereda páramo de Guerrero cerca a Zipaquirá a una altitud de 2800 msnm y en la vereda san Jorge también en la ciudad de Zipaquirá, sin embargo, fue constante la presencia de lluvias que dificultaron un poco las pruebas.

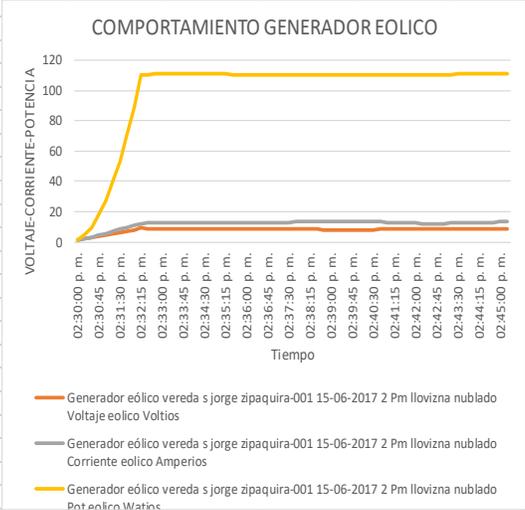
Los cuadros y figuras anteriores muestran una de las medidas tomadas el día 13 junio de 2017 en la vereda Paramo de Guerrero parte baja de la ciudad de Zipaquirá.

Observamos que en un período mostrado de 4 minutos el generador alcanza un pico de voltaje y después mantiene unos valores de acuerdo a la velocidad del viento. También se realizaron pruebas en la vereda San Jorge de Zipaquirá el particular el día 15 de junio de 2017 cuyos resultados de una prueba se muestran a continuación el comportamiento del voltaje generado, la corriente y la potencia de esa prueba en particular. Observamos que llega a generar hasta 110 vatios para la carga de la batería.

La carga eléctrica de este trabajo prototipo es constante y de acuerdo a la medida hecha en las diferentes pruebas, nunca sobrepasó los 35 vatios, aunque la especificación de fábrica informada en la placa del aparato es de 60 vatios, y corresponde al deshumidificador empleado con una alimentación de 12 VDC proveniente del controlador híbrido del proyecto.

**Figuras 51: Gráficas de medición de voltaje, corriente y potencia Generador eólico (Zipaquirá vereda san Jorge Cundinamarca).**

Generador eólico vereda San jorge zipaquira-001 15-06-2017 2 Pm llovizna nublado				
Tiempo	Voltaje eólico Voltios	Corriente eólica Amperios	Pot eólica Watts	
02:30:00 PM	1,047	1,021	1,068987	
02:30:15 PM	1,99	2,168	4,31432	
02:30:30 PM	2,93	3,314	9,71002	
02:30:45 PM	3,877	4,446	17,237142	
02:31:00 PM	4,783	5,667	27,105261	
02:31:15 PM	5,649	6,947	39,243603	
02:31:30 PM	6,497	8,256	53,639232	
02:31:45 PM	7,349	9,558	70,241742	
02:32:00 PM	8,218	10,838	89,066684	
02:32:15 PM	9,094	12,111	110,137434	
02:32:30 PM	8,926	12,355	110,28073	
02:32:45 PM	8,853	12,496	110,627088	
02:33:00 PM	8,772	12,636	110,842992	
02:33:15 PM	8,691	12,784	111,105744	
02:33:30 PM	8,65	12,851	111,16115	
02:33:45 PM	8,64	12,873	111,22272	
02:34:00 PM	8,65	12,858	111,2217	
02:34:15 PM	8,66	12,843	111,22038	
02:34:30 PM	8,64	12,873	111,22272	
02:34:45 PM	8,608	12,91	111,12928	
02:35:00 PM	8,621	12,873	110,978133	
02:35:15 PM	8,672	12,762	110,672064	
02:35:30 PM	8,716	12,681	110,527596	
02:35:45 PM	8,716	12,673	110,457868	
02:36:00 PM	8,687	12,71	110,41177	
02:36:15 PM	8,66	12,74	110,3284	
02:36:30 PM	8,628	12,784	110,300352	
02:36:45 PM	8,591	12,836	110,274076	
02:37:00 PM	8,572	12,858	110,218776	
02:37:15 PM	8,56	12,88	110,2528	
02:37:30 PM	8,503	12,976	110,334928	
02:37:45 PM	8,406	13,147	110,513682	
02:38:00 PM	8,318	13,295	110,58781	
02:38:15 PM	8,269	13,369	110,548261	
02:38:30 PM	8,259	13,383	110,530197	
02:38:45 PM	8,245	13,406	110,53247	
02:39:00 PM	8,22	13,435	110,4357	
02:39:15 PM	8,196	13,465	110,35914	
02:39:30 PM	8,167	13,502	110,270834	
02:39:45 PM	8,152	13,517	110,190584	
02:40:00 PM	8,154	13,517	110,217618	
02:40:15 PM	8,181	13,48	110,27988	
02:40:30 PM	8,252	13,369	110,320988	
02:40:45 PM	8,359	13,198	110,322082	
02:41:00 PM	8,455	13,043	110,278565	
02:41:15 PM	8,569	12,858	110,180202	
02:41:30 PM	8,691	12,673	110,141043	
02:41:45 PM	8,806	12,503	110,101418	
02:42:00 PM	8,899	12,37	110,08063	
02:42:15 PM	8,955	12,303	110,173365	
02:42:30 PM	8,987	12,266	110,234542	
02:42:45 PM	9,004	12,244	110,244976	
02:43:00 PM	8,967	12,311	110,392737	
02:43:15 PM	8,906	12,414	110,559084	
02:43:30 PM	8,857	12,51	110,80107	
02:43:45 PM	8,789	12,644	111,128116	
02:44:00 PM	8,711	12,769	111,230759	
02:44:15 PM	8,638	12,888	111,326544	
02:44:30 PM	8,577	12,984	111,363768	
02:44:45 PM	8,523	13,05	111,22515	
02:45:00 PM	8,459	13,132	111,083588	
02:45:15 PM	8,386	13,228	110,930008	



#### 6.4.6 Mediciones de la cantidad y Calidad del Agua

La Cantidad de agua generada de acuerdo a las pruebas y a los cuadros siguientes depende de las condiciones atmosféricas del sitio tales como humedad relativa H%, temperatura y en menor grado de la presión atmosférica; también depende directamente de la tecnología del condensador utilizada en cuanto a su capacidad de absorber y recircular mayor o menor flujo del aire y poder enfriarlo al punto de rocío. En nuestro caso vemos que, trabajando con el mismo equipo, existe mayor cantidad de líquido obtenido en el sitio (Suaita) con 73% de humedad relativa promedio y temperatura promedio de 17°C en las 24 horas respecto al sitio (Chía) con 54% de humedad relativa y temperatura de 13°C promedio en las 24 horas.

Es necesario tener en cuenta que la generación de agua es un proceso relativamente lento y por ende la medición es un proceso, al menos para nuestro caso prototipo manual en un período de 24 horas.

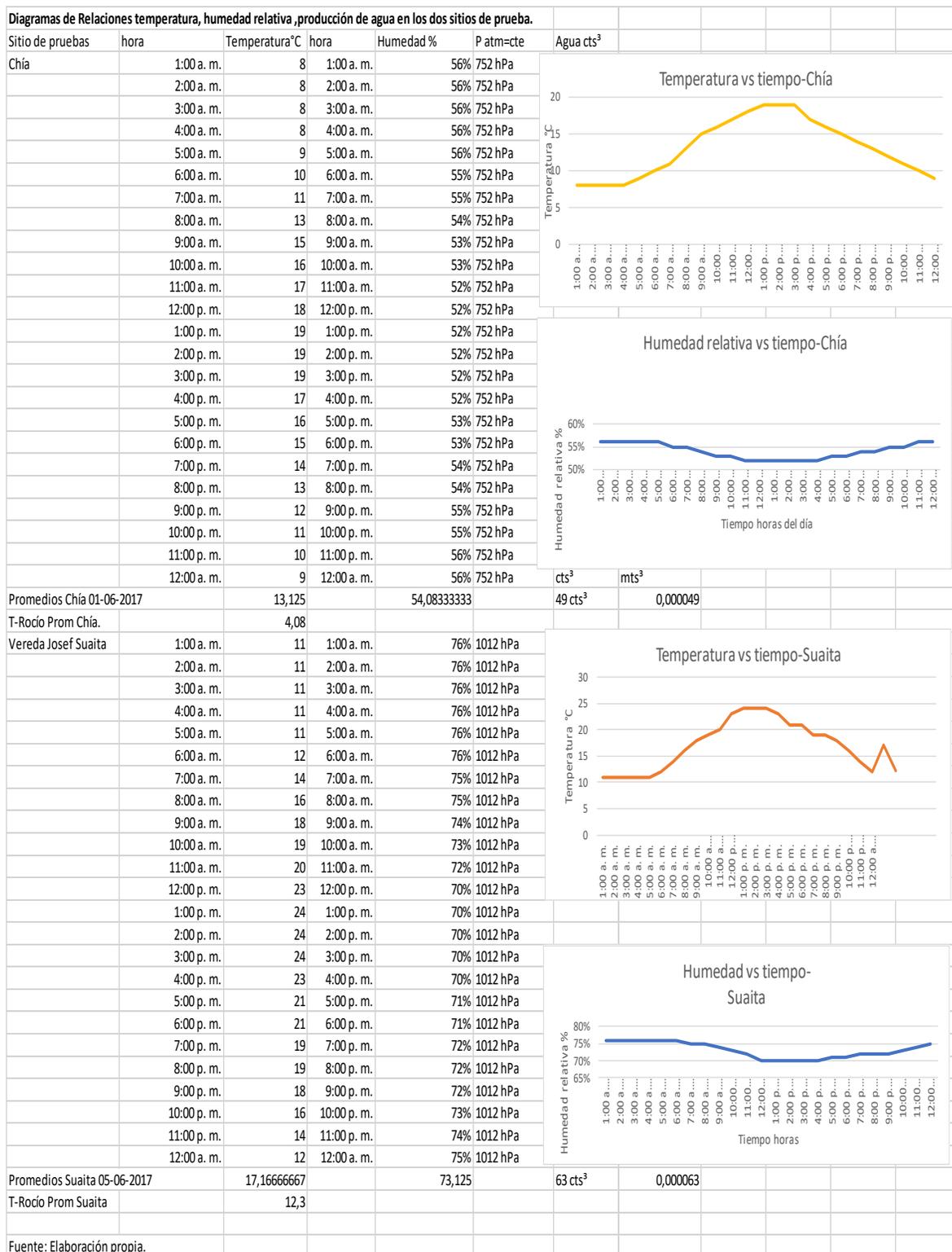
El equipo condensador (Deshumidificador para el prototipo) utilizado fue el deshumidificador BM100 viene con un recipiente de 1500 cms<sup>3</sup> (Ver tabla 21 de este documento para las especificaciones del fabricante). Para nuestro caso, aunque se hicieron múltiples medidas, tenemos dos medidas en un día de 24 horas, uno para la ciudad de Chía con humedad promedio de 54,08% y temperatura promedio de 13,125°C y una segunda medición para la Vereda Josef en Santander con una humedad promedio de 73,125% y Temperatura promedio de 17,16°C. Ver tabla 32 y Figuras 52 y 53.

La calidad del agua se verá reflejada en el certificado de las pruebas fisicoquímicas y Microbiológicas expedido por el laboratorio certificado contratado para tal fin.

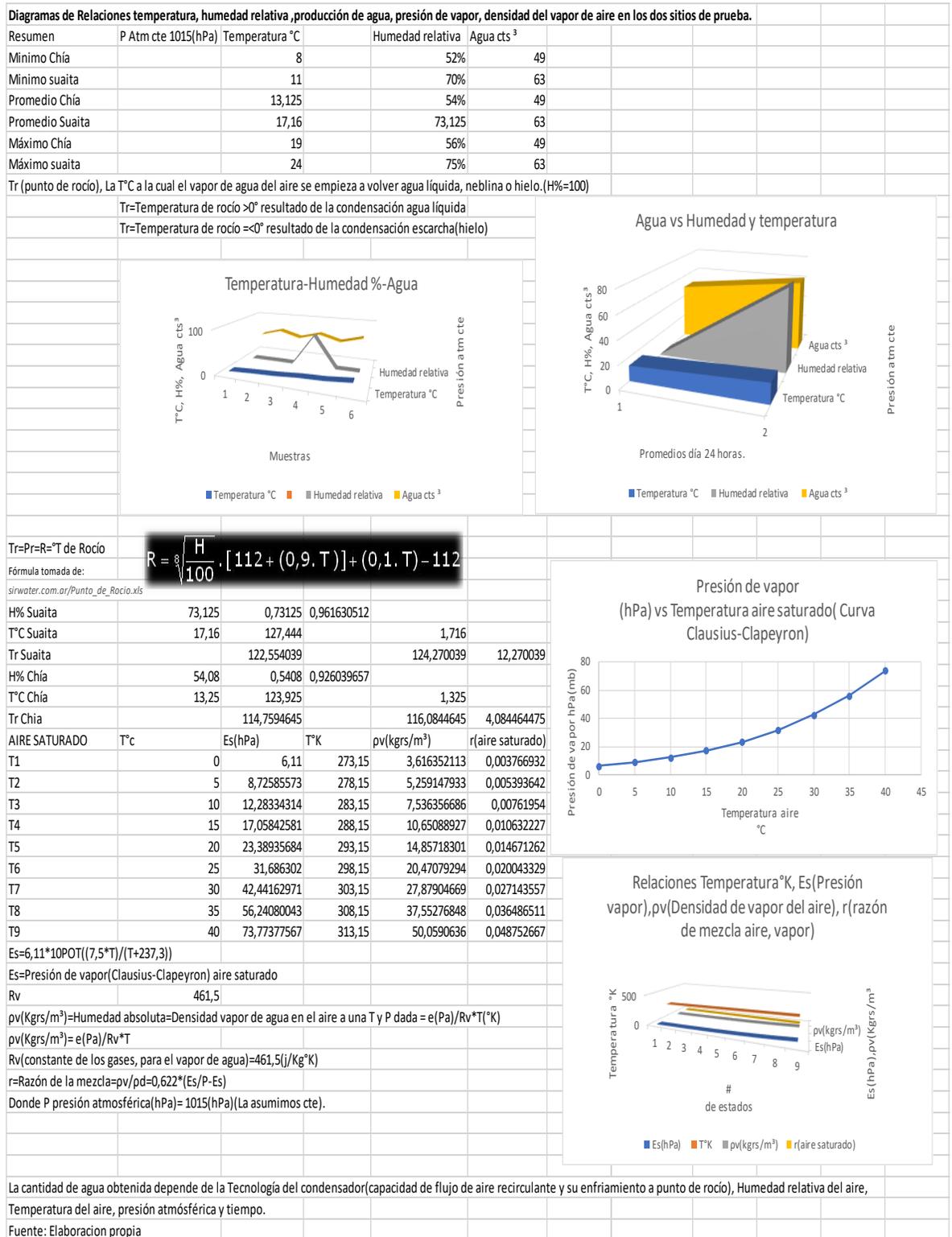
**Tabla-32 Cantidad y calidad del agua producida 24 horas.**

