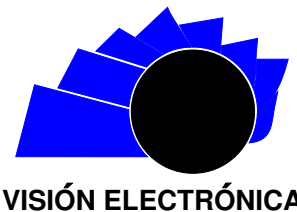




Visión Electrónica

Más que un estado sólido

<http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/visele/index>



VISIÓN DE CASO

Respaldo eléctrico con recursos renovables: estudio de viabilidad

Power backup with renewable resources: feasibility study

Duwan F. Cardona A.¹, Jaime Vela A.², Fredy H. Martínez S.³

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Enviado: Enero de 2015

Recibido: Enero de 2015

Aceptado: Febrero de 2015

Palabras clave:

Aerogenerador

Densidad de energía

Irradiancia

Radiación

Velocidad del viento



Keywords:

Wind turbine

Energy density

Irradiance

Radiation

Wind speed

RESUMEN

Se expone un estudio realizado en el municipio de Icononzo (Colombia), que evalúa la viabilidad técnica y económica de utilizar energías alternativas para el suministro de energía eléctrica en el hospital de dicho municipio. La investigación se centra en la comparación de los recursos renovables (solar y eólico), determinando la energía aprovechable obtenida por metro cuadrado utilizando cada uno de estos dos recursos, en el transcurso del día y a lo largo del año. Posteriormente, con el levantamiento de la infraestructura eléctrica, se realiza una redistribución de cargas para consumir la mayor cantidad de potencia con el sistema no convencional y se realiza el diseño del sistema de generación de respaldo para el hospital el cual se acopla con la instalación eléctrica existente. Una vez hecho el diseño se obtiene un estudio de costos por concepto de materiales, mano de obra para la ejecución y se determina la viabilidad del proyecto.

ABSTRACT

This paper exposes a study research carried out in Icononzo's municipality (Colombia), to evaluate the economic and technical viability of using alternative energies to supply electricity to the hospital of this municipality. This research leads to compare renewable resources (sun and wind) determining the usable energy obtained by square meter using each one of these two resources, along the day and throughout the year. Later, with the raising of the electrical infrastructure, a redistribution of loads is realized to consume the major quantity of power with the not conventional system, and it is realized the design of the system of generation to support the hospital's energy which is connected to the existing electrical installation, once it is done this design, it obtains a material costs study and workforce for the execution, and viability of this project.

¹Ingeniero eléctrico, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá D.C., Colombia; docente Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Correo electrónico: ferneycardona@live.com.

²Ingeniero eléctrico, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá D.C., Colombia; docente, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Correo electrónico: mathjaimevela@hotmail.com

³Ingeniero electricista, Universidad Nacional de Colombia; especialista en Gestión de Proyectos de Ingeniería, Universidad Distrital Francisco José de Caldas; PhD(c) en Ingeniería – Sistemas y Computación, Universidad Nacional de Colombia; docente Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia. Correo electrónico: fhmartinezs@udistrital.edu.co

1. Introducción

El avance tecnológico trae un crecimiento de demanda energética que a su vez aumenta la escasez de los recursos naturales con los que se genera tal energía; esto ocurre actualmente en todo el mundo y obliga estudio de nuevas fuentes de energía. Por ejemplo: el petróleo y el gas natural cada vez están más escasos y por lo tanto más costosos [1]. Por lo anterior, la creciente explotación de recursos fósiles ha hecho evidente el impacto del cambio climático; por esto, se hace necesaria una revolución tecnológica en la que se aprovechen los abundantes recursos renovables para generar energía limpia.

De otra parte, la tecnología en el ámbito solar ha avanzado considerablemente, los materiales empleados en las células solares son cada vez más eficientes y menos costosos; a la vez, la energía eólica ha evolucionado mundialmente a través de los años. En cuanto a sistemas geotérmicos y de biomasa, estos se han convertido en importantes opciones para calentar vapor y aumentar la eficiencia energética y la producción de electricidad.

En el caso que nos ocupa, en Colombia, los hospitales son considerados instalaciones especiales, por lo cual deben cumplir con ciertas características establecidas en el RETIE (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas), algunas de ellas son [2]:

- En todo centro de atención hospitalaria de niveles I, II y III, debe instalarse una fuente alterna de suministro de energía eléctrica (una o más plantas de emergencia), que entren en operación dentro de los 10 segundos siguientes al corte de energía del sistema normal. Además, debe proveerse un sistema de transferencia automática con interruptor de conmutador de red (bypass) que permita, en caso de falla, la conmutación de la carga eléctrica al sistema normal.
- Debe proveerse un sistema de potencia aislado o no puesto a tierra (denominado IT) en áreas médicas críticas, donde una falla en la alimentación pone en riesgo la vida del paciente; es decir, en salas de cirugía, unidades de cuidados intensivos, de procedimientos intracardiacos y salas de cateterismo, así como en áreas donde se manejen anestésicos inflamables (áreas peligrosas) o donde el paciente esté conectado a equipos que puedan introducir corrientes de fuga en su cuerpo y en otras áreas críticas donde se estime conveniente.
- En las áreas húmedas donde la interrupción de corriente eléctrica bajo condiciones de falla pueda ser admitida, como en piscinas, baños y

tinas terapéuticas, debe instalarse un interruptor diferencial de falla a tierra para la protección de las personas contra electrocución, así como junto a los lavamanos, independientemente de que estos se encuentren o no dentro de un baño.

Las instalaciones hospitalarias construidas antes del año 2007 no cumplen con la mayor parte de los requisitos anteriormente mencionados. El requisito de contar con sistemas ininterrumpidos de energía es el más crítico y las instalaciones hospitalarias de nivel 3, en su mayoría, normalmente no cuentan con estos sistemas ya que gran número de estos hospitales están ubicados en zonas rurales, donde se presentan cortes frecuentes de energía. Varios trabajos de investigación han abordado este tema para proponer la instalación de sistemas de respaldo de energía eléctrica y el uso eficiente de energía, algunas de las soluciones

- Sistemas de alimentación ininterrumpida con grupo electrógeno:
Estos sistemas constan de rectificador cargador, una batería de acumuladores y un grupo electrógeno con los correspondientes interruptores de maniobra [3].
- Implementación de UPS:
La Implementación de UPS consiste en conectar un equipo regulador de tensión que alimente las cargas esenciales de la instalación todo el tiempo, y cuenta con bancos de baterías para que las cargas no se vean interrumpidas en momentos de corte de energía [4].
- Implementación de transferencias automáticas y sistemas de protección contra sobre voltaje:
Es decir, la implementación de transferencias automáticas es una solución que disminuye el tiempo de interrupción del fluido eléctrico y consta de supervisores de tensión equipos PLC y protecciones contra sobretensión [5].

