EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DEL USO DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN EL CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD ICESI

ANA LUCÍA MÉNDEZ NIETO
CAMILO RIVERA ARAGÓN

UNIVERSIDAD ICESI
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
SANTIAGO DE CALI
MAYO 2015

EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DEL USO DE LA ENERGÍA SOLAR EN EL CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD ICESI

ANA LUCÍA MÉNDEZ NIETO
CAMILO RIVERA ARAGÓN

Proyecto de Grado para optar el título de Ingeniero industrial

TUTORA:
KATHERINE ORTEGÓN Ph.D

UNIVERSIDAD ICESI
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
SANTIAGO DE CALI
MAYO 2015

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN....10
INTRODUCCIÓN....11
1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA....12
1.1 CONTEXTO DEL PROBLEMA....12
1.2 ANÁLISIS Y JUSTIFICACIÓN....13
1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA....15
2. OBJETIVOS....17
2.1 OBJETIVO GENERAL....17
2.2 OBJETIVO DEL PROYECTO....17
2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS....17
3. ALCANCE Y DELIMITACIÓN....18
3.1 ALCANCE....18
3.2 DELIMITACIÓN....18
4. ESTRATEGIA METODOLÓGICA....19
4.1 METODOLOGÍA....19
5. MARCO DE REFERENCIA....21
5.1 ANTECEDENTES....21
5.1.1 Antecedentes a nivel nacional....21
5.1.2 Antecedentes a nivel internacional....25
5.2 MARCO TEÓRICO....31
5.2.1 Energía solar....31
5.2.2 Factores que afecta la radiación solar incidente y componentes....32
5.2.4 Configuración de la instalación....36
5.2.5 Dimensión de la instalación....38
5.2.6 Estudio de sombras....45
5.2.6 Inclinación de los paneles fotovoltaicos....47
5.2.7 Distancia entre paneles fotovoltaicos....49

5.2.8 Mantenimiento....50
5.3 APORTE INTELECTUAL....52
6. SELECCIÓN DE UBICACIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN....54
6.1 SELECCIÓN DE UBICACIÓN DE LA INSTALACIÓN....54
6.2 CONFIGURACIÓN DE LA INSTALACIÓN....58
6.3 DIMENSIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN....58
6.3.1 Análisis de demanda....58
6.3.2 Evaluación del aporte del sistema fotovoltaico....64
6.3.3 Componentes del sistema....68
6.3.4 Estudio de sombras....69
6.3.5 Inclinación de los paneles del sistema fotovoltaico....72
7. SELECCIÓN DE PROVEEDOR Y FINANCIAMIENTO....73
7.1 SELECCIÓN DE PROVEEDOR....73
7.2 DIMENSIONAMIENTO ACORDE A PROVEEDOR....76
7.3 FINANCIAMIENTO....77
8. EVALUACIÓN DE IMPACTO ACADÉMICO, AMBIENTAL Y ECONÓMICO....79
8.1 IMPACTO ACADÉMICO....79
8.2 IMPACTO AMBIENTAL....83
8.3 IMPACTO ECONÓMICO....86
9. PROPUESTA CONSOLIDADA....95
10. CONCLUSIONES....96
11. RECOMENDACIONES....99
BIBLIOGRAFÍA....115

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Costos de la energía solar desde 1980 hasta 2012. 13
Ilustración 2. Diagrama de causas y consecuencias. 16
Ilustración 3. Paneles solares en el techo del Centro de Investigación de la Universidad Jorge Tadeo Lozano. 22
Ilustración 4. Equipos del laboratorio de energías renovables de la Universidad de la Costa. 22
Ilustración 5. Laboratorio de energía solar EPSA. 23
Ilustración 6. Vista de los paneles solares instalados la Pontificia Universidad Católica de Chile. 25
Ilustración 7. Vista de los paneles solares en la terraza de la Facultad de Informática de la UNLP. 26
Ilustración 8. Vista del sistema de paneles solares en la Universidad de Boulder Colorado. 27
Ilustración 9. Paneles solares en la Delaware Field House. 28
Ilustración 10. Vista de los paneles de la UVM. 29
Ilustración 11. Espectro solar terrestre. 31
Ilustración 12. Componentes de la radiación solar. 33
Ilustración 13. Funcionamiento Celdas. 35
Ilustración 14. Sistema aislado. 36
Ilustración 15. Esquema para las cargas que necesitan corriente continua. 37
Ilustración 16. Esquema para las cargas que necesitan corriente alterna. 37
Ilustración 17. Sistema conectado a red. 37
Ilustración 18. Ejemplo de sistema híbrido de energía fotovoltaica y eólica. 37
Ilustración 19. Ondas senoidal pura y modificada. 44
Ilustración 20. 47
Ilustración 21. Ángulo óptimo de inclinación del módulo fotovoltaico. 48
Ilustración 22. Distancia mínima ente módulos. 49
Ilustración 23. Mapa posibles zonas de Instalación. 55
Ilustración 26. Medidas Cubierta puente B al C. 56
Ilustración 24. Vista desde salones del tercer piso edificio C. (Ospina, 2015) 56
Ilustración 25. Vista superior desde pasillo del tercer piso edificio C. (Ospina, 2015) 56
Ilustración 27. Potencias 61
Ilustración 28. Ubicación del sistema fotovoltaico (Universidad Icesi) y Estación climatológica de Jamundí. 64
Ilustración 29. Promedio de radiación solar mensual años 2012, 2013 y 2014 67

Ilustración 30 69
Ilustración 31. Interfaz Sun or Moon Altitud/Azimuth Table (Astronomical Applications Department of the U.S. Naval Observatory) 70
Ilustración 32. Gráfica retorno de la inversión en escenarios 1 y 2. 88
Ilustración 33. Retorno de la inversión en escenario 3 89
Ilustración 34. Flujo de fondos Escenario 1. 90
Ilustración 35. Flujo de fondos Escenario 2. 91
Ilustración 36. Flujo de fondos Escenario 3. 92
Ilustración 37. Escenario para una TIR de 18,2% 92

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. 39
Ecuación 2 39
Ecuación 3. 39
Ecuación 4 40
Ecuación 5. 40
Ecuación 6 41
Ecuación 7 41
Ecuación 8 41
Ecuación 9 42
Ecuación 10 42
Ecuación 11 42
Ecuación 12 42
Ecuación 13 43
Ecuación 14 44
Ecuación 15 45
Ecuación 16 48
Ecuación 17 48
Ecuación 18. 60
Ecuación 19 60
Ecuación 20 61
Ecuación 21 65
Ecuación 22 87
Ecuación 23 89
Ecuación 24 93

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Ventajas y desventajas de las celdas fotovoltaicas 34
Tabla 2. Tabla compilatoria de antecedentes a nivel nacional 52
Tabla 3. Tabla compilatoria de antecedentes a nivel internacional 53
Tabla 4. Criterios de evaluación de las posibles zonas 54
Tabla 5. Tabla de evaluación de zonas 56
Tabla 6. Tabla de registro de consumo energético 59
Tabla 7. Cálculo de potencia de equipos 60
Tabla 8. Factor de potencia según International Efficiency Marking Protocol (Energy Star, 2008) 61
Tabla 9. Potencia de equipos 61
Tabla 10. Consumo energético en día # 6 62
Tabla 11. Demanda total diaria 62
Tabla 12. Demanda energética con factor de seguridad 63
Tabla 13. Especificaciones Estación climatológica de Jamundí 65
Tabla 14. Promedio de radiación solar mensual años 2012, 2013 y 2014 estación meteorológica de Jamundí 66
Tabla 15. Promedio de radiación solar años 2012, 2013 y 2014 66
Tabla 16. Altitud y Azimut Diciembre 21 71
Tabla 17. Características de los equipos de los proveedores 73
Tabla 18. Precios de los equipos de cada proveedor 74
Tabla 19. Cálculos dimensionamiento sistema fotovoltaico 74
Tabla 20. Evaluación de proveedores 75
Tabla 21. Componentes del sistema fotovoltaico 76
Tabla 22. Especificaciones de los paneles 76
Tabla 23. Otras características del sistema fotovoltaico 76
Tabla 24. Emisiones de CO_2 con energía eléctrica convencional 84
Tabla 25. Matriz impacto ambiental del proyecto 85

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Cronograma 100
Anexo B. Recursos 102
Anexo C. Tablas de referencia de cálculo de pérdidas de radiación solar por sombras 103
Anexo D. Tablas de registro diario de consumo energético en zona seleccionada 104
Anexo E. Datos Radiación Solar (CVC, 2012-2014) 108
Anexo F. Datos de la NASA de la radiación solar diaria en Jamundí 111
Anexo G. Proveedores contactados 112
Anexo H. Proyecciones Retorno de inversión 114

RESUMEN

El propósito de este proyecto es evaluar el potencial de desarrollo del uso de la energía solar en la Universidad Icesi, específicamente la implementación de un sistema fotovoltaico aislado que supla una demanda energética de la comunidad universitaria, con el fin de relacionarla con el uso de energías alternativas como la solar.