Sitio	Cantidad	Pureza	Temperatura media 24 horas	Humedad relativa media 24 horas	Fecha y observaciones
Chía	49 cms <sup>3</sup>	Ver tabla 35A-5B. Análisis	13,125°C	54,08%	Día semi nublado 1/2-06-2017
Vereda Josef	63 cms <sup>3</sup>	No se realiza	17,16°C	73,125%	Día lluvioso 05/06-06-2017

**Figura 52 Relaciones humedad temperatura sitios de prueba**



**Figura 53 Relaciones Vapor de agua, Densidad del vapor de agua sitios de prueba.**



## **Calidad del agua**

Debido a lo especializado del tema, se lleva la muestra tomada durante las pruebas, a un laboratorio certificado en el sitio más cercano para que nos de los resultados de los parámetros indispensables para garantizar agua potable para consumo humano, y sus niveles máximos.

- PH.
- Turbidez
- Presencia de partículas suspendidas
- Presencia de coliformes
- Presencia de Metales pesados
- % de otros componentes.
- Resultados comparativos generales del análisis y certificación escrita. Este análisis en un proyecto en campo se debería realizar al menos dos veces al año o cuando alguna circunstancia haya afectado gravemente, el comportamiento de los equipos y se prevea que es necesario la comprobación.

Para la potabilización se presentan cuatro alternativas para asegurar la potabilización del agua:

- Uso de celda con carbón activado para eliminar micro sedimentos. No elimina bacterias en caso de haberlas.
- Uso de lámpara Uv para eliminar posibles bacterias. Se usa en conjunto con el filtro de carbón activado para una completa desinfección. La lámpara es el elemento más costoso y se debe reemplazar en promedio cada año de uso.
- Uso de polvo potabilizador de la empresa P&G que por el compromiso social de dicha empresa se ha ido extendiendo su uso y su costo es bien bajo, aunque es una metodología totalmente manual. Requiere de un almacenaje adecuado de los sobres del componente y de un compromiso del usuario de aseo diario de las vasijas en las cuales se hace la mezcla y se almacena el agua potable. En la actualidad es el método económico más usado para zonas apartadas, pero la consecución del producto está restringida por medio de ONG (Organizaciones No Gubernamentales de carácter social), no se consigue comercialmente.
- Filtro de ozono. Se ha extendido su uso por su costo promedio bajo. Requiere de alimentación eléctrica de AC. (promedio 75 vatios).

Para este trabajo se contratará el análisis de laboratorio y se adjuntarán los resultados con los comentarios pertinentes. Para un proyecto específico en base a la prueba de laboratorio en particular se deberá escoger el empleo del método de potabilización más adecuado y económico para el sitio en particular (Ver tabla 33).

**Tabla-33 Comparativa de métodos de purificación.**

		Metodología	Tecnología	Implementación	Costo Col\$	Seguridad del agua
# 1		Celda de carbón activado	Mecánica	Sencilla. Limpieza mensual. Uso para cantidades mínimas y mayores a 20 litros diarios.	\$60.000	99%
# 2		Lámpara Uv	Eléctrica (10 vatios)	Menos sencilla. Revisión anual. Uso para cantidades mínimas mayores a 20 litros diarios.	\$500.000	Requiere la # 1. 100%
# 3		Sobre de polvo P&G	Manual	Sencilla diaria. Procedimiento manual para 12 litros.	\$1000 sobre diario	99.9%
# 4		Filtro de ozono	Eléctrica (consume 75-watios AC)	Sencilla. limpieza Mensual. Uso para cantidades mínimas y mayores a 20 litros diarios.	\$120.000	99%
#5		Filtros mecánicos y Hervir el agua	Manual	Sencilla	Costo de energía eléctrica, gas, carbón u otro combustible.	Usado en zonas remotas donde no se cuenta con otros medios fiables

**Tablas-34 Resultados del análisis calidad del agua muestra de Chía Cundinamarca. Ver Informes en tablas 35A y 35B.**

El análisis realizado por el laboratorio certificado TecniMicro consta de análisis físico químico y análisis micro biológico y cuyos resultados se muestran en la tabla 35A y 35B, dependen primariamente del lugar en que se recolectó la muestra (deshumidificador) y la cadena de guarda de la muestra hasta el laboratorio.

Se anexa copia de los resultados en las tablas siguientes:

**Tabla-35A Análisis MicroBiológico de laboratorio muestra de agua de prueba en chía.**



**TECNIMICRO**  
Laboratorio de Análisis S.A.S.

Sede - Bogotá  
Carrera 10 No. 3-55 Interior 1  
Chía - Cundinamarca  
Teléfono: (1) 88 44 156  
tecnicromicro@tecnicromicro.net

### REPORTE DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

**Control No. y Fecha de Recepción** 45687 29/06/2017

**Empresa solicitante** GONZALEZ DOMINGUEZ MIGUEL

**Sede** Sede principal **Teléfono** (1) 8845222

**Dirección** Carrera 3 N° 18 – 60 Local 2 Chía, Cundinamarca

**Producto** AGUA POTABLE MICROBIOLÓGICO

**Identificación de la muestra** Hora de toma de muestra: 12:13; Temperatura al momento de toma de muestra: Ambiente; Sitio de toma de muestra: Deshumidificador Bionaire BM 100

**Temperatura de recepción de la muestra** 2,3°C Muestra tomada por: Microbiólogo: Carlos Castro Guarnizo.

**Cantidad de muestra** 300ml

**Tipo de envase - empaque** Bolsa plástica esteril

**Muestra enviada por** Miguel González

**Características organolépticas**

**Aspecto** Líquido translucido, libre de partículas extrañas visibles.

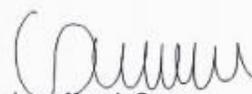
**Olor** Inobjetable

**Color** Incoloro

Análisis microbiológico	F.E.E	Resultado	Especificaciones(**)	Método	Trazabilidad
Detección de Escherichia coli/100ml	29/06/2017 1/07/2017	Negativo	Negativo	Estándar Methods 9222G	009886
Recuento de Coliformes totales UFC/100ml	29/06/2017 1/07/2017	3	0	Estándar Methods 9222B	009886
Recuento de microorganismos Aerobios mesófilos UFC/100ml	29/06/2017 1/07/2017	>300	100 Máx	Standard methods for the examination of water and wastewater 22nd ed.2012, 9216A, 9215D, 9215B.	009876

(\*\*) Según Norma: Resolución 2115 de 2007 Min protección social  
 (\*) Métodos acreditados por ONAC, Certificado de Acreditación 10-LAB-053 Fecha de Renovación 2014-09-05 Bajo Norma ISO/IEC 17025:2005  
 (F.E.E) Fecha de Ejecución del Ensayo

**CONCLUSIÓN**  
 La muestra recibida y analizada en el laboratorio, excede las especificaciones microbiológicas establecidas para Aerobios mesófilos y Coliformes totales



**Laura Marcela Guerra**  
Microbióloga  
Coordinadora Microbiología

Fecha de Impresión: jueves, 6 de julio de 2017 Fecha: 5/07/2017  
 Informe firmado digitalmente. Sin sello seco de TECNIMICRO la información no tiene validez.  
 Este informe no puede ser reproducido total ni parcialmente sin autorización de Tecnicromicro Laboratorio de Análisis S.A.S

**FIN DE INFORME**



Si bien el agua generada en las pruebas realizadas no es una cantidad apreciable desde el punto de vista práctico, ver tabla 36 tabla real de costos del prototipo, es representativa debido a que en el prototipo solo se quiere visualizar la factibilidad de producir agua de la humedad del aire, es decir confirmar que, dada la coexistencia de los elementos necesarios descritos en este trabajo, es posible producir agua potable en cantidades razonables para un hogar o locación determinado.

En cuanto a los resultados de las pruebas de calidad del agua efectuados por el laboratorio acreditado y certificado describimos los siguiente:

- Es económicamente viable, ver tabla 36, al ejecutar un proyecto realizar una o más pruebas de laboratorio que certifiquen el estado del agua que se produce y en particular si va a ser usada para consumo humano.
- La Pruebas Físicoquímicas dan como resultado que la muestra cumple con los estándares y las normas vigentes en Colombia de acuerdo a la Resolución 2115 de 2007 del Ministerio de la protección social, para agua apta para el consumo humano. Estos resultados solo son válidos para esta muestra y el lugar y las condiciones en que se generó dicha agua. Para Agua generada en otro sitio y/o en otras circunstancias debe efectuarse pruebas particulares.
- La Pruebas Microbiológicas dan como resultado que la muestra NO cumple con los estándares y las normas vigentes en Colombia de acuerdo a la Resolución 2115 de 2007 del Ministerio de protección social para agua apta para el consumo humano, por lo cual si se quiere emplear para consumo humano es necesario implementar, la etapa de filtración y en particular la etapa de eliminación bacteriológica. Estos resultados solo son válidos para esta muestra y el lugar y las condiciones en que se generó dicha agua. Para Agua generada en otro sitio y/o en otras circunstancias debe efectuarse pruebas particulares.

## **7 CRONOGRAMA**

En el Anexo 8 se describe el cronograma inicial desarrollado durante el proyecto del presente trabajo, en el cual se detalla las tareas y actividades desarrolladas durante todo el proyecto, semana por semana, para un total de 16 semanas seguidas, los tiempos de comienzo y finalización de cada actividad, la secuencia de desarrollo y los resultados obtenidos.

**Figura 54 Cronograma previo del proyecto. Ver anexo 8.**

## **8 COSTOS REALES DEL PROTOTIPO.**

En el cuadro siguiente y en el anexo-9 se tiene la información referente al presupuesto de inversión inicial y a los costos reales de peste trabajo. Consta de:

- Recursos cuantificables en tiempo de las personas.
- Recursos monetarios para los elementos y herramientas necesarios para la elaboración del proyecto.
- Recursos monetarios para compra de los componentes y accesorios para el proyecto prototipo.

En el cuadro siguiente se describen los costos reales de los componentes adquiridos para la elaboración del prototipo, no se incluyen costos de mano de obra al ser desarrollados por el suscrito. En el ítem de soportería se incluyen el total de material y manos de obra externo.

**Tabla-36 Cuadro de costos del prototipo.**

Descripción	# de Unidades	Costo total pesos Col	Observaciones
Panel Solar 100 w Mono cristalino	1	300.000	
Batería 100Amph-12V	1	360.000	
Generador Eólico 200w y controlador	1	950.000	
Controlador híbrido solar-eólico MPPT	1	350.000	
Inversor DC-AC 600w eficiencia 90%	1	280.000	
Condensador (Mini-Deshumidificador DC) Bionaire	1	243.000	Se hará el prototipo con este dispositivo DC 12 vdc 35 w
Filtro dual UV y particulado	1	500.000	No implementado
Purificador P&G	2	20.000	Dependencia del proveedor y del análisis de agua
Soportería panel solar y Generador Eólico	2	100.000	Se incluye mano de obra
Cables de interconexión y accesorios	15 mts	28500	
Análisis de agua	1	262.044	Proceso
Accesorios de conexión hidráulica		10.000	
Soportes varios tornillos		10.000	
Subtotal		2893.544	Hasta 30/06/2017

En el cuadro siguiente se describen los costos reales de los componentes adquiridos para la elaboración del prototipo, y se incluye un % de costos de mano de obra y transporte para pruebas. En el ítem de soportería se incluyen el total de material y manos de obra externo.

