

**Diseño y Ensamble de un Equipo Sensorial Multiparámetro para Sistemas de Micro-
Generación Eléctrica Sustentables**



Pablo José Gil Ariza

Cód. 11310025

Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central

Facultad de Ingeniería Electromecánica

Bogotá

2019

**Diseño y Ensamble de un Equipo Sensorial Multiparámetro para Sistemas de Micro-
Generación Eléctrica Sustentables**

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Electromecánico

Pablo José Gil Ariza

Cód. 11310025

Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central

Facultad de Ingeniería Electromecánica

Bogotá

2019

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma presidente de Jurados



Firma Jurado 1



Firma Jurado 2

Gonzalo Franklin

Bogotá D.C Mayo 2019

Contenido

Índice de Anexos	6
Índice de Tablas	7
Índice de Imágenes	8
Introducción	9
Resumen	10
1. Planteamiento del problema	11
2. Justificación	13
3. Objetivos	14
3.1 Objetivo General	14
3.2 Objetivos Específicos	14
4. Alcances y limitaciones del proyecto	15
5. Marcos de Referencia	16
5.1 Contextualización	16
5.1.1 Energía renovable	16
5.1.1.1 Energía solar fotovoltaica	17
5.1.1.2 Energía eólica	17
5.2 Variables de medida e instrumentación	18
5.2.1 Radiación Solar	18
5.2.1.1 Instrumentos de medida de la radiación solar	21
5.3 Estado del Arte	28
5.3.1 Estaciones del IDEAM	31
5.3.1.1 Estaciones convencionales	31
5.3.1.2 Estaciones automáticas	31
5.3.1.3 Estaciones SUTRON	32
5.3.2 Estaciones de otras entidades	32
5.3.2.1 Cenicaña:	33
5.3.2.2 CAR	35
5.3.2.3 IPSE	37
5.3.2.4 Fedearroz	37
5.3.2.5 Otras redes de información	39
5.4 Evaluación de recursos para el uso de la energía eólica.	39
5.5 Adquisición de datos	42
5.5.1 Componentes de un sistema de adquisición de datos	43
5.5.2 Conversor analógico a digital	43
5.5.3 Acondicionamiento de señal	44
5.5.4 Opciones de adquisición de datos	44
5.5.4.1 Dispositivos de adquisición de datos	45
5.6 Geografía climatológica en Colombia	45

5.5 Marco demográfico	47
6. <i>Diseño Metodológico</i>	48
6.1 Esquema temático	49
6.2 Visitas técnicas	51
6.3 Implementación	52
7. <i>Personas que participaron</i>	70
8. <i>Fuentes de Financiación</i>	71
9. <i>Conclusiones</i>	75
10. <i>Recomendaciones</i>	76
11. <i>Bibliografía</i>	77
12. <i>Anexos</i>	79

Índice de Anexos

Anexo 1. Manual de uso del medidor multiparámetro.	82
--	-----------

Índice de Tablas

<i>Tabla 1 Conversiones utiles para radiacion (IDEAM, 2017)</i>	19
<i>Tabla 2. Instrumentos meteorológicos para la medida de la radiación</i>	22
<i>Tabla 3. Características técnicas del Pirheliómetro SHP1</i>	27
<i>Tabla 4. Tomado de: http://www.upme.gov.co/Boletines/Boletin_Estadistico_2018.pdf</i>	28
<i>Tabla 5. Ubicación de las estaciones Cenicaña</i>	33
<i>Tabla 6. Ubicaciones de las estaciones de Cenicafe</i>	35
<i>Tabla 7. Ubicación de las estaciones de la CAR</i>	36
<i>Tabla 8. Ubicación de las estaciones del IPSE</i>	37
<i>Tabla 9. Ubicación de las estaciones de Fedearroz</i>	38
<i>Tabla 10. Costos medidores comerciales</i>	40
<i>Tabla 11. Costos de equipos de adquisición de datos en el mercado Diciembre 2018</i>	41
<i>Tabla 12. Costos equipos Analizadores</i>	41
<i>Tabla 13. Registro y adquisición de datos</i>	42
<i>Tabla 14. Comparación de características de algunos buses y protocolos. fuente: (Computing, 2018)</i>	43
<i>Tabla 15. Características Arduino y RaspBerry</i>	55
<i>Tabla 16. Análisis Dofa Arduino Mega y Raspberry Pi3</i>	56
<i>Tabla 17. Costos del proyecto</i>	74

Índice de Imágenes

<i>Imagen 1. la energía del sol que llega a la tierra (Carta González, Calero Pérez, Colmenar Santos, & Castro Gil, 2009)</i>	20
<i>Imagen 2. Componentes de la radiación solar (Carta González, Calero Pérez, Colmenar Santos, & Castro Gil, 2009)</i>	21
<i>Imagen 3. Piranómetros (IDEAM, 2017)</i>	23
<i>Imagen 4. PIRHELIOMETRO DE CAVIDAD ABSOLUTA SERIE PMO-6 (IDEAM, 2017)</i>	24
<i>Imagen 5 Pirhaliometro Eppley de incidencia normal</i>	25
<i>Imagen 6. Actinógrafo FUESS</i>	26
<i>Imagen 7. Pirheliómetro SHP1 (kipppzone, 2018)</i>	27
<i>Imagen 8. Sensores de radiación global utilizados en el atlas. Izquierda actinógrafos de estaciones convencionales y derecha piranómetros en EMAS (Fuente: IDEAM)</i>	32
<i>Imagen 9 Red de estaciones de radiación global de Cenicafe. (Fuente: IDEAM.)</i>	34
<i>Imagen 10. Estaciones ubicadas en zonas productoras de café</i>	35
<i>Imagen 11. Red de estaciones de radiación global de la CAR</i>	36
<i>Imagen 12. Red de estaciones de radiación global del ipse (IDEAM, 2017)</i>	37
<i>Imagen 13. Red de estaciones de radiación solar de FEDEARROZ (IDEAM, 2017)</i>	38
<i>Imagen 14 anemómetro de cazonetes (izquierda) y veleta (derecha) (Carta González, Calero Pérez, Colmenar Santos, & Castro Gil, 2009)</i>	40
<i>Imagen 15 Anemómetro de hélice (smilab, 2018)</i>	40
<i>Imagen 16 Anemómetro de hilo caliente (directindustry, 2018)</i>	40
<i>Imagen 17 componentes de sistema de adquisición de datos (Computing, 2018)</i>	43
<i>Imagen 18. Diagrama del proyecto (Fuente Propia)</i>	53
<i>Imagen 19 Diagrama de comunicación</i>	53
<i>Imagen 20. Características Raspberry Pi3B</i>	57
<i>Imagen 21. Distribución componentes medidor</i>	58
<i>Imagen 22. Primer montaje de funcionamiento</i>	58
<i>Imagen 23. Circuito medidor final</i>	59
<i>Imagen 24. PCB montaje medidor</i>	60

Introducción

El tema de la generación eléctrica a partir de recursos naturales renovables ha sido una fuente emergente para suplir necesidades energéticas, situación que da paso al uso de energías limpias o renovables, motivo por el cual es de vital importancia conocer las variables climatológicas del sector donde se desea implementar este tipo de tecnologías, según el Catálogo Nacional de Estaciones del IDEAM

Colombia cuenta con alrededor de 3000 estaciones meteorológicas suscritas a la red nacional de estaciones climatológicas (1), principalmente ubicadas en las cabeceras urbanas y en zonas interconectadas a la red eléctrica nacional.

Las configuraciones geográficas de la extensión territorial de Colombia provocan una mayor demanda de centrales de monitoreo debido a que la distancia entre un punto de referencia a otro, las condiciones geográficas varían enormemente provocando deficiencia en los datos suministrados por estas centrales. El 33% del territorio nacional está distribuido en relieves montañosos y pequeñas fracciones de islas continentales como también no continentales motivo por el cual se generan las variaciones de datos. (Todacolombia, 1991).

Surge la necesidad del desarrollo de un equipo medidor multiparámetro con amplia portabilidad, fácil manejo, donde su capacidad para brindar medidas fiables y no afecte de gran manera en sus costos de implementación de sistemas de generación eléctrica renovable. Este equipo medidor estará en capacidad de caracterizar el comportamiento climático, monitoreando también la generación eléctrica de los sistemas instalados para obtener información veraz, efectiva y actualizada de la producción de energía eléctrica del sistema de generación que se desee monitorear.

Resumen

En el presente documento se plasma el desarrollo de un dispositivo de monitoreo de variables eléctricas tales como: voltaje, corriente, energía y potencia combinado con un sistema de monitoreo de variables climatológicas como: la velocidad de viento, radiación solar, temperatura ambiente y sistema de ubicación global o GPS, este dispositivo se diseña con el fin de dar una mayor y más fácil viabilidad al estudio de proyectos, o sistemas de generación en fase de prueba; que tengan como fin cumplir una necesidad básica de demanda energética a partir de recursos renovables.

El desarrollo del dispositivo será encaminado a lograr un prototipo económico y confiable para el estudio de sistemas de generación eléctrica con fuentes renovables.

1. Planteamiento del problema

El 51% del territorio colombiano está catalogado como, ZNI (Zona no interconectada) a la red de energía eléctrica nacional (Ministerio de Minas y Energía, 07); motivo por el cual, las instalaciones de sistemas de generación eléctrica alternativa son una opción para cubrir la demanda de energía en dichas Zonas , en la implementación de estas tecnologías y en el desarrollo de las mismas, se hace necesario el uso de algunos datos de variables medioambientales tales como: velocidad del viento, radiación solar, la temperatura ambiente, etc., esto según el tipo de tecnología que se desee implementar.

Así también en el desarrollo e implementación de nuevos prototipos para la generación eléctrica alternativa, se debe cuantificar la generación eléctrica de los equipos para determinar su funcionalidad y eficiencia.

Por las razones expuestas se hace necesario el ensamble e instalación de un sistema integrado portátil que permita medir las variables climatológicas necesarias para el diseño de sistemas de generación eléctrica sustentable, la evaluación de estos factores en tiempo real permitirá instalar un equipo confiable que vaya de acuerdo a las condiciones específicas del sitio, facilitando el trabajo del instalador y permitiendo hacer proyección costo-beneficio, previo a la instalación del sistema más apropiado de acuerdo a las condiciones y necesidades propias de la situación.

Así también el equipo planteado, permitirá cuantificar la producción de energía eléctrica de prototipos o máquinas de generación sustentable.

Si bien en la actualidad existe una gran variedad de instrumentos con los que se puede desarrollar este trabajo, se desea diseñar un equipo integral, económico y de fácil manejo que reúna todas las características idóneas en una sola herramienta.

En algunos establecimientos educativos y tomando por ejemplo la Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central, se desarrollan diferentes prototipos para sistemas de generación

alternativa; con un herramienta de este tipo, se facilita la adquisición de datos de los prototipos que se pretendan probar, ya que se pueden monitorear en tiempo real las variables de entrada y salida del prototipo auditado y con esto será más fácil su implementación en la solución del problema de demanda energética en zonas no interconectadas .

2. Justificación

Es de vital importancia masificar el uso de energía renovable en Colombia, esto con el fin de crear una conciencia amigable con el medio ambiente en el presente y en las generaciones venideras; el uso correcto e implementación de tecnologías limpias de generación eléctrica pretende además de disminuir las emisiones de carbono por la generación eléctrica, llegar a usuarios que no cuentan con interconexión a la red nacional eléctrica

Así también impulsar el desarrollo de nuevas tecnologías o mejora de las mismas para el suministro de energía eléctrica en zonas no interconectadas

El equipo sensorial Multiparámetro tiene como fin evaluar las condiciones medioambientales instantáneas de la zona y cuantificar la generación eléctrica de equipos diseñados para esta función.

Al garantizar el correcto funcionamiento de sistemas de generación eléctrica renovable gracias a la evaluación previa de las variables propias del proyecto, se forja un camino para que la implementación de estos sistemas sea creciente en el país y con ello la inclusión social de las comunidades aisladas que no cuentan con fuentes de generación eléctrica para su desarrollo.

3. Objetivos

3.1 Objetivo General

Diseñar y ensamblar un equipo medidor autónomo Multiparámetro de variables medioambientales y eléctricas, tales como radiación solar, velocidad de viento, corriente eléctrica, tensión eléctrica, capaz de adquirir y almacenar datos, portable y de fácil manejo

3.2 Objetivos Específicos

- Obtener datos climatológicos en tiempo real y de fácil lectura.
- Obtener datos de generación eléctrica en tiempo real
- Disminuir costos de transporte y logística del equipo de evaluaciones previas a la instalación de sistemas de micro generación eléctrica sustentable.
- Equipar el prototipo con hardware que permita almacenar los datos arrojados por el equipo.

4. Alcances y limitaciones del proyecto

Este proyecto se enfoca en diseño y construcción de un medidor Multiparámetro, que garantice la toma y registro de datos climáticos vitales para la instalación de sistemas de generación eléctrica renovable, así también el prototipo tendrá incorporado un medidor de variables eléctricas como corriente y voltaje para determinar la eficiencia y la producción real de las plantas de micro generación eléctrica de los equipos instalados, además de comparar las variables climatológicas que están directamente relacionadas con la generación eléctrica con los datos obtenidos por el equipo instalado.

El equipo será totalmente portátil contando con gran facilidad de instalación y manejo por parte del personal técnico, además estará en capacidad de almacenar datos en tiempo real, los cuales se usarán posteriormente para el análisis de las variables adquiridas.

El prototipo pretende brindar una solución económica y de fácil manejo a la toma de datos en los sistemas de generación eléctrica renovable

5. Marcos de Referencia

5.1 Contextualización

En Colombia se puede hacer fácil uso de energías limpias y renovables gracias a sus innumerables fuentes de energía potencial proveniente de recursos naturales, si bien, el costo de inversión de sistemas de micro generación eléctrica en principio es alto, se tienden a disminuir y a recuperar estos costos a diferencia de los combustibles fósiles.

La Agencia Internacional de la Energía aportó en 2015 una serie de estadísticas que indican que en el 2014 las energías limpias representan la segunda fuente global de electricidad, solo superada por el carbón. De acuerdo a la AIE, se proyecta que la demanda energética aumente un 70 % en un plazo de 20 años (<http://www.accion.com/es/energias-renovables/>).

El 11 % de las viviendas que no cuenta con suministros eléctrico en Colombia, no son interconectables frente a la opción de generación con plantas diésel (UPME 2013), lo cual es otra causa emergente del uso de energía renovable.

5.1.1 Energía renovable

Es renovable cualquier proceso que no altere el equilibrio térmico del planeta, que no genere residuos irrecuperables, y que la velocidad de su consumo no sea superior a la velocidad de regeneración de la fuente energética y de la materia prima utilizada en el mismo. (Carta González, Calero Pérez, Colmenar Santos, & Castro Gil, 2009)

Existen en la actualidad variedad de tecnologías que permiten el uso de recursos renovables para la generación eléctrica, se concentrará a continuación el estudio de las tecnologías de uso más habituales, siendo estas, la energía solar fotovoltaica y la energía eólica.

5.1.1.1 Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es basada en la utilización de células solares que se fabrican con materiales semiconductores como el silicio, que al ser expuestos a los rayos solares generan una corriente eléctrica por el efecto fotovoltaico, este efecto se define como el efecto caracterizado por la producción de una corriente eléctrica entre dos piezas de material diferente que están en contacto y expuestas a la luz o, en general, a una radiación electromagnética” (solar-energia.net, 2017).

En resumen, la energía solar fotovoltaica usa la radiación solar para generar una corriente eléctrica que puede ser almacenada o también puede ser inyectada a una red eléctrica.

5.1.1.2 Energía eólica

La energía eólica es la energía cinética del viento, a través de la historia se han desarrollado diferentes tecnologías para el uso de la misma, en cuanto a generación eléctrica los llamados aerogeneradores son las máquinas más usadas para la transformación de energía cinética del viento en energía eléctrica. Dicha energía también puede ser almacenada o puede ser inyectada a una red eléctrica. (Carta González, Calero Pérez, Colmenar Santos, & Castro Gil, 2009)

5.2 Variables de medida e instrumentación

El uso de los recursos renovables para la generación eléctrica demanda la utilización de herramientas o equipos para la medida de diferentes variables físicas que permitan parametrizar las magnitudes que afectan la generación eléctrica. Las siguientes son las magnitudes que son evaluadas en diferentes tipos de tecnologías:

5.2.1 Radiación Solar

La tasa de transferencia de energía por radiación electromagnética es llamada flujo radiante, el cual tiene unidades de energía por unidad de tiempo y es expresada como:

$$F = \frac{dQ}{dt}$$

Esta es medida en Joules por segundos, (equivalente a Wattios que es una unidad de potencia eléctrica). Por ejemplo, el flujo radiante del Sol es cercano a $3,8 \times 10^{26}$ *Wattios*.