Inicialmente, se realizó una revisión teórica de proyectos similares llevados a cabo en otras instituciones educativas tanto a nivel nacional como internacional, y el marco teórico necesario para dimensionar un sistema fotovoltaico. Luego, se procedió a realizar el trabajo de campo, con el cual se concluyó que la zona más apropiada para realizar la instalación del sistema fotovoltaico es la Cubierta del puente entre edificios B y C, la cual representa una demanda energética de 1.579Wh diarios. En esta zona la radiación solar es de 3,9kWh/m^2, y realizando el respectivo estudio de sombras se determinó que el sistema debe ubicarse a 3,14m del edificio C, que los paneles deben tener una inclinación de 2°, y deben ubicarse a 3,2m entre sí. El estudio incluyó la selección del proveedor más apropiado, determinación del monto a invertir y posibles métodos de búsqueda de financiación. Finalmente se realizó el estudio del impacto académico, económico y ambiental.

En cuanto al impacto académico, este proyecto se constituye como un pilar para el desarrollo de otros proyectos relacionados con energías alternativas, desde distintos programas académicos, y de esta manera ser un motivador para la investigación de aplicación de tecnologías que permitan aprovechar los recursos naturales de forma razonable como energías alternativas que contribuyan al desarrollo sostenible de la región.

Respecto al impacto económico, este proyecto permitirá reducir el consumo energético de la red convencional, lo que implicará un ahorro monetario.

Y referente al impacto ambiental, la implementación y el uso de este sistema fotovoltaico permitirá reducir las emisiones de CO_2 en 215.549 gramos anuales, con lo cual se contribuye un poco al mejoramiento de las condiciones del medio ambiente.

Palabras claves: Energías alternativas, Energía solar, Sistemas fotovoltaicos.

INTRODUCCIÓN

La energía solar es una fuente energética renovable que se obtiene gracias a la radiación del Sol, el cual crea más energía en una hora que la que el mundo consume en un año. Esta energía alternativa cada vez se hace presente en más aplicaciones, no solo en los sectores agrícolas, industriales, entre otros, sino también en los sectores educativos.

Instituciones tanto a nivel nacional como internacional han comenzado a incursionar con estas energías alternativas en sus instalaciones. Sin embargo, la Universidad Icesi aún no cuenta con una aplicación de este tipo en su campus. Por lo tanto, en este proyecto se presenta la evaluación de la viabilidad de realizar la instalación de un sistema fotovoltaico, sus respectivos impactos, y la propuesta con las especificaciones de la misma.

Para ello, se estructuró el proyecto en 5 etapas, cada una correspondiente a los objetivos específicos. Primero, se presenta una síntesis de proyectos con energía solar en instituciones educativas en Colombia y en otros países como Estados Unidos, Argentina y Chile, y el marco teórico referente a energía solar y sistemas fotovoltaicos. Segundo, se muestra el proceso de selección de la zona más apropiada para realizar la instalación. Tercero, la evaluación técnica y financiera para la implementación del proyecto. Cuarto, la identificación de los diferentes impactos a nivel académico, económico y ambiental. Quinto, se presenta la propuesta consolidada del proyecto para realizar la instalación del sistema fotovoltaico en la universidad.

La universidad Icesi cuenta con un gran potencial en términos de radiación solar gracias a su ubicación geográfica. Con una radiación de 3,9 kWh/m^2, un sistema fotovoltaico aislado de 3 paneles de 250 W puede producir 725.985W en un año alcanzando a cubrir la demanda energética de 1.579Wh diarios perteneciente a la zona ubicada por debajo de la cubierta entre edificios B y C, altamente frecuentada por la comunidad universitaria, generando así repercusiones en el ámbito académico, reducciones en la emisión de CO_2, y ahorros monetarios para la universidad.

1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente, existen nuevas tecnologías en torno a energías alternativas, tales como los paneles solares, que aprovechan la energía fotovoltaica para convertirla en energía eléctrica. Debido a los altos costos de inversión que existían, la desinformación y falta de necesidades para incursionar en el tema existen pocos proyectos dentro de las instituciones educativas orientados a investigación de energía renovable. En el caso de la universidad Icesi, el recurso solar aún no se ha considerado como un elemento que contribuya a la sostenibilidad y reducción del consumo energético dentro del campus universitario. La ausencia del uso de estas nuevas tecnologías ha generado la necesidad de realizar un estudio que permita conocer la viabilidad de la implementación del uso de este tipo de energía dentro de las instalaciones de la universidad Icesi e incorporar así el uso de tecnologías sostenibles dentro de las actividades académicas y de investigación con el fin de generar un impacto positivo en el ámbito tanto académico como económico y ambiental para la comunidad Icesi.

1.1 CONTEXTO DEL PROBLEMA

La energía solar proviene de un recurso renovable, esto no solo la constituye como una alternativa sostenible frente a los sistemas tradicionales de producción energética, sino que también podría convertirse en una alternativa para la generación de energía eléctrica desde el punto de vista económico. Dicha tecnología puede ser aplicada en algunos sectores como el industrial y el educativo, así como para zonas rurales donde la disponibilidad eléctrica es variable o nula en algunos casos. El costo de los paneles solares ha decrecido en la última década y la tecnología ha cambiado, convirtiéndose estos en una alternativa un poco más accesible.

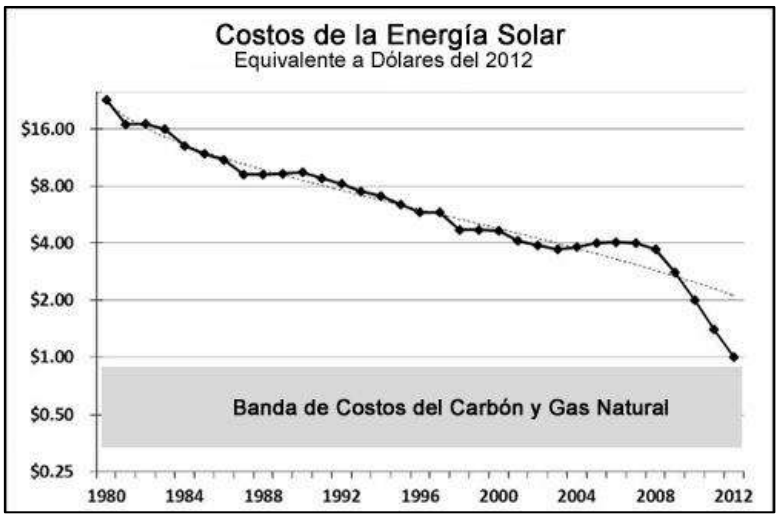
Dada la disponibilidad del recurso solar en nuestra región, se hace necesario entonces re-evaluar la posibilidad de la implementación de esta tecnología en el interior de la Universidad Icesi, permitiéndole ser una de las primeras instituciones educativas del sur occidente colombiano en realizar una instalación de esta tecnología. Así mismo, se busca que dicha implementación se haga en un área de la universidad que permita dar a conocer el proyecto, generando impacto y conciencia dentro de la comunidad educativa a nivel académico, económico y ambiental.