**Tabla-36A Cuadro real de costos del prototipo solución básica implementada**

Descripción	# de Unidades	Costo total pesos Col	Observaciones
Panel Solar 100 w Mono cristalino	1	300.000	
Batería 100Amph-12V	1	360.000	
Generador Eólico 200w y controlador.	1	950.000	
Controlador híbrido solar-eólico MPPT	1	350.000	
Condensador (Mini-Deshumidificador DC) Bionaire	1	243.000	Se hará el prototipo con este dispositivo DC 12 vdc 35 w
Soportería panel solar y Generador Eólico	2	100.000	Se incluye mano de obra
Cables de interconexión y accesorios	15 mts	28.500	
Análisis de agua	1	262.044	
Transportes	5	400000	
Accesorios y soportes varios y tornillos		20.000	
Subtotal		3013.544	Hasta 30/11/2017
Nota:		Mano de obra propia	

**Figura 55 Presupuesto previo. Ver anexo-9.**

## 9 METODOLOGIA PARA DISEÑO E IMPLEMENTACION DE PROYECTOS AFINES

**Introducción:** Esta metodología está enfocada en indicar los pasos para planificar, diseñar e implementar proyectos similares al presente trabajo, y/o en diferentes escalas, para entornos donde las necesidades de electricidad y agua sean apremiantes y no se cuente con otros medios más económicos o viables. Está enfocado para personas que estén involucradas en los temas expuestos o quieran involucrarse tanto usuarios finales como personas de entidades gubernamentales o privadas que gestionen e impulsen proyectos en el área de energías limpias y manejo de agua potable.

### 9.1. Etapas de la metodología.

Para una solución basada en el prototipo de éste trabajo se recomienda seguir los pasos macro mostrados para desarrollar la etapa del anteproyecto o factibilidad (Ingeniería conceptual y básica) (Ver figura 56) y la implementación del Proyecto (Ingeniería de detalle) (Ver figura 58) que se resumen en el siguiente listado de actividades o pasos sin excluir otros que puedan ser necesarios en un contexto específico. Dependiendo del tamaño del proyecto, habrá pasos o actividades adicionales, o solo se realizan algunas actividades puntuales del listado propuesto.

El diseño e implementación para soluciones escalables de generación de agua alimentada por energías solar y/o Eólica está basado en los siguientes ítems divididos en:

- Ingeniería conceptual del paso 1 al 3.
  - Ingeniería Básica del paso 4 al 17.
  - Ingeniería de detalle del paso 18 al 20.
  - Implementación y Construcción del paso 21 a 26.
  - Ingeniería de mantenimiento post instalación, pasos posteriores.
1. Estudio de condiciones sociales y económicas de las personas o comunidad a la cual va encaminado el proyecto. Estudio del compromiso de la comunidad respecto a la aceptación y conservación de la tecnología a usar.
  2. Dimensionamiento macro del proyecto y estudio previo de la viabilidad técnica y económica del mismo de acuerdo a la normatividad y estándares vigentes (Ingeniería conceptual).
  3. Aseguramiento de las posibles fuentes de financiación del proyecto, factibilidad financiera.
  4. Realizar la etapa del diseño básico empezando por el estudio de las condiciones climáticas y meteorológicas del sitio o área donde se necesita producir la energía eléctrica y el agua, para ver la factibilidad técnica del proyecto. Lo anterior se puede hacer por medio de los mapas suministrados por organismos especializados como el Ideam, las secretarías del medio ambiente, y otras ayudas de organismos

internacionales, lo mismo que con mediciones propias locales si el proyecto lo amerita. Los diseños deben estar acordes con las normas y estándares vigentes, tanto en la parte técnica como en la parte jurídica.

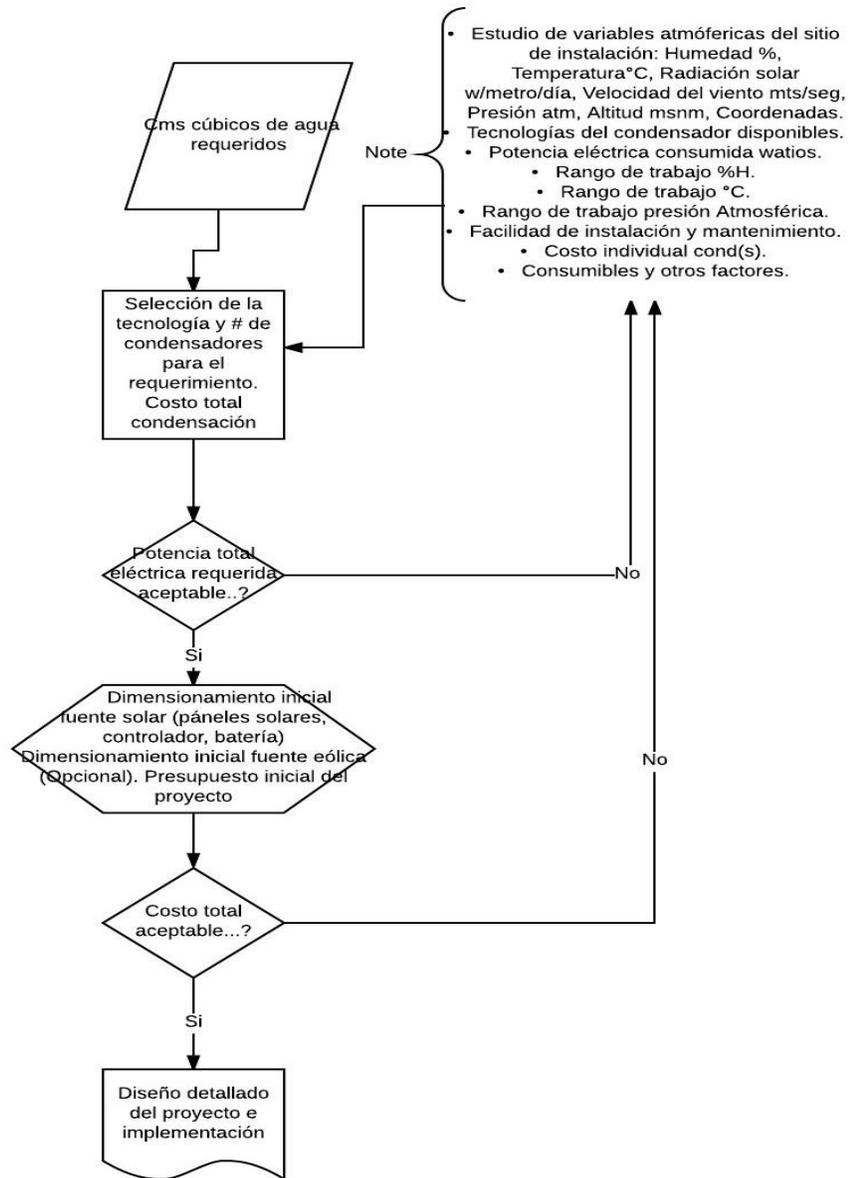
5. Cuantificar y graficar la tendencia anual del comportamiento de los parámetros tales como: Temperatura ambiente, Humedad relativa del aire, radiación solar, velocidad del viento, dirección del viento.
6. Como etapa opcional, dependiendo de la magnitud del proyecto, se pueden hacer simulaciones utilizando programas de software, tales como Simulink de Matlab u otro software especializado en el tema de tal manera que se pueda analizar en gráficas las características de comportamiento del proyecto en cuanto a voltaje, corrientes, potencia y eficiencias. Ver Anexo Figuras: 56A, 56B y 56C.
7. Definir una cantidad razonable de agua que se desee y sea factible alcanzar Litros/día.
8. Definir el régimen de trabajo de 12 horas o 24 horas al día o fracción, de acuerdo a las facilidades del sitio.
9. Selección de la tecnología del condensador de agua, solo con intercambiador de calor o con compresor que consuma la mínima potencia eléctrica posible.
10. Una vez se tenga la potencia eléctrica que consume el condensador estudiar detalladamente el costo y la disponibilidad en el mercado local de las tecnologías más reciente de paneles solares, controladores híbridos MPPT, baterías libres de mantenimiento para energías renovables.
11. Decidir si es factible colocar respaldo de fuente de energía eólico de acuerdo a la presencia con cierta regularidad de corrientes de viento. Si es factible y se tiene presupuesto estudiar el costo y la disponibilidad de consecución del generador eólico.
12. Detallar y cuantificar los elementos accesorios tales como bases para fijación, soportes, tubos, cables y demás accesorios
13. Cuantificar si es factible y necesario colocar cargas eléctricas adicionales tales como pequeños alumbrados y conexión de aparatos de comunicación de bajo consumo.
14. Hacer un presupuesto detallado de componentes y mano de obra.
15. Aseguramiento de la financiación temprana del proyecto
16. Realizar un cronograma del proyecto.
17. Aprobación del cronograma y del presupuesto por las partes interesadas.
18. Revisión de toda la documentación técnica y financiera de la etapa de Ingeniería básica.
19. Ajustes técnicos a la documentación, detalles para la construcción, ajustes al cronograma y al presupuesto de tal manera que las desviaciones finales sean menores al 2%.
20. Aprobación final de la ingeniería de detalle por parte de las personas, interventoría, y/o entes financiadores del proyecto.
21. Implementación del Proyecto.

22. Pruebas iniciales (Precomissioning).
23. Puesta en marcha (Comissioning).
24. Capacitación en operación y mantenimiento operacional. Plan de mantenimiento local y de mantenimiento especial.
25. Plan escrito de seguridad en la etapa post instalación en el sitio e instrucción para las personas involucradas (Avisos de seguridad y otros elementos de protección necesarios que se ameriten)
26. Elaboración y entrega de la documentación al responsable.
27. Mantenimiento especializado, predictivo, preventivo, correctivo y seguimiento de la instalación a través del tiempo.

## **9.2. Factibilidad y Viabilidad del proyecto.**

Se elabora aquí los estudios de prefactibilidad técnica y económica del proyecto, así como los impactos sociales y el alcance del trabajo, se diseña la solución básica para aprobación de las partes interesadas, ver figura 56. Comprende de los pasos 1 al 17 de listado anterior.

### **Figura 56 Metodología del anteproyecto.**



### 9.3. Análisis económico del proyecto.

Ver anexo 10 Cuadro general de comparación de costos iniciales del proyecto versus costos de energía y agua suministrados por la ESP.

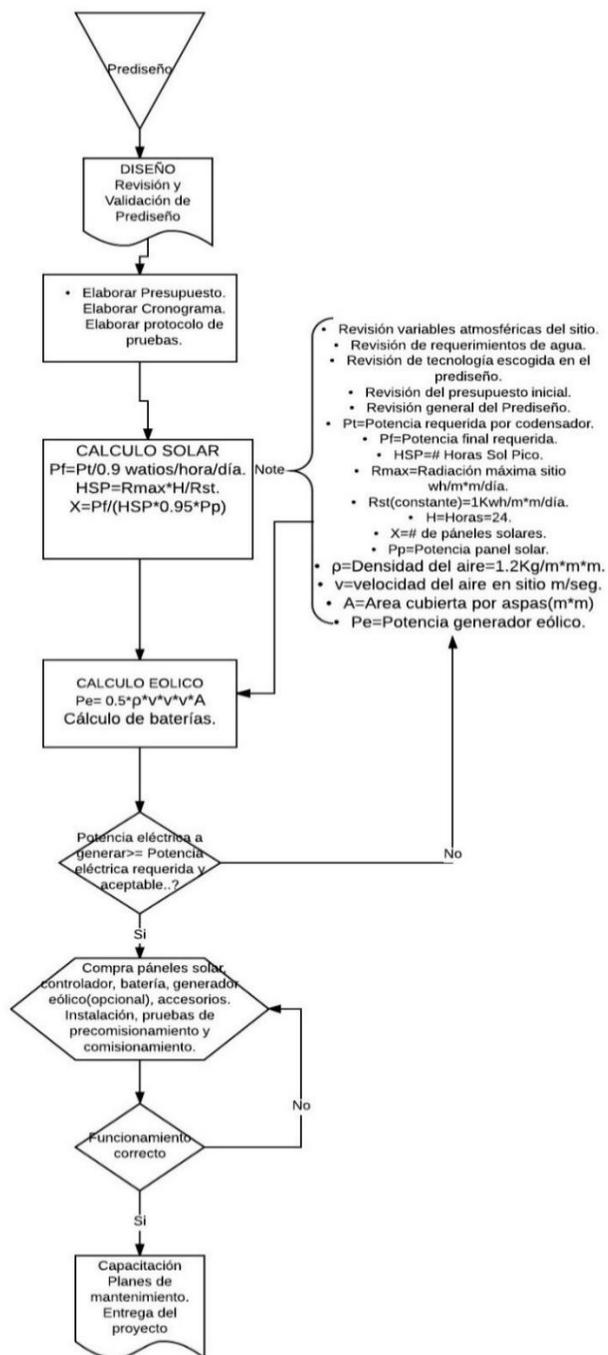
### **9.3 Herramienta de simulación**

Ver anexo-11

### **9.4. Proyecto.**

Se desarrolla el proyecto ya aprobado y financiado por las partes involucradas Ver figura 58 siguiente. Comprende los pasos de 18 al 26.

### **Figura 58-Metodología del Proyecto.**



La finalización de la etapa de instalación y puesta en marcha de un proyecto da comienzo a otras etapas que cubren la garantía y los mantenimientos predictivos, preventivos y correctivos. Estas etapas son tan importantes como el diseño y la construcción, ya que son carta de presentación de mostrar de una empresa, donde los posibles futuros usuarios pueden ver los equipos funcionando. Es importante que estas etapas sean ampliamente conocidas y financiadas por los dueños y usuarios de las instalaciones. Es muy importante también en las etapas tempranas de los proyectos visualizar el costo, la rentabilidad y la forma de prestar esos servicios y cuantificar los recursos necesarios tanto financieros como humanos.