Desde el punto de vista normativo, en el 2014 el gobierno y el ministerio de Minas y Energía sancionaron la Ley 1715 de 2014, que incentiva el uso de energías renovables regulando la integración de las energías renovables al sistema energético nacional [6]. Con esta ley y teniendo en cuenta las investigaciones realizadas mencionadas anteriormente, este trabajo de investigación propone el uso de energías renovables para dar solución al problema mencionado, proponiendo a su vez un uso eficiente de energía y un ahorro económico.

Por lo anterior, este artículo resume un estudio de dos de las principales fuentes de energía renovable

(solar y eólica) y se estructura de la siguiente forma: en la sección 2 se presenta la metodología utilizada para la realización del artículo, en la cual, en primera instancia, se hace una comparación proponiendo la más eficiente; posteriormente se expone un diseño de un sistema de respaldo no convencional de energía eléctrica y finalmente se evalúa la viabilidad de la implementación del proyecto con un estudio económico. En la sección 3 se plasma el estudio de los recursos disponibles en la zona analizada y se realiza un descarte de cuatro recursos existentes, dejando así únicamente la energía solar y eólica para su análisis profundo. En la sección 4 se describe el levantamiento eléctrico del hospital, se expone la potencia instalada, el consumo promedio actual. Posteriormente en la sección 5 se propone una redistribución de circuitos obteniendo una nueva potencia instalada y una proyección de consumo promedio. La sección 6 contiene el dimensionamiento del sistema no convencional, cálculo de equipos. Finalmente, en la sección 7 se concluye el artículo y la viabilidad del proyecto.

2. Metodología

A fin de realizar esta propuesta, en primer lugar, se llevó a cabo una investigación para identificar los tipos de fuentes de energía renovable en la zona donde se encuentra ubicado el hospital (eólica, solar, biomasa, geotérmica), que se pudieran utilizar para generar electricidad.

Como siguiente paso, se realizó la identificación de los recursos presentes en la zona objetivo. Se escogieron entonces los recursos que pudieran ser viables, realizándose un estudio profundo de la energía solar y eólica en el municipio de Icononzo, recopilando datos de mediciones realizadas por medio de estaciones meteorológicas ubicadas en todo el territorio colombiano y datos almacenados en entidades como UPME (Unidad de Planeación Minero Energética), IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia) y NASA (National Aeronautics and Space Administration), con los cuales se hizo una comparación de la energía aprovechable por cada metro cuadrado con cada uno de los dos recursos, solar y eólico.

Posteriormente, se realizó un levantamiento de la infraestructura eléctrica del hospital de Icononzo determinando la potencia instalada de la propiedad y el consumo promedio mensual. Después se llevó a cabo una propuesta para redistribución de circuitos, supliendo la mayor cantidad de carga con el sistema de energía limpia. Finalmente, con el diseño propuesto y el estudio realizado se hace un análisis de factibilidad económica con los dos tipos de energía renovables estudiados, obteniendo costos

de implementación, costos de equipos, ahorro energético, flujo neto efectivo del proyecto y tasa interna de retorno, para así determinar la propuesta más viable, que mitigue más el impacto ambiental y mejore la confiabilidad.

3. Estudio de recursos disponibles en la zona

3.1. Estudio de energía eólica

La velocidad del viento en la superficie hace referencia a la velocidad que alcanza esta variable a una altura de 10 metros, según la norma internacional establecida por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) [7]. Los vientos con intensidades iguales o superiores a 5 m/s se consideran una buena alternativa como recurso para la generación de energía [8]. En Colombia durante todo el año se mantienen velocidades entre 5 m/s y los 11 m/s en la zona de la Guajira, en el resto de zonas dependen del ciclo estacional. Para determinar la energía aprovechable en una determinada área en forma teórica, se pueden utilizar las siguientes ecuaciones [9]:

$$P = \frac{E}{t} \quad (1)$$

Donde:

- P : Potencia eléctrica
- E : Energía eléctrica

$$K = \frac{1}{2}mv^2 \quad (2)$$

Donde:

- K : energía del viento (cinética)
- m : masa del viento
- ν : velocidad del viento

Sabiendo que densidad del viento es:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (3)$$

Donde:

- V : volumen

El volumen V del aire es igual a la velocidad ν a la que viaja el aire en un tiempo dado por unidad de área, es decir:

$$\frac{m}{t} = \frac{\rho V}{t} = \rho \frac{d}{t} A = \rho \nu A \quad (4)$$

$$m = \rho \nu A t \quad (5)$$

Por lo anterior se tiene la potencia:

$$P = \frac{E}{t} = \frac{\frac{1}{2}m\nu^2}{t} = \frac{\frac{1}{2}(\rho\nu At)\nu^2}{t} = \frac{1}{2}\rho A\nu^3 \quad (6)$$

$$\frac{P}{A} = \frac{1}{2}\rho\nu^3 \quad (7)$$

Donde $\frac{P}{A}$ se conoce como la densidad de potencia y se expresa en $\frac{W}{m^2}$.

Las condiciones de la densidad del aire, se ven afectadas por la temperatura, la presión, la altura, la humedad relativa y el ciclo diario; teniendo en cuenta que las variables más relevantes son la presión, la temperatura, la altura y la velocidad del viento. Cada una de estas variables lleva asociado un factor de corrección, llegando finalmente a la siguiente expresión:

$$\frac{P}{A}(P, T, \nu, h) = \frac{1}{2} \left[\frac{P}{RT} \frac{1}{\left[1 + \frac{3}{8F} \left\{ \exp\left(\frac{-6763.6}{T}\right) - 4.9283 \ln T + 54.23 \right\} \right]} \right] \times \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{\ln \frac{h}{Z_0}}{\ln \frac{10}{Z_0}} \nu_i^3 \quad (8)$$

Donde:

- $R = 286,8 \frac{J}{KgK}$
- Z_0 : depende de la rugosidad superficial del terreno.
- A : depende del diámetro de las aspas del aerogenerador.

Otro dato a tener en cuenta para el cálculo de la potencia eléctrica es el rendimiento del aerogenerador; el cual está alrededor de 59.3% de potencia disponible del viento según el límite de Betz para aerogeneradores con diámetros menores a cinco metros, el rendimiento está alrededor del 30% [10]. La Energía Producida (EP) por un aerogenerador en una hora, sin considerar el banco de baterías, el regulador ni el inversor viene dada por:

$$EP = \frac{P}{A} * A * \eta * t \quad (9)$$

Donde:

- η : rendimiento del aerogenerador.
- EP : energía generada expresada en Wh.
- t : tiempo expresado en horas.

1) Velocidad del viento a nivel nacional

Partiendo de los anteriores cálculos y los datos extraídos de las estaciones meteorológicas, se construyeron las siguientes tablas. Los datos de la Tabla 1 se plasman en la Figura 1, donde se observa un promedio anual de la velocidad del viento en todo el territorio nacional. El mapa de la Figura 1 fue obtenido con algoritmos basados en la física que utilizan modelos meteorológicos regionales junto con los datos de los anemógrafos tomados directamente de 111 estaciones del país y complementados con información de modelos meteorológicos. De la Tabla 1 se puede discriminar la zona donde se encuentra ubicado el Hospital. Estos datos se plasman en la Tabla 2.