Actualmente, aunque algunas personas son conocedoras de la disponibilidad del recurso solar y de la posibilidad de generar a partir de él energía eléctrica, la implementación de su uso, mediante tecnologías como los paneles solares, no se observa muy a menudo en las infraestructuras de la ciudad, y es nula dentro del campus de la Icesi.

1.2 ANÁLISIS Y JUSTIFICACIÓN

Una primera causa identificada, son los altos costos que tenían los paneles solares y su instalación hace algunos años, complementando la situación, el acceso a la tecnología no había sido fácil, ya que para poder comprarla había que importarla lo que incrementaba aún más su precio. Debido a esto, los individuos no consideraban adquirirlos porque los costos de instalación y compra eran muy altos. Sin embargo, hoy en día los precios de estos paneles han disminuido considerablemente y lo más probable es que lo continuarán haciendo, debido al crecimiento de este mercado a nivel mundial. Como se muestra en la Ilustración 1, los costos de la energía solar han disminuido a lo largo de los años, en 1980 el costo de la energía solar era de $US 16/watt, y en 2012 llegó a $US 1/watt, acercando cada vez más su precio, a otra fuentes de energía contaminantes como el carbón y el gas natural. Otro ejemplo de esto, es que en Estados Unidos, del 2010 al 2013, disminuyó el costo de instalación de los paneles solares y su precio en un 5% y 50% respectivamente (Clover, 2013).

Ilustración 1. Costos de la energía solar desde 1980 hasta 2012.



Fuente: (DOE NREL Solar Market Report)

En el caso de Colombia, hasta el 2012 solo se habían instalado en el territorio nacional 78.000 paneles de los cuales el "57% está distribuido para aplicaciones rurales y 43% para torres de comunicación y señalizaciones de tránsito" (La República, 2012). Así, se observa la falta de aplicación tanto en el sector privado como público, en parte debido a la falta de conocimiento respecto a las ventajas de la misma y las nuevas políticas del estado que incentivan el uso de esta.

Así mismo, son muy pocas las empresas privadas e instituciones educativas motivadas a generar iniciativas para hacer implementaciones, sumándose a esta

situación, se encuentra el sector vivienda donde la mayoría de las aplicaciones están en las zonas rurales como se mencionó anteriormente.

Adicionalmente, los currículos profesionales universitarios en Colombia, en su gran mayoría, no incluyen formación en tecnologías de generación de energía renovable, en consecuencia, su desempeño laboral en temas de vanguardia puede verse limitado.

Es importante aclarar que cada día están surgiendo nuevas necesidades respecto a la búsqueda de alternativas para generar energía, situación que no se presentaba con tanta fuerza en el pasado. Tanto así, que el 13 de mayo de 2014, el Congreso de Colombia decretó la Ley 1715 de 2014, por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético de Colombia (Presidencia de la República de Colombia, 2014). Sin embargo aunque ya se están decretando leyes como la mencionada, las personas y las empresas no han explorado ampliamente este campo. Como consecuencia, existe poco aplicación de las energías renovables, además del poco desarrollo investigativo y académico en dicho tema.

Entonces, a partir de la experiencia de la implementación del uso de la energía solar mediante la instalación de paneles solares en la Universidad se busca incentivar a la población a considerar el uso de los mismos. De esta manera, las personas que tengan interés acerca de esta energía, tendrían la oportunidad de observar el funcionamiento de los paneles en el interior de la institución. Partiendo de que dicha tecnología supone ser sostenible, está llegando a las personas a menor costo, y cada vez hay más facilidades para adquirirla, se busca que las personas sean usuarias y promotoras de la misma.

Para lograr esto, se busca iniciar en el interior de la institución donde se están formando futuros profesionales, responsables de la sostenibilidad. La Universidad Icesi es considerada una de las 10 mejores universidades de Colombia (4ICU, 2014), pero no es líder, ni ejemplo para la sociedad respecto al tema de la sostenibilidad, sin embargo, se puede incentivar a la institución a generar una política clara, programas respecto a la sostenibilidad, y la inclusión de esta dentro de los valores de la institución educativa.

Si se planteara la posibilidad de generar dicha instalación en la Universidad Icesi, la cual es una de las instituciones educativas más reconocidas del suroccidente colombiano, se estaría proponiendo una iniciativa para la comunidad y para Colombia de utilizar el recurso solar como fuente de energía eléctrica en este tipo de lugares. Son pocas las instituciones que lo han llevado a cabo, y en el 2013 el *UI GreenMetric World Unversity Ranking 2013* destacó a 5 universidades colombianas por sus proyectos ambientales, entre ellos la Universidad de los Andes por hacer un parque solar que suple casi el 40% de la energía del complejo deportivo de la misma (El Tiempo, 2013).

Así, es realmente importante hacer tangible la aplicación de dicha energía en instituciones educativas, y buscar analizar su impacto académico para diferentes áreas del conocimiento. De esta forma, los futuros profesionales de diferentes carreras tendrían la posibilidad de experimentar y explorar el uso de la energía solar, y también poder considerarla para futuros proyectos de su disciplina de estudio. El proyecto busca ir más allá del Programa de Ingeniería Industrial, y generar conciencia a toda la institución, respecto a la importancia de la sostenibilidad y medio ambiente.

Aunque se han desarrollado avances, se considera que Colombia está un poco atrasada en el tema de energías alternativas ya que al 2012 solo se producía 6 MW (La República, 2012) versus países como Alemania y Estados Unidos que producen 32.411 y 7.777 MW (Shahan, 2012). Partiendo de dicha información, es evidente la necesidad nacional de empezar a incursionar más en la aplicación de energías alternativas, como lo es la energía solar, pero se considera aún más importante empezar a generar un impacto a nivel local.

Los beneficios de la implementación del uso de la energía solar en la universidad Icesi no serían sólo académicos, sino que darían lugar a impactos también de tipo económico y social dentro de la institución, debido a que se estaría generando un ahorro económico, una buena imagen de la universidad, responsabilidad con el medio ambiente, y consolidándose como ejemplo para otras instituciones respecto a la implementación de estas energías alternativas.

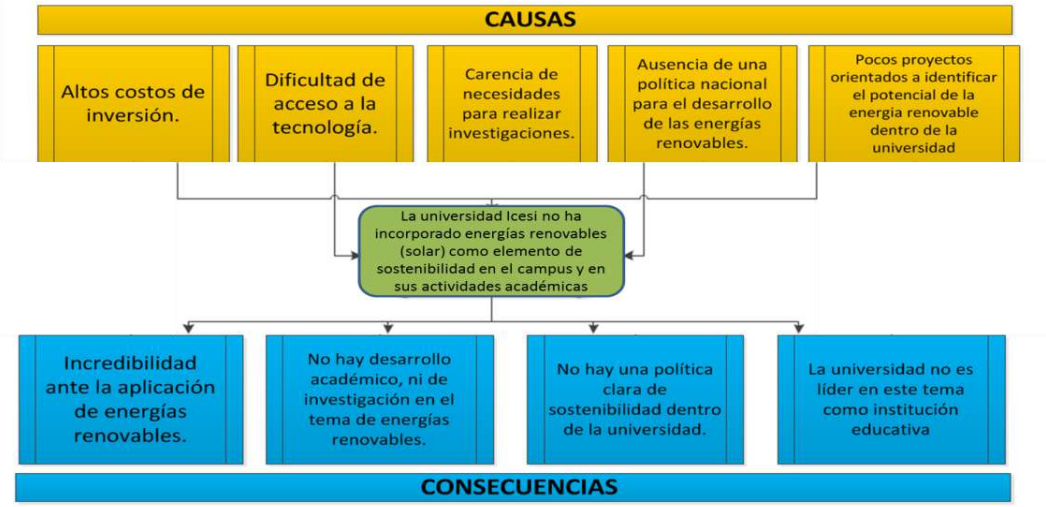
1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La Universidad Icesi no ha incorporado energías renovables, tales como la energía solar, como elemento de sostenibilidad en el campus y en sus actividades académicas.

A continuación en la

se presentan, la problemática (en verde), las causas mencionadas anteriormente (en amarillo), y las consecuencias (en azul) de la problemática identificada.

Ilustración 2. Diagrama de causas y consecuencias.