## 10 SINTESIS DE RESULTADOS OBTENIDOS RESPECTO A LOS OBJETIVOS

1. La producción de agua para el prototipo fue baja, ver tabla 32, menor a la esperada, debido a la selección inicial del deshumidificador (condensador de agua), faltó un estudio más detallado de sus características en el anteproyecto para fijar en lo posible sus límites, ya que lo hemos utilizado con un propósito para el cual no fue en primera instancia diseñado por el fabricante, obtener agua, sin embargo fue lo más aproximado conseguido en el mercado a que consumiera la mínima potencia eléctrica y a costo razonable, en nuestro caso consume 35 vatios, lo que nos garantiza de acuerdo a las ecuaciones de la página 57

$$PT1_{medidof} = \frac{840}{0.90} \text{ vatios/hora/día} = 933 \text{ vatios/hora/día}$$

$$X(\# \text{ de módulos pruebas}) = \frac{933 \left(\frac{\text{Watios}}{\text{h.d}}\right)}{4,3 * 0.95 * 100 \text{ (w/h.d)}} = 2 \text{ Páneles solares de 100 vatios.}$$

2. El punto anterior nos indica que fue posible obtener agua de la humedad del aire en cantidades moderadas (ver tabla 32) con la alimentación de dos paneles monocristalinos de 100 vatios y red de voltaje DC. Los cálculos hechos en el capítulo 6 en las páginas 50 a 54 nos indica que es posible conectar cargas adicionales de 12 vdc de bajo consumo. La tabla 36 nos da los costos reales de los componentes.
3. Las mediciones de energía eólica (Ver figuras 48-49-50) hacen ver que es aplicable este recurso solo en sitios determinados por la presencia de viento con cierta regularidad, sin embargo, su instalación es un poco menos simple que el sistema solar, por tanto, esa fuente solo debe ser de respaldo para carga de la batería y normalmente se espera un 30% de la energía requerida. En este caso para para sitios sin presencia de corrientes de viento es mejor contar con otro panel solar de las mismas características que nos doblaría la capacidad de energía disponible para la carga en vez de energía eólica.
4. La metodología descrita en los capítulos 6 y generalizada en el capítulo 11 se pueden emplear para otros proyectos similares o de mayor tamaño, haciendo

énfasis en el estudio detallado de las condiciones climáticas y atmosféricas del sitio antes de proyectar y hacer cualquier inversión.

5. Los aportes al conocimiento en el tema de producción de energía eléctrica de fuentes alternativas y de agua potable autónoma a partir de la humedad del aire dados en este trabajo consideramos que son importantes para proyectos futuros en el mismo tema. Es importante puntualizar que hay trabajo por seguir haciendo al respecto, en el tema de estudio de la eficiencia de los condensadores para agua y el tema del software de simulación en particular en simulink de Matlab para proyectos de tamaño medio y pequeño de generación eléctrica de fuentes no contaminantes.

## 11 CONCLUSIONES

1. De acuerdo a las mediciones hechas en cuatro sitios diferentes y por un número considerable de días durante más de seis meses, desde marzo a octubre de 2017, dieron como resultado, entre otros que a fuente SOLAR es más constante y segura en todos los climas, se debe tener en cuenta la topografía para lograr aprovechar al máximo la presencia de rayos solares. (Ver figura 47). La fuente EOLICA de acuerdo a las mediciones hechas (ver figuras 48-49-50) es muy variable y aleatoria, por lo cual las inversiones al respecto se deben hacer solo para sitios en donde sea confirmada la presencia de viento en forma regular y en todo caso es aconsejable en nuestro medio servir como fuente de respaldo a los paneles solares. Caso diferente podría ser en las regiones costeras y en las altas cumbres montañosas donde se compruebe presencia continua de viento.
2. La obtención de agua de la humedad del aire depende en primer lugar de la humedad relativa del sitio, de acuerdo a las pruebas en la verdea Josef con una humedad promedio de 72% se obtiene un 28 % más líquido que la obtenida en Chía con una humedad promedio de 56%, para unas temperaturas no extremas en rangos cercanos. En segundo lugar y muy importante la obtención de agua depende del condensador de agua usado, de su tecnología, en nuestro caso para el trabajo utilizamos el deshumidificador mecánico (sin compresor) con el consumo de potencia eléctrica más bajo posible, con un área de superficie de intercambio para el aire de 100 cts<sup>2</sup> que es relativamente un área muy pequeña con un ventilador de 12 VDC girando a una velocidad aproximada de 1200 rpm. Para nuestro trabajo prototipo se requiere el consumo más bajo de potencia en este caso la placa del fabricante dice que consume máximo 60 vatios. En las mediciones hechas dio como resultado un consumo constante de 35 vatios, lo que nos garantiza que, con un panel solar de 100 vatios en 12 horas como el empleado, aun no teniendo energía eólica, funciona adecuadamente con la batería de 100 Amph usada en el trabajo y es factible utilizar la potencia disponible sobrante para dos bombillos led de 5 vatios c/u a 12 vdc durante 2 horas al día, adicionalmente se puede conectar la lámpara Uv de filtración que consume 10

váticos a 12 vdc durante 10 minutos. Para un trabajo de mayor proporción, se debe partir de la base del condensador con compresor que consuma la mínima potencia eléctrica y genere el umbral de agua deseado, de acuerdo al estudio previo de las condiciones meteorológicas del sitio en particular.

3. Desde el punto de vista técnico, las mini redes eléctricas DC (minigrids) o micro redes DC (microgrids) son una solución que se basa en obtener los resultados deseados con el mínimo de potencia eléctrica consumida y lograr las mínimas pérdidas ya sea por calor, por transformación eléctrica o por pérdidas resistivas en los cables de transmisión. En el presente trabajo se usaron solo componentes 12 VDC. Cada día están siendo desarrollados en el mercado global más dispositivos eléctricos y electrónicos (Iluminación, electrodomésticos, comunicaciones, aparatos médicos, instrumentos, auto-movimiento, etc.) que trabajan con voltajes DC y su consumo es normalmente varias veces menor que su equivalente en voltajes alternos AC, por lo que pensar en mini redes domésticas DC es una realidad que tendrá que ser regulada por los gobiernos, pero que es una tendencia inatajable en la investigación y uso y pronto llegará a masificarse, haciendo que los costos sean menores.
4. Colombia y en general la región de países de Centro y Sur Americana, es un área privilegiada en los recursos naturales, como la radiación solar, la humedad relativa del aire y la presencia de vientos en algunas zonas, que deben aprovecharse para desarrollar este tipo de proyectos ecológicos y ambientales. Sin embargo, el estudio previo del sitio de una manera detallada es muy necesario ya que los mapas existentes del Idean en el caso de Colombia son solo una guía al respecto.
5. La generación de energía de fuentes alternativas no contaminantes y la obtención de agua de la atmósfera hoy en día está siendo impulsada por la necesidad de controlar la contaminación ambiental y por la visión de que otras fuentes primarias se agotarán en un corto y mediano plazo. En diferentes sitios del mundo empresas, individuos o grupos de investigación crean prototipos con el objetivo de tener una alternativa no contaminante y amigable con el ambiente, en particular aplicable para muchos sitios donde haya escases temporal o definitiva de los recursos y/o dificultad de otros medios de obtención de dichos elementos, sea por costos o por demorar demasiado tiempo en implementarse. Sin embargo, como toda tecnología nueva es aún costosa y dependerá de nuevos desarrollos y aplicaciones. Ver tabla 36 respecto a los costos reales del proyecto.

## 12 Anexos

### Anexo-1: Propiedades del aire seco.

Tabla 13.1  
Propiedades del  
aire seco a la  
presión atmosférica.

TEMP. °C	Volumen Específico	Densidad	Entalpía	TEMP. °C	Volumen Específico	Densidad	Entalpía
	(m <sup>3</sup> /kg)	(kg/m <sup>3</sup> )	(kcal/kg)		(m <sup>3</sup> /kg)	(kg/m <sup>3</sup> )	(kcal/kg)
-15	0.7304	1.3691	0.6722	18	0.8244	1.2130	8.6372
-14	0.7332	1.3638	0.9123	19	0.8274	1.2086	8.8772
-13	0.7363	1.3581	1.1523	20	0.8302	1.2044	9.1228
-12	0.7391	1.3530	1.3923	21	0.8329	1.2006	9.3628
-11	0.7422	1.3473	1.6323	22	0.8360	1.1961	9.6028
-10	0.7453	1.3416	1.8779	23	0.8389	1.1920	9.8484
-9	0.7480	1.3369	2.1179	24	0.8418	1.1880	10.0706
-8	0.7511	1.3313	2.3579	25	0.8446	1.1839	10.3284
-7	0.7538	1.3266	2.5980	26	0.8474	1.1800	10.5740
-6	0.7563	1.3222	2.8390	27	0.8501	1.1763	10.7640
-5	0.7591	1.3173	3.0835	28	0.8529	1.1725	11.0540
-4	0.7619	1.3125	3.3235	29	0.8556	1.1687	11.2996
-3	0.7650	1.3072	3.5636	30	0.8583	1.1650	11.5396
-2	0.7678	1.3024	3.8036	31	0.8612	1.1611	11.7796
-1	0.7706	1.2977	4.0447	32	0.8645	1.1567	12.0252
0	0.7734	1.2928	4.2892	33	0.8672	1.1531	12.2652
1	0.7756	1.2893	4.5292	34	0.8700	1.1494	12.5052
2	0.7790	1.2837	4.7692	35	0.8727	1.1458	12.7564
3	0.7822	1.2784	5.0148	36	0.8756	1.1420	12.9908
4	0.7850	1.2739	5.2547	37	0.8786	1.1382	13.2308
5	0.7878	1.2693	5.4948	38	0.8816	1.1343	13.4764
6	0.7908	1.2645	5.7404	39	0.8843	1.1308	13.7164
7	0.7933	1.2605	5.9803	40	0.8871	1.1273	13.9620
8	0.7961	1.2562	6.2204	41	0.8900	1.1236	14.2020
9	0.7988	1.2518	6.4615	42	0.8932	1.1196	14.4420
10	0.8015	1.2476	6.7060	43	0.8957	1.1164	14.6820
11	0.8044	1.2431	6.9460	44	0.8987	1.1127	14.9276
12	0.8076	1.2381	7.1860	45	0.9014	1.1093	15.1676
13	0.8104	1.2339	7.3983	46	0.9042	1.1059	15.4132
14	0.8131	1.2297	7.6716	47	0.9073	1.1021	15.6532
15	0.8159	1.2256	7.9116	48	0.9100	1.0988	15.8955
16	0.8188	1.2213	8.1183	49	0.9129	1.0954	16.1400
17	0.8217	1.2168	8.3972	50	0.9158	1.0919	16.3900

Fuente: Psicrometría ([http://www.valycontrol.com.mx/mt/mt\\_cap\\_13.pdf](http://www.valycontrol.com.mx/mt/mt_cap_13.pdf), Página 166.