El flujo radiante por unidad de área (Energía /Área*Tiempo) es llamado irradiancia (o densidad de flujo radiante). Esta magnitud de radiación instantánea está expresada en unidades de potencia por unidad de superficie. Este se expresa como:

$$E = \frac{dQ}{dt * dA}$$

Es medido en vatios por metro cuadrado. La irradiancia electromagnética del Sol está dada por:

$$E_{sol} = \frac{3,90 \times 10^{26}}{4\pi(7 \times 10^8)^2} = 6,34 \times 10^7 \text{ Wm}^2$$

Las cantidades de radiación son expresadas generalmente en términos de exposición radiante o irradiancia, siendo esta última una medida del flujo de energía (flujo radiante) recibida por unidad de área en forma instantánea, como se mencionó anteriormente, mientras que la exposición radiante es la medida de la radiación solar, en la cual la irradiancia es integrada en

el tiempo como (Energía/área) y cuya unidad es el kWh/m² por día (si es integrada en el día) o MJ/m² por día. Por ejemplo, el piranómetro de Bogotá mide la potencia promedio por metro cuadrado cada minuto (W/m²). Estos valores se llevan a energía (en Wh/m²) al integrarlos en el tiempo (en este caso en una hora). La mejor manera de satisfacer las necesidades de exactitud es realizando observaciones cada minuto, incluso cuando los datos que finalmente se registrarán sean totales integrados para períodos de hasta una hora o más (ej. acumulados diarios). Los datos sencillos de un minuto pueden ser totales integrados o un flujo medio calculado entre seis o más muestras. En la siguiente tabla se presentan las más importantes conversiones que son utilizadas en el campo de la radiación.

Unidad	Equivalencia
1 vatio (W)	1Joule/segundo (J/s)
1 Wh	3.600 J
1 KWh	3,6 MJ
1 Wh	3,412 Btu
1 Caloría	0.001163 Wh
1 Caloría	4,187 Joule
1 Kcal/s	4,1868 Kw
1 Kcal/h	1,163W
1 cal/cm ²	11,63 Wh/m ²
1cal/cm ²	1 langley (ly)
1 langley/min	0.06978 W/cm ² =697,8 W/m ²
1 MJ/m ²	0,27778 kWh/m ²
1 MJ/m ²	277,78 Wh/m ²
1 MJ/m ²	23,88 cal/cm ²
1BTU	252 calorías
1BTU	1,05506 KJ
1 Joule	9,48x10 ⁻⁴
1 Btu/pie ²	0.271 cal/cm ²
1 cal/(cm ² *min)	60,29 MJ/m ² por día

Tabla 1 Conversiones utiles para radiacion (IDEAM, 2017)

El Sol es el origen de la energía solar y de las otras fuentes renovables de energía. El Sol emite al espacio energía en forma de radiación electromagnética, esta puede desplazarse en el vacío lo que significa que no requiere medio material para propagarse. (Carta González, Calero Pérez, Colmenar Santos, & Castro Gil, 2009)

De la enorme cantidad de energía que emite constantemente el Sol, una parte llega a la atmósfera terrestre en forma de radiación solar (Imagen .7).

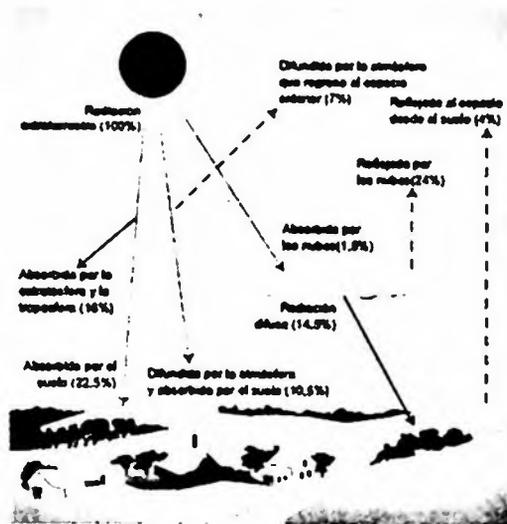


Imagen 1. la energía del sol que llega a la tierra (Carta González, Calero Pérez, Colmenar Santos, & Castro Gil, 2009)

De ella, el 16% es absorbida por la estratosfera y la troposfera y el 22,5% por el suelo; el 4% es reflejada directamente al espacio desde el suelo. La atmósfera difunde el 17,5% de la radiación, de la cual el 10,5% es absorbida por el suelo y el 7% regresa al espacio exterior. Las nubes reflejan al espacio exterior un 24%, absorbiendo un 1,5% y enviando al suelo, como radiación difusa, el 14,5%, que es absorbido por el mismo. Así pues, el 47,5% de la radiación llega efectivamente a la superficie de la Tierra por tres vías:

- **Radiación directa:** Es la radiación que incide sobre los objetivos iluminados por el sol sin haber interactuado con nada y sin cambiar de dirección (es la más importante en un día soleado) (Imagen 8).

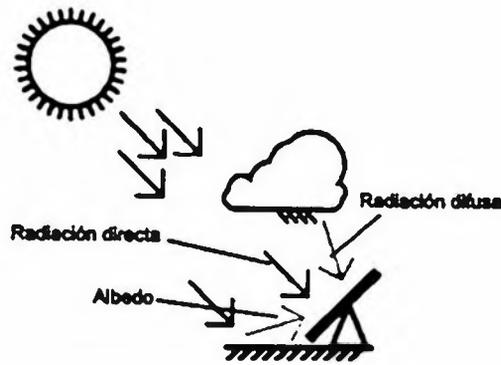


Imagen 2. Componentes de la radiación solar (Carta González, Calero Pérez, Colmenar Santos, & Castro Gil, 2009)

- **Radiación difusa:** Es una radiación que incide indirectamente, como reflejo de la radiación solar que es absorbida por el polvo y el aire (es la radiación típica de los días nublados). La difusión se produce al desviarse los rayos solares, debido a las partículas sólidas y las moléculas, como el vapor de agua, que existen en la atmósfera.
- **Radiación reflejada o albedo:** Es la radiación procedente de la reflexión de la radiación directa en los elementos del entorno (es importante cerca del mar y de las zonas con nieve).

5.2.1.1 Instrumentos de medida de la radiación solar

Normalmente la radiación solar se puede medir de forma directa e indirecta, en forma directa se usan instrumentos llamados radiómetros, y en forma indirecta de usan modelos matemáticos de estimación que correlacionan la radiación global con el brillo solar.

“Los radiómetros como los piranómetros y los pirheliómetros, según sus características (ver tabla 6), pueden servir para medir la radiación solar incidente global (directa más difusa), la directa (procedente del rayo solar), la difusa, la neta y el brillo solar.” (IDEAM, 2017)

Tipo de Instrumento	Parámetro de Medida
Piranómetro	i) Radiación Global, ii) Radiación directa, iii) Radiación difusa iv) Radiación solar reflejada. Usado como patrón nacional
Piranómetro Espectral	Radiación Global en Intervalos espectrales de banda ancha
Pirheliómetro Absoluto	Radiación Directa (usado como patrón nacional)
Pirheliómetro de incidencia normal	Radiación Directa (usado como patrón secundario)
Pirheliómetro (con filtros)	Radiación Directa en bandas espectrales anchas
Actinógrafo	Radiación Global
Pirgeómetro	Radiación Difusa
Radiómetro neto ó piranómetro diferencial	Radiación Neta
Heliógrafo	Brillo Solar

Tabla 2. Instrumentos meteorológicos para la medida de la radiación

A continuación, se dará una explicación más detallada de los instrumentos usados para la medición de la radiación solar:

- **Piranómetro:** este es el instrumento más común que se usa para medir la radiación solar (ver Imagen 9). Mide la radiación semiesférica directa y difusa (la suma de estas dos es la radiación global) que se mide sobre una superficie horizontal en un ángulo de 180 grados, obtenida a través de la diferencia de calentamiento de dos sectores pintados alternativamente de blanco y negro en un pequeño disco plano. Cuando el dispositivo se expone a la radiación solar, los sectores negros se vuelven más cálidos que los blancos. Esta diferencia de temperatura se puede detectar electrónicamente generándose un voltaje eléctrico proporcional a la radiación solar incidente. En la variación de la temperatura puede intervenir el viento, la lluvia y las pérdidas térmicas de la radiación al ambiente. Por ello, el piranómetro tiene instalado una cúpula de vidrio óptico transparente que protege el detector y permite la transmisión isotrópica del componente solar y sirve para filtrar la radiación entre las longitudes de onda que oscilan aproximadamente entre 280 y 2.800 nm. Un piranómetro acondicionado con una banda o disco parasol, que suprime la radiación directa, puede medir la radiación difusa. (IDEAM, 2017)

De acuerdo a las especificaciones de la organización mundial del medio ambiente, se tienen varias clases de piranómetros, los cuales son clasificados por la norma ISO 9060 en: patrones secundarios, de primera y segunda clase. Normalmente los de primera clase usan una termopila como elemento de detección. Los de segunda clase emplean típicamente las fotocélulas como elemento de detección y más económicos que los otros tipos de piranómetros. Los piranómetros de primera clase, son los utilizados normalmente para medir la radiación solar global. Un ejemplo de piranómetro de primera clase es el piranómetro Blanco y Negro Eppley de la Imagen 8(a) y otro ejemplo de patrón secundario es el piranómetro espectral de precisión Eppley (Ver Imagen 8(b)). El sensor en todas las estaciones satelitales del IDEAM es el piranómetro CMP 11 de la empresa alemana ADOLF THIES GmbH & Co. KG, el cual se muestra en la Imagen 8(c).

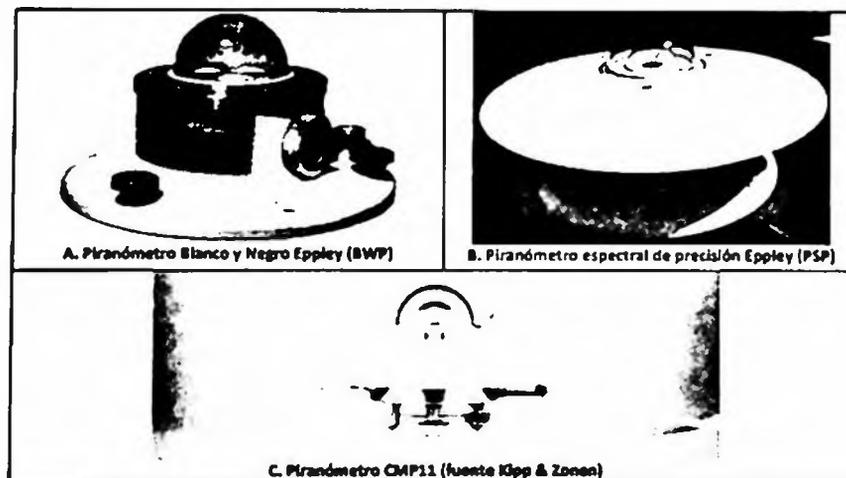


Imagen 3. Piranómetros (IDEAM, 2017)

Se pueden usar filtros en lugar de la bóveda de cristal para medir la radiación en diversos intervalos espectrales, como por ejemplo la radiación ultravioleta. Para las aplicaciones que requieran datos de radiación ultravioleta no se deben emplear los piranómetros de principio fotovoltaico debido a que estos instrumentos no son sensibles a la radiación UV.

- **Pirheliómetros:** estos instrumentos se usan para la medición de radiación directa exclusivamente. Esto se consigue colocando el sensor normalmente en el foco solar, bien sea manualmente o sobre un montaje ecuatorial.
- **Pirheliómetro de Cavity Absoluta.** El instrumento posee dos cavidades cónicas idénticas, una externa, que se calienta al estar expuesta a la radiación solar, mientras la otra cavidad, oculta en el interior del instrumento, se calienta utilizando energía eléctrica hasta obtener una temperatura igual a la cavidad externa, asignándose el valor de la energía eléctrica consumida como el valor de la radiación solar incidente. La Imagen 10 presenta el pirheliómetro de cavity Absoluta, serie PMO6, correspondiente al modelo de patrón nacional del que dispone el IDEAM. (IDEAM, 2017)



Imagen 4. PIRHELIOMETRO DE CAVIDAD ABSOLUTA SERIE PMO-6 (IDEAM, 2017)

- **Pirheliómetros Secundarios.** Son Instrumentos que miden la radiación solar directa y se calibran por ínter comparación con un Pirheliómetro de cavity absoluta. Uno de los varios diseños existentes en el mundo es el pirheliómetro EPPLEY de incidencia normal de la Imagen 10, que posee un sensor de termopila compensada de bismuto-plata con 15 juntas y un tiempo de respuesta de aproximadamente 20 s. Este instrumento requiere de un dispositivo que le permita seguir el movimiento del Sol durante su tránsito diurno por el cielo. Este

pirheliómetro es muy estable y puede emplearse como patrón secundario para calibrar otros instrumentos. (IDEAM, 2017)

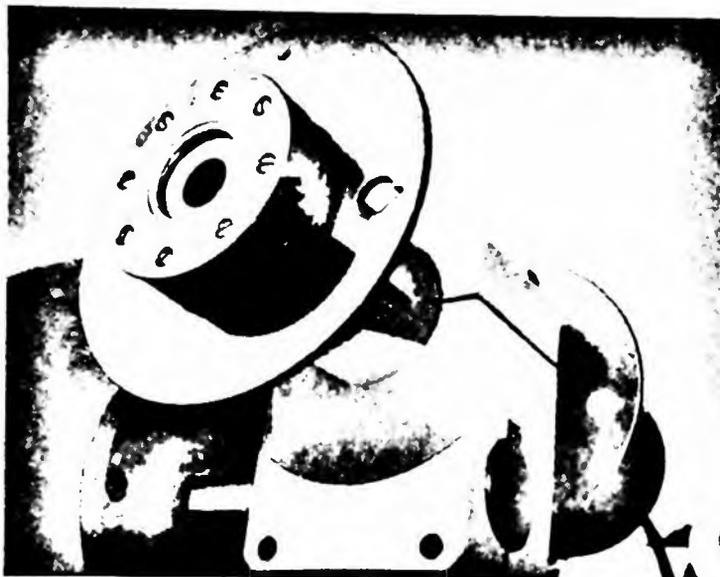


Imagen 5 Pirheliometro Eppley de incidencia normal

- **Actinógrafo:** este instrumento registra la radiación solar global solar y funciona gracias a un sensor termo que está protegido por una cúpula en vidrio. Se compone por un arreglo bimetalico de dos superficies, una pintada de color negro para que absorba las ondas electromagnéticas de la radiación solar y la otra de blanco para que las refleje y con ello ocasionar diferencia de temperatura que permite formar curvatura en la placa negra que se amplifica por medio de palancas y se transmiten a un tambor movido por un mecanismo de reloj para describir una gráfica que registra los valores de radiación global. La precisión de los valores de la radiación global que se otorga este instrumento es del orden del $\pm 8\%$. Estos instrumentos requieren de una calibración con un patrón secundario una vez por año. El actinógrafo se diferencia de un piranómetro por que el sensor es una lámina bimetalica y el del piranómetro es una termopila. La Imagen 12 ilustra un actinógrafo Fuess utilizado en Colombia por el IDEAM. Es de anotar que otras instituciones regionales como Cenicafé disponen de actinógrafos Belfor con precisiones de $\pm 6\%$. (IDEAM, 2017)

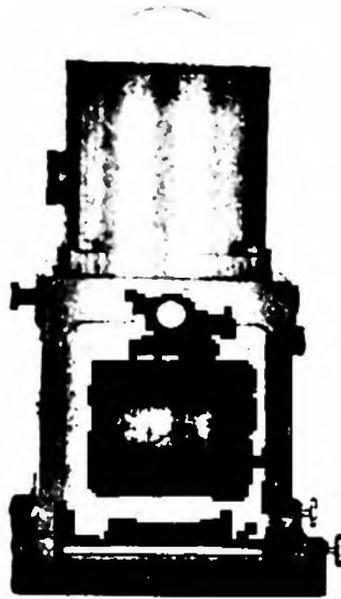


Imagen 6. Actinógrafo FUESS

En la actualidad existen variad de dispositivos Pirhaliometro de alta calidad que permiten obtener lecturas muy exactas pero cabe resaltar el SHP1 pirheliómetro De la compañía kippzonen que es considerado el mejor dispositivo de este tipo encontrado en el mercado , ya que gracias a su interface inteligente proporciona varias salidas versátiles , cuenta con un sensor de temperatura integrado también cuenta con una corrección individual para la sensibilidad a la temperatura del detector de -40°C a $+80^{\circ}\text{C}$.