Fuente: Los Autores.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el potencial de desarrollo del uso de energía solar en la ciudad de Cali.

2.2 OBJETIVO DEL PROYECTO

Evaluar el potencial de desarrollo del uso de la energía solar fotovoltaica en el campus de la Universidad Icesi.

2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Revisar literatura acerca de proyectos de energía solar que se hayan llevado a cabo en instituciones educativas a nivel nacional e internacional.
- Evaluar y seleccionar la zona más apropiada dentro del campus de la Universidad Icesi para hacer la implementación.
- Evaluar técnica y financieramente la adquisición de energía fotovoltaica.
- Evaluar el impacto de la implementación del uso de la energía solar en el campus a nivel económico, ambiental y académico, y hacer las respectivas conclusiones y recomendaciones respecto a esta.
- Realizar una propuesta de instalación de los paneles solares dentro de la Universidad Icesi.

3. ALCANCE Y DELIMITACIÓN

3.1 ALCANCE

El alcance de este proyecto va enfocado a dejar planteada una propuesta de instalación de paneles solares en la universidad, de tal forma que sea visible para la comunidad universitaria el uso de energías renovables.

Dicha propuesta estará encaminada a una instalación que permita a la comunidad poder aprovechar la energía generada por los paneles. Esto será en una zona en la universidad, donde el personal de la comunidad pueda cargar sus dispositivos electrónicos mediante la energía eléctrica, transformada a partir de la energía solar recibida por los paneles.

3.2 DELIMITACIÓN

El proyecto se realizará en un período de dos semestres académicos, comprendidos entre agosto de 2014 y mayo de 2015.

La zona para la cual se realizará la propuesta estará dentro de las instalaciones de la Universidad Icesi.

Para proponer las fuentes de los recursos financieros necesarios para la implementación de la propuesta, se realizará una búsqueda de entidades interesadas en invertir en este tipo de proyectos relacionados con energías renovables en instituciones, así los recursos monetarios provendrán de entidades que brinden apoyos y/o patrocinios para la implementación del uso de la energía solar en la universidad.

4. ESTRATEGIA METODOLÓGICA

4.1 METODOLOGÍA

La metodología del proyecto se plantea por objetivos. Cada uno de los cinco objetivos establecidos tiene asociadas unas actividades críticas y unas metodologías específicas, que se realizarán también de acuerdo al cronograma desarrollado.

Nº	Etapa del Proyecto	Actividades críticas	Metodologías Específicas
1	Revisión de literatura acerca de proyectos de energía solar que se hayan llevado a cabo en instituciones educativas a nivel nacional e internacional.	Búsqueda de fuentes fidedignas de información acerca de estudios o aplicaciones relacionadas con el proyecto.	• Realizar búsqueda en bases de datos o en fuentes de instituciones educativas. • Escoger el material informativo relevante. • Revisar minuciosamente el material informativo escogido. • Registrar la información encontrada e identificar la importancia que esta tiene dentro del proyecto, teniendo en cuenta también el aporte intelectual a realizar.
2	Evaluación y selección de la zona más apropiada dentro del campus de la Universidad Icesi para hacer la implementación.	Establecer los criterios y hacer rubrica de evaluación para escoger la mejor zona.	• De acuerdo a los criterios establecidos, escoger la zona más adecuada.
3	Evaluación técnica y financiera de la adquisición de energía fotovoltaica.	Registrar la demanda energética a suplir, durante un mes.	• Buscar información de la radiación solar en la zona sur de la ciudad de Cali. • Establecer la demanda energética de la zona escogida haciendo la medición del consumo de energía eléctrica. • Establecer como mínimo tres opciones de proveedores para la compra de los paneles solares. • Buscar un socio estratégico o posibles patrocinadores para la financiación de la implementación. • Determinar el número de paneles y su configuración de instalación de acuerdo con la carga establecida.

			• Hacer costeo del proyecto (paneles, instalación, y mantenimiento).
4	Evaluar el impacto de la implementación del uso de la energía solar en el campus a nivel económico, ambiental y académico.	Medir los impactos económico, ambiental y académico.	• Hallar la cantidad de energía y dinero ahorrado con la implementación de paneles solares. • Hallar la disminución de emisiones de CO_2 , gracias al funcionamiento del sistema fotovoltaico. • Identificar alternativas de integración curricular del proyecto y medir el impacto en la comunidad universitaria. • Realizar las respectivas conclusiones y recomendaciones de la implementación del uso de la energía solar con respecto a los impactos identificados.
5	Realizar una propuesta de instalación de los paneles solares dentro de la Universidad Icesi.	Presentar una propuesta consolidada del sistema fotovoltaico con todas sus características pertinentes.	• Realizar una síntesis de la investigación, con los principales aspectos.

5. MARCO DE REFERENCIA

A continuación se desarrollará el marco de referencia del proyecto. Este se compone de tres elementos. Primero, los antecedentes, los cuales tratan acerca de proyectos relacionados con energía solar que se han llevado a cabo en instituciones educativas, tanto a nivel nacional como internacional. Segundo, el marco teórico, en el cual se incluyen diferentes conceptos necesarios para entender cómo funciona la energía solar, las celdas solares, los tipos, la instalación de paneles solares, su respectivo mantenimiento y demás conceptos relacionados. Y tercero, el aporte intelectual, en el cual se realizará una comparación entre cada uno de los antecedentes para tener en cuenta los aspectos más relevantes y pertinentes en el proyecto.

5.1 ANTECEDENTES

5.1.1 Antecedentes a nivel nacional

Energías renovables en la universidad Jorge Tadeo Lozano (El Espectador, 2014)**.**

En el 2014 la universidad Jorge Tadeo Lozano ubicada en la ciudad de Bogotá, realizó la instalación de 24 paneles solares de 250W, que generarían 504kWh/mes, y que proporcionarían a la institución alrededor del 8% de la energía eléctrica requerida para el funcionamiento de los equipos del CIPI (Centro de Investigación en Procesos de Ingeniería), convirtiéndose en la institución educativa con la mayor producción de energía solar en Colombia, hasta ese momento.

La propuesta nace tres años atrás cuando los directivos buscan desarrollar un espacio para que estudiantes de diferentes carreras pudieran desarrollar investigaciones con los equipos necesarios y con consciencia de la importancia de la sostenibilidad ambiental. A raíz de esto, crearon conjunto a la instalación el "El CIPI, que es un espacio que pretende replantear los modelos pedagógicos para brindarles a los estudiantes una mayor formación práctica." (EL ESPECTADOR, 2014).

En el techo del edificio del Centro de Investigación se instalaron 33m^2 de paneles solares (Ilustración 3), y con ellos se busca mostrar a la ciudad de Bogotá que la energía solar sí es una vía posible para la sostenibilidad ambiental.

Ilustración 3. Paneles solares en el techo del Centro de Investigación de la Universidad Jorge Tadeo Lozano.

Fuente: (El Espectador, 2014)

Diseño e implementación de un laboratorio de energías renovables en la universidad de la Costa (Romero, 2013)

Este fue realizado por el programa de Energía Eléctrica de la Universidad de la Costa de Barranquilla y la Especialización de fuentes de energías renovables, y se ha orientado principalmente a la investigación aplicada y a la difusión de energías alternativas.

El laboratorio cuenta con 6 módulos fotovoltaicos de 135W marca Kyocera modelo KD135SX-UPU (Ilustración 4). Estos módulos son celdas solares de silicona cristalina cuyas características hacen que su instalación sea sencilla, fuerte y segura en condiciones ambientales severas. Estos módulos pueden ser conectados en serie y en paralelo logrando conexiones estándar de entre 12, 24 y 48 voltios.

Ilustración 4. Equipos del laboratorio de energías renovables de la Universidad de la Costa.

Fuente: (Romero, 2013)

Con estos módulos se realizan, entre otros, las siguientes prácticas:

Iluminación con lámparas leds y ventiladores del laboratorio, como elemento de aplicación de nuevas tecnologías de iluminación de baja potencia; desarrollo de diferentes prácticas de interconexiones para realizar mediciones en diferentes ángulos de aplicación dependiendo de la incidencia de la luz solar y de la posición del sol para medir la potencia máxima de salida de las celdas; e Interconexiones en serie y en paralelo para maximizar la potencia o el voltaje dependiendo del caso.