Figura 1: Velocidad media del viento anual [8]

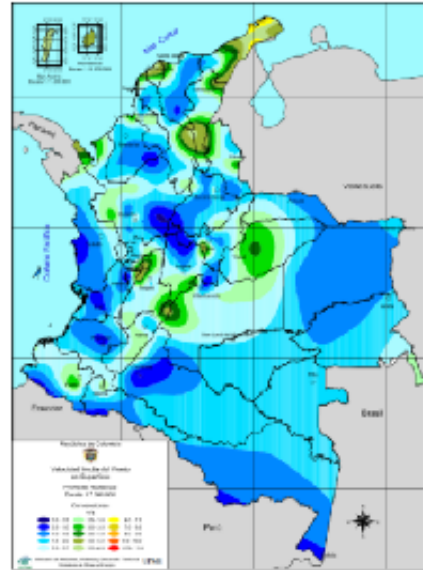


Tabla 1: Velocidad promedio del viento por periodo de tiempo y zona geográfica [8]

PERIODO DE TIEMPO	VELOCIDAD PROMEDIO DEL VIENTO (m/s)	ZONAS
Diciembre-Abril	4	Golfo de Urabá, cuenca del río Simú al noroccidente de Antioquia, Medio Magdalena y sur del catatumbo a la altura de Norte de Santander, sur de la cuenca del río Sogamoso en los límites entre Cundinamarca y Tolima, Alto Magdalena en los límites entre los departamentos de Huila y Meta, en los Llanos Orientales al noroccidente del Vichada y en los sectores limítrofes de Casanare, Meta y Arauca
Diciembre-Abril	5	Bajo Magdalena y la cuenca del Cesar en los departamentos de Bolívar y Atlántico, Norte de Santander y centro y sur del Cesar
Diciembre-Abril	11	En el litoral del departamento de Bolívar y la Guajira
Mayo-Septiembre	6	Bajo Magdalena en el centro de los departamentos de Cesar y Bolívar, región del Catatumbo en Norte de Santander, límites entre Tolima y Cundinamarca, límites entre Meta, Huila y Cundinamarca, así como la montaña nariñense
Octubre-Noviembre	5	La Guajira
Octubre-Noviembre	4	En el litoral de Bolívar y Atlántico, límites entre Tolima y Cundinamarca, Piedemonte Llanero de Meta y Casanare

Tabla 2: Velocidad promedio de viento en el municipio de Icononzo

PERIODO DE TIEMPO	VELOCIDAD PROMEDIO DEL VIENTO (m/s)
Diciembre-Abril	4
Mayo-Septiembre	6
Octubre-Noviembre	4

Fuente: elaboración propia.

Discriminando los datos de la Tabla 2, por cada mes del año se obtienen los datos presentados en la Tabla 3.

Tabla 3: Velocidad promedio mensual en zona objetivo

MES	VELOCIDAD PROMEDIO DEL VIENTO (m/s)
Enero	4,2
Febrero	4,2
Marzo	4,3
Abril	4
Mayo	5,5
Junio	6,1
Julio	6,2
Agosto	6,3
Septiembre	6
Octubre	4,3
Noviembre	4,2
Diciembre	4

Fuente: elaboración propia.

De la Figura 2 se observa un promedio de 4 m/s entre octubre y marzo, con una depresión en abril y diciembre y un aumento significativo entre mayo y septiembre.

Figura 2: Velocidad promedio mensual en zona objetivo

Fuente: elaboración propia.

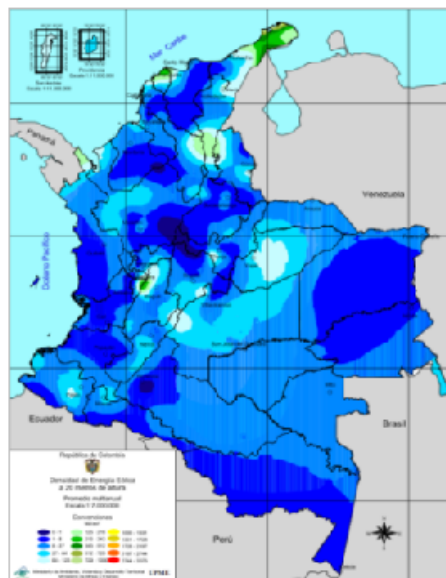
2) Densidad energía eólica a nivel nacional

Al igual que con la velocidad también se realiza una discriminación de densidad de energía eólica a lo largo del año y se plasma en la Tabla 4 y Figura 3.

Tabla 4: Densidad promedio de energía eólica por periodo de tiempo y zona geográfica

PERIODO DE TIEMPO	DENSIDAD DE ENERGÍA EÓLICA W/M2	ZONAS
Diciembre-Abril	Entre 343 y 512	En el bajo Magdalena y la cuenca del Cesar entre los departamentos de Bolívar, Atlántico y Norte de Santander, centro y sur del Cesar, en sectores del golfo de Urabá, Medio Magdalena y sur del Catatumbo a la altura de Norte de Santander y en los Llanos Orientales sobre Casanare
Mayo-Septiembre	Entre 343 y 512	En el bajo Magdalena en el centro de los departamentos de Cesar y Bolívar, región del Catatumbo en Norte de Santander, límites entre Tolima y Cundinamarca, y límites entre Meta, Huila y Cundinamarca, noroccidente del Tolima y Eje Cafetero
Octubre-Noviembre	Entre 216 y 343	En el litoral central de Bolívar y Atlántico, límites entre Tolima y Cundinamarca, Piedemonte llanero de Meta y Casanare

Fuente: elaboración propia.

Figura 3: Velocidad promedio mensual en zona objetivo [8]

Los datos de la Tabla 4 se plasman en la Figura 3 donde se observa un promedio anual de la Densidad de energía eólica en todo el territorio nacional. De la Tabla 4 se pueden extraer los datos de la Tabla 5 correspondientes a la zona objetivo. Discriminando los datos de la Tabla 5 por cada mes del año, se obtienen los datos presentados en la Tabla 6.

Tabla 5: Densidad promedio de energía eólica en el municipio de Icononzo

PERIODO DE TIEMPO	DENSIDAD DE ENERGÍA EÓLICA (W/m ²)
Diciembre-Abril	Entre 343 y 512
Mayo-Septiembre	Entre 343 y 512
Octubre-Noviembre	Entre 216 y 343

Fuente: elaboración propia.