Tiene salidas estandarizada que facilitan el intercambio de instrumentos para la recalibración. Gracias al protocolo Modbus®, se encuentra disponible un rango de información de configuración y estado del instrumento, con opciones seleccionables por el usuario.

Los pirheliómetros SHP1 es de alta eficiencia ya que tienen un consumo de energía extremadamente bajo, por lo que el calentamiento interno no afecta el rendimiento del detector. También Funcionan desde una amplia gama de voltajes de suministro, lo que los hace

ideales para aplicaciones de energía crítica. La entrada de alimentación está protegida contra polaridad invertida, sobretensión y cortocircuitos (kipponen, 2018)



Imagen 7. Pirheliómetro SHP1 (kipponen, 2018)

en la imagen número 7 se observa el SHP1 pirheliómetro que cuenta con las siguientes características técnicas:

Rango espectral (50% puntos)	200 a 4000 nm
Tiempo de respuesta (63%)	<0.7 s
Tiempo de respuesta (95%)	<2 s
Desplazamiento cero debido al cambio de temperatura (5K / h)	<1 W / m ²
Dependencia de la temperatura de la sensibilidad (-30 °C a +60 °C)	<0.5%
Salida analógica (versión -V)	0 a 1 V
Salida analógica (versión -A)	4 a 20 mA
Salida digital	RS-485 de 2 hilos
Fuente de alimentación	5 a 30 VDC
Normas internacionales (ISO)	Primera clase

Tabla 3. Características técnicas del Pirheliómetro SHP1

5.3 Estado del Arte

A continuación, se expondrá un panorama actual del uso de las energías renovables en Colombia. La siguiente tabla evidencia una estadística de la generación eléctrica en Colombia de los diferentes tipos de energías hasta el año 2016

Mes	Hidráulica	Gas	Carbón	Viento	Bagazo	Combustóleo	Mezcla Gas-JET-A1	ACPM	JET-A1	Otros	TOTAL
2012	47.581,71	9.231,61	2.478,51	54,85	343,86	226,44		71,88			59.988,86
2013	44.362,79	8.820,93	5.764,55	57,62	348,99	179,82	1.614,62	1.022,52	24,74		62.196,59
2014	44.741,96	7.839,23	5.935,94	70,23	441,71	283,59	2.046,51	2.924,96	43,74		64.327,85
2015	44.681,90	9.511,01	6.522,92	68,38	513,85	633,00	1.942,47	2.605,80	69,14		66.548,47
Jul-16	25.863,32	7.891,56	3.854,20	40,21	354,52	494,53	25,49	1.318,73		175,84	40.018,41

Tabla 4. Tomado de: http://www.upme.gov.co/Boletines/Boletin_Estadistico_2018.pdf

Tal como se detalla en la anterior tabla la participación de las energías renovables no convencionales en el país es ínfima, ya que la mega generación hidroeléctrica, no está considerada una energía renovable por el impacto ambiental que genera, como afirma (factorenergia, 2018).

Aunque el agua es una fuente de energía renovable, ésta tiene un gran impacto en la flora y fauna de los ríos. Las presas hidroeléctricas alteran los ecosistemas acuáticos y afectan a su vegetación y a los peces, pues interrumpen sus migraciones y les impiden llegar a sus lugares de desove habituales. Los embalses suelen alterar el flujo, la temperatura, las propiedades químicas y los sedimentos de los ríos.” (factorenergia, 2018).

Y si bien se han realizado avances considerables en cuanto a legislaciones, como la vigencia de la ley 1715 del julio del 2014 por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional. El camino al uso y aprovechamiento de las energías renovables en el país está en sus primeros pasos.

Se estudiarán a continuación los diferentes sistemas de recolección de información para el uso de energías renovables en el país.

El IDEAM, (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) es la entidad encargada de la administración de la información del estado y dinámicas de los recursos naturales y del medio ambiente.

Dicha entidad cuenta con información climatológica y provee los diferentes mapas usados en los estudios de las energías renovables, tal como los mapas de irradiación global horizontal en Colombia y mapas eólicos, que se usan como referencia para el diseño de proyectos de generación eléctrica.

El IDEAM es la entidad oficial encargada, a nivel nacional, de hacer el seguimiento a la radiación y cuenta con la red más grande de estaciones y de mayor cobertura. Cabe resaltar que, existen otras entidades que cuentan con redes más pequeñas y de carácter regional como gremios agrícolas (Cenicafe, Cenicaña, Fedearroz, entre otros), autoridades ambientales (Corporaciones Autónomas Regionales – CARs y Departamentos Administrativos del Medio Ambiente – DAMAs), centros de investigación y otras entidades como el IPSE.

En el transcurso de la historia el uso de energía eléctrica se ha ido incrementando según el desarrollo tecnológico de los países, según el banco mundial el consumo per cápita anual en Colombia en kWh varió de 404 en el año 1971 a 1.290 en el año 2014; si se comparan estos datos con el consumo energético per cápita de un país industrializado como Alemania donde el consumo ascendió de 4.064 kWh por año en 1971 a 7.035 kWh al año 2014, podemos concluir que Colombia tiene un grave déficit de suministro energético, ya que gran parte de la población aún no cuenta con una sistema proveedor de suministro de corriente eléctrica de calidad y confiabilidad.

Una forma de suministrar energía eléctrica a una mayor cantidad de colombianos es masificando el uso de energías renovables; debido a la ubicación geográfica de este país gran

cantidad de zonas que actualmente no cuentan con un buen suministro de energía pero si tienen gran potencial en el recursos naturales utilizables en la generación podrían suplir su demanda energética.

Para ello se demandan equipos de generación eléctrica no convencionales como generadores eólicos, generadores hidráulicos de baja potencia y sistemas de energía solar, también se hace necesario el desarrollo de nuevos o mejorados métodos de generación eléctrica con recursos renovables.

En el mes de diciembre del año 2016 la generación eólica aportó el 0.11 % de la generación total del país; si se enfoca el desarrollo técnico de algunas empresas y universidades en nuevos avances en sistemas de generación y dichas tecnologías se implementan en la producción de energía eléctrica, este valor podría aumentar notablemente.

Las energías renovables caminan de la mano de los registros medioambientales ya que con ellos se dimensionan sistemas de generación y se proyecta su funcionalidad; en Colombia para el caso del análisis de generación con energía solar se cuenta con la plataforma Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia, proporcionada por el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales), esta plataforma fue retroalimentada con información de radiación global a nivel diario de 60 actinógrafos del IDEAM, de éstos, sólo se tuvieron en cuenta para la generación de los mapas 40 sensores, y además 90 sensores piranómetros para la realización de los mapas del atlas. Los equipos que se usaron fueron:

“El sensor de radiación global en todas las estaciones satelitales es el piranómetro CM11 de la empresa alemana ADOLF THIES GMBH & Co. KG. La herramienta de almacenamiento de datos de estos sensores se llama HYDRAS3, los cuales empezaron a ser instalados desde principios del año 2005 y hasta la fecha se continúan usando . (EMAS 2018)

5.3.1 Estaciones del IDEAM

El IDEAM cuenta con información de radiación global de una amplia red de estaciones convencionales (principalmente actinógrafos y unos pocos piranómetros) y otra de estaciones automáticas satelitales (piranómetros). Estos últimos sensores, que el IDEAM ha instalado en el país desde el año 2005, son los que actualmente se encuentran funcionando, ya que se decidió desmontar los actinógrafos que tenía en operación el IDEAM, por las dificultades que se tienen en la evaluación de las gráficas generadas por estos. Los actinógrafos generan información de radiación global acumulada diaria, mientras que los piranómetros de las estaciones convencionales y las automáticas satelitales tienen una frecuencia de lectura en minutos y agregan la información a nivel horario (IDEAM, 2017)

Existen tres tipos de estaciones para la evaluación de la radiación global horizontal en Colombia por parte del IDEAM, las estaciones convencionales, las estaciones automáticas y las Estaciones SUTRON

5.3.1.1 Estaciones convencionales

Estas estaciones se componen de sensores llamados actinógrafos y para el desarrollo de los mapas solares se tuvieron en cuenta un total de 40 sensores de este tipo por parte del IDEAM.

5.3.1.2 Estaciones automáticas

Estas estaciones cuentan con dispositivos llamados piranómetros y para la realización de ellos mapas del atlas solar en Colombia se tuvieron en cuenta un total de 90 sensores.

“El sensor de radiación global en todas las estaciones satelitales es el piranómetro CM11 de la empresa alemana ADOLF THIES GMBH & Co. KG. La herramienta de almacenamiento de datos de estos sensores se llama HYDRAS3” (IDEAM, 2017)

5.3.1.3 Estaciones SUTRON

En el país también funcionaron piranómetros entre 1997 y 2003 en estaciones marca SUTRON, en los siguientes sitios: Gaviotas, Mitú, San José del Guaviare, San Vicente del Caguán, Isla Malpelo, Puerto Inírida, Macagual (Florencia), Isla Gorgona y la Isla Serranilla, pero solo se seleccionaron los cuatro últimos para ser usados en los mapas de irradiación global.

En la siguiente imagen se muestra la ubicación geográfica de los sensores de radiación del IDEAM cuya información se usó para el desarrollo del atlas de radiación solar

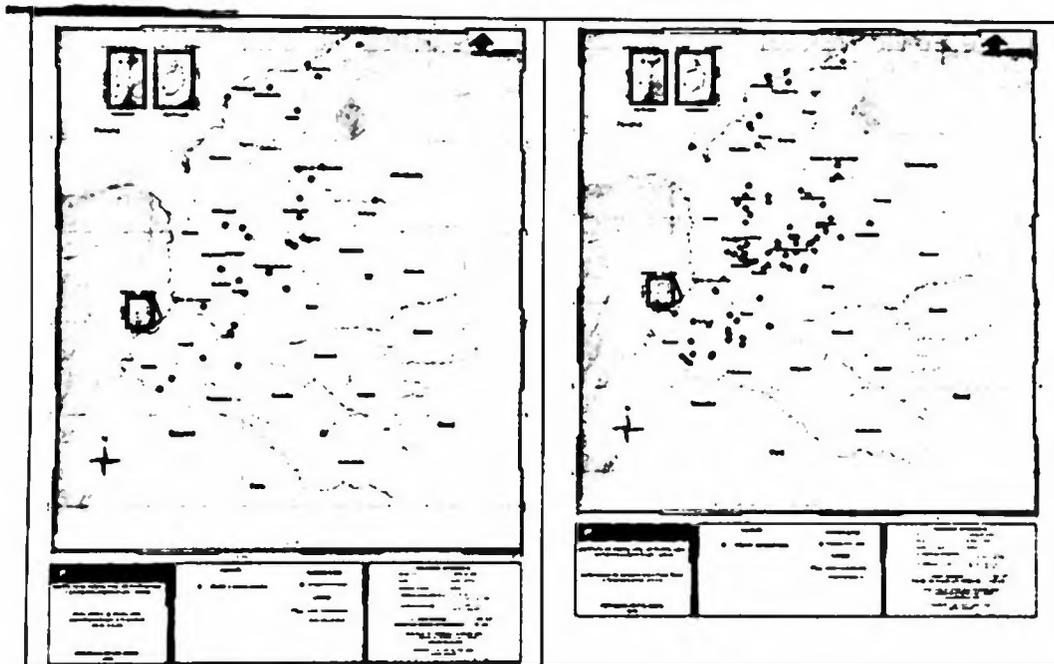


Imagen 8. Sensores de radiación global utilizados en el atlas. Izquierda actinógrafos de estaciones convencionales y derecha piranómetros en EMAS (Fuente: IDEAM)

5.3.2 Estaciones de otras entidades

En Colombia existen varias entidades que censan la radiación solar global, pero las que tienen mayor cantidad de estaciones, realizan calibraciones periódicas de los equipos y su información es confiable son: Cenicaña, Cenicafe, la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), el IPSE y Fedearroz. (IDEAM, 2017).

5.3.2.1 Cenicaña:

Este centro de investigación del gremio productor de la caña de azúcar, tiene 34 estaciones con piranómetros marca LI-COR (referencia LI-200), que reportan irradiación global horizontal acumulada diaria, La red de estaciones se comenzó a instalar desde el año 1993, tal como se relaciona en la tabla 5 y están ubicadas en la zona de mayor producción de caña de azúcar en el país, en los departamentos de Caldas, Risaralda, Valle del Cauca y Cauca.

(IDEAM, 2017)

Estación	Municipio	Departamento	Latitud	Longitud	Altitud (m)	Años Analizados
Viterbo	Viterbo	Caldas	5.03	-75.86	840	1996-2014
La Virginia	La Virginia	Risaralda	4.91	-75.90	900	1993-2014
Cartago	Cartago	Valle del Cauca	4.68	-76.01	870	1995-2014
Distrito RUT	Obando	Valle del Cauca	4.57	-76.02	870	2006-2014
Zarzal	Zarzal	Valle del Cauca	4.42	-76.08	950	1997-2014
La Paia	Zarzal	Valle del Cauca	4.32	-76.08	930	1993-2014
Bugalagrande	Bugalagrande	Valle del Cauca	4.20	-76.18	870	1997-2014
Riofrío	Riofrío	Valle del Cauca	4.13	-76.28	960	2002-2014
Tuluá	Tuluá	Valle del Cauca	4.05	-76.23	960	1993-2014
Buga	Guadalajara de Buga	Valle del Cauca	3.97	-76.29	969	2007-2014
Yotoco	Yotoco	Valle del Cauca	3.88	-76.37	960	1997-2014
Guacarí	Guacarí	Valle del Cauca	3.77	-76.32	1020	1993-2014
Ginebra	Ginebra	Valle del Cauca	3.69	-76.27	990	1997-2014
Amalme	El Cerrito	Valle del Cauca	3.64	-76.26	1050	1993-2014
San Marcos	Yumbo	Valle del Cauca	3.60	-76.45	960	1993-2014
Rozo	Palmira	Valle del Cauca	3.61	-76.36	994	2006-2014
Palmira La Rita	Palmira	Valle del Cauca	3.58	-76.28	960	1996-2014
Arroyohondo	Yumbo	Valle del Cauca	3.53	-76.50	960	1996-2014
Aeropuerto	Palmira	Valle del Cauca	3.51	-76.38	990	1996-2014
Palmira San José	Palmira	Valle del Cauca	3.52	-76.26	1080	1996-2014
PTAR Cali	Cali	Valle del Cauca	3.45	-76.50	960	1997-2014
Candelaria	Candelaria	Valle del Cauca	3.43	-76.34	1000	1993-2014
Pradera	Pradera	Valle del Cauca	3.40	-76.24	1020	1995-2014
Meléndez	Cali	Valle del Cauca	3.36	-76.50	995	1994-2014
El Tiple	Candelaria	Valle del Cauca	3.34	-76.42	990	2006-2014
Cenicaña	Florida	Valle del Cauca	3.36	-78.30	1020	1993-2014
Jamundí	Jamundí	Valle del Cauca	3.28	-76.53	990	1995-2014
Bocas del Palo	Jamundí	Valle del Cauca	3.26	-76.48	960	1995-2014
Ortigal	Puerto Tejada	Cauca	3.27	-76.35	1020	1996-2014
Miranda	Miranda	Cauca	3.26	-76.29	1050	1993-2014
El Naranjo	Caloto	Cauca	3.19	-76.39	989	1993-2014
Guachinte	Jamundí	Valle del Cauca	3.17	-76.56	1010	2006-2014
Corinto	Corinto	Cauca	3.11	-76.32	1080	1995-2014
Sant. de Quilichao	Sant. de Quilichao	Cauca	3.06	-76.47	930	1997-2014

Tabla 5. Ubicación de las estaciones Cenicaña



Imagen 10. Estaciones ubicadas en zonas productoras de café

En la siguiente tabla se detalla la ubicación exacta de las estaciones de Cenicafe