Así, mediante la implementación de este laboratorio, el programa de ingeniería eléctrica de la Universidad de la Costa ha ido alineándose con el enfoque de desarrollo sustentable de la institución y así mismo permitiendo la adquisición de nuevos conocimientos tanto para los estudiantes internos como para los visitantes procedentes de otras universidades, colegios y otras entidades.

EPSA puso en operación el laboratorio solar más grande de Colombia (Comunicaciones EPSA, 2014)

El proyecto desarrollado por colaboradores de EPSA, consiste en un sistema de 294 paneles solares instalados en la terraza del edificio de la compañía ubicado en Yumbo. (

Ilustración 5).

Ilustración 5. Laboratorio de energía solar EPSA.

Fuente: (Comunicaciones EPSA, 2014)

Los paneles solares o módulos fotovoltaicos son de tres tecnologías diferentes: 78 de Silicio Monocristalino, 72 Silicio Policristalino y 144 Silicio amorfo de capa delgada, distribuidos en grupos generadores de 20,67 kWp, 20,52 kWp y 20,45 kWp, respectivamente. En total producen alrededor de 6.227 kWh/mes.

El sistema de paneles solares está conectado a la red de suministro de energía del edificio, no acumula energía y aporta aproximadamente un 5% de la demanda del mismo. Cuenta con nueve inversores electrónicos monitoreados electrónicamente, los cuales acoplan la energía de los módulos a la red interna del edificio.

El laboratorio solar de EPSA es un gran ejemplo de motivación por la investigación en energías renovables como la energía solar fotovoltaica en la región del Valle del Cauca.

La Universidad Autónoma de Occidente le apuesta a las energías renovables (Mineducación, 2008)

La UAO realizó la instalación de la estación ambiental 'Weather Station Vantage pro2 Plus' en la terraza del edificio de aulas 3. Esta tiene como propósito poder registrar 20 variables ambientales (como radiación solar, humedad relativa, presión barométrica, dirección y velocidad del viento, temperatura, cantidad de lluvia, rayos ultravioleta, entre otras), generar pronósticos y bases de datos de carácter meteorológico

Actualmente, existe en la UAO el Grupo de Investigación de Energías (GIEN), el cual trabajó con EPSA en el proyecto *"diseño e implementación de un sistema solar fotovoltaico".* GIEN hizo un convenio con EPSA consistente en la instalación de una estación meteorología en la UAO, mientras GIEN realizaría el monitoreo, tratamiento de datos y asesoría (Universidad Autónoma de Occidente, 2014).

Mediante esta estación meteorológica, se han podido comparar datos con los obtenidos en la estación meteorológica de EPSA en Yumbo, y así poder contrastar las condiciones del sur de Cali Vs. Acopi-Yumbo.

Es de gran importancia contar con estas estaciones meteorológicas, ya que como afirma el Ingeniero Yury López "La única forma de desarrollar un proyecto es conocer el recurso natural".

5.1.2 Antecedentes a nivel internacional

La Pontificia Universidad Católica de Chile comienza instalación de paneles solares en edificios de campus San Joaquín (Villalon, 2014)

A través del uso de energías renovables, la Pontificia Universidad Católica de Chile, busca reducir la huella de carbono generada en sus operaciones, especialmente por el alto consumo de electricidad. Este proyecto es liderado por la Dirección de Infraestructura y la Escuela de Ingeniería de la Universidad.

La Dirección de Infraestructura realizó la instalación de paneles solares en el techo del hall de la universidad (Ilustración 6), la capacidad instalada es de 9 kWp (Kilowatts peak: potencia pico) y la electricidad producida es incorporada al consumo de energía del edificio. Esta planta vende a la misma universidad dicha electricidad, y con el dinero recibido por esta venta se financian los costos de la instalación de los paneles, los cuales se estima que se terminarían de pagar en alrededor de 8 a 10 años.

Ilustración 6. Vista de los paneles solares instalados la Pontificia Universidad Católica de Chile.

Fuente: (Villalon, 2014)

La Escuela de Ingeniería realizó la instalación de los paneles solares en el edificio de los alumnos de ingeniería y su capacidad instalada es de 15,8 kWp. La electricidad generada por los paneles se introduce a la subestación del edificio. Estos paneles se financiaron mediante el apoyo de empresas y académicos de la misma Escuela.

Es de gran importancia la preocupación de instituciones educativas por reducir la huella de carbono generada, y el interés por reducirla mediante la aplicación de energías alternativas en sus instalaciones, tal como es el caso de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

Exitosa experiencia de la UNLP en el uso de energía solar (Universidad Nacional de la Plata, 2014)

La UNLP con su proyecto de paneles solares en sus instalaciones es la primera institución de educación superior de Argentina en utilizar energía sostenible para abastecer sus edificios.

El proyecto inició en 2013 y consiste en la instalación de 72 paneles solares en la terraza de la Facultad de Informática sobre una estructura de hierro, los cuales generan en total aproximadamente 17kWp (kilowatt pico). Los módulos son de silicio cristalino provenientes de Italia, formados por 60 celdas con medidas aproximadas de 1,7x1m.

En el mismo espacio de los paneles solares, se instaló también una estación meteorológica para medir temperatura, humedad, viento, lluvia, y además medir el nivel de radiación de los paneles y poder así controlar su rendimiento.

Como dijo Javier Díaz, decano de la Facultad de Informática "este proyecto, además de mostrar la viabilidad de una instalación para proveer energía limpia y sustentable, tiene un alto impacto educativo en los alumnos de la Facultad debido a que la instalación se ha realizado resaltando su visibilidad, el diseño de los paneles, la eficiencia energética y su relación con el clima a través de las mediciones realizadas con la estación meteorológica".

Ilustración 7. Vista de los paneles solares en la terraza de la Facultad de Informática de la UNLP.

Fuente: Universidad Nacional de la Plata, 2014

Proyecto de Paneles Solares- Boulder Colorado (Panasonic, 2013)

La Universidad de Boulder Colorado en Estados Unidos tiene como objetivo a corto plazo hacer de sus instalaciones un campus con energía verde, reduciendo el uso de energía y así mismo sus costos asociados; y además tienen como objetivo a largo plazo tener un campus carbón-neutral sin emisiones.

De acuerdo a lo anterior, se inició un proyecto en asocio con Panasonic, el cual consiste en la instalación de paneles solares fotovoltaicos que completan en su conjunto 500 kW de potencia. Su ubicación es sobre el suelo, al oriente del campus universitario, en el corazón del parque de investigación de 220 acres donde se encuentran el LASP (Laboratory for Atmospheric and Space Physics), la CASA (Center for Astrophysics and Space Astronomy) y el Edificio de Biotecnología de Jennie Smoly Caruthers, en cuyo suministro de energía participa la energía generada por el sistema de paneles solares (Ilustración 8).

Ilustración 8. Vista del sistema de paneles solares en la Universidad de Boulder Colorado.

Fuente: (Panasonic, 2013)

Este proyecto hace parte también de Soluciones Eco de Panasonic, quien construyó este sistema con apoyo de Lighthouse Solar, y fue financiado por RSB Funds (Renewable Social Benefit Funds) compañía de energías alternativas que trabaja con Panasonic para financiar los proyectos solares en territorios estadounidenses.

Es de resaltar en este proyecto su magnitud y la importancia de asocio con otras compañías multinacionales y empresas relacionadas e interesadas con el desarrollo e implementación de energías alternativas en este caso, en instituciones educativas.

Uso de energía solar en la Universidad de Delaware (UDaily, 2010)

El 16 de Agosto de 2010 la compañía Standar Solar, Inc. líder en la prestación de servicio, integración e instalación de sistemas eléctricos solares, anunció que instalaría un sistema solar en la Universidad de Delaware, ubicada en la ciudad de Newark al norte de Delaware, Estados Unidos.

Este sistema solar sería operado por Perpetual Energy Systems LLC (PES) un financiador de sistemas de energía renovable solar, y sería financiado por la clase senior del año 2009, que se ha destacado por sus iniciativas relacionadas con temáticas solares en el campus.