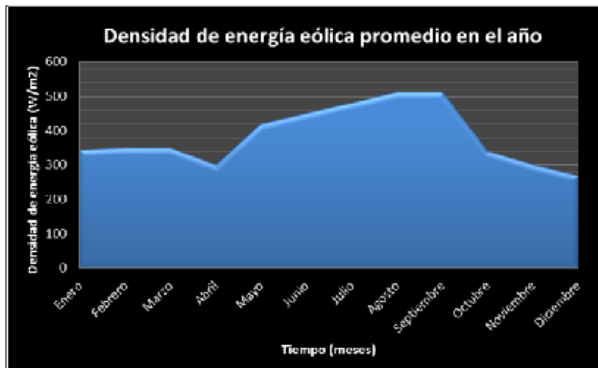
Tabla 6: Densidad promedio de energía eólica en zona objetivo

MES	DENSIDAD DE ENERGIA EOLICA W/m ²
Enero	345
Febrero	350
Marzo	350
Abril	300
Mayo	420
Junio	450
Julio	480
Agosto	512
Septiembre	512
Octubre	340
Noviembre	300
Diciembre	270

Fuente: elaboración propia.

De la Figura 4 se observa una densidad promedio de energía eólica de 300 W/m² entre octubre y marzo, con una depresión en abril y diciembre y un aumento significativo entre mayo y septiembre.

Figura 4: Densidad promedio de energía eólica en zona objetivo

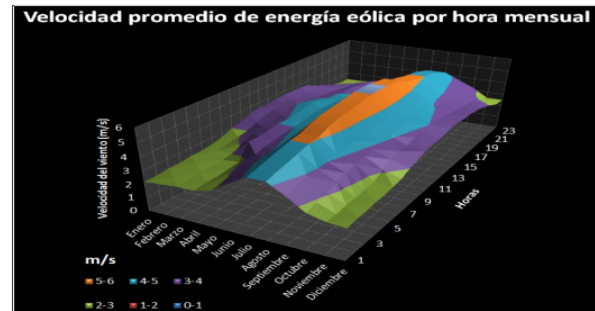


Fuente: elaboración propia.

3) Velocidad promedio del viento por hora mensual en zona objetivo

Para discriminar los datos de velocidad del viento por hora en la zona objetivo se consultó la estación meteorológica más cercana, llamada ANCHIQUE ubicada en las coordenadas 75°08'W 03°35'N. Con ayuda de esta fuente se obtienen los datos plasmados en la Figura 5. (Tabla 7).

Figura 5: Velocidad promedio de energía eólica por hora mensual en zona objetivo



Fuente: elaboración propia.

Tabla 7: Velocidad promedio del viento por hora cada mes en zona objetivo [8]

Hora/Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	2,2	2,3	2,4	2,4	2,7	3,5	4,2	4,2	3,5	2,7	2,4	2,3
2	2,2	2,4	2,4	2,5	2,9	3,7	4,4	4,4	3,7	2,9	2,4	2,4
3	2,3	2,4	2,5	2,5	3,1	3,9	4,6	4,6	3,9	3,1	2,5	2,4
4	2,3	2,5	2,5	2,6	3,3	4	4,8	4,8	4	3,3	2,5	2,5
5	2,4	2,5	2,6	2,7	3,5	4	5	5	4	3,5	2,6	2,5
6	2,4	2,6	2,7	3,8	3,7	4,1	5,1	5,1	4,1	3,7	2,7	2,6
7	2,5	2,7	3,1	3,8	3,8	4,2	5,4	5,4	4,2	3,8	3,1	2,7
8	2,7	2,9	3,4	3,9	3,9	4,3	5,6	5,6	4,3	3,9	3,4	3
9	3	3	3,6	4	4	4,3	5,7	5,7	4,3	4	3,6	3,2
10	3,2	3,3	3,6	4	4,1	4,4	5,8	5,8	4,4	4,1	3,6	3,4
11	3,5	3,5	3,8	4,1	4,2	4,5	5,9	5,9	4,5	4,2	3,8	3,5
12	3,6	3,7	3,9	4,2	4,3	4,6	6	6	4,6	4,3	3,9	3,5
13	3,6	3,8	4	4,3	4,3	4,6	6	6	4,6	4,3	4	3,6
14	3,7	3,8	3,9	4,2	4,3	4,6	6	6	4,6	4,3	3,9	3,7
15	3,7	3,7	3,8	4	4,2	4,5	5,9	5,9	4,5	4,2	3,8	3,7
16	3,7	3,7	3,7	4	4,1	4,4	5,8	5,8	4,4	4,1	3,7	3,6
17	3,7	3,6	3,6	3,9	3,9	4,4	5,4	5,4	4,4	3,9	3,6	3,6
18	3,6	3,5	3,5	3,9	3,8	4,3	5,3	5,3	4,3	3,8	3,5	3,5
19	3,2	3,4	3,4	3,8	3,7	4,3	5,1	5,1	4,3	3,7	3,4	3,4
20	3	3,2	3,3	3,7	3,7	4,2	5	5	4,3	3,7	3,3	3,2
21	2,7	3	3,2	3,6	3,6	4,1	4,9	4,9	4,1	3,6	3,2	3
22	2,5	2,7	3	3,2	3,5	4	4,7	4,7	4	3,5	3	2,7
23	2,4	2,5	2,7	3	3,3	3,9	4,5	4,5	3,9	3,3	2,7	2,5
24	2,4	2,4	2,5	2,7	3,2	3,7	4,2	4,2	3,7	3,2	2,5	2,5
Promedio	3	3	3	4	4	4	5	5	4	4	3	3

Como se ve en la Figura 5, para la zona objetivo existe un campo medio horario del viento con intensidades cercanas a los 5 m/s desde junio hasta agosto desde las 9:00 hasta las 17:00 con dirección del viento de sur a suroeste.

3.2. Estudio energía solar

Colombia posee 71 estaciones que proporcionan información radiométrica, 383 estaciones meteorológicas donde se realizan medidas constantemente de brillo solar, 96 estaciones donde se realizan mediciones de humedad, temperatura e intensidad radiante sobre la superficie. Todas estas estaciones en conjunto le proporcionan a la UPME y al IDEAM diariamente datos promedios de irradiancia (G) e irradiación (I). La irradiancia (G) corresponde al valor instantáneo de energía por unidad de tiempo y unidad de área:

$$G = \frac{E}{A * t} \left[\frac{W}{m^2} \right] \tag{10}$$

Por lo tanto, la potencia aprovechable (P) que se puede captar en un panel solar es la irradiancia por el área de la superficie del panel:

$$P = G * A [W] \tag{11}$$

La irradiación (I) es la cantidad de energía que llega en un período de tiempo:

$$I = \frac{G * t}{1000} = \left[\frac{kWh}{m^2} \right] \tag{12}$$

Por lo tanto, la energía aprovechable (E_a) que hay en un área determinada:

$$E_a = I * A [kWh] \tag{13}$$

3.2.1. Irradiación

Las estaciones meteorológicas mencionadas anteriormente proporcionan mes a mes un promedio de irradiación sobre todo el territorio nacional el cual se puede observar en la Figura 6. Para discriminar los datos de Irradiación en la zona objetivo se consultó la estación meteorológica más cercana, llamada ANCHIQUE ubicada en las coordenadas 75°08'W 03°35'N. Con ayuda de esta fuente se obtienen los siguientes datos, Tabla 9.