Estación	Municipio	Departamento	Latitud	Longitud	Altitud (m)	Años Analizados
Rosano	Veneza	Antioquia	5.97	-75.70	1635	1991-2012
Santa Helena	Marquetalia	Caldas	5.32	-75.05	1395	1997-2009
Rafael Escobar	Supia	Caldas	5.45	-75.63	1307	1997-2005
Manuel Mejía	El Tambo	Cauca	2.40	-76.73	1735	1991-2008
Pueblo Beño	Pueblo Beño	Cesar	10.42	-73.57	1124	1996-2010
Santa Bárbara	Sasaima	Cundinamarca	4.93	-74.42	1478	1997-2010
Jorge Vilamé	Gigante	Huila	2.33	-75.52	1420	1992-2012
Ospina Pérez	Consaca	Nariño	1.25	-77.48	1603	1997-2010
Convención G.M. Barriga	Convención	Norte de Santander	8.42	-73.33	1261	1997-2010
Paraguacío	Buenavista	Quindío	4.40	-75.73	1203	1997-2011
Maracay	Quimbaya	Quindío	4.60	-75.73	1402	1997-2011
Catalina	Perera	Risaralda	4.75	-75.73	1321	1997-2011
San Antonio	Fiondablanca	Santander	7.10	-73.07	1539	1997-2010
Alberto Santos	Socorro	Santander	6.50	-73.22	1499	1998-2011
Trinidad	Urbano	Tolima	4.90	-75.03	1456	1996-2011
Alban	El Cairo	Valle del Cauca	4.78	-76.18	1510	1997-2010
La Sirena	Sevilla	Valle del Cauca	4.28	-75.90	1519	1997-2012

Tabla 6. Ubicaciones de las estaciones de Cenicafe

5.3.2.2 CAR

La Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) tiene 22 actinógrafos (reportan a nivel diario) y 15 piranómetros (reportan a nivel horario) ubicados en estaciones de los departamentos de Cundinamarca y Boyacá. Para atlas solo se utilizó información de los

piranómetros, que empezaron a ser instalados en el año 2010, tal como se muestra en la tabla

7. Su ubicación se presenta en la Imagen 11. (IDEAM, 2017)

Estación	Municipio	Departamento	Latitud	Longitud	Altitud (m)	Años Analizados
Raquirá	Raquirá	Boyacá	5,53	-73,63	2260	2010-2013
Cachipay	Cachipay	Cundinamarca	4,72	-74,42	1691	2010-2013
Universidad Nueva Granada	Cajicá	Cundinamarca	4,97	-74,00	2620	2010-2013
Caparrapí	Caparrapí	Cundinamarca	5,33	-74,48	1432	2010-2013
El Hato	Carmen de Carupa	Cundinamarca	5,25	-73,92	2840	2009-2013
Nazareth	Carmen de Carupa	Cundinamarca	5,38	-73,90	3037	2010-2013
El Delirio	El Colegio	Cundinamarca	4,52	-74,40	2053	2010-2013
Capellanía	Fúquene	Cundinamarca	5,45	-73,77	2564	2010-2013
El Triángulo	Lenguazaque	Cundinamarca	5,30	-73,62	2800	2010-2013
Manta	Manta	Cundinamarca	4,98	-73,55	1888	2011-2013
Agua Clara	San Bernardo	Cundinamarca	4,13	-74,42	1956	2009-2013
Almacafé	Soacha	Cundinamarca	4,55	-74,23	2564	2010-2012
Guamal	Subachoque	Cundinamarca	5,03	-74,12	3000	2010-2013
PTAR Tocancipá	Tocancipá	Cundinamarca	4,97	-73,92	2575	2010-2013
Vianí	Vianí	Cundinamarca	4,87	-74,57	1573	2010-2013

Tabla 7. Ubicación de las estaciones de la CAR

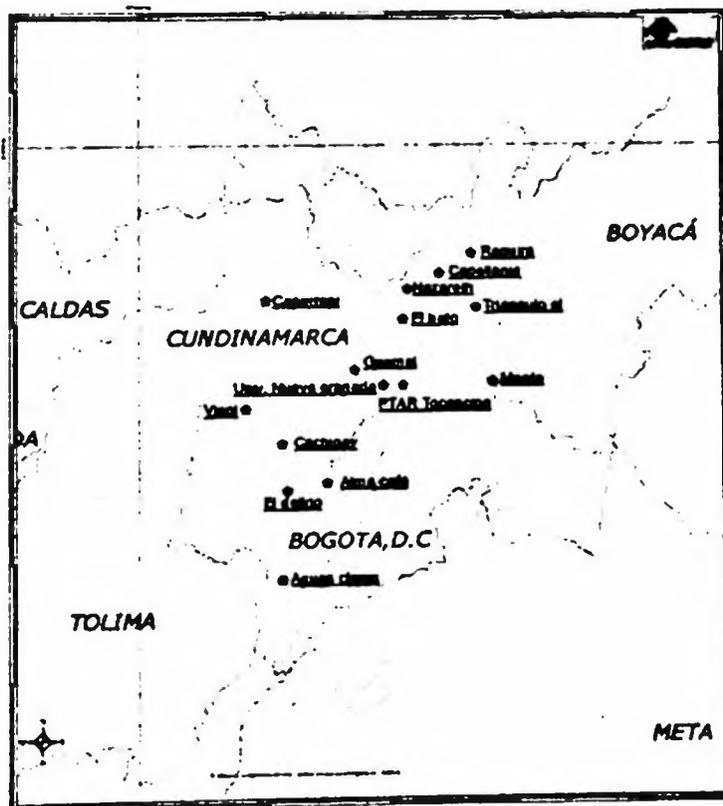


Imagen 11. Red de estaciones de radiación global de la CAR

5.3.2.3 IPSE

El Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas (IPSE) cuenta con 10 piranómetros CMP11, marca Kipp & Zonen, los cuales se comenzaron a instalar desde el año 2011, tal como se muestra en la tabla 4 y están ubicados como se muestra en la Imagen 12. (IDEAM, 2017)

Estación	Municipio	Departamento	Latitud	Longitud	Altitud (m)	Años Analizados
La Chorrera	La Chorrera	Amazonas	-0,73	-73,02	184	2011-2013
Isia Fuerte	Cartagena	Bolívar	9,36	-76,21	200	2011-2012
Titumate	Unguía	Chocó	8,33	-77,08	33	2011-2012
Miraflores	Miraflores	Guaviare	1,22	-71,57	200	2011-2012
Riohacha	Riohacha	La Guajira	11,52	-72,92	4	2013-2014
El Cardón	Uribe	La Guajira	11,92	-72,21	4	2013
Flor del Paraíso	Uribe	La Guajira	11,70	-71,90	20	2011-2014
Nazareth	Uribe	La Guajira	12,14	-71,30	100	2011-2014
Puerto Estrella	Uribe	La Guajira	12,30	-71,24	10	2011-2012
Cumaribo	Cumaribo	Vichada	4,44	-69,80	51	2011-2013

Tabla 8. Ubicación de las estaciones del IPSE

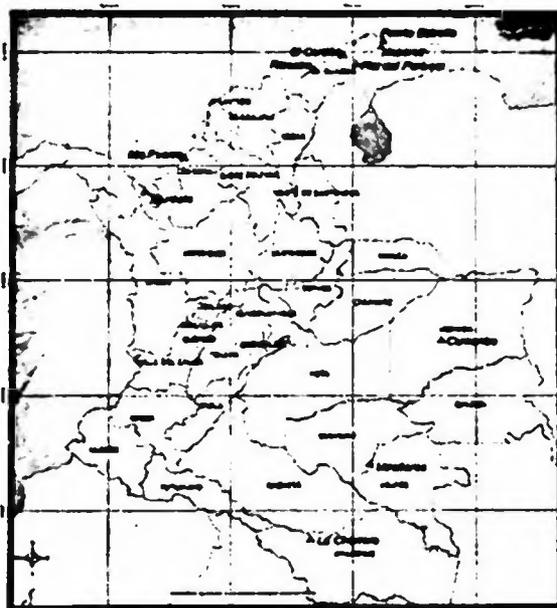


Imagen 12. Red de estaciones de radiación global del ipse (IDEAM, 2017)

5.3.2.4 Fedearroz

La Federación Nacional de Arroceros (FEDEARROZ) tiene instalados 28 piranómetros, marca DAVIS, los cuales se comenzaron a instalar desde el año 2011 y se relacionan en la tabla 5. En

la Imagen 6 se puede observar que estos sensores se encuentran ubicados principalmente en las zonas arroceras de los departamentos de Tolima, Casanare, Huila, Meta, Córdoba y Cesar.

Estación	Municipio	Departamento	Latitud	Longitud	Altitud (m)	Años Analizados
Nechí	Nechí	Antioquia	8.11	-74.80	31	2011-2014
Aguazul	Aguazul	Casanare	5.14	-72.50	1022	2011-2014
Nunchía	Nunchía	Casanare	5.48	-72.18	222	2011-2014
San Luis de Palenque	San Luis de Palenque	Casanare	5.43	-71.99	130	2011-2014
Villanueva	Villanueva	Casanare	4.53	-72.81	180	2011-2013
Yopal	Yopal	Casanare	5.33	-72.29	2218	2011-2014
San Martín	Aguachica	Cesar	7.95	-73.48	151	2011-2014
Valledupar	Valledupar	Cesar	10.49	-73.22	188	2011-2014
Cotorra - Consigodón	Cotorra	Córdoba	9.03	-75.78	8	2013-2014
Montería	Montería	Córdoba	8.81	-75.85	17	2011-2014
Alpe	Alpe	Huila	3.25	-75.24	408	2011-2014
Campoalegre	Campoalegre	Huila	2.70	-75.36	514	2011-2014
Palermo	Palermo	Huila	2.93	-75.40	472	2011-2012
Fundación	Fundación	Magdalena	10.47	-74.14	30	2011-2014
Acacías	Acacías	Meta	3.81	-73.47	334	2011-2014
Granada	Granada	Meta	3.44	-73.75	308	2011-2014
Puerto López	Puerto López	Meta	3.93	-73.06	189	2011-2014
Cucuta	Cucuta	Norte de Santander	8.18	-72.52	1022	2011-2014
Majagual	Majagual	Sucre	8.55	-74.58	8	2011-2014
Gamba	Ambalema	Tolima	4.81	-74.77	290	2012-2014
Hacienda El Puente	Armero	Tolima	4.98	-74.91	328	2011-2014
Espinal	Espinal	Tolima	4.20	-74.98	385	2011-2014
Guamo	Guamo	Tolima	4.08	-74.93	329	2011-2014
Hacienda Perales	Ibagué	Tolima	4.42	-75.13	1008	2011-2014
Hacienda La Sonora	Lérida	Tolima	10.47	-74.14	299	2011-2014
Hacienda El Chaco	Piedras	Tolima	4.48	-74.98	1021	2011-2014
Prado	Prado	Tolima	3.78	-74.93	318	2011-2013
C.I. Lagunas Saldaña	Saldaña	Tolima	3.91	-74.99	425	2011-2014

Tabla 9. Ubicación de las estaciones de FedeArroz

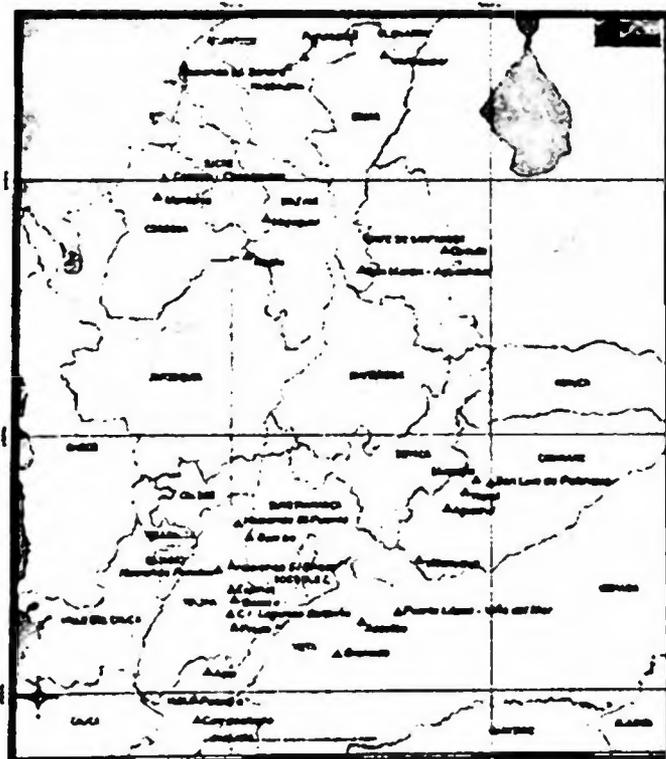


Imagen 13. Red de estaciones de radiación solar de FEDEARROZ (IDEAM, 2017)

5.3.2.5 Otras redes de información

existen otras redes de información de radiación en el país, pero no se usaron como base para el desarrollo del atlas sola, ya que se prefirió el análisis de las estaciones del IDEAM que estaban ubicadas en la misma área o desafortunadamente porque no se tuvo acceso a la información. Entre las entidades que cuentan con sensores de radiación están: la Secretaria del Medio Ambiente de Bogotá (SDA) cuenta con 5 piranómetros automáticos (Escuela de Ingeniería, IDRD, Central de mezclas, Vitelma y Usme), que reportan a nivel horario y han medido la radiación global desde 1997; otras Corporaciones Autónomas Regionales – CARs (Corantioquia, CVC) y Departamentos Administrativos del Medio Ambiente (DAGMA, DAMAB, AMVA) y otros centros de investigación (universidades: Distrital, Córdoba, Tolima y la Fundación Los Libertadores, principalmente). (IDEAM, 2017)

5.4 Evaluación de recursos para el uso de la energía eólica.

La principal variable evaluada en la generación eléctrica con aerogeneradores es la velocidad del viento esta es una medida vectorial ya que viene definida por el módulo, la dirección y el sentido, el módulo indica la intensidad de viento y generalmente se expresa en metros por segundo, kilómetros por hora, o en nudos a lo que equivale 1 nudo es igual a 0.514 por segundo. Los anemómetros son los instrumentos utilizados para medir el flujo del aire, estos se los cuales se pueden clasificar en tres categorías principales: anemómetros de rotación (anemómetros de cazoletas (Imagen 14), anemómetros de hélices Imagen 15 , anemómetros de canalones, etc.), anemómetros de presión (anemómetro de Dines, anemómetro de Best Romani, etc.), y otros (anemómetros de hilo caliente (Imagen 16), los de efecto sónico, anemómetros láser, anemómetros SODAR de efecto Doppler, anemómetros de ultrasonidos, etc.).

(Carta González, Calero Pérez, Colmenar Santos, & Castro Gil, 2009)

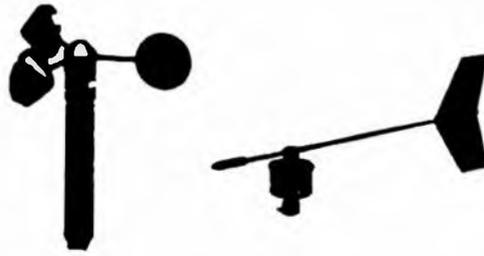


Imagen 14 anemómetro de cazonetes (izquierda) y veleta (derecha) (Carta González, Calero Pérez, Colmenar Santos, & Castro Gil, 2009)



Imagen 15 Anemómetro de hélice (smilab, 2018)



Imagen 16 Anemómetro de hilo caliente (directindustry, 2018)

ELEMENTO	COSTO
anemómetro digital con registro de datos marca Extech instruments	\$ 1.979.000
medidor de radiación solar con registro de datos Extech instruments	\$608.777
termómetro con registro de datos uni-t	\$229.000
medidor de humedad con registro de datos init-t	\$230.000
Voltímetro hyelec	\$220.000
amperímetro digital UNIT -T	\$180.000
medidor de energia EFERGY	\$542.000
Total	\$3.756.000

Tabla 10. Costos medidores comerciales

En el mercado se encuentran algunos equipos de adquisición de datos o estaciones meteorológicas, se encuentran de múltiples características y precios algunos de ellos se detallan a continuación

ELEMENTO	COSTO
Davis Vantage Pro Accionado Solar De La Estación Meteorológica	\$5.237.400
Acurite Estación Meteorológica Rm Color De La Pantalla	\$ 851.600
Davis Instruments 6250 Vantage Vue Estación Meteorológica	\$ 1.422.500
Estación Meteorológica Davis Instruments Vantage Pro2	2.503.777
Estaciones Estación Meteorológica Inalámbrica	\$ 4.625.990

Tabla 11. Costos de equipos de adquisición de datos en el mercado Diciembre 2018

El costo de los equipos difiere uno del otro según sus especificaciones técnicas capacidad de memoria, exactitud pero ninguno de estos equipos tiene la posibilidad de ser modificados para fines específicos y tampoco tiene la posibilidad de determinar variables eléctricas de generación para lo cual se debe adquirir un equipo que registre dichas magnitudes eléctricas estos artefactos también son comerciales y sus precios varían según sus especificaciones técnicas , se detallan los costos de algunos equipos a continuación.