## Anexo-2: Propiedades del vapor de agua.

### Psicrometría

Temp. de Saturación °C	Presión de Vapor (Absoluta)		Volumen Específico m³/kg	Peso del Vapor			Entalpia kcal/kg		
	kPa	psia		Densidad	Humedad	Absoluta	Sensible	Latente	Total
				kg/m³	g/m³	granos/pie³			
0	0.61	0.0885	206.32	0.004847	4.84	2.11	0	597.66	597.66
1	0.65	0.0945	194.10	0.005152	5.15	2.25	1	596.87	597.87
2	0.7	0.1023	179.58	0.005569	5.57	2.43	2	596.28	598.28
3	0.76	0.1098	168.18	0.005946	5.95	2.60	3	595.68	598.68
4	0.81	0.1179	157.40	0.006353	6.35	2.77	4	595.09	599.09
5	0.87	0.1265	147.14	0.006796	6.79	2.97	5	594.53	599.53
6	0.93	0.1356	137.74	0.007260	7.26	3.18	6	593.93	599.93
7	1.00	0.1452	129.04	0.007750	7.75	3.38	7	593.37	600.37
8	1.07	0.1556	120.95	0.008268	8.27	3.61	8	592.79	600.79
9	1.15	0.1664	113.39	0.008819	8.82	3.85	9	592.25	601.25
10	1.23	0.1780	106.37	0.009401	9.40	4.10	10	592.03	602.03
11	1.31	0.1903	99.90	0.01001	10.01	4.37	11	591.10	602.10
12	1.40	0.2033	93.82	0.01066	10.66	4.66	12	590.56	602.56
13	1.50	0.2187	88.13	0.01135	11.35	4.96	13	589.98	602.98
14	1.60	0.2317	82.85	0.01207	12.07	5.27	14	589.41	603.41
15	1.70	0.2472	77.97	0.01283	12.83	5.60	15	588.87	603.87
16	1.82	0.2636	73.35	0.01363	13.63	5.96	16	588.31	604.31
17	1.94	0.2809	69.09	0.01447	14.47	6.32	17	587.72	604.72
18	2.06	0.2992	65.07	0.01537	15.37	6.72	18	587.18	605.18
19	2.20	0.3186	61.32	0.01631	16.31	7.13	19	586.59	605.59
20	2.33	0.3390	57.81	0.01730	17.30	7.56	20	586.03	606.03
21	2.48	0.3606	54.54	0.01834	18.34	8.01	21	585.48	606.48
22	2.64	0.3834	51.48	0.01943	19.43	8.48	22	584.89	606.89
23	2.83	0.4102	48.60	0.02058	20.58	8.99	23	584.34	607.34
24	2.98	0.4327	45.91	0.02178	21.78	9.52	24	583.76	607.76
25	3.16	0.4593	43.38	0.02305	23.05	10.07	25	583.20	608.20
26	3.36	0.4875	41.02	0.02438	24.38	10.65	26	582.65	608.65
27	3.56	0.5171	38.80	0.02577	25.77	11.26	27	582.09	609.09
28	3.78	0.5482	36.72	0.02723	27.23	11.90	28	581.45	609.45
29	4.00	0.5810	34.76	0.02876	28.76	12.57	29	580.93	609.93
30	4.24	0.6154	32.91	0.03038	30.38	13.27	30	580.43	610.43
31	4.49	0.6517	31.18	0.03207	32.07	14.01	31	579.87	610.87
32	4.75	0.6897	29.56	0.03383	33.83	14.78	32	579.28	611.28
33	5.03	0.7297	28.03	0.03568	35.68	15.59	33	578.74	611.74
34	5.32	0.7717	26.59	0.03761	37.61	16.43	34	578.15	612.15
35	5.62	0.8157	25.23	0.03964	39.64	17.32	35	577.59	612.59
36	5.94	0.8619	23.96	0.04174	41.74	18.24	36	576.99	612.99
37	6.27	0.9104	22.88	0.04370	43.70	19.09	37	576.45	613.45
38	6.63	0.9612	21.62	0.04625	46.25	20.21	38	575.87	613.87
39	6.99	1.0144	20.55	0.04866	48.66	21.26	39	575.30	614.30
40	7.38	1.0700	19.54	0.05118	51.18	22.36	40	574.70	614.70
41	7.78	1.1285	18.58	0.05382	53.82	23.52	41	574.16	615.16
42	8.08	1.1723	17.69	0.05653	56.53	24.70	42	573.59	615.59
43	8.64	1.2536	16.83	0.05942	59.42	25.97	43	573.08	616.08
44	9.10	1.3204	16.03	0.06238	62.38	27.26	44	572.42	616.42
45	9.58	1.3903	15.27	0.06549	65.49	28.62	45	571.87	616.87
46	10.09	1.4634	14.55	0.06873	68.73	30.03	46	571.27	617.27
47	10.62	1.5398	13.88	0.07205	72.05	31.48	47	570.72	617.72
48	11.17	1.6196	13.02	0.07680	76.80	33.56	48	570.13	618.13
49	11.75	1.7024	12.42	0.08052	80.52	35.18	49	569.59	618.59

Tabla 13.3 - Propiedades del vapor de agua saturado.

### **Anexo-3: Código para medición coordenadas con GPS estándar NMEA con placa Arduino.**

```
// Sketch realizado por JA CORTES GOODBOT SHOP
//Prueba de módulo A7 GPS GPRS GSM
//Inicia el modulo, visualizas la actividad y datos NMEA del GPS en
//monitor serial y permite enviar comando AT desde el mismo a la vez
// Fijar la velocidad en 19200 y agregar NL & CR (nueva línea
// y retorno de carro en monitor serial.
//RX del A7 en D8 de Arduino y TX del A7 en D7 del Arduino
#include<SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial A7GPS(7,8);
void setup()
{
  A7GPS.begin(19200);
  Serial.begin(19200);
  delay(6000); // tiempo para conectarse a la red
  A7GPS.print("AT\r"); // AT OK
  A7GPS.println("");
  delay(100);
  A7GPS.print("AT+GPSRD=1\r");
  // Enciende GPS
  delay(100);
  A7GPS.print("AT+GPS=1\r");
  Serial.println("Listo... escribe varias veces AT hasta ver OK como respuesta");
}
void loop()
{
  if (Serial. Available ())
    A7GPS.print((char)Serial. Read ());
  else if (A7GPS.available())
    Serial. Print((char)A7GPS.read());
}
```

### **Anexo-4: Código para medición de humedad relativa y temperatura con placa Arduino.**

```
//Programa de arduino: Creditos: www.prometec.net/foros-prometec/
#include <Arduino.h>
#include <DHT11.h>
int pin=2;
DHT11 dht11(pin);
```

```

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  while (!Serial) {
    ;
  }
}
void loop()
{
  int err;
  float temp, humi;
  if((err=dht11.read(humi, temp))==0)
  {
    Serial.print("temperature:");
    Serial.print(temp);
    Serial.print(" humidity:");
    Serial.print(humi);
    Serial.println();
  }
  else
  {
    Serial.println();
    Serial.print("Error No :");
    Serial.print(err);
    Serial.println();
  }
  delay(DHT11_RETRY_DELAY); //delay for reread
}

```

### **Anexo-5: Código para medir voltajes DC utilizando placa Arduino.**

```

/*
DC Voltmeter Using a Voltage Divider
Based on Code Created By
T.K.Hareendran
*/
int analogInput = A1;
float vout = 0.0;
float vin = 0.0;
float R1 = 7500.0; //
float R2 = 30000.0; //

```

```

int value = 0;
void setup(){
  pinMode(analogInput, INPUT);
  Serial.begin(9600);
  Serial.print("DC VOLTMETER");
}
void loop(){
  // read the value at analog input
  value = analogRead(analogInput);
  vout = (value * 5.0) / 256.0; // see text
  vin = vout / (R2/(R1+R2));

  Serial.print("INPUT V= ");
  Serial.println(vin,2);
  delay(500);
}

```

### **Anexo-6: Código para medir corrientes DC utilizando placa Arduino y sensor ACS712-30A.**

```

/*Measuring Current Using ACS712*/
const int analogIn = A0;
int mVperAmp = 185; // use 100 for 20A Module and 66 for 30A Module
int RawValue= 0;
int ACSoffset = 2500;
double Voltage = 0;
double Amps = 0;
void setup(){
  Serial.begin(9600);
}
void loop(){
  RawValue = analogRead(analogIn);
  Voltage = (RawValue / 1024.0) * 5000; // Gets you mV
  Amps = ((Voltage - ACSoffset) / mVperAmp);
  Serial.print("Raw Value = " ); // shows pre-scaled value
  Serial.print(RawValue);
  Serial.print("\t mV = "); // shows the voltage measured
  Serial.print(Voltage,3); // the '3' after voltage allows you to display 3 digits after decimal
  point
  Serial.print("\t Amps = "); // shows the voltage measured

```

```

Serial.println(Amps,3); // the '3' after voltage allows you to display 3 digits after decimal
point
delay(2500);
}

```

### **Anexo-7: Código para medir variables eléctricas DC y ambientales con placa Arduino y sensor DHT11.**

```

//Código final para placa Arduino usando sensores ACS712, ARD 0-25VDC, AHT11.
#include <dht.h>
dht DHT;
#define DHT11_PIN 2
//Definiciones de entrada
const int analogInsol = A1; //Corriente Panel solar.
const int analogIndes=A3; //Corriente Carga Deshumidificador.
const int analogIneol = A5; //Corriente Generador Eólico.
int mVperAmp = 66; // use 100 for 20A Module and 66 for 30A Module
int RawValuesol= 0;
int RawValuedes= 0;
int RawValueeol= 0;
int ACSoffset = 2500;
double Voltagesol = 0;
double Voltagedes = 0;
double Voltageeol = 0;
double Ampssol = 0;
double Ampsdes = 0;
double Ampseol = 0;
int analogInputsol = A0; //Voltaje Panel Solar
int analogInputdes = A2; //Voltaje carga deshumidificador
int analogInputeol = A4; //Voltaje Gen eólico
float voutsol = 0.0;
float voutdes = 0.0;
float vouteol = 0.0;
float vinsol = 0.0;
float vindes = 0.0;
float vineol = 0.0;
float R1 = 30000.0; //
float R2 = 7500.0; //
int valuesol = 0;
int valuedes = 0;
int valueeol = 0;
float watts_mediasol = 0.;

```

```

float watts_mediades = 0.;
float watts_mediaeol = 0.;
float base_vinsol;
float base_vindes;
float base_vineol;
float base_Ampssol;
float base_Ampsdes;
float base_Ampseol;
float vinsol0[10] = {0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0};
float vindes0[10] = {0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0};
float vineol0[10] = {0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0};
float Ampssol0[10] = {0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0};
float Ampsdes0[10] = {0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0};
float Ampseol0[10] = {0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0};

void setup(){
  pinMode(analogInputsol, INPUT);
  pinMode(analogInputdes, INPUT);
  pinMode(analogInputeol, INPUT);
  Serial.begin(9600);
  //Serial.print("DC VOLTMETER");
  //Serial.begin(9600);
}
void loop(){
  // read the value at analog input
  {
    //Serial.print("DHT11, \t");
    int chk = DHT.read11(DHT11_PIN);
    switch (chk)
    {
      case DHTLIB_OK:
//          Serial.print("OK,\t");
          break;
      case DHTLIB_ERROR_CHECKSUM:
          Serial.print("Checksum error,\t");
          break;
      case DHTLIB_ERROR_TIMEOUT:
          Serial.print("Time out error,\t");
          break;
      case DHTLIB_ERROR_CONNECT:
          Serial.print("Connect error,\t");
          break;
    }
  }
}

```

```

case DHTLIB_ERROR_ACK_L:
    Serial.print("Ack Low error,\t");
    break;
case DHTLIB_ERROR_ACK_H:
    Serial.print("Ack High error,\t");
    break;
default:
    //Serial.print("Unknown error,\t");
    break;
}
valuesol = analogRead(analogInputsol);
valuedes = analogRead(analogInputdes);
valueeol = analogRead(analogInputeol);
voutsol = (valuesol * 5.0) / 1024.0;
voutdes = (valuedes * 5.0) / 1024.0;
vouteol = (valueeol * 5.0) / 1024.0;
vinsol = voutsol / (R2/(R1+R2));
vindes = voutdes / (R2/(R1+R2));
vineol = vouteol / (R2/(R1+R2));
base_vinsol = vinsol;
base_vindes = vindes;
base_vineol = vineol;
RawValuesol = analogRead(analogInsol);
RawValuedes = analogRead(analogIndes);
RawValueeol = analogRead(analogIneol);
VoltageSol = (RawValuesol / 1024.0) * 5000; // Gets you mV
VoltageDes = (RawValuedes / 1024.0) * 5000; // Gets you mV
VoltageEol = (RawValueeol / 1024.0) * 5000; // Gets you mV
AmpsSol = ((VoltageSol - ACSoffset) / mVperAmp);
AmpsDes = ((VoltageDes - ACSoffset) / mVperAmp);
AmpsEol = ((VoltageEol - ACSoffset) / mVperAmp);
base_AmpsSol = AmpsSol;
base_AmpsDes = AmpsDes;
base_AmpsEol = AmpsEol;
// Aqui vamos a calcular el promedio de los vectores de datos.
// Read and average the raw values
float vin_mediasol=0.;
float vin_mediades=0.;
float vin_mediaeol=0.;
float Amps_mediasol=0.;
float Amps_mediades=0.;
float Amps_mediaeol=0.;

```

```

for (int i=0;i<9;i++)
{
  vinsol0[9-i]=vinsol0[8-i];
  vindes0[9-i]=vindes0[8-i];
  vineol0[9-i]=vineol0[8-i];
  Ampssol0[9-i]=Ampssol0[8-i];
  Ampsdes0[9-i]=Ampsdes0[8-i];
  Ampseol0[9-i]=Ampseol0[8-i];
}
{
  vinsol0[0]= vinsol;
  vindes0[0]= vindes;
  vineol0[0]= vineol;
  Ampssol0[0]= Ampssol;
  Ampsdes0[0]= Ampsdes;
  Ampseol0[0]= Ampseol;
}
for (int i = 0; i < 10; i++)
{
  vin_mediasol += vinsol0[i];
  vin_mediades += vindes0[i];
  vin_mediaeol += vineol0[i];
  Amps_mediasol += Ampssol0[i];
  Amps_mediades += Ampsdes0[i];
  Amps_mediaeol += Ampseol0[i];
}
float FS_SEL1 = 10;
//{
  vin_mediasol /= FS_SEL1;
  vin_mediades /= FS_SEL1;
  vin_mediaeol /= FS_SEL1;
  Amps_mediasol /= FS_SEL1;
  Amps_mediades /= FS_SEL1;
  Amps_mediaeol /= FS_SEL1;
  // Send the data to the serial port
  watts_mediasol = Amps_mediasol * vin_mediasol;
  Serial.print(DHT.humidity, 1);
  Serial.print(", ");
  Serial.print(DHT.temperature, 1);
  //Serial.print("Raw Valuesol = " ); // shows pre-scaled value
  Serial.print(", ");
  //Serial.print(RawValuesol);

```

```

//Serial.print("\t mV = "); // shows the voltage measured
Serial.print(vin_mediasol,3); // the '3' after voltage allows you to display 3 digits after
decimal point
Serial.print(", ");
//Serial.print("\t Ampssol = "); // shows the voltage measured
//Serial.println(Ampssol,3); // the '3' after voltage allows you to display 3 digits after decimal
point
Serial.print(Amps_mediasol,3);
Serial.print(", ");
Serial.print(watts_mediasol,3);
watts_mediades = Amps_mediades * vin_mediades;
//Serial.print("Raw Valuedes = " ); // shows pre-scaled value
Serial.print(", ");
//Serial.print(RawValuedes);
//Serial.print("\t mV = "); // shows the voltage measured
Serial.print(vin_mediades,3); // the '3' after voltage allows you to display 3 digits after
decimal point
Serial.print(", ");
//Serial.print("\t Ampsdes = "); // shows the voltage measured
//Serial.println(Ampsdes,3); // the '3' after voltage allows you to display 3 digits after decimal
point
Serial.print(Amps_mediades,3);
Serial.print(", ");
Serial.print(watts_mediades,3);
watts_mediaeol = Amps_mediaeol * vin_mediaeol;
//Serial.print("Raw Valueeol = " ); // shows pre-scaled value
Serial.print(", ");
//Serial.print(RawValueeol);
//Serial.print("\t mV = "); // shows the voltage measured
Serial.print(vin_mediaeol,3); // the '3' after voltage allows you to display 3 digits after
decimal point
Serial.print(", ");
//Serial.print("\t Ampseol = "); // shows the voltage measured
//Serial.println(Ampseol,3); // the '3' after voltage allows you to display 3 digits after decimal
point
Serial.print(Amps_mediaeol,3);
Serial.print(", ");
Serial.println(watts_mediaeol,3);
delay(3000);
}
}

```

## **Anexo-7A: Código para medir variables eléctricas DC y ambientales con placa Arduino y sensor DHT22.**

//Código final para placa Arduino usando sensores ACS712, ARD 0-25VDC, DHT22.