Con la Tabla 8 se construye la Figura 7 que muestra la variación de la irradiación en el año.

Figura 6: Mapa de Irradiación promedio anual [11]

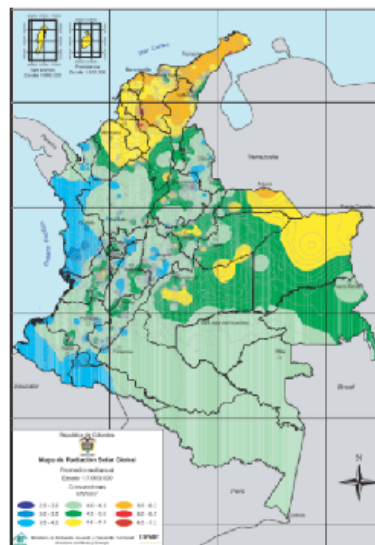
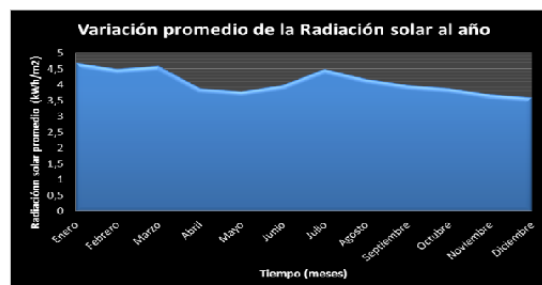


Tabla 8: Irradiación promedio mensual

MES	IRRADIACIÓN PROMEDIO kWh/m ²
Enero	4,7
Febrero	4,5
Marzo	4,6
Abril	3,9
Mayo	3,8
Junio	4
Julio	4,5
Agosto	4,2
Septiembre	4
Octubre	3,9
Noviembre	3,7
Diciembre	3,6

Fuente: elaboración propia.

Figura 7: Variación promedio de la Radiación solar al año



Fuente: elaboración propia.

3.2.2. Brillo solar

Otro concepto importante a tener en cuenta es el brillo solar, el cual se define como la cantidad de horas que se puede observar el sol durante el día. De la misma manera utilizando las estaciones meteorológicas disponibles, se obtiene el siguiente mapa de brillo solar promedio en el año. (Figura 8).

Para discriminar los datos de brillo solar en la zona objetivo se consultó la estación meteorológica más cercana, llamada ANCHIQUE ubicada en las coordenadas 75°08'W 03°35'N. Con ayuda de esta fuente se obtienen los siguientes de la Tabla 9.

Figura 8: Mapa de brillo solar promedio anual [12]

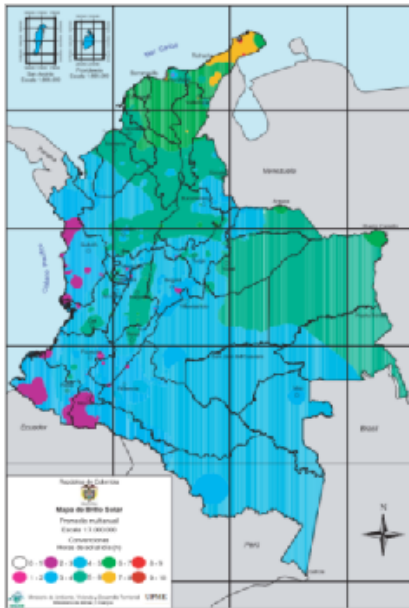


Figura 9: Variación promedio del brillo solar al año



Fuente: elaboración propia.

Tabla 9: Brillo solar promedio mensual

MES	PROMEDIO DE BRILLO SOLAR (h)
Enero	5,5
Febrero	5
Marzo	4,2
Abril	3,9
Mayo	4
Junio	4,2
Julio	4,5
Agosto	4,4
Septiembre	4,3
Octubre	4,2
Noviembre	4,1
Diciembre	4,3

Fuente: elaboración propia.

Con la Tabla 9 se construye la Figura 9, que muestra la variación del brillo solar en el año.

4. Levantamiento de infraestructura eléctrica del hospital

Actualmente el hospital cuenta con una sala de urgencias donde se hacen suturas menores, una sala de electrocardiograma, una sala de radiodiagnóstico, una sala de parto, cinco cuartos para hospitalización, un laboratorio clínico, odontología, tres cuartos de consulta externa y una droguería. Para todo esto hay una distribución de trece circuitos, de los cuales seis están conectados a la panta de emergencia.

4.1. Potencia instalada

Actualmente la potencia instalada del hospital se distribuye de la siguiente manera:

Potencia Instalada Total: $P_T = 33,18kW$

Potencia de la planta: $P_S = 9,39kW$

A. Consumo promedio

Para el cálculo promedio de energía consumida por el hospital se tuvo en cuenta la cantidad de equipo que se encuentran en el hospital y se contabilizó el tiempo de uso de cada uno de estos como se observa en la Tabla 10.

Tabla 10: Consumo de energía por equipo y factor de utilización

Equipos	Potencia ' W	Cantidad de equipos	Total energia en hora kWh	Horas diarias de utilización	Total energía al Día kWh	Total energía al mes kWh
Computador	100	5	0,5	8	4	120
Computador	100	3	0,3	24	7,2	216
Nevera	300	3	0,9	24	21,6	648
Lámparas	120	30	3,6	24	86,4	2593
Lámparas	120	31	3,72	8	29,76	892,8
Ahorrador	25	4	0,1	3	0,3	9
Microondas	1000	1	1	0,5	0,5	15
Concentrador de oxigeno	500	1	0,5	5	2,5	75
Incubadora	300	1	0,3	0,1	0,03	0,9
Aire Acondicionado	900	1	0,9	24	21,6	648
Electrocardiograma	5000	1	5	1	5	150

Energía total promedio por hora (kWh)	8,2
Total al dia (kWh)	197,3

Fuente: elaboración propia.

Realizando una discriminación por hora de cada equipo se obtiene la Figura 10.

Figura 10: Demanda de potencia por hora en hospital de Icononzo



Fuente: elaboración propia.

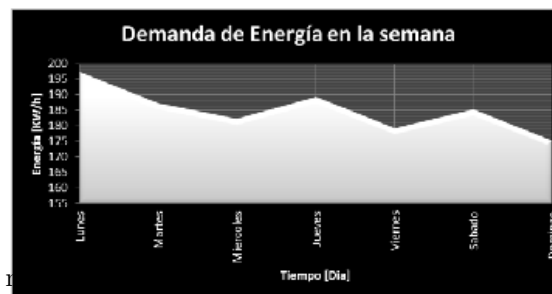
Estas mediciones se realizaron durante una semana y los datos obtenidos fueron los siguientes (Tabla 11 y Figura 11).