ELEMENTO	COSTO
Analizador De Redes Hioki 3165-fabricacion japonesa	\$6.900.000
Analizador Registrador De Energia Fluke 1735	\$7.000.000
medidor de energía con conexión a pc Fluke	\$1.600.000

Tabla 12. Costos equipos Analizadores

5.5 Adquisición de datos

La adquisición de datos, o DAQ, es el proceso de digitalización de los datos obtenidos por la medición de una variable, con el fin de visualizar, analizar y almacenar en una computadora los registros deseados.

Los sistemas de adquisición de datos modulares fueron diseñados para sistemas de conteo con mayor cantidad de canales, que necesiten integrar y sincronizar múltiples tipos de sensores. Estos sistemas son más complejos de integrar y usar, pero son extremadamente flexibles.

Los sistemas modulares son la opción de adquisición de datos más costosa, pero muchas aplicaciones requieren las características que solo un sistema de adquisición de datos puede proporcionar. (Computing, 2018)

En la tabla 13 se evidencian un cuadro comparativo de las características de los diferentes sistemas

	Registrador de datos	Dispositivo de adquisición de datos	Sistema de adquisición de datos
Costo	Medio bajo	Medio bajo	Alta media
Facilidad de uso	Alto	Alta media	Bajo
Flexibilidad	Bajo	Medio	Alto
Cantidad de canales	1-16 canales	4-32 canales	8-1000 canales

Tabla 13. Registro y adquisición de datos

Cuando se habla de data logger es necesario hablar de protocolos de comunicación, ya que para la descarga o la interacción de los diferentes dispositivos a una computadora se hacen necesario un lenguaje y un medio para generar una comunicación entre los equipos.

Un protocolo de comunicación es un conjunto de reglas o lineamientos que permiten la transferencia e intercambio de datos entre los distintos dispositivos que conforman una red.

Para ello se expone a continuación un resumen tabulado de los diferentes protocolos de comunicación con sus respectivas características.

Comparación de características entre algunos buses y protocolos						
Nombre	Topología	Separate	Máx dispositivos	Rate Transm. bps	Distancia máx Km	Comunicación
Profibus DP	línea, estrella y anillo	par trenzado fibra óptica	127/segn	Hasta 1.5M y 12M	0.1 segm 24 fibra	Master/Slave peer to peer
Profibus PA	línea, estrella y anillo	par trenzado fibra óptica	14000/segn	31.2K	0.1 segm 24 fibra	Master/Slave peer to peer
Profibus FMS		par trenzado fibra óptica	127/segn	800K		Master/Slave peer to peer
Foundation Fieldbus HSE	estrella	par trenzado fibra óptica	240 p/segn 32.768 sist	100M	0.1 par 2 fibra	Single/multi master
Foundation Fieldbus H1	estrella o bus	par trenzado fibra óptica	240 p/segn 32.768 sist	31.25K	1.3 cable	Single/multi master
LonWorks	bus, anillo, línea, estrella	par trenzado fibra óptica coaxial, radio	32768/nodo	800K	2	Master/Slave peer to peer
Interbus-S	segmentado	par trenzado fibra óptica	256 nodos	800K	400/segn 12.8 total	Master/Slave
DeviceNet	trunca/puntal o bifurcación	par trenzado fibra óptica	2048 nodos	800K	0.5 6 c/repetid	Master/Slave, multi-master, peer to peer
AS-I	bus, anillo, árbol, estrella	par trenzado	31 p/red	167K	0.1, 0.3 c/rep	Master/Slave
Modbus RTU	línea, estrella, árbol, red con segmentos	par trenzado coaxial radio	250 p/segn	1.2 a 118.2K	0.5	Master/Slave
Ethernet Industrial	bus, estrella, malla-cadena	coaxial par trenzado fibra óptica	400 p/segn	10, 100M	0.1 100 mono c/switch	Master/Slave peer to peer
HART		par trenzado	15 p/segn	1.2K		Master/Slave

Master/Slave: Maestro/Eslavo
Peer to Peer: Punto a Punto
Multi-Master: Multi Maestro

Tabla 14. Comparación de características de algunos buses y protocolos. fuente: (Computing, 2018)

5.5.1 Componentes de un sistema de adquisición de datos

los sistemas de adquisición de datos constan de tres elementos esenciales: sensor, acondicionamiento de señal y convertidor analógico a digital (ADC). Ver Imagen 17

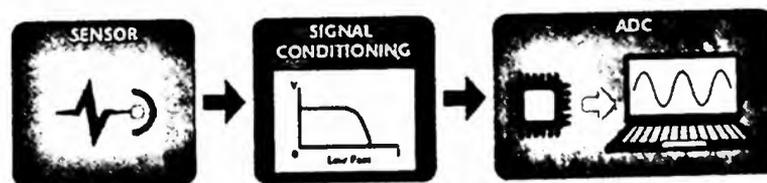


Imagen 17 componentes de sistema de adquisición de datos (Computing, 2018)

5.5.2 Conversor analógico a digital

El elemento principal de los sistemas de adquisición de datos es el convertidor analógico a digital (ADC). , ya que este chip se encarga de :

tomar datos del entorno y convertirlos a niveles discretos que pueden ser interpretados por un procesador. Estos niveles discretos corresponden al cambio detectable más pequeño en la señal que se está midiendo. Cuanto mayor sea el número de "bits" de un ADC (12 bits, 16 bits, 18 bits, etc.), mayor será el número de niveles discretos que pueden representar una señal analógica y mayor será la resolución del ADC. La resolución de un ADC es esencialmente análoga a las fragmentaciones en un dispositivo de medición. Una varilla de medición con marcas de mm tiene más resolución que una varilla de medición con solo marcas de cm. Si necesita marcas de verificación de mm o cm depende de lo que está midiendo, lo mismo es cierto para la resolución ADC.

5.5.3 Acondicionamiento de señal

Muy frecuentemente se usan circuitos adicionales entre los sensores y el ADC, la función de dichos circuitos. Este circuito generalmente se conoce como acondicionamiento de señal y puede incluir amplificación / atenuación, filtrado, terminación de puente de Wheatstone, excitación, linealización, calibración y compensación de unión en frío (CJC). Diferentes sensores tienen diferentes necesidades de acondicionamiento de señal. Por ejemplo, el acondicionamiento de la señal para un medidor de tensión requiere excitación, terminación del puente y calibración. Los termopares, que emiten señales en el rango de mV, deben amplificarse y filtrarse antes de pasar por el ADC.

Muchas veces, el circuito de acondicionamiento de señales está contenido dentro de un dispositivo de adquisición de datos, pero el acondicionamiento de señales también puede ser parte del transductor. Las celdas de carga, por ejemplo, contienen la terminación del puente, los circuitos de calibración y la amplificación. Muchos sensores MEM (microelectromecánicos) también contienen acondicionamiento de señal. (Computing, 2018)

5.5.4 Opciones de adquisición de datos

Se encuentran en el mercado varias opciones para la adquisición de datos

Los Registradores de datos:

Es el dispositivo que registra datos por un periodo de tiempo generalmente cuentan con un procesador incorporado y un software predefinido integrados. suelen usarse para desarrollar tareas específicas como mediciones de temperatura, voltajes, humedad, etc

Son muy populares gracias a su portabilidad y facilidad de uso.

5.5.4.1 Dispositivos de adquisición de datos

Un dispositivo de adquisición de datos (USB, Ethernet, PCI, etc.) contiene un acondicionador de señal y un convertidor analógico a digital, pero se hace necesario el uso de una computadora para funcionar. Estos dispositivos son muy flexibles y pueden usarse en muchas aplicaciones diferentes, lo que los convierte en una opción popular.

Los usuarios de dispositivos enchufables pueden usar software de adquisición de datos predefinidos, como DAQami™, o pueden usar un entorno de programación, como Python™, C++®, DASyLab®, MATLAB® y NI LabVIEW™. Con diferentes opciones de BUS y la flexibilidad para usar variedad de software .(Computing, 2018)

5.6 Geografía climatológica en Colombia

La geografía climatológica colombiana se ve afectada por lo cerca que esta de la línea del ecuador. No obstante, la mayoría del territorio nacional está completamente en la zona intertropical, las altitudes del país provocan variaciones considerables en las regiones; los climas zonales son: el clima lluvioso, tropical, tropical seco y húmedo (Guia, 2007).

La altitud es la causa principal de los microclimas de las diferentes áreas del país, logrando una tasa de un grado centígrado por cada 187m, aproximadamente. Las zonas del país van desde las más secas y calientes hasta las más frías y glaciares, en el medio de estos dos polos se encuentran zonas templadas, en estas, la temperatura varia con respecto a la altitud relativa sobre el nivel del mar (Martinez, 2008).

Por la ubicación que tiene Colombia en la línea del ecuador (latitud N 12°30'40"; latitud S 4°13'30,5"), directamente sobre la zona tórrida, provocando una caída permanente de los rayos del sol durante todo el año en forma vertical, que en teoría debería brindar un clima extremadamente caluroso, pero debido a la intervención de la humedad y el relieve existente, es fácil soportar la radiación solar; gracias a esto se cuenta con un amplio mosaico de climas (Martinez, 2008).

El clima en Colombia generalmente es cálido uniformemente, pero las montañas producen variaciones de gran importancia. Los altiplanos, donde se alberga la mayor parte de la población, son de clima templado. Los climas en Colombia se pueden ver plasmados de la siguiente manera:

Ecuatorial lluvioso, presente en el sur y el este de la nación.

Tropical seco y húmedo, presente en el pacífico y en zonas medias Tropical seco, presente en la Guajira (zonas desérticas).

Montaña, Bogotá y paramos con altitud superior a los 3000 m, llegando a nieves perpetuas en la SNSM y el macizo volcánico de la Cordillera Central (glaciares).

Además de la variedad de climas, podemos distinguir en Colombia 5 pisos térmicos, que son los siguientes:

Cálido, con una temperatura superior a los 24°C en una altura inferior a los 1000 metros. Cubre el 80% del territorio nacional.

Templado, cuenta con una temperatura entre 17 y 24°C. A una altura entre 1000 y 2000m, cubriendo así el 10% del país.

Frio, la temperatura se encuentra entre 12 y 17°C. A una altura entre 2000 y 3000, cubre el 8% del país.

Paramo, su altura esta entre los 3000 y 4500 metros. Cuenta con valores de temperatura inferiores a los 12°C.

Nevado, se encuentra a más de 4500 metros de altitud con temperaturas inferiores o los 0°C.

En Colombia las precipitaciones tienden a variar de manera significativa. Debido a la presencia de las cordilleras, la influencia de las masas de aire húmedo que son producidas por los océanos y la zona de la amazonia, se puede determinar la magnitud de las lluvias. Se generan dos patrones de lluvia, el seco y húmedo, presentes en las zonas sur, norte y occidental. La zona más seca del país se encuentra en la península de la Guajira, en esta existen precipitaciones entre 500 y 2000mm. En la región de los Llanos Orientales las precipitaciones oscilan entre los 3000 y 4000mm al año. En la amazonia hay registros entre 3000 y 4000mm anuales (Guia, 2007).

Los vientos alisios provenientes del este, ejercen gran influencia en la regiones llanas del país, aquí se encuentra la llanura del Caribe, Llanos Orientales y Amazonia, donde el flujo del viento está bien definido en el transcurso del año; en los valles interandinos como en la zonas montañosas, existe un relieve que modifica la dirección del viento y el viendo de ladera, estos son producidos por la diferencia de radiación solar. En la costa Pacífica, los vientos se adicionan al comportamiento de las brisas marinas; aumentando la fuerza de estos al amanecer y al anochecer (Guia, 2007)

5.5 Marco demográfico

El equipo está diseñado para llegar gran parte del territorio colombiano en especial a las zonas no interconectadas a la red eléctrica nacional

6. Diseño Metodológico

Este proceso investigativo se caracteriza por ser tecnológico, las etapas para la investigación tecnológica presentes en este apartado serán:

- Observar el estado actual de la instalación de pequeñas centrales de generación, para ello se buscarán diferentes proveedores e instaladores de sistemas de generación y se consultará el proceso de instalación y los factores que se tienen en cuenta para el cálculo y diseño de los equipos.
- Determinar cuáles son los principales problemas que tienen en la instalación de los sistemas en cuanto a los datos que se utilizan para el cálculo de los sistemas
- Evaluación de la información obtenida
- Elaboración de la posible solución de diseño para mejorar la obtención de datos
- Evaluación de los sistemas planteados
- Determinar el mejor diseño teniendo en cuenta que para la óptima instalación de un sistema de generación a pequeña escala es necesario tener completo conocimiento de las condiciones climatológicas de la zona a intervenir, entre más cerca sean tomadas las características climáticas a esta zona, mayor eficiencia del sistema se obtendrá ya que se dimensionara con mayor precisión.
- Otra característica que nos brinda el correcto dimensionamiento del equipo es la magnitud del consumo energético que se desea suplir.

Las estaciones de monitoreo meteorológico brindan las variables necesarias para el dimensionamiento e instalación de los sistemas de generación a pequeña escala, también se usan la información suministrada por los mapas de variables climáticas en el país. Todos

estos datos son de gran utilidad, pero cuentan con la desventaja de no estar siempre en las zonas donde se instalarán los sistemas; cuando la lejanía de esta información crece, es necesario sobredimensionar el generador eléctrico provocando un alza en los costos de inversión.

El dispositivo multiparámetro se hace necesario para diseñar los equipos de generación con las características propias de la zona de instalación. Normalmente existe la instalación de estaciones climatológicas para la auditoría de las variables físicas, pero las estaciones tienen un costo elevado.

Para el dimensionamiento de las variables físicas se usan transmisores de aire, radiación y temperatura; para las variables eléctricas se usa el voltímetro, vatímetro y medidores de energía. Con estas magnitudes se realiza normalmente la instalación de los sistemas.

Cuando se logren integrar estas variables físico-eléctricas en un solo equipo compacto, se mejorará la portabilidad para el acceso a zonas no interconectadas. El equipo facilitará la toma de decisiones en las dimensiones, logrando con el estudio previo a la instalación, efectividad y monitoreo en los sistemas.

6.1 Esquema temático

Documentación de los procesos de instalación de un sistema de micro generación eléctrica con fuentes de energía renovable.

Se realiza la consulta del procedimiento a seguir en caso de la requisición de un cliente para un sistema de generación eléctrico, en la compañía ENERGITECNICA, dedicada a la comercialización e instalación de sistemas de generación eléctrica con fuentes de energía renovable tal como, energía solar, energía eólica, energía hidráulica.

- Se realiza una estimación de la cantidad de energía demandada en el proyecto usando un cuadro de carga.

- Se realizan las siguientes preguntas con el fin de determinar un sistema adecuado para la generación eléctrica:

- ¿En qué zona del país está ubicado?
- ¿Con qué recursos naturales cuenta para la generación eléctrica?
- ¿Tiene algún presupuesto para el proyecto?

Posteriormente y teniendo en cuenta las respuestas del cliente se ubica la zona donde se desee realizar el proyecto en un software que entrega algunas características de predio tal como temperatura, radiación promedio.

Según los resultados obtenidos se recomienda al cliente un sistema de generación, dándole un costo aproximado del proyecto

- Si el cliente determina que es un proyecto viable se realiza una visita técnica en donde se toman las coordenadas exactas del lugar y se evalúan puntualmente el potencial de generación de la zona, ya sea en caídas de agua el potencial de generación con máquinas eólicas o sistemas de energía solar.

- A continuación, se entrega un informe técnico de los resultados de la visita con una cotización formal y de ser aceptada se comienza con el montaje del equipo determinado.

- Una vez finalizada la instalación de los equipos se realizan algunas pruebas de carga y se determina la funcionalidad de este.

Se indago en diferentes compañías como:

- ✓ Energías alternas s.a.s
- ✓ Ingesolar s.a.s
- ✓ Salaire s.a.s

Y el procedimiento que realizan para una venta es muy similar

6.2 Visitas técnicas

Las visitas técnicas se realizan con el fin de determinar más exactamente el consumo energético que se desea suplir con energía renovable, el potencial de generación de las fincas o terrenos donde se desean instalar sistemas de generación, así como las obras civiles para la instalación de los equipos.