El sistema lo conforman 2.000 paneles, y con este completamente terminado se estima una producción de 1.035 millones de kWh de electricidad al año. "Con la implementación de este sistema se espera reducir en el año la emisión de dióxido de carbono en 1.323.433 libras, lo cual es equivalente a reducir el uso de 68.216 litros de gasolina cada año" (UDaily, 2010).

Los paneles serían instalados sobre tres edificios del campus principal de la universidad en Newark: en la Delaware Field House en el complejo atlético David Nelson (Ilustración 9), en el Clayton Hall y en el 461 Wyoming Road.

Ilustración 9. Paneles solares en la Delaware Field House.

Fuente: (UDaily, 2010)

La Universidad de Delaware inició su programa solar en 1970, y se observa que cada vez ha ido desarrollándose más y ha pasado a ser parte importante en la comunidad universitaria, que ha contribuido al crecimiento del mismo y que ahora, se interesa por llevar a cabo proyectos a una escala importante, dentro del campus, como el descrito anteriormente, y que genera también un impacto ambiental y social.

Proyecto de energía solar en la Universidad de Vermont (UVM, 2002)

Este es un proyecto colaborativo entre el Departamento de Planta Física y la Consejería de Medio Ambiente de la Universidad de Vermont, iniciado por el ingeniero del manejo de la energía en el Departamento de Planta Física, y desarrollado con aportes financieros y en especie por parte del Departamento Eléctrico de Burlington y el Departamento de Energía de los Estados Unidos. Los paneles fueron instalados por SolarWorks, Inc, de Montpelier, Vermont.

Los paneles se instalaron en el tejado orientado al sur de la Planta Central de Calefacción (Cage Central Heating Plant) de la Universidad de Vermont, ubicada en la ciudad de Burlington. Esta planta está situada cerca de la librería y la biblioteca de la universidad (

Ilustración 10). Los paneles se instalaron en este lugar debido a que es un sitio central dentro del campus, tiene gran flujo de personas transitando por este, es de gran visibilidad, presenta facilidades para la instalación y hace posible la supervisión del equipo de la planta.

Ilustración 10. Vista de los paneles de la UVM.

Fuente: (UVM, 2002)

La instalación consta de 48 paneles de 120 W fabricados por Astropower, Inc a partir de pastillas de semiconductores reciclados de la industria informática. Los paneles cubren 500 pies cuadrados de la azotea.

La producción de estos paneles en su conjunto total es de 5.760W de corriente continua bajo condiciones de prueba estándar (1.000 vatios/m^2), lo cual es suficiente para encender 250 las bombillas de 20 vatios cada una.

La salida de CA real puede variar dependiendo de factores como: neblina atmosférica, eficiencia del inversor y el ángulo solar incidente en determinada temporada.

Generalmente, en un día nublado el sistema produce entre 4 y 5 kW de electricidad de CA, en condiciones parcialmente nublados de 3 a 4 kW, y en un día nublado aproximadamente 1 kW o menos.

La energía generada por los paneles es empleada como ayuda en el suministro de energía de la Planta de Calefacción Central de la Universidad de Vermont, que paralelamente funciona con el sistema de energía eléctrica de la ciudad de Burlington.

Con la realización de este proyecto, se hace evidente el interés de la Universidad de Vermount por contribuir al mejoramiento del medio ambiente mediante la disminución de emisiones de dióxido de carbono en sus instalaciones.

5.2 MARCO TEÓRICO

5.2.1 Energía solar

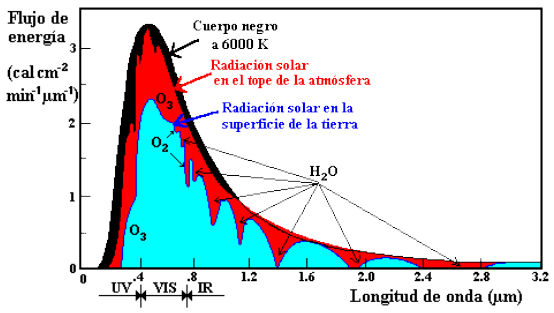
La energía solar es la fuente de energía que se obtiene de las radiaciones electromagnéticas provenientes del Sol, más conocidas como radiación solar. La fuente de toda la energía del sol se encuentra en el núcleo y esta se genera a partir de reacciones nucleares de fusión, debido a las condiciones extremas de presión y temperatura que se dan allí. (Sanchez, 2008). La energía de los rayos del sol se calcula mediante la siguiente ecuación de Planck:

$$E = hv \text{ , donde}$$

E: energía de los fotones (partículas de la radiación electromagnética)
h= constante de Planck= $6{,}625*10^{-34}$ J
v= frecuencia a la que oscilan los fotones o la frecuencia de las ondas de luz

La energía solar, dado que proviene de las radiaciones electromagnéticas, se emite en forma de ondas, y estas a su vez están conformadas por: radiación ultravioleta (UV), luz visible (VIS) y radiación infrarroja (IR). Estos componentes dan lugar al espectro solar terrestre (Ilustración 11), en el cual se representa gráficamente la variación de la energía solar (Flujo de energía) en función de la longitud de onda a escala logarítmica, y en el cual se puede distinguir también la emisión de cuerpo negro (objeto ideal que absorbe toda la energía que incide en él y no refleja ninguna), la radiación solar en el tope de la atmósfera, y la radiación solar en la superficie de la tierra.

Ilustración 11. Espectro solar terrestre.



Fuente: (Universidad de Jaén)

La energía que emite el sol, y de la que nos llega una cantidad tal, que si toda ella pudiera ser aprovechada, bastaría media hora de un día para satisfacer la demanda energética mundial durante todo un año (Sanchez, 2008).

5.2.2 Factores que afecta la radiación solar incidente y componentes

La radiación solar, cuya unidad de media es Wh/m^2 se debilita debido a la reflexión, difusión y absorción de la materia atmosférica cuando atraviesa la atmósfera, y luego de esto incide sobre la superficie de la tierra. Es por eso y otros factores que se mencionarán más adelante, que tanto la radiación emitida por el sol, la que incide en la atmósfera, y la que llega a la superficie terrestre no coinciden entre sí.

Los factores que afectan la radiación solar en la superficie terrestre son:

- Altitud: A mayor altitud sobre el nivel del mar, mayor será la intensidad de la radiación.

- Ángulo cenital: Es el ángulo que forma la dirección aparente del sol con la vertical local. Si la orientación es paralela a la dirección de incidencia, el flujo de radiación es cero, y si es perpendicular, el flujo de radiación es máximo.

- Albedo o radiación reflejada: Hace referencia a la fracción de radiación que una superficie refleja de acuerdo a la radiación incidente recibida. (Ilustración 12)

- Latitud: Es la distancia que hay desde un punto de la superficie terrestre al Ecuador. Los niveles de radiación solar son altos en las regiones tropicales en los meses de verano, mientras que los niveles de radiación solar son bajos en las regiones polares, aunque sea verano, debido a que la elevación del sol es poca.

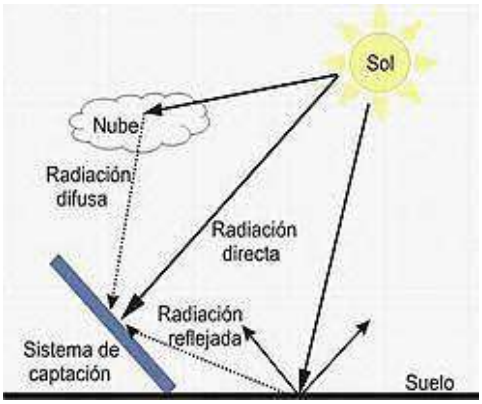
- Nubosidad: las nubes atenúan el espectro solar en la misma medida para todo el rango sin modificar ostensiblemente la estructura espectral. Generalmente, las nubes oscuras y más densas bloquean más la radiación solar que las blancas, o que la ausencia de cualquier nube. Sin embargo puede suceder que las nubes sean tan densas que la radiación incidente que llega a la superficie terrestre y es reflejada por ella hacia arriba sea

reflejada nuevamente por aquellas nubes, obteniendo así mayor radiación incidente sobre la superficie terrestre.