Tabla 11: Consumo de energía semanal

MEDICIONES DE ENERGÍA CONSUMIDA DURANTE UNA SEMANA (kWh)						
Lunes	Martes	Miercoles	Jueves	Viernes	Sabado	Domingo
197,3	187,3	182,3	189,3	179,3	185,3	175,3
Total demanda		1296,3				
Total Promedio		185,2				

Fuente: elaboración propia.

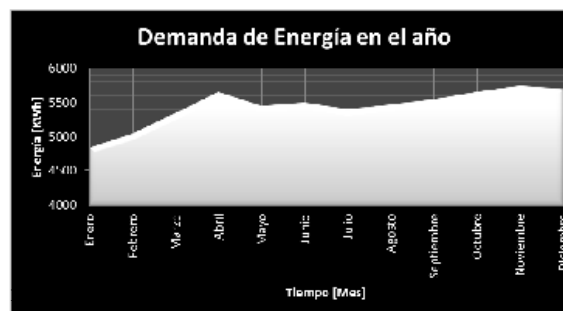
Figura 11: Demanda de energía en una semana



Fuente: elaboración propia.

Con los datos de las Tablas 10 y 11 y la factura de energía, se realiza una proyección para saber el consumo mensual durante el año representado en la Figura 12.

Figura 12: Demanda de energía anual



Fuente: elaboración propia.

B. Planta eléctrica

El hospital cuenta con una planta eléctrica Diésel de 10kVA la cual tiene un consumo de 1.5 galones de ACPM por hora de funcionamiento con potencia nominal. En este municipio se presentan en promedio tres horas de interrupción del suministro eléctrico que afectan el comportamiento normal del hospital, por esta razón al mes se utiliza la planta de emergencia doce horas, con un consumo de dieciocho galones mensuales.

5. Redistribución de circuitos y cargas

El hospital cuenta con 64 luminarias fluorescentes, las cuales tienen una carga instalada de 6536 vatios. La primera propuesta es reemplazar este tipo de luminarias por paneles LED LUMLED15 potencia 15 w diámetro interno 8color de luz blanco cálido 4100K intensidad lumínica 1450 lúmenes. Esta luminaria cumple con certificación RETIE para uso en hospitales. Las 64 luminarias LED tendrán una potencia instalada de 984 vatios, disminuyendo la potencia instalada

aproximadamente un 85%. Teniendo en cuenta lo anterior se realiza una redistribución de cargas, conectando las cargas más representativas al sistema de suplencia con energías renovables de la siguiente manera (Tabla 12).

Tabla 12: Redistribución de carga

Potencial instalala Total 27	6 kW
Potencial instalada conectada al sistema no convencional 9	14 KW

Fuente: elaboración propia.

A. Proyección de consumo de energía de la red externa

La red eléctrica externa se propone utilizarla durante la noche, entre las 17:00 y las 06:00. Por lo tanto, el consumo proyectado queda de la siguiente manera (Tabla 13).

Tabla 13: Consumo proyectado de energía por equipo y factor de utilización

EQUIPOS	Potencia W	Cantidad de equipos	Total energía en hora kWh	Horas diarias de utilización	Total energía al día kWh	Total energía al mes kWh
Computador	100	1	0,1	8	0,8	24
Computador	100	0	0	24	0	0
Nevera	300	0	0	24	0	0
LED	15	0	0	24	0	0
LED	15	19	0,285	8	2,28	68,4
Ahorrador	6	0	0	3	0	0
Microondas	1000	1	1	0,5	0,5	15
Concentrador de oxígeno	500	0	0	5	0	0
Incubadora	300	0	0	0,1	0	0
Aire Acondicionado	900	0	0	24	0	0
Electrocardiograma	5000	1	5	1	5	150

Energía total promedio por hora (kWh)	1,78725
Total al día (kWh)	42,894

Fuente: elaboración propia.

Realizando una discriminación por hora de cada equipo se obtiene la Figura 13.

Con base en los datos anteriores y teniendo en cuenta la fluctuación del consumo actual se realiza una proyección semanal (Tabla 14 y Figura 14).

Tabla 14: Consumo proyectado de energía semanal

MEDICIONES DE ENERGÍA CONSUMIDA DURANTE UNA SEMANA (kWh)						
Lunes	Martes	Miercoles	Jueves	Viernes	Sabado	Domingo
42,9	32,9	27,9	34,9	24,9	32,9	27,9

Total demanda kWh	224
Total Promedio kWh	32

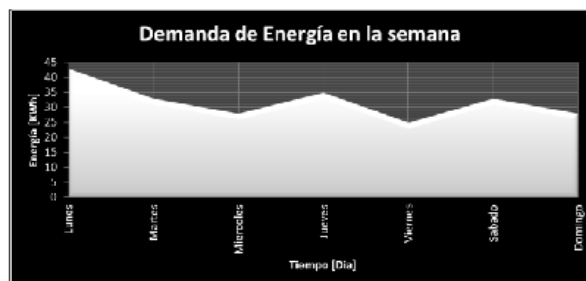
Fuente: elaboración propia.

Figura 13: Demanda proyectada de potencia por hora en hospital de Icononzo



Fuente: elaboración propia.

Figura 14: Demanda proyectada de energía semanalmente



Fuente: elaboración propia.

Con los datos de las Tablas 13 y 14 se realiza una proyección para saber el consumo mensual durante el año representado en la Figura 15.

Figura 15: Demanda proyectada de energía anualmente



Fuente: elaboración propia.

B. Proyección de consumo de energía del sistema no convencional

El sistema no convencional se propone utilizarlo durante el día, entre las 6:00 y las 17:00, y en la noche cuando se presenten cortes de energía en la red. Por lo tanto, el consumo proyectado queda de la siguiente manera (Tabla 15).

Tabla 15: Consumo proyectado de energía por equipo y factor de utilización

EQUIPOS	Potencia W	Cantidad de equipos	Total energía en hora kWh	Horas diarias de utilización	Total energía al día kWh	Total energía al mes kWh
Computador	100	5	0,5	8	4	120
Computador	100	3	0,3	24	7,2	216
Nevera	300	3	0,9	24	21,6	648
LED	15	30	0,45	24	10,8	324
LED	15	31	0,465	8	3,72	111,6
Ahorrador	6	4	0,024	3	0,072	2,16
Microondas	1000	1	1	0,5	0,5	15
Concentrador de oxígeno	500	1	0,5	5	2,5	75
Incubadora	300	1	0,3	0,1	0,03	0,9
Aire Acondicionado	900	1	0,9	24	21,6	648
Electrocardiograma	5000	1	5	1	5	150

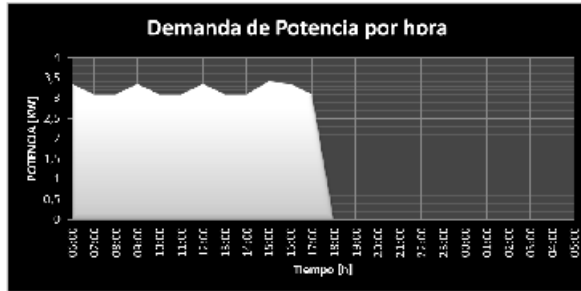
Total Promedio por hora kWh	3,2
Total al día kWh	38,4

Fuente: elaboración propia.