Para ellos se usan los siguientes elementos:

- Anemómetro
- Radiómetro
- GPS
- Cinta métrica
- Brújula
- Cámara fotográfica
- Pinza amperométrica.
- Multímetro

Generalmente las visitas técnicas duran de uno a dos días según la accesibilidad del terreno tiempo en el cual las mediciones que se realizan son muy poco objetivas ya que el tiempo de toma de datos es muy poco. Una vez obtenida la ubicación exacta del terreno se cotejan los mapas solares y eólicos existentes en Colombia.

Con esta información podemos parametrizar el equipo a diseñar para la adquisición de los siguientes datos:

- Velocidad de viento
- Dirección de viento
- Radiación solar
- Temperatura ambiente

Esto con el fin de suplir las necesidades de información previa a la instalación de los sistemas de generación eléctrica y, referente al seguimiento de los sistemas de generación eléctrica que se instalan, sean o no desarrollados por la empresa, es decir que sean fabricados o comercializados por la compañía, como generadores eólicos o pequeñas centrales hidroeléctricas

Para revisar el funcionamiento de los mismo se usa un multímetro para revisar el voltaje y la corriente del sistema

Generalmente las tensiones generadas en los sistemas de energía renovable son de corriente continua y si bien existen varios equipos para auditar la misma no son muy comerciales y su costo es elevado para el mercado al que se dirigen los proyectos de micro generación.

Con estos datos podemos concluir que el equipo debe ir equipado con medidores de corriente y tensión eléctrica y así cuantificar la cantidad de energía generada por los equipos instalados.

6.3 Implementación

Tomando a consideración los datos y la investigación realizada en el estado del arte y con el fin de reducir costos se unificaran los equipos en un solo dispositivo de adquisición de datos de fácil manejo que tenga la posibilidad de actualización y la integración de nuevas variables de censado que se usen en la implementación de las energía renovables tales como lectura de revoluciones por minuto de pequeñas centrales hidroeléctricas, medición de concentración de oxígeno en el agua, medición de velocidad de fluidos en ductos, cabe anotar que en el presente escrito se desarrollaran las variables básicas descritas y se abre la posibilidad de nuevas implementaciones de sensores en la misma unidad de medida, para ello se indaga sobre diferentes tarjetas de adquisición de datos seleccionando dos opciones comerciales.

- Tarjeta Arduino
- Tarjeta raspberry pi

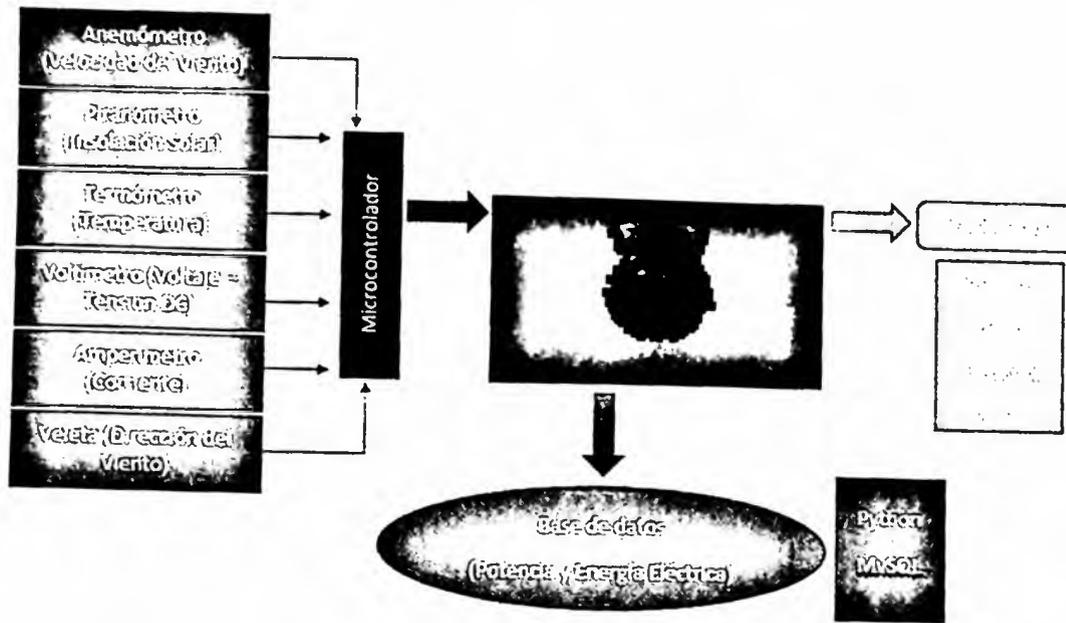


Imagen 18. Diagrama del proyecto (Fuente Propia)

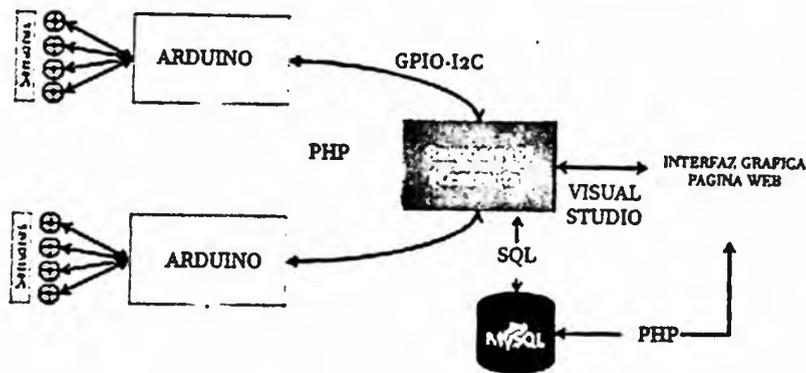


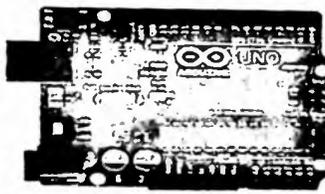
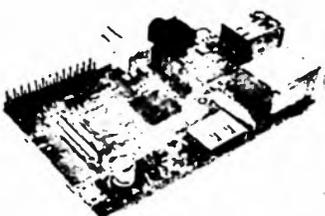
Imagen 19 Diagrama de comunicación.

En la Imagen se observa que para las entradas se necesita adquirir 2 tipos de datos, por lo que es necesario el uso de 6 sensores, agrupados de la siguiente manera.

→ Dimensionamiento de las variables físicas se usan transmisores de aire, radiación y temperatura.

→ Variables eléctricas se usa el voltímetro y amperímetro. Ya que se desea lograr integrar estas variables físicas y eléctricas en un solo equipo compacto y así mejorar la portabilidad para el acceso a zonas no interconectadas e igualmente facilitar la toma de decisiones en las dimensiones, logrando con el estudio previo a la instalación, efectividad y monitoreo en los

sistemas, se necesita de un dispositivo que permite conexión a internet, crear, almacenar y modificar bases de datos y que mediante una pantalla externa visualizar los datos obtenidos. En el mercado actual existen innumerables dispositivos que permiten integrar dichas variables, pero teniendo en cuenta que uno de los principales objetivos de este proyecto es la portabilidad del equipo, se busca elegir entre dos plataformas: Arduino y Raspberry Pi. Su principal diferencia es que Arduino es un microcontrolador, el cual cuenta con un software conocido como bootloader que viene cargado en el microprocesador que se auto programa a si mismo y Raspberry Pi es un computador completamente funcional e independiente que puede ejecutar un sistema operativo real, puede procesar varias tareas y cuenta con módulos wifi y bluetooth integrados los cuales permiten una fácil comunicación con el dispositivo.

	Arduino 	Raspberry Pi modelo B 
Tamaño	7.6 x 1.9 x 6.4 cm	8.6cm x 5.4cm x 1.7cm
Memoria	0.002MB	512MB
Velocidad de reloj	16 MHz	700 MHz
On Board Network	Ninguna	10/100 wired Ethernet RJ45

Multitarea	No	Sí
Voltaje de entrada	7 a 12 V	5 V
Memoria Flash	32KB	Tarjeta SD (2 a 16G)
Puertos USB	Uno	Dos
Sistema operativo	Ninguno	Distribuciones de Linux, Windows
Entorno de desarrollo integrado (IDE)	Arduino	Scratch, IDLE, cualquiera con soporte Linux, Visual Studio

Tabla 15. Características Arduino y RaspBerry

Adicionalmente la rasperry pi, permite que el prototipo cuente con las salidas y entradas necesarias para no solo comunicarse con el Arduino, sino que permite almacenar grandes cantidades de datos y la interacción con el usuario desde una pantalla táctil.

En la siguiente matriz DOFA se evalúan la funcionalidad y características de ambas tarjetas de adquisición.

Análisis DOFA tarjeta Arduino Mega	
Fortalezas	Debilidades
<p>Arduino es una plataforma de prototipos electrónica de código abierto. Flexibles y fáciles de usar Está pensado para artistas, diseñadores, como hobby y para cualquiera interesado en crear objetos o entornos interactivos.</p> <ul style="list-style-type: none"> * su costo es bajo * es un dispositivo multiplataforma ejecutándose en sistemas operativos Windows, Macintosh OSX y GNU/Linux *Entorno de programación simple y claro * Código abierto y software extensible * Código abierto y hardware extensible (arduino , 2017) 	<p>Arduino es un microcontrolador, el cual es sólo un componente de una computadora.</p> <ul style="list-style-type: none"> no puede ejecutar todo un sistema operativo poca memoria : 0.002MB no es un equipo multitarea poca memoria flash : 32 kb solo un puerto usb no tienen sistema operativo
Oportunidades	Amenazas
<p>Un sistema en el que se use una tarjeta Arduino permite conectar algunas tarjetas para mejorar su interconectividad, por ser un equipo de bajo coste es de fácil adquisición y es comercial</p> <p>También se puede reprogramar para ejercer otras tareas si así se desea</p>	<p>Es 40 veces más lento a una raspberry pi y tiene 128.000 veces menos memoria ram que una tarjeta raspberry pi</p>
Análisis DOFA tarjeta Raspberry pi 3	
Fortalezas	Debilidades
<p>raspberry es una placa computadora de bajo costo y alta portabilidad, su capacidad de memoria supera ampliamente a la tarjeta Arduino, soporta un sistema operativo tal como Linux o Windows , es un equipo multitarea alta conectividad</p>	<p>Al ser una tarjeta relativamente nueva en el mercado aún no se encuentran muchos desarrollos de programación en la web.</p>
Oportunidades	Amenazas
<p>Un sistema que use este tipo de tarjetas puede ser reprogramado fácilmente y su programación puede tener un mejoramiento continuo</p>	<p>Es un dispositivo sensible a los cambios de voltaje para su alimentación, así que se debe tener muy en cuenta este factor para evitar daños</p>

Tabla 16. Análisis Dofa Arduino Mega y Raspberry Pi3

En la siguiente imagen se puede evidenciar la alta funcionabilidad de los dispositivos Raspberry pi que además de permitir instalar diferentes Sistemas Operativos como Raspbian, Linux y Windows, tiene compatibilidad con muchos más entornos de desarrollo integrado, motivo por el cual, se selecciona dicho dispositivo como tarjeta principal para el presente proyecto y el dispositivo arduino como sistema de adquisición de datos.

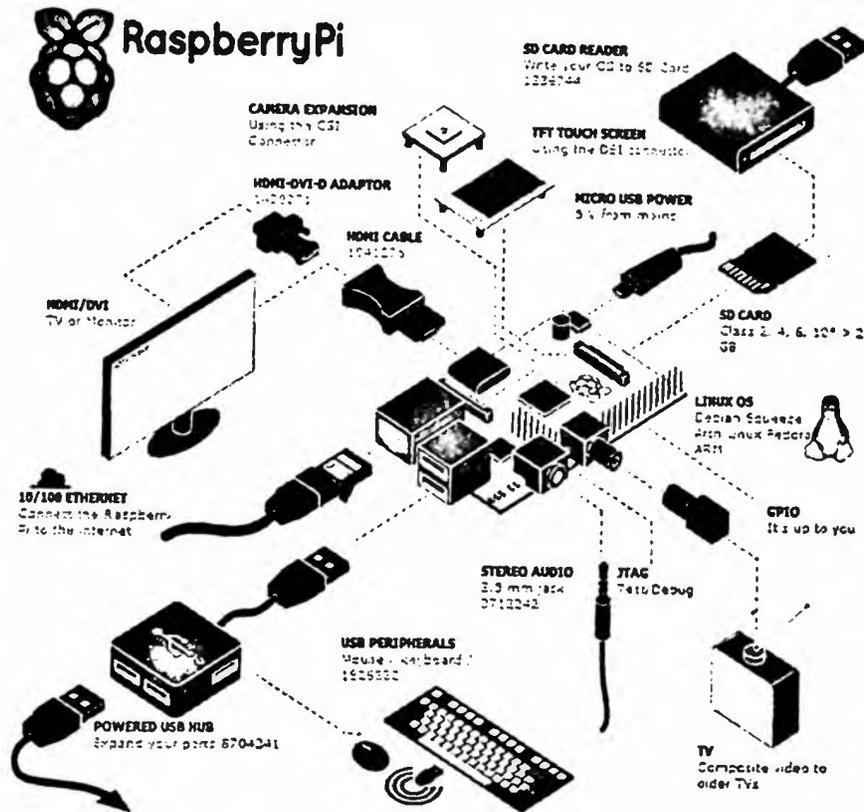


Imagen 20. Características Raspberry Pi3B

Teniendo conocimiento de cuáles sensores y controladores se van a utilizar se procede a realizar el montaje en programas de simulación como Proteus. Donde se tiene en cuenta el contenedor que albergará todo el circuito, dividido de la siguiente manera:

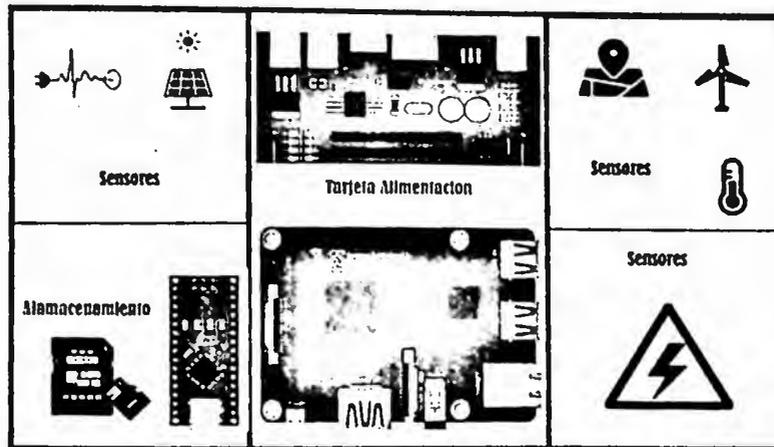


Imagen 21. Distribución componentes medidor

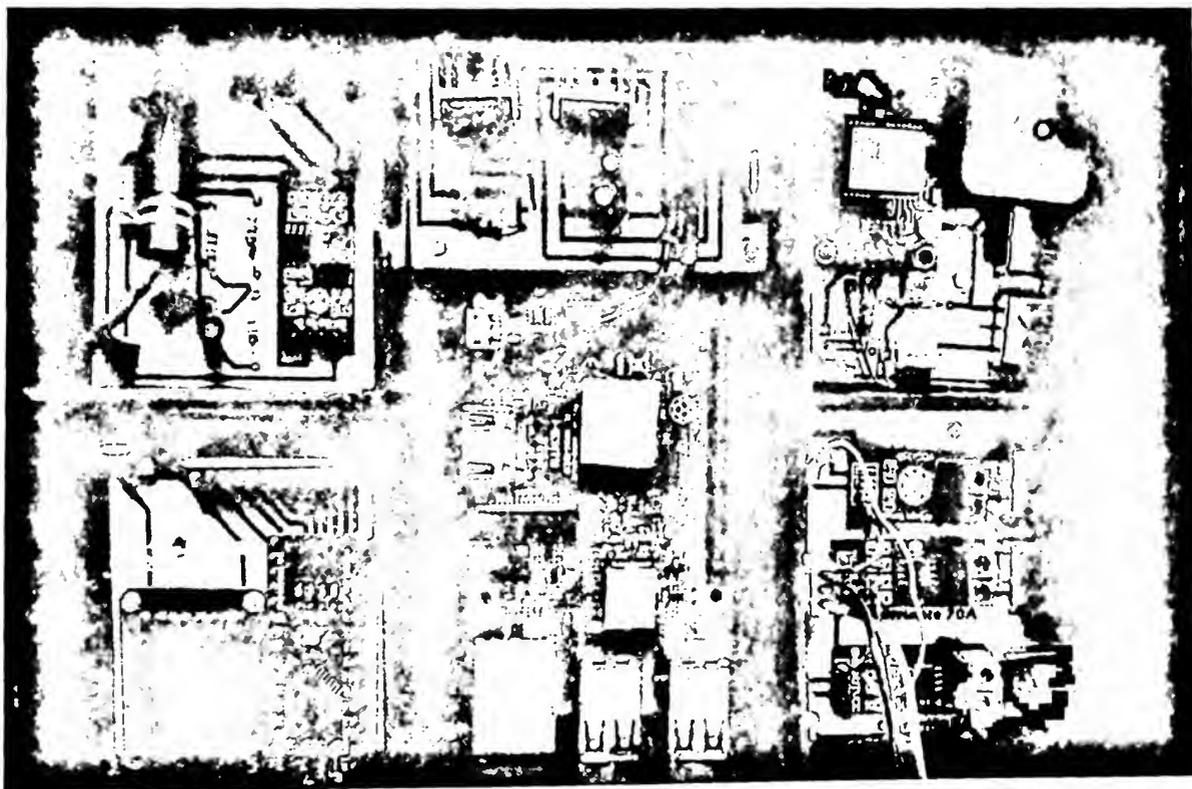


Imagen 22. Primer montaje de funcionamiento

Se desarrolla este primer prototipo con el fin de realizar las pruebas de todos los sensores y así mismo evaluar la funcionalidad del todo el sistema. Se observa una buena conectividad con una excelente respuesta de los equipos sensoriales, así como la interfaz gráfica tiene un buen desempeño al obtener buenos resultados se procesa a hacer el montaje en una placa única de todo el circuito.