- Aerosoles: los aerosoles atmosféricos y estratosféricos, generalmente reducen la radiación incidente sobre la superficie de la tierra para ondas de larga longitud. Sin embargo el ozono estratosférico puede cambiar el camino óptico de los fotones, provocando un aumento de la radiación solar en la superficie generalmente para ondas de longitud corta.

De acuerdo a lo anterior se pueden distinguir 3 componentes de la radiación solar total incidente (Ilustración 12):

Ilustración 12. Componentes de la radiación solar.



Fuente: (Moreno, 2013)

- Directa: la que incide sobre cualquier superficie con un ángulo único y preciso.
- Dispersa: la que es desviada por agentes como partículas atmosféricas, gases, entre otros.
- Albedo: es la radiación que es reflejada por una superficie.

Así,

$$I_{total} = I_{Directa} + I_{Difusa} + I_{Albedo}$$ donde,

I_{total}: Es la radiación total solar incidente
$I_{Directa:}$ Radiación solar directa incidente
$I_{Difusa:}$ Radiación solar difusa incidente
$I_{albedo:}$ Radiación solar reflejada incidente

5.2.3 Celdas fotovoltaicas

La energía solar fotovoltaica es la transformación directa de la radiación solar en electricidad. (APPA). Dicha transformación se lleva a cabo mediante un proceso llamado *Efecto fotovoltaico* en celdas solares o fotovoltaicas, las cuales se montan en paneles. (Sanchez, 2008)

Las celdas fotovoltaicas son sistemas que convierten parte de la luz en energía eléctrica, en otras palabras son elementos que transforman la energía solar en electricidad sin algún tipo de pieza móvil o combustible.

A continuación se muestran algunas de sus ventajas y desventajas (Nelson, Introduction to renawable energy, 2011)

Tabla 1. Ventajas y desventajas de las celdas fotovoltaicas

Ventajas	Desventajas
• Alta confiabilidad • Bajos costos de operación • Modularidad • Bajos costos de construcción • No requiere agua en sus diferentes procesos.	• Altos costos iniciales • Variabilidad del recurso solar

Por lo anterior se puede concluir que son mas lo beneficios adquiridos por estos sistemas fotovoltaicos que las desventajas. Y respecto a las posibles desventajas en la ciudad de Cali la variabilidad del recurso solar se considera baja, información que será ampliada en el literal 6.

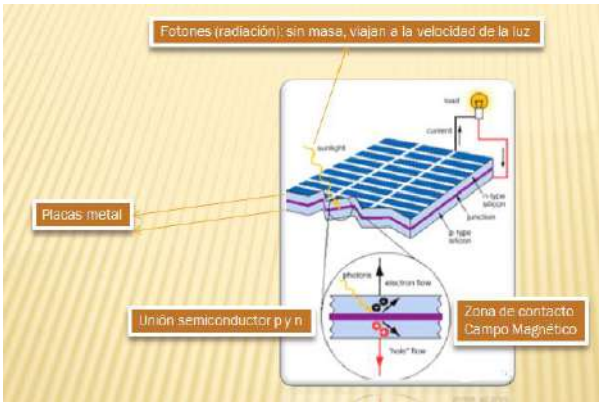
Funcionamiento

Una celda fotovoltaica se compone de silicio cristalino o arseniuro de galio (materiales semiconductores), y se mezclan con otros elementos para darles cargas positivas o negativas, y así lograr producir electricidad.
La celda se compone de dos placas metálicas, y la unión de dos semiconductores p y n, que al entrar en contacto dar lugar a la generación de un campo electromagnético (Ilustración 13).

Cuando los fotones (radiación), que viajan a la velocidad de luz, inciden sobre un semiconductor, genera que algunos de los electrones de la banda de valencia absorban energía de los fotones y se trasladen a la banda de conducción. De esta manera son transportados por medio de cables a un circuito externo, donde se

genera corriente eléctrica. Cuando los electrones se desplazan, se generan "huecos" en el material, considerados como una partícula de signo positivo, los cuales también se "mueven" como una corriente en sentido opuesto a la electrónica. El campo magnético en el sistema es generado por la unión de los semiconductores, y sirve para que los electrones y los huecos no se recombinen.

Ilustración 13. Funcionamiento Celdas.



Fuente: Los autores

La eficiencia de las celdas está alrededor del 7 al 17% en su funcionamiento a nivel teórico, pero este depende del tipo de celda que sea. Existen hasta el momento cuatro tipos de celdas:

- **Mono cristalina**: cristal único de silicio con grandes dimensiones que tienen una estructura ordenada, más costosas con una eficiencia del 10-12%.
- **Semi cristalina**: Puede disminuir efectividad con el tiempo del 10-11%.
- **Policristalino:** contiene varias regiones de silicio cristalino que se mantienen juntas a través de un enlace covalente, se consideran menos eficientes que las anteriores, dada su composición.
- **Amorfas**: También conocidas como paneles de película fina de energía solar. Funcionan similar a las de silicio, pero este se cambia por otros elementos que cumplen la misma función, el más eficiente es el arseniuro de galio de película fina.

En el funcionamiento de las mismas más del 55% de su energía no se utiliza, ya que esta se emana en forma de calor.

Para medir el desempeño de las mismas se tienen en cuenta los siguientes indicadores:

***Peak watt (Wp):** Máxima potencia bajo condiciones de laboratorio.

***NOCT:** Temperatura normal de operación de la celda.

***AMPM estándar**: Funcionamiento de la celda en un día con condiciones promedios de luz, temperatura, aire.

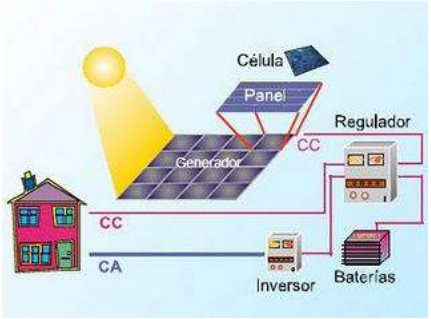
5.2.4 Configuración de la instalación

Las configuraciones que se realicen de los sistemas solares dependen del uso que se les vaya a dar y las condiciones del lugar donde se vaya a llevar a cabo la instalación.

Se distinguen tres tipos de configuración de instalación:

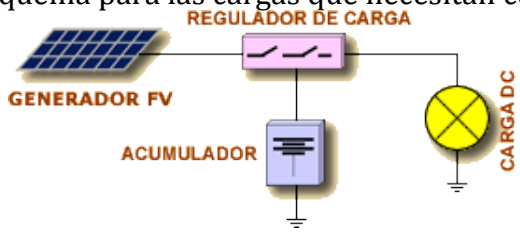
Sistemas aislados o autónomos (stand alone) (Ilustración 14**):** Son aquellos independientes de una red de distribución de electricidad. Este tipo de configuración de instalación se puede encontrar generalmente en zonas rurales, áreas aisladas, carreteras, sistemas de bombeo de agua, calculadoras, entre otros. Dentro de este tipo existen también sistemas con acumulación y sistemas sin acumulación. Los sistemas con acumulación cuentan con baterías que pueden suministrar corriente continua (Ilustración 15), alterna (Ilustración 16), o ambas simultáneamente. Y los sistemas sin acumulación sólo pueden suministrar electricidad cuando haya radiación solar. En este tipo de configuración de instalación el objetivo es garantizar el suministro de energía eléctrica.

Ilustración 14. Sistema aislado.



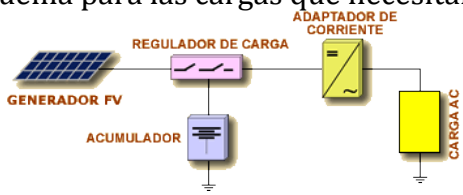
Fuente: (Sebastian, 2011)

Ilustración 15. Esquema para las cargas que necesitan corriente continua.