/\*DOS MEDIDAS SOLAR-A0-A1 EOLICA-A4A5

DC Voltmeter Using a Voltage Divider

Based on Code Created By

T.K.Hareendran

\*/

// Henry's Bench

// Power Meter Tutorial

/\*

Measuring Current Using ACS712 y Voltage 0-25VDC sensor

\*/

// FILE: dht11\_test.ino

// AUTHOR: Rob Tillaart

// VERSION: 0.1.01

// PURPOSE: DHT library test sketch for DHT22 && Arduino

//Codigo libre(GNU) integrado, actualizado adaptado y reformado por

//Miguel Gonzalez D .ECI.

#include <dht.h>

dht DHT;

#define DHT22\_PIN 2

struct

{

uint32\_t total;

uint32\_t ok;

uint32\_t crc\_error;

uint32\_t time\_out;

uint32\_t connect;

uint32\_t ack\_l;

uint32\_t ack\_h;

uint32\_t unknown;

} stat = { 0,0,0,0,0,0,0,0};

/\*#include <dht.h>

dht DHT;

#define DHT11\_PIN 2

\*/

const int analogInsol = A1; //Corriente Panel solar

const int analogIeol = A5; //Corriente gen eolico

int mVperAmp = 66; // use 100 for 20A Module and 66 for 30A Module

int RawValuesol= 0;

int RawValueeol= 0;

```

int ACSoffset = 2500;
double Voltagesol = 0;
double Voltageeol = 0;
double Ampssol = 0;
double Ampseol = 0;
int analogInputsol = A0; //Voltaje Panel Solar
int analogInputeol = A4; //Voltaje Gen eolico
float voutsol = 0.0;
float vouteol = 0.0;
float vinsol = 0.0;
float vineol = 0.0;
float R1 = 30000.0; //
float R2 = 7500.0; //
int valuesol = 0;
int valueeol = 0;
float watts_mediasol = 0.;
float watts_mediaeol = 0.;
float base_vinsol;
float base_vineol;
float base_Ampssol;
float base_Ampseol;
float vinsol0[10] = {0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0};
float vineol0[10] = {0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0};
float Ampssol0[10] = {0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0};
float Ampseol0[10] = {0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0};
void setup()
{
{
Serial.begin(9600);
}
{
pinMode(analogInputsol, INPUT);
pinMode(analogInputeol, INPUT);
Serial.begin(9600);
//Serial.print("DC VOLTMETER");
//Serial.begin(9600);
}
}
void loop()
{
{
// READ DATA

```

```

// Serial.print("DHT22, \t");
uint32_t start = micros();
int chk = DHT.read22(DHT22_PIN);
uint32_t stop = micros();
stat.total++;
switch (chk)
{
case DHTLIB_OK:
    stat.ok++;
    // Serial.print("OK,\t");
    break;
case DHTLIB_ERROR_CHECKSUM:
    stat.crc_error++;
    // Serial.print("Checksum error,\t");
    break;
case DHTLIB_ERROR_TIMEOUT:
    stat.time_out++;
    //Serial.print("Time out error,\t");
    break;
case DHTLIB_ERROR_CONNECT:
    stat.connect++;
    // Serial.print("Connect error,\t");
    break;
case DHTLIB_ERROR_ACK_L:
    stat.ack_l++;
    //Serial.print("Ack Low error,\t");
    break;
case DHTLIB_ERROR_ACK_H:
    stat.ack_h++;
    //Serial.print("Ack High error,\t");
    break;
default:
    stat.unknown++;
    //Serial.print("Unknown error,\t");
    break;
}
}
valuesol = analogRead(analogInputsol);
valueeol = analogRead(analogInputeol);
voutsol = (valuesol * 5.0) / 1024.0; // see text
vouteol = (valueeol * 5.0) / 1024.0; // see text
vinsol = voutsol / (R2/(R1+R2));

```

```

vineol = vouteol / (R2/(R1+R2));
base_vinsol = vinsol;
base_vineol = vineol;
RawValuesol = analogRead(analogInsol);
RawValueeol = analogRead(analogIneol);
Voltageesol = (RawValuesol / 1024.0) * 5000; // Gets you mV
Voltageeol = (RawValueeol / 1024.0) * 5000; // Gets you mV
Ampssol = ((Voltageesol - ACSoffset) / mVperAmp);
Ampseol = ((Voltageeol - ACSoffset) / mVperAmp);
base_Ampssol = Ampssol;
base_Ampseol = Ampseol;
// Aqui vamos a calcular el promedio de los vectores de datos.
// Read and average the raw values
float vin_mediasol=0.;
float vin_mediaeol=0.;
float Amps_mediasol=0.;
float Amps_mediaeol=0.;
for (int i=0;i<9;i++)
{
  vinsol0[9-i]=vinsol0[8-i];
  vineol0[9-i]=vineol0[8-i];
  Ampssol0[9-i]=Ampssol0[8-i];
  Ampseol0[9-i]=Ampseol0[8-i];
}
{
  vinsol0[0]= vinsol;
  vineol0[0]= vineol;
  Ampssol0[0]= Ampssol;
  Ampseol0[0]= Ampseol;
}
for (int i = 0; i < 10; i++)
{
  vin_mediasol += vinsol0[i];
  vin_mediaeol += vineol0[i];
  Amps_mediasol += Ampssol0[i];
  Amps_mediaeol += Ampseol0[i];
}
float FS_SEL1 = 10;
vin_mediasol /= FS_SEL1;
vin_mediaeol /= FS_SEL1;
Amps_mediasol /= FS_SEL1;
Amps_mediaeol /= FS_SEL1;

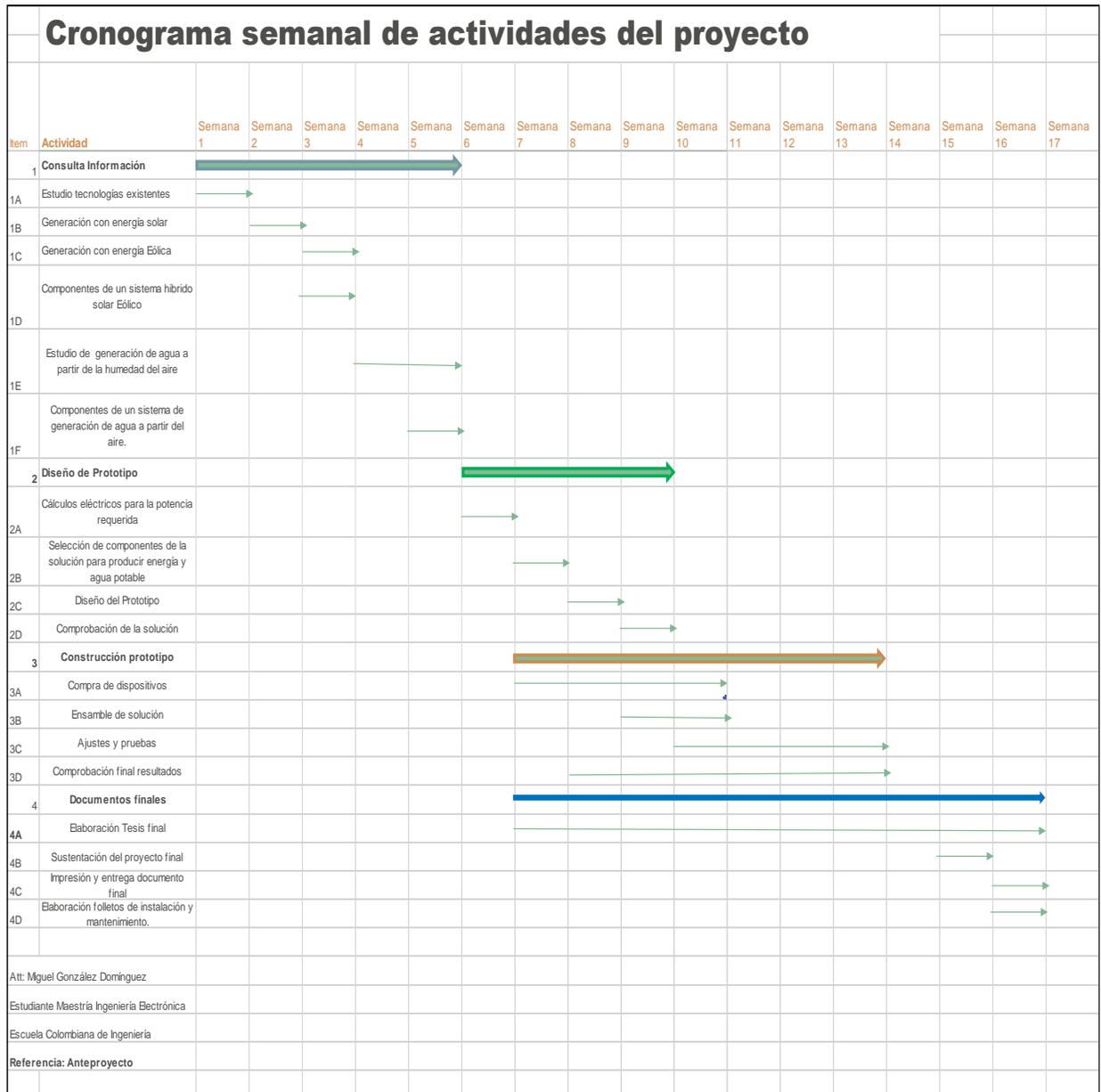
```

```

// Send the data to the serial port
watts_mediasol = Amps_mediasol * vin_mediasol;
watts_mediaeol = Amps_mediaeol * vin_mediaeol;
// DISPLAY DATA
  Serial.print(DHT.humidity, 1);
  Serial.print(",\t");
  Serial.print(DHT.temperature, 1);
  Serial.print(",\t");
  if (stat.total % 1 == 0)
  {
Serial.print(vin_mediasol,3); // the '3' after voltage allows you to display 3 digits after decimal
point
Serial.print(", ");
//Serial.print("\t Ampssol = "); // shows the voltage measured
//Serial.println(Ampssol,3); // the '3' after voltage allows you to display 3 digits after decimal
point
Serial.print(Amps_mediasol,3);
Serial.print(", ");
Serial.print(watts_mediasol,3);
watts_mediaeol = Amps_mediaeol * vin_mediaeol;
//Serial.print("Raw Valuedes = " ); // shows pre-scaled value
Serial.print(", ");
//Serial.print(RawValuedes);
//Serial.print("\t mV = "); // shows the voltage measured
Serial.print(vin_mediaeol,3); // the '3' after voltage allows you to display 3 digits after
decimal point
Serial.print(", ");
//Serial.print("\t Ampsdes = "); // shows the voltage measured
//Serial.println(Ampsdes,3); // the '3' after voltage allows you to display 3 digits after decimal
point
Serial.print(Amps_mediaeol,3);
Serial.print(", ");
Serial.println(watts_mediaeol,3);
delay(60000);
}
}

```

## Anexo-8: Cronograma inicial.



## Anexo-9: Presupuesto inicial.

PRESUPUESTO PROTOTIPO GENERADOR DE ENERGIA ELECTRICA Y PRODUCCION AGUA DEL AIRE								
Ítem	Descripción	Aportante	Unidad	Cantidad	Valor unitario \$C	Subtotal total	Total \$Pesos Col	
<b>1 Recurso Humano</b>								9.600.000,00
1A	Msc Giovanni Baquero Rozo-Tu ECI		Horas	32	100.000,00	3.200.000,00		
1B	Ing. Miguel González D-Investi	Investigad	Semana	8	800.000,00	6.400.000,00		
<b>2 Recursos Tecnológicos</b>								1.460.000,00
2A	Computador	Investigad	Semana	1	400.000,00	400.000,00		
2B	Internet	Investigad	Semana	8	20.000,00	160.000,00		
2C	Medidor multivariable	Investigad	Unidad	1	900.000,00	900.000,00		
<b>3 Materiales</b>								4.960.000,00
3A	Panel Solar 200 watos 12 VDC	Investigad	Unidad	1	550.000,00	550.000,00		
3B	Regulador Híbrido 12VDC	Investigad	Unidad	1	250.000,00	250.000,00		
3C	Generador Eólico 12VDC(opc)	Investigad	Unidad	1	1.200.000,00	1.200.000,00		
3D	Batería 12VDC	Investigad	Unidad	1	300.000,00	300.000,00		
3E	Inversor DC-AC	Investigad	Unidad	1	220.000,00	220.000,00		
3F	Deshumidificador 5L/d	Investigad	Unidad	1	1.150.000,00	1.150.000,00		
3G	Filtro Uv	Investigad	Unidad	1	400.000,00	400.000,00		
3H	Filtro de Carbón	Investigad	Unidad	1	100.000,00	100.000,00		
3I	Cables y accesorios	Investigad	Unidad	1	100.000,00	100.000,00		
3J	Tubería y accesorios	Investigad	Unidad	1	50.000,00	50.000,00		
3K	Análisis de Laboratorio Agua	Investigad	Unidad	2	120.000,00	240.000,00		
<b>4 Otros e Imprevistos</b>								
4A	Papelería e Impresión	Investigad	Unidad	1	100.000,00	100.000,00		
4B	Imprevistos	Investigad	Unidad	1	200.000,00	200.000,00		
<b>Subtotal Materiales e imprevistos</b>						4.960.000,00		
<b>TOTAL PROYECTO MIXTO</b>								16.020.000,00