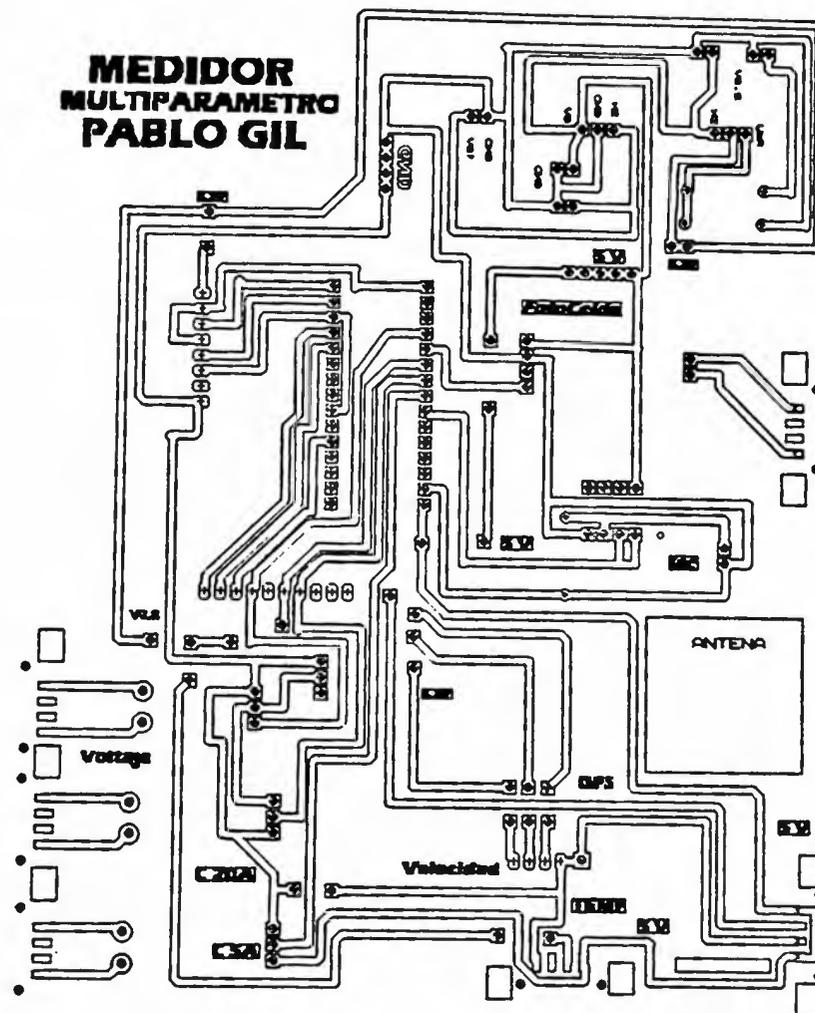


Imagen 23. Circuito medidor final

Luego de verificar que funciona el sistema propuesto en el programa proteus, se procede a quemar las tarjetas y soldar todos los componentes. Se debe tener en cuenta que los sensores son conectados a la tarjeta por medio de USB, con el fin de evitar futuros daños por movimiento del sensor en la tarjeta y de poder realizar el mantenimiento del dispositivo de manera sencilla si se requiere únicamente cambiar de sensor.

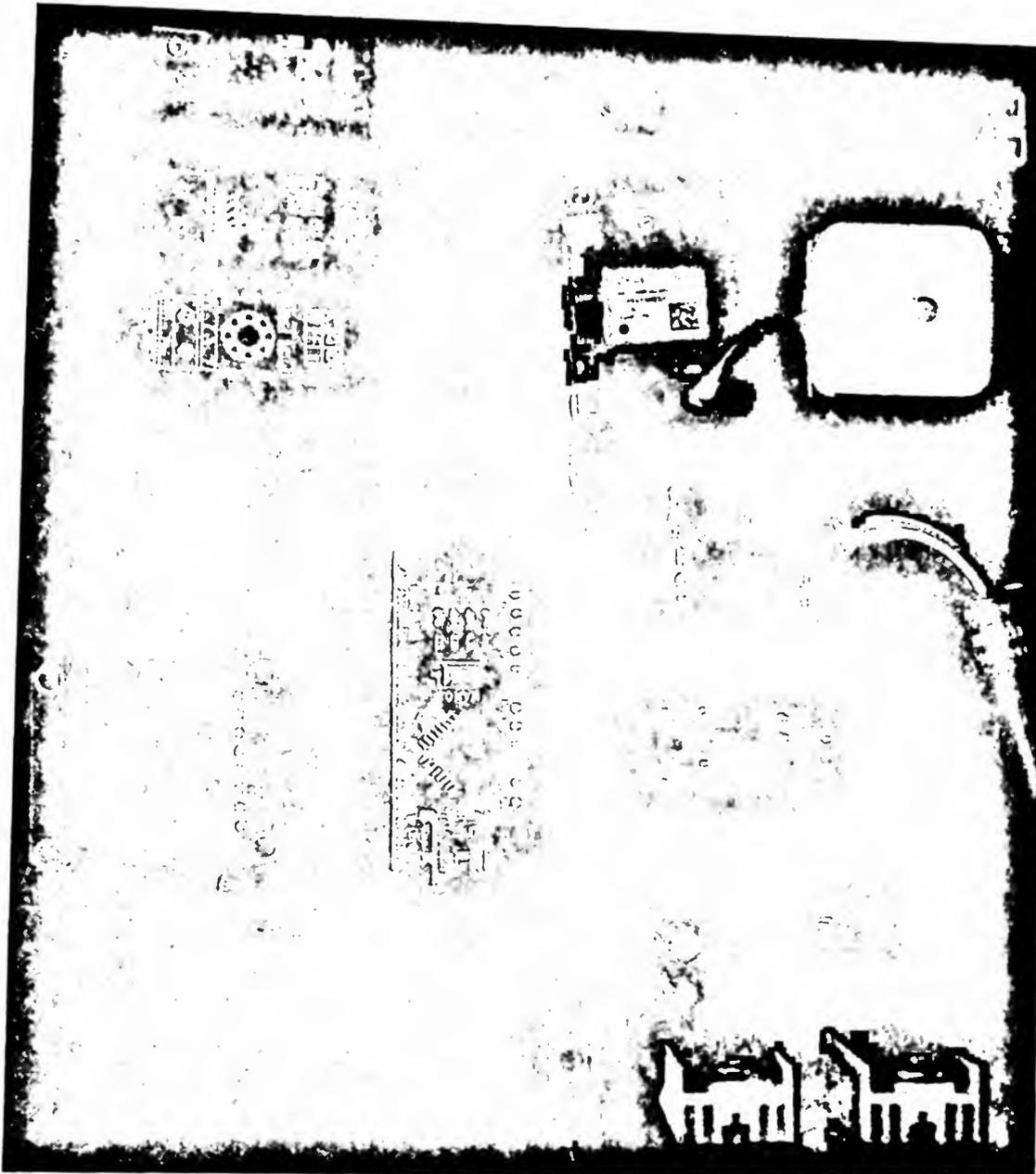


Imagen 24. PCB montaje medidor

Dentro de los Sistemas Operativos posibles para instalar en Raspberry Pi, Windows IoT es una alternativa capaz y de alguna manera ventajosa a un sistema operativo de código abierto tradicional, se entiende como una plataforma de desarrollo para codificadores y programadores de dispositivos conectados a Internet.

Al trabajar con Windows IoT, solo será compatible Windows 10 para su instalación, y su programación con Visual Studio, un entorno de programación que actualmente permite depurar la mayoría de los lenguajes de programación, incluyendo C#, Python, PHP, HTML, C++,

JAVA, entre otros, utilizando para este proyecto C#. Además de permitir una conexión a internet via Wifi en la que se podrán monitorear los datos del dispositivo desde cualquier lugar siempre y cuando esté conectado a una red.



Teniendo en cuenta el Setup de comunicación desde el equipo al dispositivo, es necesario implementar en el programa las siguientes líneas de código:

```
using System;  
using Windows.Devices.Gpio;  
using Windows.UI.Xaml;  
using Windows.UI.Xaml.Controls;  
using Windows.UI.Xaml.Controls.Primitives;  
using Windows.UI.Xaml.Media;
```

Para la ejecución del programa se puede desde el Visual permitir la visualización desde el equipo o la Raspberry, teniendo en cuenta que desde el computador requerirá de un simulador:



Para nombrar una variable, como por ejemplo Temp = Temperatura, se debe crear en un programa.xaml.cs de la siguiente manera:

```
private const int Temp;
```

Mientras que para nombrar una entrada o salida se debe designar el pin del cual se desea adquirir la señal o en su defecto definir el estado de la salida:

```
private const int led = 12;
```

Como se muestra en la imagen 1 es necesario crear diferentes clases y programas dentro del proyecto principal. Entre estos está la parte gráfica, la cual se debe crear en un proyecto *.xaml* el cual puede ser programada en HTML o en PHP. Esta interfaz permitirá mostrar en pantalla texto, estados de las variables, imagenes, formas, etc, que para un texto se define de la siguiente manera:

```
<Grid Background="{ ThemeResource ApplicationPageBackgroundThemeBrush }">
  <StackPanel HorizontalAlignment="Center" VerticalAlignment="Center">
    <TextBlock      x:Name="Delay"      Text="EQUIPO"      Margin="10"
TextAlignment="Center"      FontSize="26.667"
SelectionChanged="DelayText_SelectionChanged" />
    <TextBlock      x:Name="GpioStatus"  Text="SENSORIAL  MÚLTIPARAMETRO"
Margin="10,50,10,10" TextAlignment="Center" FontSize="26.667" />
  </StackPanel>
</Grid>
</Page>
```

Teniendo en cuenta que es necesario definir anteriormente de donde se adquiere la información, como por ejemplo:

```
<Page
```

```
x:Class="Blinky.MainPage"
```

```
xmlns="http://schemas.microsoft.com/winfx/2006/xaml/presentation"
```

```
xmlns:x="http://schemas.microsoft.com/winfx/2006/xaml"
```

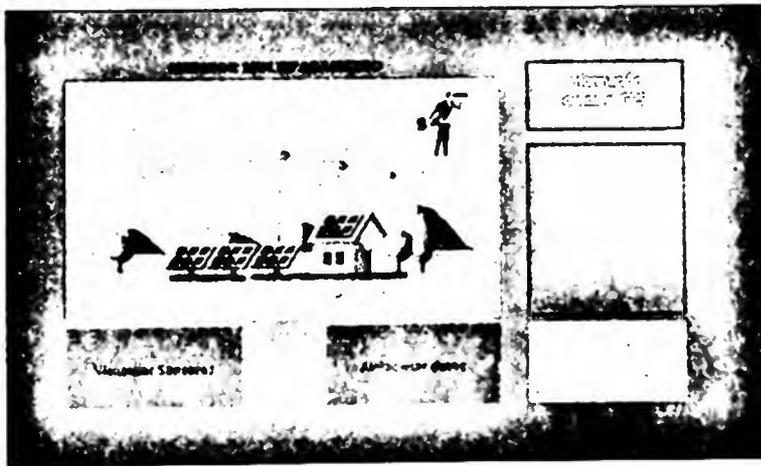
```
xmlns:local="using:Blinky"
```

```
xmlns:d="http://schemas.microsoft.com/expression/blend/2008"
```

```
xmlns:mc="http://schemas.openxmlformats.org/markup-compatibility/2006"
```

```
mc:Ignorable="d">
```

Quedando de la siguiente manera:



Algoritmo Arduino

GPS:

```
#include <SoftwareSerial.h>//incluimos SoftwareSerial
```

```
#include <TinyGPS.h>//incluimos TinyGPS
```

```
TinyGPS gps;//Declaramos el objeto gps
```

```
SoftwareSerial serialgps(8,9); //Rx, Tx
```

```
//Declaramos la variables para la obtención de datos
```

```

int year;

byte month, day, hour, minute, second, hundredths;

unsigned long chars;

unsigned short sentences, failed_checksum;

void setup()
{
  Serial.begin(115200);//Iniciamos el puerto serie
  serialgps.begin(9600);//Iniciamos el puerto serie del gps
  //Imprimimos:
  Serial.println("");
  Serial.println(" --Buscando senal-- ");
  Serial.println("");
}

void loop()
{
  while (serialgps.available())
  {
    int c = serialgps.read();
    if (gps.encode(c))
    {
      float latitude, longitude;
      gps.f_get_position(&latitude, &longitude);
      Serial.print("Latitud/Longitud: ");
      Serial.print(latitude, 5);
      Serial.print(", ");

```

```

Serial.println(longitude, 5);

gps.crack_datetime(&year, &month, &day, &hour, &minute, &second, &hundredths);

Serial.print("Fecha: "); Serial.print(day, DEC); Serial.print("/");

Serial.print(month, DEC); Serial.print("/"); Serial.print(year);

Serial.print(" Hora: "); Serial.print(hour, DEC); Serial.print(":");

Serial.print(minute, DEC); Serial.print(":"); Serial.print(second, DEC);

Serial.print("."); Serial.println(hundredths, DEC);

Serial.print("Altitud (metros): "); Serial.println(gps.f_altitude());

Serial.print("Rumbo (grados): "); Serial.println(gps.f_course());

Serial.print("Velocidad(kmph): "); Serial.println(gps.f_speed_kmph());

Serial.print("Satelites: "); Serial.println(gps.satellites());

Serial.println();

gps.stats(&chars, &sentences, &failed_checksum);

}

}

//-----VOLTAJE DC-----//

const int sensorPin = A1; // seleccionar la entrada para el sensor

int sensorValue; // variable que almacena el valor raw (0 a 1023)

//-----SENSOR DE TEMPERATURA-----//

#include <DHT.h>

DHT weatherSensor (A0, DHT11);

//-----VELOCIDAD DEL VIENTO-----//

volatile int NumPulsos; //variable para la cantidad de pulsos recibidos

int PinSensor = 2; //Sensor conectado en el pin 2

```

```

float factor_conversion=7.5; //para convertir de frecuencia a caudal
void ContarPulsos () //---Función que se ejecuta en interrupción-----
{
    NumPulsos++; //incrementamos la variable de pulsos
}

int ObtenerFrecuencia() //---Función para obtener frecuencia de los pulsos-----
{
    int frecuencia;

    NumPulsos = 0; //Ponemos a 0 el número de pulsos
    interrupts(); //Habilitamos las interrupciones
    delay(1000); //muestra de 1 segundo
    noInterrupts(); //Desabilitamos las interrupciones
    frecuencia=NumPulsos; //Hz(pulsos por segundo)
    return frecuencia;
}

//SETUP//SETUP//SETUP//SETUP//SETUP//SETUP//SETUP//SETUP//SETUP//SETUP//S
ETUP//SETUP
void setup() {
    Serial.begin(9600);

    //-----FOTOCELDA-----//
    analogWrite(2, INPUT);

    //-----VOLTAJE DC-----//

    //-----VELOCIDAD DEL VIENTO-----//

    pinMode(PinSensor, INPUT);

    attachInterrupt(0,ContarPulsos,RISING); //(Interrupcion 0(Pin2),funcion,Flanco de subida)