Realizando una discriminación por hora de cada equipo se obtiene la Figura 16.

Con los datos de las Tablas 16 y 17 se realiza una proyección para saber el consumo mensual durante el año representado en la Figura 18.

Figura 16: Demanda proyectada de potencia por hora en hospital de Icononzo



Fuente: elaboración propia.

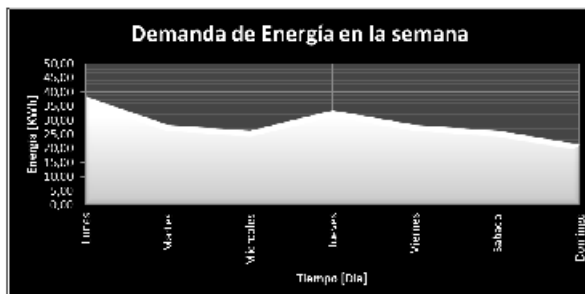
Con base en los datos anteriores y teniendo en cuenta la fluctuación del consumo actual, se realiza una proyección semanal obteniendo la siguiente (Tabla 16 y Figura 17).

Tabla 16: Consumo proyectado de energía semanal

MEDICIONES DE ENERGÍA CONSUMIDA DURANTE UNA SEMANA (kWh)						
Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
38,39	28,39	26,39	33,39	28,39	26,39	21,39
Total demanda kWh				202,8		
Total Promedio kWh				29,0		

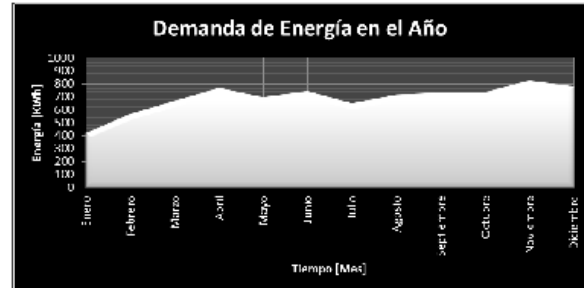
Fuente: elaboración propia.

Figura 17: Demanda proyectada de energía semanalmente



Fuente: elaboración propia.

Figura 18: Demanda proyectada de energía anualmente



Fuente: elaboración propia.

6. Dimensionamiento del sistema no convencional

Para poder realizar un dimensionamiento de los sistemas no convencionales se tuvieron en cuenta los datos obtenidos en las tablas 6 (densidad de energía eólica) y 9 (irradiación promedio) del estudio técnico, y adicionalmente la Tabla 15 (consumo proyectado por hora) de la proyección de consumo. Se calcularon los equipos para los dos recursos estudiados (solar y eólico). Los equipos más relevantes que se necesitan en un dimensionamiento para ambos sistemas son:

- Paneles solares
- Aerogenerador
- Regulador de tensión
- Banco de baterías
- Inversor DC/AC

A. Cálculo para el sistema con energía solar

Es necesario tener en cuenta el rendimiento de las baterías que se van a utilizar el cual es 95% según fabricantes y el rendimiento del regulador de tensión el cual es 90% según fabricantes, adicionalmente se recomienda sobredimensionar un 20% el consumo diario por seguridad. Con estas recomendaciones se procede a calcular los siguientes elementos utilizando las respectivas ecuaciones [12], [13]:

■ Dimensionamiento de los paneles

El consumo proyectado promedio es de 3.5 kW, aplicando los ajustes por regulación mencionados anteriormente obtenemos el siguiente valor de consumo medio de energía:

$$E_{media} = \frac{E_{pp} \times 1,2}{0,95} = 4,912 \text{ kWh}$$

Donde:

E_{pp} : Energía proyectada promedio

Una vez obtenido el valor de energía media se calcula la cantidad de paneles solares para suplir esta potencia. Los paneles más comunes son de 180W, para calcular el número de paneles necesarios utilizamos la siguiente ecuación:

$$n = \frac{E_{media}}{P_m \times HPS \times FF} \quad (14)$$

Donde:

P_m : Potencia de panel

HPS : Horas pico de brillo solar Tabla 10

FF : Factor de funcionamiento

$$n = \frac{4,912 \text{ kWh}}{180W \times 3,9 \times 0,9}$$

$$n \approx 8$$

Significa que se requieren ocho (8) paneles en paralelo. Como siguiente paso se calcula el consumo promedio en Amperios hora:

$$Q = \frac{E_{media}}{V_{baterias}} \quad (15)$$

$$Q = \frac{4912Wh}{24V} = 204,6Ah$$

La corriente que debe generar el módulo debe ser:

$$I = \frac{Q}{HPS} \quad (16)$$

$$I = 52,47A$$

■ Dimensionamiento de las baterías

Para dimensionar las baterías se debe tener en cuenta la máxima profundidad de descarga y el número de días de autonomía.

Por estándar entre fabricantes la profundidad máxima de descarga estacionaria es 70 %, la profundidad

máxima diaria es 25 %. El número de días de autonomía será de dos. La capacidad nominal de las baterías en función de la descarga máxima diaria es:

$$C(Wh) = \frac{E_{media}}{Fd} \quad (17)$$

$$C(Wh) = 19628 \text{ Wh}$$

$$C(Ah) = \frac{C(Wh)}{V_{bateria}} \quad (18)$$

$$C(Ah) = 818,16 \text{ Ah}$$

Capacidad nominal de las baterías en función de la descarga máxima estacional:

$$C(Wh) = \frac{E_{media} \times 2}{Fe} \quad (19)$$

$$C(Wh) = 14034 \text{ Wh}$$

$$C(Ah) = \frac{C(Wh)}{V_{bateria}} \quad (20)$$

$$C(Ah) = 584 \text{ Ah}$$

El banco de Baterías debe ser de 819Ah.

■ Dimensionamiento del regulador

En el cálculo del regulador Procedemos a calcular la máxima corriente de entrada y de salida de la siguiente manera:

Corriente de Entrada

$$I_{entrada} = 1,24 \times I_{panel} \times N_{panel} \quad (21)$$

$$I_{entrada} = 52,576$$

Donde:

1,24 es una constante de seguridad para protección del regulador otorgada por los fabricantes

I_{panel} : Es la corriente máxima que otorga cada panel, en este caso 5.3 A.

N_p : Es el número de paneles colocados en paralelo, en este caso ocho.

Corriente de Salida

$$I_{salida} = \frac{1,25 \times \frac{P}{n_{inv}}}{V_{baterias}} \quad (22)$$

$$I_{salida} = 165A$$

Donde:

1,24 es una constante de seguridad para protección del regulador otorgada por los fabricantes.