## Anexo-10: Cuadro comparativo costos de producción versus costos de energía y agua potable del mercado.

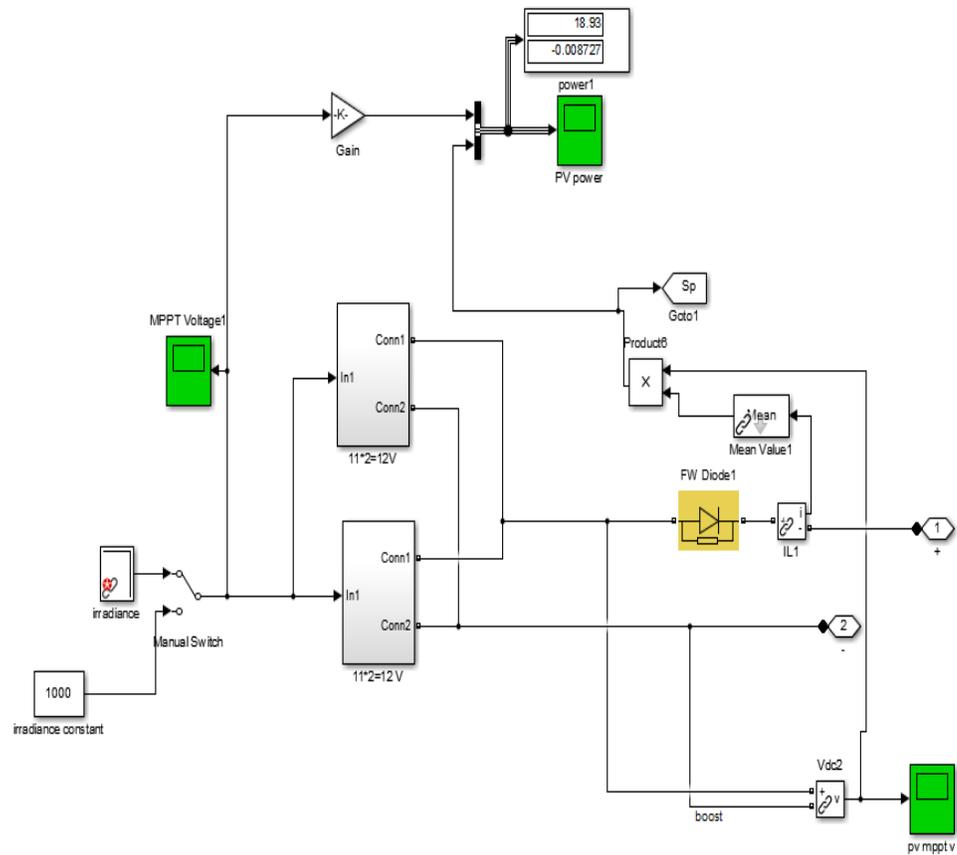
ANÁLISIS DE COSTOS DE LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA Y AGUA DEL TRABAJO VS COSTOS DE EMPRESAS DE SERVICIOS PÚBLICOS(ESP)						
Se toma como base los costos reales de las empresa Codensa y de acueducto de bogota para estrato 3 y agua cristal del comercio						
Se toma como 50% valor del proyecto para energía eléctrica y 50% para producción agua. HSP(Horas sol pico)=4,3(Eq 6.2, Pag 51)						
Se toma como base proyecto de 3 paneles solares de 100 watos(sin eólico) y 6 deshumidificadores(35w/cu de consumo). Referencia Tabla 32						
Descripción	Costos globales \$ col	Energía vatios/h ESP	Energía vatios Proy/h	AGUA Litro ESP	Litro/Botellón	Agua Proy(378 cts <sup>3</sup> /día) Comentarios
Costo KW/H ESP	449,23	0,44923	53,75			
Costo M <sup>3</sup> ESP <20	2276			2,276		
Costo Litro Agua cristal	525				525	
Costo total este proyecto	3000000					
Energía 50% costo proyecto	1500000		27906,97674			
Agua 50% costo total proyecto	1500000					1500000
Escenario 1 sitios donde hay energía y agua potable						
Escenario 2 sitios donde haya energía y no haya agua potable						
Escenario 3 sitios donde no hay energía ni agua potable						
<b>ESCENARIO 1(Ejemplo chia)</b>						
Comparación costo real de producción de Energía eléctrica			62121,80118		63875	62121,8 veces mas costosa
Energía Tiempo de retorno de la inversion en años			381,3649815			Inviabile este escenario
<b>ESCENARIO 2( Ejemplo vereda josef Suaita)</b>						
Comparación costo real de producción de agua potable(factor 1,3 transp)			2197,802198			2197 veces mas costoso
Agua potable tiempo de retorno de inversión en años			18,06412765			Viable invertir en potabilización
<b>ESCENARIO 3</b>						
Redes muy lejanas no interconectable a futuro cercano						
Generador Gasolina o Diesel 960 watos			1000000			Dependencia del combustible
Combustible mas transporte un galón			10000			Hay contaminación aire
Valor watio/hora generación Diesel inicial			1367,708333			Inicial mas economica que solar
Generación solar( Opcional Eólica)						Ver Cap 2 y 3 Justificación
Agua Potable						Igual al escenario 2
<a href="https://www.codensa.com.co/hogar/valor-del-kilovatio-en-colombia">https://www.codensa.com.co/hogar/valor-del-kilovatio-en-colombia</a>						
<a href="http://www.acueducto.com.co">http://www.acueducto.com.co</a>						
Nota: Si bien el agua de los acueductos es recomendable para consumo humano no siempre es 100% potable						

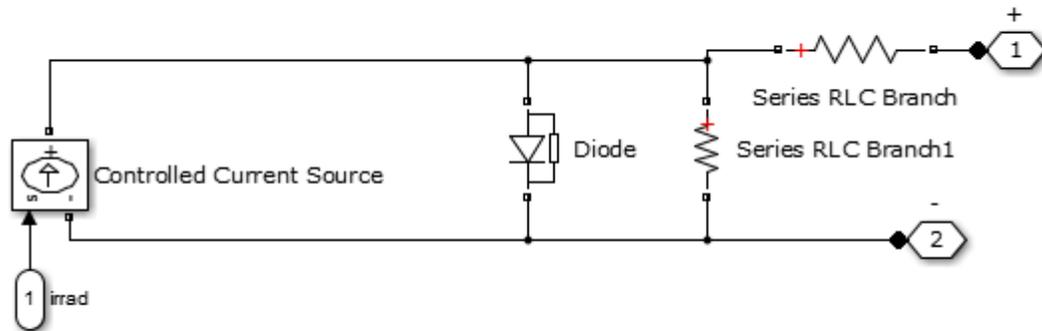
## Anexo-11: Herramienta de simulación Simulink de Matlab.

Se describe a continuación en forma general el uso de la herramienta simulink de la plataforma de Matlab para hacer simulación de los sistemas solares y eólicos de

tamaño pequeño a partir de los parámetros de entrada de radiación y velocidad del viento que pueden ser de ayuda especialmente en la etapa de factibilidad de un proyecto determinado, lo mismo para el aseguramiento de las condiciones en las cuales se va a implementar el mismo.

**Figura 57A. Diagrama de bloques “open source” de simulink de Matlab de fuente solar.** This guide is useful to anyone who would like to contribute to open source projects on MATLAB. Open Source is a Great Platform for MATLAB Designed By Indraneel saki (Indranil saaki). MATHWORKS R & D Dept. Germany





En las figuras anteriores vemos los sub sistemas de la simulación de energía solar.

En las figuras 57A vemos el sistema solar general con sus componentes principales:

- Subsistema de la simulación de la entrada de la Irradiancia de la celda solar como una fuente de corriente con su diodo inverso, resistencia en paralelo de entrada y resistencia serie de salida.
- Subsistema de amplificación de entrada.
- Subsistema de medición de potencia de salida.
- Subsistema de punto de máxima potencia MPPT (Maximun power point tracking).
- Subsistema de medida.

Es de anotar que la simulación se hace con valores discretos de entrada en un determinado lapso de tiempo, ya que, si bien la entrada es una función variable que depende de varios factores como nubosidad, hora del día, fecha del año, posición (latitud, longitud) del punto donde tenemos el sistema captador, altitud del sitio, etc. Si pretendiéramos simular a la entrada esa función variable con esos parámetros, necesitaríamos bastante procesamiento y máquinas muy robustas para una correcta simulación y resultados acordes a la función de entrada, labor no contemplado en los objetivos de éste trabajo.

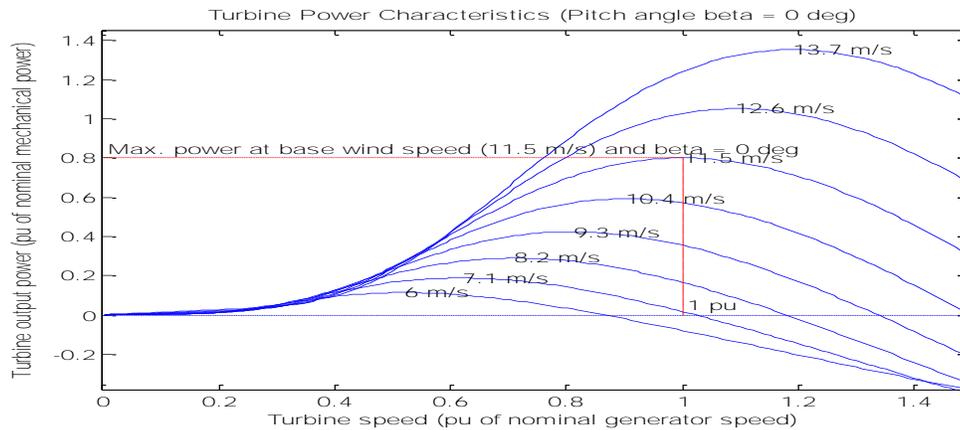
**Figura 57B . Diagrama de bloques “open source” de simulink de Matlab de fuente eólica.** This guide is useful to anyone who would like to contribute to open source projects on MATLAB. Open Source is a Great Platform for MATLAB Designed By Indraneel saki (Indranil saaki). MATHWORKS R & D Dept. Germany



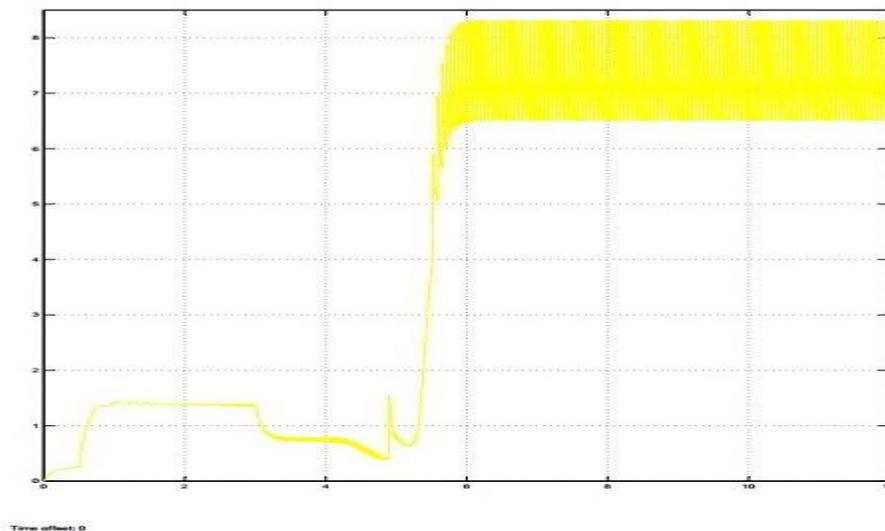
- Subsistema de Generación trifásico (Permanet magnet synchronous Generator).
- Subsistema de medición de voltajes y corriente.
- Subsistema de rectificación trifásico.
- Subsistema de salida de corriente y voltaje.

En las dos figuras siguientes la simulación de potencia vs velocidad y la corriente Iwind generada por la turbina.

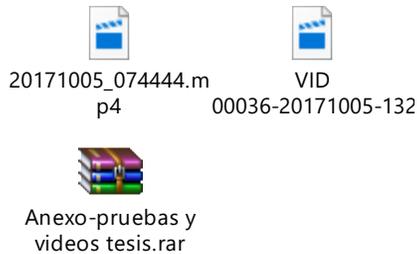
**Figura 57C. Curvas características de la turbina (Simulink)**



**Figura 57D. Corriente Iwind de la turbina (simulink) versus tiempo**



Anexo-12: Se anexan algunos videos y archivo de datos representativos de pruebas efectuadas.