```

```

}

//LOOP//LOOP//LOOP//LOOP//LOOP//LOOP//LOOP//LOOP//LOOP//LOOP//LOOP//LOO
P//LOOP//LOOP

```

```

void loop(){

```

```

//-----FOTOCELDA-----//

```

```

String val1 = String(analogRead(2));

```

```

Serial.print("Fotocelda:");

```

```

Serial.println(val1);

```

```

delay(1000);

```

```

//-----VOLTAJE DC-----//

```

```

sensorValue = analogRead(sensorPin); // realizar la lectura

```

```

String value = String(fmap(sensorValue, 0, 1023, 0.0, 25.0)); // cambiar escala a 0.0 - 25.0

```

```

Serial.print("Voltaje:");

```

```

Serial.println(value); // mostrar el valor por serial

```

```

//-----SENSOR DE TEMPERATURA-----//

```

```

String temperature = String(weatherSensor.readTemperature());

```

```

String humidity = String(weatherSensor.readHumidity());

```

```

Serial.print("Temp & Humed:");

```

```

Serial.print(temperature);

```

```

Serial.print(" | ");

```

```

Serial.println(humidity);

```

```

delay(1000);

```

```

//-----VELOCIDAD DEL VIENTO-----//

```

```

velocidad_viento();

```

```

/*float frecuencia=ObtenerFrecuencia(); //obtenemos la Frecuencia de los pulsos en Hz
float caudal_L_m=frecuencia/factor_conversion; //calculamos el caudal en L/m
float caudal_L_h=caudal_L_m*60; //calculamos el caudal en L/h

//-----Enviamos por el puerto serie-----

Serial.print ("FrecuenciaPulsos: ");

Serial.print (frecuencia,0); */

}

//-----VOLTAJE DC-----//

float fmap(float x, float in_min, float in_max, float out_min, float out_max)
{
    return (x - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) + out_min;
}

void velocidad_viento(){

    float frecuencia=ObtenerFrecuencia(); //obtenemos la Frecuencia de los pulsos en Hz
    float caudal_L_m=frecuencia/factor_conversion; //calculamos el caudal en L/m.

    char buffer[10];

    String vel = dtostrf(caudal_L_m, 5, 2, buffer);

    String velocidad = (vel);

    Serial.print ("Hz\tCaudal:");

    Serial.println (velocidad);

}

CORRIENTE ALTERNA

#include "EmonLib.h"

EnergyMonitor emon1;

int rede = 110.0;

```

```
int pino_sct = 3;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);

  //Pino, calibracao - Cur Const= Ratio/BurdenR. 1800/62 = 29.
  emon1.current(pino_sct, 29);

  //Informacoes iniciais display
}

void loop()
{
  double Irms = emon1.calcIrms(1480);

  Serial.print("Corrente : ");

  Serial.print(Irms); // Irms

  Serial.print(" Potencia : ");

  Serial.println(Irms*rede);

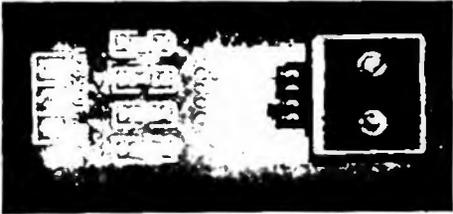
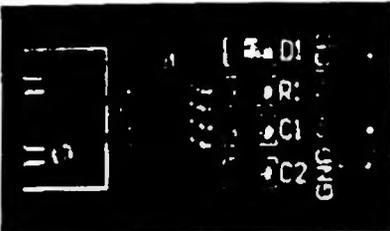
  delay(1000);
}
```

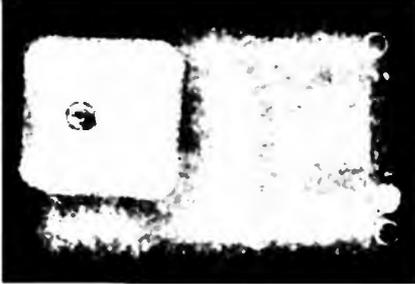
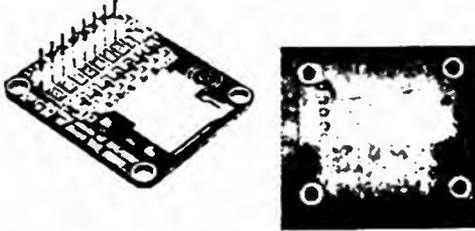
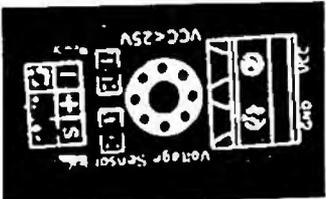
7. Personas que participaron

El desarrollo del proyecto se llevó a cabo por el estudiante Pablo José Gil Ariza contando con la asesoría técnica del ingeniero Luis Eduardo Cano.

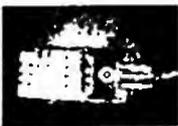
8. Fuentes de Financiación

El Projectista como dueño de ENERGITECNICA S.A.S financio el 100 % de la inversión del proyecto se define a continuación los cosos del proyecto.

Elemento	Características	Valor comercial
Sensor de Corriente Alterna 	<p>Corriente de entrada: 0 ~ 100A AC; Longitud del cable guía: 1 m; Dos formas de salida: salida de corriente o salida de voltaje (resistencia de carga necesaria para agregar); Cable Jack: 3.5mm (como un conector para auriculares). No invasivo Este transformador de núcleo dividido es particularmente adecuado para el uso de bricolaje y funciona bien con arduino y raspberry pi.</p>	\$ 30.000
Sensor de Corriente Continua 5A 	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo nivel de ruido de las señales analógicas • Tiempo de medición: 5 microsegundos en respuesta a la corriente de entrada <ul style="list-style-type: none"> • Ancho de banda: 80 kHz • Error de medición: 1.5% @ 25°C • Resistencia: 0.0012 Ohm (conductor interno) <ul style="list-style-type: none"> • Tensión Mínima de Aislamiento: 2100 VRMS (entre pines 1-4 a pines 5-8) • Tensión de Operación: 5 VDC • Sensibilidad de Salida: 0.185V por cada Ampere • Salida de voltaje proporcional a la corriente alterna o continua <ul style="list-style-type: none"> • Alta estabilidad • Prácticamente cero histéresis magnética 	\$ 9.500
Sensor corriente continua 20A 	<p>Sensor lineal de efecto hall de bajo offset Alta precisión de medida debido a la cercanía del sensor de efecto hall al elemento de paso (ambos se encuentran dentro del IC). Baja resistencia del elemento de paso para una baja disipación de potencia (1.2 mΩ típico) Las terminales del elemento conductor se encuentran aisladas electricamente (Hasta 2.1KV) por lo que evita la necesidad de aislamiento externo (optoacopladores).</p>	\$ 9.500

<p style="text-align: center;">Modulo GPS</p> 	<p>GPS modules 6M, 3V-5V power supply Universal Module antena de ceramica. EEPROM power down to save the configuration parameters data LED signal indicator With data backup battery The default baud rate: 9600 Mounting Hole 3mm Module size 23mm * 30mm Antenna size :25mm*25mm Cable Length:50mm Package Included: 1 X GPS module</p>	<p>\$ 55.000</p>
<p style="text-align: center;">Modulo Fococelda</p> 	<p>Este módulo está conformado por una fotorresistencia. el cual es bastante sensible a la exposición de intensidad luminica ambiental, para así determinar el brillo e intensidad luminica del medio. Este módulo a través de una salida digital, establece el umbral de luminosidad, proporcionando un nivel de tensión alto o bajo. dependiendo de la configuración Obteniendo así valores más exactos.</p>	<p>\$ 5.000</p>
<p style="text-align: center;">Modulo tarjeta micro SD</p> 	<p>La placa de circuito de conversión de nivel que puede conectar a nivel es 5V o 3.3V La fuente de alimentación es 4.5V ~ 5.5V, placa de circuito del regulador de voltaje 3.3V La interfaz de comunicaciones es una interfaz SPI estándar 4 tornillos M2 posicionando los orificios para una fácil instalación Nuevo y de alta calidad</p>	<p>\$ 5.000</p>
<p style="text-align: center;">Modulo sensor voltaje continuo 25V</p> 	<p>Rango de entrada de voltaje: DC0-25V Rango de detección de voltaje: DC0.02445V-25V Resolución analógica de voltaje: 0.00489V Conector de entrada de CC: terminal de cátodo conectado a VCC, polo negativo GND Interfaz de salida: "+" luego 5 / 3.3V, "-" luego GND, "s" luego las clavijas Arduino AD</p>	<p>\$ 6.000</p>
<p style="text-align: center;">Fuente de alimentacion</p> <p>LM317T L7805</p> 	<p>Fuente reguladora 12v a 5V - 3V con reguladores LM317T y L7805</p>	<p>\$ 4.500</p>

Anemometro (Velocidad del viento)	 <p>Conformado por un pequeño molino de viento, este tiene un pequeño imán atado y hay un sensor magnético de efecto Hall en el otro lado del tubo que registra cada vuelta dada por el molino de viento, esto genera impulsos de salida a una velocidad proporcional a la velocidad de flujo. Voltaje de funcionamiento 5V~18V - Conector Amarillo: Señal de Pulso (salida) Rojo: +Vcc Negro: Gnd</p>	<p>\$ 20.000</p>
RaspBerry Pi3 Model B Windows IOT	 <p>h 1.4 GHz 64-bit Quad-Core Processor, 1 GB RAM Dual Band 2.4GHz and 5GHz IEEE 802.11.b/g/n/ac Wireless LAN, Enhanced Ethernet Performance</p>	<p>\$ 180.000</p>

Sensor temp y humedad DHT11	 <p>Rango de medición de humedad: 20-90% Rango de medición de temperatura: 0- +50? Exactitud de medición de temperatura:2.0 . Precisión de la medición de humedad:5.0% HR. Tiempo de respuesta: <5s, bajo consumo de energía. Tamaño: 2,3 cm x 1,2 cm x 0,5 cm.</p>	<p>\$ 6.000</p>
Arduino Nano	 <p>Microcontroller ATmega328 Architecture AVR Operating Voltage 5 V Flash Memory 32 KB of which 2 KB used by bootloader SRAM 2 KB Clock Speed 16 MHz Analog IN Pins 8 EEPROM 1 KB DC Current per I/O Pins 40 mA (I/O Pins) Input Voltage 7-12 V Digital I/O Pins 22 (6 of which are PWM) PWM Output 6 Power Consumption 19 mA PCB Size 18 x 45 mm Weight 7 g Product Code A000005</p>	<p>\$ 25.000</p>
Pantalla táctil	 <p>mini-panel HDMI tipo monitor. Es pequeño y simple, se puede utilizar esta pantalla con</p>	<p>\$ 230.000</p>

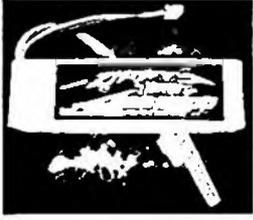
	cualquier computadora que tenga salida HDMI, y su forma lo hace fácil de colocar en un case o en carcasa. Este producto cuenta con el decodificador de vídeo TFP401. e incluye la pantalla por lo que es plug-n-play.	
Bateria Lipo 7,4 V - 2200 mAh		
	La batería tiene dos celdas y la salida es de 7.4V 2200mAh de almacenamiento de carga. Debido a que este un es un paquete de baterías de celdas duales, necesita un cargador especial. Esta batería no es recomendable cargarla con los cargadores de celdas individuales, si finalmente decides hacerlo debes cargar celda por celda e ir controlando la carga con un multímetro	\$ 75.000
Pcb - Carcasa externa		
	Circuito integrando cada uno de los componentes y sensores del prototipo y carcasa contenedora del mismo	\$ 350.000
	TOTAL	\$ 1.010.500

Tabla 17. Costos del proyecto

9. Conclusiones

Para una adecuada lectura de los sensores se debe hacer una calibración previa de cada uno de ellos teniendo en cuanta las condiciones físicas de lugar, donde se hará la medición.

Gracias al diseño compacto y portable del medidor hace posible que las mediciones sean realizadas con mayor eficacia en los puntos requeridos. Al contar con sensores de voltaje y corriente es posible garantizar la correcta instalación y verificación del sistema de energía renovable empleado, sensores que ninguna estación meteorológica del mercado posee.

El presente proyecto ha logrado cumplir con todos los objetivos planteados inicialmente siendo un equipo portable, de fácil manejo e instalación. El equipo es capaz de adquirir datos de variables como radiación solar, velocidad del viento, corriente eléctrica tanto en alterna como en continua y tensión, todos adquiridos en tiempo real y gracias a la interfaz gráfica y la pantalla táctil ayudan a la fácil lectura por parte del operario.

10. Recomendaciones

Con fin de dar continuidad al presente proyecto y gracias a la tecnología conjunta de Arduino y raspberry pi, sugerimos que este dispositivo y su programación sea usada como base para la implementación en pruebas de tecnologías de generación eléctrica de fuentes no convencionales, además de las ya establecidas, sugiriendo el estudio de micro centrales hidroeléctricas.

Se sugiere en la posteridad del proyecto otorgar un grado de protección al equipo nivel IP65 con el fin de garantizar su correcto funcionamiento en condiciones ambientales especiales

Se sugiere realizar la calibración del equipo con una estación meteorológica certificada como la ubicada en la escuela tecnología instituto técnico central

11. Bibliografía

Acciona. (2005). *Energías renovables*. Obtenido de <http://www.acciona.com/es/energias-renovables/>

Definicion. (24 de 9 de 2009). *definicion de voltaje*. Obtenido de <http://definicion.mx/voltaje/>

EcuRed. (24 de 4 de 2016). *Potencia y energía*. Obtenido de https://www.ecured.cu/Potencia_el%C3%A9ctrica

Ecured. (10 de 10 de 2016). *Velocidad del viento*. Obtenido de https://www.ecured.cu/Velocidad_del_viento

García, J. A. (12 de 5 de 2004). *que es la corriente eléctrica*. Obtenido de http://www.asifunciona.com/electrotecnia/ke_corriente_electrica/ke_corriente_electrica_1.htm

Guía, L. (27 de 10 de 2007). *Colombia: clima*. Obtenido de <http://geografia.laguia2000.com/climatologia/colombia-clima>

Martínez, A. G. (2008). *clima de colombia*. Obtenido de <http://www.todacolombia.com/geografia-colombia/clima-colombia.html>

Minambiente. (10 de 11 de 2016). *ministerio de ambiente*. Obtenido de <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/458-plantilla-cambio-climatico-14>

Miniminas. (2016). *Zonas no interconectadas*. Obtenido de <http://www.upme.gov.co/zni/>

Scielo. (2009). *Soluciones energéticas*. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-35922009000100011

Wikipedia. (13 de 11 de 2016). *Temperatura*. Obtenido de

Carta González, J. A., Calero Pérez, R., Colmenar Santos, A., & Castro Gil, M. A. (2009). *Centrales de energías renovables*. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN, S.A.

Computing, M. (01 de 03 de 2018). www.mccdaq.com. Obtenido de <https://www.mccdaq.com/data-acquisition.aspx>

directindustry. (16 de 02 de 2018). www.directindustry.es. Obtenido de <http://www.directindustry.es/prod/dostmann-electronic/product-17612-436701.html>

factorenergia. (11 de 11 de 2018). <https://www.factorenergia.com/es/blog/eficiencia-energetica/energia-renovable-hidraulica/>. Obtenido de www.factorenergia.com

IDEAM. (12 de 10 de 2017). <http://atlas.ideam.gov.co>. Obtenido de <http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/Evaluacion-de-la-Irradiacion-Global-Horizontal-en-Colombia.pdf>

kipzonen. (18 de 02 de 2018). www.kippzonen.com. Obtenido de

12. Anexos

Manual del medido multiparámetro

**DISEÑO Y ENSAMBLE DE UN EQUIPO SENSORIAL
MULTIPARAMETRO PARA SISTEMAS DE MICRO-GENERACION
ELECTRICA SUSTENTABLES**

AUTOR: PABLO JOSE GIL ARIZA



**ESCUELA TECNOLÓGICA INSTITUTO TÉCNICO CENTRAL
FACULTAD: ELECTROMECHANICA
CICLO: INGENIERIA
CIUDAD: BOGOTA, COLOMBIA
FECHA: DICIEMBRE 2019**