P : Es la potencia de las cargas = 3.5 Kw

n_{inv} : Es la eficiencia del regulador: 0.95

$V_{baterias}$: Es el voltaje de las baterías

Con estos datos se sabe que el regulador debe soportar 53 amperios a la entrada y 165 amperios a la salida.

■ Dimensionamiento del inversor

Para el cálculo del dimensionamiento del inversor solo se debe tener en cuenta la potencia de las cargas en corriente alterna que se vayan a utilizar con un factor de seguridad del 20 %.

$$P_{inv} = 1,2 \times 3,5kW = 4,2kW$$

Para este caso se necesita un inversor de 5kW con onda sinusoidal pura(PWM).

B. Cálculo para el sistema con energía eólica

Para un sistema con aerogenerador se requiere de igual manera que en el sistema solar un regulador de tensión, un banco de baterías y un inversor DC/AC, estos equipos no cambian de parámetros ni características, por lo tanto, solo es necesario calcular el aerogenerador que suplirá la función de los paneles solares.

■ Dimensionamiento del aerogenerador

Al igual que en el cálculo del para los paneles solares tenemos que el consumo proyectado promedio es de 3,5kW, aplicando los ajustes por regulación obtenemos el siguiente valor de consumo medio de energía:

$$E_{media} = \frac{E_{pp} \times 1,2}{0,95} = 4,912 kWh$$

Donde:

E_{pp} : Energía proyectada promedio

Una vez obtenido el valor de energía media se calcula el aerogenerador para suplir esta potencia. Este valor corresponde al valor de energía aprovechable por el aerogenerador. De las tablas 6 y 9 se obtiene el valor de densidad de energía crítico y se utiliza la ecuación 9 para hallar el área del aerogenerador.

$$EP = \frac{P}{A} * A * \eta * t$$

$$A = \frac{EP}{\frac{P}{A} * \eta * t}$$

$$A = \frac{4912 Wh}{\frac{270 W}{m^2} * 0,3 * 1h} = 60,64 m^2$$

Ahora se calcula el radio del rotor

$$r = \sqrt{A/\pi} = 4,39 m \quad (23)$$

Con estos datos se requiere un aerogenerador con un rotor de diámetro de 8m aproximadamente.

7. Conclusiones

Extrayendo los datos de las tabla 6 y 9 se puede comparar los dos tipos de energías estudiadas y se observa que el sol aporta en promedio al año un 90 % más energía aprovechable en esta zona que el viento, así como se observa en la Tabla 17.

Tabla 17: Comparación de energía aprovechable

TIEMPO (Meses)	ENERGÍA SOLAR (kWh/m ²)	ENERGÍA EÓLICA (kWh/m ²)	VARIACIÓN
Enero	4,7	0,345	93%
Febrero	4,5	0,35	92%
Marzo	4,6	0,35	92%
Abril	3,9	0,3	92%
Mayo	3,8	0,42	89%
Junio	4	0,45	89%
Julio	4,5	0,48	89%
Agosto	4,2	0,512	88%
Septiembre	4	0,512	87%
Octubre	3,9	0,34	91%
Noviembre	3,7	0,3	92%
Diciembre	3,6	0,27	93%

Fuente: elaboración propia.

Para generar la potencia que necesita el hospital utilizando energía solar se requieren cuatro paneles solares con un precio total de \$2.541.000, si se utiliza energía eólica se requiere un aerogenerador con un precio de \$7.500.000. Esto quiere decir que el costo por energía solar es 70 % menos que el costo por energía eólica. Con la propuesta de cambiar la iluminación por tecnología LED el consumo por concepto de iluminación pasa de 6.4kWh a 0.77kWh, esto quiere decir que se tiene un ahorro del 82 % en la facturación. Adicional al ahorro del 82 % mencionado, el sistema no convencional brinda una disminución del 50 % en el nuevo consumo, lo que significa que se tiene un 6 % mas de ahorro dando una disminución total del 94 % en la facturación de energía. El costo total del proyecto es de \$13.079.500, con la disminución del 94 % en la facturación de energía se calculó un periodo de retorno de inversión de 29 meses, y a partir del mes 30 se calcula una ganancia mensual

promedio de \$1.833.572. Estos datos muestran que la implementación de la energía solar en el hospital es una excelente opción no solo para reducir costos, sino también para aportar una disminución a la contaminación del planeta.

Referencias

- [1] Industria Petrolera, “Variación del Precio del petróleo anualmente” 2014, agosto, [En línea]. Disponible en: <http://www.preciopetroleo.net/petroleo-hoy.html>
- [2] CIDET, “Disposición del RETIE para instalaciones hospitalarias”. RETIE: artículo 41° requisitos para instalaciones hospitalarias, 2014, abril.
- [3] J.A. Acosta, “Sistemas de alimentación ininterrumpida (SAI) de c.c” Universidad De La Salle, 2007, abril.
- [4] J.M. González H. “Análisis de grupo electrógeno, UPS y sistemas de transferencia automática en un hospital tipo del IMSS de la red del país”. Tesis Universidad Nacional Autónoma de México, 2012.
- [5] J.M. Núñez G. “Evaluación y diagnóstico del sistema eléctrico del Hospital Provincial General de Latacunga”. Universidad Politécnica Nacional, 2011, abril.
- [6] Dinero, “Uso de energías renovables. Bogotá”. 2014, marzo, [En línea]. Disponible en: <http://www.dinero.com/pais/articulo/energias-renovables-colombia/196062>
- [7] Comisión de instrumentos y métodos de observación. 2014, julio, [En línea]. Disponible en: ftp://ftp.wmo.int/Documents/PublicWeb/mainweb/meetings/cbodies/governance/tc_reports/spanish/pdf/WMO947-S.pdf
- [8] C. Costa P., M. Henríquez D. y J.F. Ruiz M, “Atlas del viento”. Capítulo I y IV11. UPME -Ministerio de minas y energía. 2014.
- [9] J. Segales T. “Diseño, Cálculo y verificación de un aerogenerador”. Universidad Politécnica de Catalunya. Enero 2011.
- [10] J. González V. “Energías renovables”, Editorial Reverté, Cap. 4. Barcelona España, 2009.
- [11] C.A. Flórez P., A. Rodríguez H., H. J. Zapata L., I. Concha P., L. C. Romero R. y D. R. Vesga A, “Atlas de Radiación Solar de Colombia. Cantidad de horas que se ve brillar el sol en Colombia”. 2014. UPME.
- [12] D.R. Vesga A., “Atlas de Radiación Solar de Colombia. Cantidad de energía solar generada por metro cuadrado en Colombia”. UPME. 2014.
- [13] R.E. Román, “Formulación y evaluación de proyectos industriales”. Universidad Distrital Francisco José de Caldas: Fondo de publicaciones, 2014.