## LISTA DE FIGURAS

Figura-01 Diagrama de bloques Generación mixta solar eólica y condensador de agua.	Pág-15
Figura-02 Distribución acumulativa de potencia en el mundo Watios/habitante de energía solar fotovoltaica año 2015. (UPM15).	Pág-16
Figuras-03-04 Mapas de distribución del brillo y Radiación solar Kilowatios/hora/ metro <sup>2</sup> por Regiones en Colombia.	Pág-17
Figura-05 Evolución de los costos celdas de silicio años 1977 a 2015.	Pág-18
Figura-06 Zonas longitudinales de referencia globo terrestre.	Pág-20
Figura-07 Espectro de ondas electro magnéticas recibidas del sol.	Pág-21
Figura-08 Mapa de fechas de Solsticio.	Pág-22
Figura-09 Relaciones de distancia Sol-Tierra.	Pág-23
Figura-10 Cálculo de Irradiancia.	Pág-25
Figura-11 Mapa de capacidad instalada energía eólica por región en el mundo años 2007- 2015.	Pág-26
Figuras-02-13 Mapas de Velocidad y dirección predominante de corrientes de viento por Regiones en Colombia.	Pág-27
Figuras-14-15 Generador Eólico tipo DC y Características del fabricante.	Pág-27
Figura-16 Diagrama general de Manejo de Bus DC-DC.	Pág-29
Figura-17 MPPT Generador solar.	Pág-30
Figura-18 MPPT Generador eólico.	Pág-31
Figuras-19-20 Mapas de distribución histórico de precipitaciones y humedad relativa por regiones en Colombia 1981-2010.	Pág-33
Figura-21 Curvas típicas Generador (Condensador) comercial de agua.	Pág-37
Figura-22 Rosa de los vientos año 2016 estación Guaymaral Bogotá.	Pág-42
Figuras-23-24-25 Rosa de los vientos Enero-Febrero-Marzo de 2017 Estación Guaymaral Bogotá.	Pág-43-44
Figura-26 Diagrama de flujo cálculos energía solar.	Pág-48
Figura-27 Diagrama de flujo cálculos energía eólica.	Pág-51

Figuras-28-29-30 Fotos construcción prototipo.	Págs-55-56
Figura-31 Características técnicas batería del prototipo del proveedor.	Pág-59
Figura-32 Diagrama de flujo sistema de condensación de agua.	Pág-62
Figura-33 Escenario de prueba uno.	Pág-63
Figura-34 Escenario de prueba dos.	Pág-64
Figura-35 Red actual de Satélites meteorológicos.	Pág-67
Figura-36 Características de medida de una estación Meteorológica típica de acuerdo al proveedor.	Pág-68
Figura-37 Foto conexionado placa Arduino a GPS-A7	Pág-70
Figura-38 Foto conexionado placa Arduino a sensor T °C y humedad	Pág-71
Figura-39 Diagrama conexionado placa Arduino a sensor DHT11	Pág-72
Figura-40 Régimen anual de vientos Santafé de Bogotá. Ideam.	Pág-75
Figura-41 Foto sensor de voltaje ARD-0-25VDC a placa Arduino.	Pág-78
Figura-42 Diagrama conexión sensor de voltaje a placa Arduino.	Pág-78-79
Figura-43 Diagrama de conexión sensor de corriente ACS-712- de 30AMP a placa Arduino.	Pág-79
Figura-44 Foto conexión sensor ACS-712 y placa Arduino.	Pág-80
Figura-45 Diagrama de conexión sensores a placa Arduino	Pág-80
Figura 46 Diagrama general de medición variables eléctricas	Pág-81
Figura 46A Diagrama general del proyecto.	Pág-82
Figura 46B Diagrama general de la placa Arduino.	Pág-83
Figura 46C-D-E-F-G. Fotos generales de montaje en campo.	Pág-86-87
Figura-47 Gráficas medición voltaje, corriente y potencia Generador solar.	Pág-88-89
Figura-48 Foto montaje de prueba sistema híbrido solar eólico en campo.	Pág-90
Figuras-49-50 Gráficas medición de voltaje generador eólico.	Pág-92-93
Figura-51 Gráficas de voltaje, corriente y potencia Generador eólico.	Pág-95
Figura-52 Relación humedad-temperatura.	Pág-97
Figura-53 Relación vapor de agua	Pág-98
Figura-54 Cronograma previo.	Pág-130
Figura-55 Presupuesto previo.	Pág-131
Figura-56 Metodología Anteproyecto.	Pág-108-109
Figura-57A, 57B, 57C, 57D Simulaciones en Matlab.	Pág-133-134-135-136
Figura-58 Metodología Proyecto.	Pág-110-111

## LISTA DE TABLAS

Tabla-1. Cantidad de energía eléctrica necesaria para producir un metro de agua segura para consumo humano.	Pág-13
Tabla-2. Equinoccio-hemisferios-norte-sur.	Pág-22
Tabla-3. Parámetros o constantes de corrección según el tipo de clima.	Pág-25
Tabla-4. composición del aire.	Pág-34
Tabla-5 Propiedades del aire seco.	Pág-115
Tabla-6 Propiedades del vapor saturado.	Pág-116
Tabla-7 Parámetros meteorológicos Estación Guaymaral.	Pág-39-40
Tabla-8 Parámetros ambientales Estación Guaymaral.	Pág-40
Tabla-9 Reporte parámetros ambientales. Promedios año 2016.	Pág-41
Tabla-10 Reporte parámetros ambientales. Promedios Mes Enero-2016.	Pág-42
Tabla-11 Reporte parámetros ambientales. Promedios Mes Febrero-2016.	Pág-42
Tabla-12 Reporte parámetros ambientales. Promedios Mes Marzo-2016.	Pág-43
Tabla-13 Parámetros de diseño.	Pág-45
Tabla-14 Indicativos mínimos de análisis químico agua potable Ministerio de Desarrollo Colombia.	Pag-47
Tabla-15. Consumo eléctrico solución prototipo.	Pág-48
Tabla-16. Tabla comparativa sistema pequeño solar vs Sistema mixto.	Pág-53
Tabla-17. Datos técnicos del fabricante del Generador Eólico para la solución prototipo.	Pág-57
Tabla-18. Datos técnicos del fabricante Controlador híbrido.	Pág-58
Tabla-19. Datos técnicos del fabricante Controlador Eólico AC-DC	Pág-58
Tabla-20. Datos técnicos del fabricante Batería prototipo.	Pág-59
Tabla-21. Datos técnicos del fabricante Deshumidificador.	Pág-61
Tabla-22. Criterios de selección para el prototipo.	Pág-66
Tabla-23. Datos obtenidos de acuerdo al NMEA para Chía Cundinamarca.	Pág-70
Tabla-24. Datos obtenidos de acuerdo al NMEA para suaita Santander	Pág-71
Tabla-25. Datos obtenidos humedad temperatura Chía Cundinamarca.	Pág-72
Tabla-26. Datos obtenidos humedad temperatura para Suaita Santander.	Pág-73
Tabla-27. Valores promedio humedad año 2016. Estación Guaymaral.	Pág-73
Tabla-28. Valores promedio Temperatura año 2016. Estación Guaymaral.	Pág-74
Tabla-29. Valores promedio velocidad del viento año 2016. Estación Guaymaral.	Pág-75
Tabla-30. Valores promedio Radiación solar año 2016. Estación Guaymaral.	Pág-76
Tabla-31. Datos de Parámetros eléctricos.	Pág-77
Tabla-32. Cantidad de agua recuperada.	Pág-96
Tabla-33. Tabla comparativa de métodos de purificación para el prototipo.	Pág-100
Tabla-34. Resultados análisis de calidad del agua	Pág-100
Tabla-35A. Resultados análisis Microbiológico del agua muestra de Chía.	Pág-101

Tabla-35B. Resultados análisis Físicoquímico del agua muestra de Chía.	Pág-102
Tabla-36. Cuadro de costos de prototipo.	Pág-104
Tabla-36A. Cuadro real de costos prototipo implementado.	Pág-105

## Referencias

(s.f.).

BID, Martin Soulier Faure Jorge Ducci Mariano Altamira Alejandra Perroni . (2013). *Agua Potable, Saneamiento y los Objetivos de Desarrollo del Milenio en América Latina y el Caribe*. BID.

Departamento Nacional de Planeación. (2014). *Documento CONPES 3810. Política para el suministro de agua potable y saneamiento básico en la zona rural*. Bogotá.

Departamento Nacional de Planeación de Colombia, Presidencia de la República de Colombia, Congreso de la República de Colombia. (2015). *Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018, Ley 1753 de 2015*. Bogotá.

Engineering, J. A. (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes*. Universidad de Wisconsin Madison Usa: Wiley.

EOLEWATER, David G Artes .Spoknews. (2012). *Convirtiendo el viento en agua potable. Inventan turbina eólica que transforma la humedad del aire en agua potable*. <http://www.diariomotor.com/tecmovia/2012/05/03/convirtiendo-el-viento-en-agua-potable-se-acabo-por-fin-la-sed-en-el-mundo/>.

<https://es.wikipedia.org/wiki/Atrapanieblas>. (s.f.).

IDEAM. (2014). *Atlas de Radiación Solar de Colombia*. [http://www.upme.gov.co/Docs/Atlas\\_Radiación\\_Solar/1-Atlas\\_Radiación\\_Solar.pdf](http://www.upme.gov.co/Docs/Atlas_Radiación_Solar/1-Atlas_Radiación_Solar.pdf). Bogotá.

IDEAM. (2016). [http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/Temp\\_Med\\_Anual.pdf](http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/Temp_Med_Anual.pdf). Bogotá.

IDEAM, José Edgar Montealegre Bocanegra. (2007). *Modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en Colombia*. Bogotá.

IDEAM. José Franklin Ruiz Murcia Físico. (2010). *CAMBIO CLIMATICO EN TEMPERATURA, PRECIPITACION Y HUMEDAD RELATIVA PARA COLOMBIA USANDO MODELOS METEOROLOGICOS DE ALTA RESOLUCION (PANORAMA 2011-2100)*. Bogotá.

John A. Duffie and William A. Beckman; Solar Engineering Laboratory. University of Wisconsin. (1991). *Solar Engineering of Thermal Processes*. Madison-Wisconsin (usa): Wiley.

M. Mikati, M Santos, C. Armenta. Universidad Complutense de Madrid. (2012). *Modelado y simulación de un sistema conjunto de energía solar y Eólica. Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, 267-281.

Ministerio de Desarrollo Económico. (2000). La Resolución No. 1096 de 17 de noviembre de 2000. Reglamento técnico sector agua potable y saneamiento básico.

MINISTERIO DE LA PROTECCION SOCIAL MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. (2007). *RESOLUCIÓN NUMERO 2115. características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano*. Bogotá.

- Mírez Tarrillo, J. L. (2009). *Modelamiento, Diseño, Control y Simulación de una MicroGrid alimentado por Fuentes Renovables y Convencional. Tesis para optar el grado de Master en Física [en desarrollo]. Asesor: Dr Carlos Javie.* Lima, Perú.: Universidad Nacional de Ingeniería.
- NASA,Cuido el agua.org, worldbank.org, National geographic. (2015). *Agua 10 datos desconocidos.* USA.
- National Renewable Energy Laboratory de Estados Unidos. (2015). Cronología de las eficiencias de conversión logradas en células solares fotovoltaicas.  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Panel\\_fotovoltaico](https://es.wikipedia.org/wiki/Panel_fotovoltaico).
- ONU. (2015). *Agenda 2030 para el desarrollo sostenible.* . New York.
- QIAN. (2015). Generadores de Agua: Aplicación Industrial.
- Roca., J. A. (2015). Los 10 mayores parques eólicos terrestres del mundo.
- Ruth Mayorga M. Gonzalo Hurtado M. Henry Benavides . (2011). *EVIDENCIAS DE CAMBIO CLIMÁTICO EN COLOMBIA CON BASE EN INFORMACIÓN ESTADÍSTICA.METEO/001-2011 NOTA TÉCNICA DEL IDEAM .* Bogotá: IDEAM.
- Tony Burton, D. S. (2001). *Wind Energy Hanbook.* New York: JOHN WILEY & SONS .
- Unidad de Planeación Minero Energética Colombia. (2014). *Plan indicativo de expansión de cobertura de energía eléctrica 2013-2017.* Bogotá: Legis S.A.
- Universidad de Santander. Stefanny María Blanco y Miguel Ángel Castellanos. (2015). *NORMATIVIDAD COLOMBIANA PARA CALIDAD Y LIMITES PERMISIBLES PARA EL AGUA POTABLE.*
- UPME; IDEAM. (2006). *Atlas de Viento y Energía Eólica de Colombia .* Bogotá.
- Wild-Scholten, M. d. (2011). Environmental profile of PV mass production: globalization. *26th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg 8 September 2011.* Hamburg.
- Imágenes con licencia de “Creative commons” Tomadas de internet 15-08-2016. <https://www.microsoft.com/en-us/legal/Copyright/Default.aspx>.

#### Software utilizado:

M.S.O.S Windows 10  
M.S.Office  
M.S. Visual  
O.S Linux Ubuntu 14.04  
Arduino Open software (GNU) códigos.  
M.S. Matlab 2014a  
Lucid Chart