Fuente: (Hinojosa, 2011)

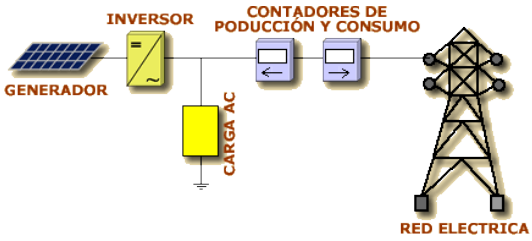
Ilustración 16. Esquema para las cargas que necesitan corriente alterna.



Fuente: (Hinojosa, 2011)

Sistemas conectados a red (grid connected) (Ilustración 17**):** Son aquellos sistemas solares fotovoltaicos que se conectan a la red de suministro de energía eléctrica. El inversor de estos sistemas difiere de los empleados en instalaciones aisladas ya que es necesario que estos conviertan la corriente continua producida por los módulos fotovoltaicos a corriente alterna sincronizada con la red eléctrica. Debe instalarse como mínimo un contador que mida la energía producida, el cual también servirá de base para la facturación.

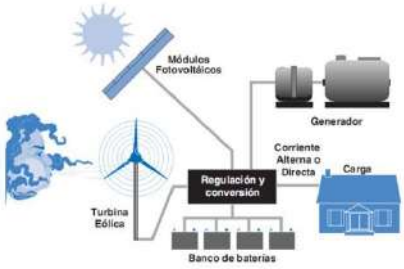
Ilustración 17. Sistema conectado a red.



Fuente: (Hinojosa, 2011)

- **Sistemas híbridos (**Ilustración 18**):** Son aquellos en los que además de la instalación del sistema de energía solar fotovoltaica, se instala otro sistema de energía, que puede ser de tipo renovable (eólico, hidráulico) o de tipo convencional (generador acoplado a un motor alimentado con gas natural, gasolina o fuel-oil)

Ilustración 18. Ejemplo de sistema híbrido de energía fotovoltaica y eólica.



Fuente: (DNETN MIEM)

5.2.5 Dimensión de la instalación

El proceso de dimensionado de estas instalaciones puede establecerse en tres pasos:

1. Calcular la demanda energética
2. Realizar la evaluación del aporte del sistema solar fotovoltaico
3. Cálculos número de paneles, número baterías, capacidad del inversor y del regulador

Lo anterior se realiza con base en los valores medios diarios de la demanda energética, la aportación del sistema solar y el rendimiento de la instalación.

- **Cálculo de la demanda energética**

El cálculo de la demanda energética puede realizarse mediante los siguientes pasos (Sanchez M. A., 2008):

1. Hacer un inventario de los equipos tanto de corriente alterna como de corriente continua a los cuales posiblemente se le suministrará la energía fotovoltaica.
2. Identificar la potencia y tiempo de uso diario para cada equipo.
3. Calcular el consumo de energía diaria total en kWh/día en cada tipo de corriente (alterna y continua)
4. Identificar los rendimientos de reguladores (ηreg) e inversores (ηinv), si se tienen.
5. Calcular el consumo total diario (Ed) en kWh/día mediante la siguiente ecuación:

$$Ed = \frac{Ecc}{\eta reg} + \frac{Eca}{\eta reg * \eta inv}$$

Ecuación 1.

Donde,

Ed= consumo diario total, en kWh/día
Ecc= consumo diario de energía en continua, en kWh/día
Eca=consumo diario de energía en alterna, en kWh/día
ηreg= rendimiento del regulador en tanto por uno
ηinv= rendimiento del inversor en tanto por uno

El consumo total diario (Ed) también se puede hallar así:

$Ed=$ Cantidad en uso de equipos* Potencia (W)* Horas de uso

Ecuación 2

6. Hallar el consumo mensual (kWh/mes) multiplicando el consumo diario por los días de utilización al mes.

- **Evaluación del aporte del sistema solar fotovoltaico**

1. Buscar una base de datos que permita conocer el valor medio de la radiación diaria en kWh/m^2 sobre la superficie horizontal de un lugar al menos cercano a donde se instalarán los paneles solares.

2. Si el lugar donde se instalarán los paneles cuenta con un ángulo de inclinación respecto a la horizontal, entonces debe hallarse nuevamente el valor medio de la radiación diaria mediante la siguiente ecuación:

$$R_\beta = R_0 * k_\beta$$

Ecuación 3.

donde,

β= ángulo de inclinación del panel fotovoltaico respecto a la horizontal
R_β= radiación media diaria en kWh/m^{2}día para una inclinación β
R_0= radiación media diaria sobre la superficie horizontal en kWh/m^{2}día
k_β=coeficiente corrector en función del ángulo de inclinación β.

3. Hallar las **horas de pico solar** (HPS), que consiste en el número de horas diarias en las que cada metro cuadrado de superficie captadora, obtiene de modo constante 1.000 W de energía.

   Los 1.000 W/m^2 son tomados como referencia de las Condiciones Estándar de Medida (CEM) que son:

   1kW/m^2 de radiación solar
   25ºC de temperatura de las células fotovoltaicas
   Incidencia normal
   La máxima potencia generada por los módulos fotovoltaicos en estas condiciones se mide en Wp (vatios pico) y se le denomina potencia nominal del módulo.

   Así, las HPS se calculan mediante la ecuación:

$$HPS\beta = \frac{R\beta}{I\beta(CEM)}$$

Ecuación 4

donde,

$HPS\beta$= horas de pico solar para una inclinación β
R_β= radiación media diaria en kWh/m^{2}día para una inclinación β
$I\beta(CEM)_=$ potencia de radiación incidente en kW/m^2 en CEM = 1kW/m^2

Luego, el valor numérico de las HPS y la R_β coinciden: $R_\beta = HPS_\beta$

4. Hallar para cada mes del año R_0, k_β, R_β y HSP_β.

5. Calcular la energía generada al mes por el sistema fotovoltaico. Para esta se emplea la siguiente ecuación:

$$E_{mes} = P_{nominal} * HPS_{\beta\ mes}$$

Ecuación 5.

donde,

E_{mes} = energía producida por el sistema fotovoltaico al mes
$P_{nominal}$= potencia nominal del sistema fotovoltaico
$HPS_{\beta\ mes}$ = horas de pico solar para una inclinación β en un mes

6. Identificar el mes menos favorable en términos de generación de energía.

7. Tener en cuenta los datos de dicho mes para realizar el dimensionamiento de las instalaciones.

- **Cálculos número de paneles, número baterías, capacidad del inversor y del regulador** (Alonso Lorenzo)

✓ Cálculos paneles

$$Número\ de\ paneles:\ N = \frac{Ed}{PP*HPS*FF}$$

Ecuación 6

Donde,

N: número de paneles
PP: Potencia del panel del proveedor
FF: Factor de funcionamiento del sistema (Eficiencia)

$$Número\ de\ paneles\ en\ serie:\ Nserie = \frac{Vbat}{Vpanel}$$

Ecuación 7

Donde,

N_{serie}: Número de paneles en serie
V_{bat}: Voltaje de la batería
V_{panel}: Voltaje del panel

$$Número\ de\ paneles\ en\ paralelo:\ Nparalelo = \frac{N}{Nserie}$$

Ecuación 8

- ✓ Cálculos Baterías

$$Capacidad\ necesaria\ de\ la\ batería: C = \frac{Ed*A}{E_{bat}*Vbat}$$

Ecuación 9

Donde,

C: Capacidad necesaria de la batería
A: Número de días de autonomía de la batería
E_{bat}: Eficiencia de la batería
V_{bat}: Voltaje de la batería

$$Número\ de\ baterías: B = \frac{C}{CP}$$

Ecuación 10

Donde,

B: Numero de baterías
CP: Capacidad de la batería del proveedor

- ✓ Cálculos regulador

$$Corriente\ de\ entrada\ al\ regulador: Ientrada = 1{,}25 * Ipanel * Nparalelo$$

Ecuación 11

Donde,

$I_{entrada}$: Corriente de entrada la regulador
1.25: Factor de seguridad para evitar daños ocasionados al regulador
I_{panel}: Corriente unitaria del panel fotovoltaico en condiciones de cortocircuito. Se usa esta corriente porque será la máxima corriente que podría ser generada por el panel fotovoltaico, y se tiene en cuenta para evitar pérdidas de rendimiento.

$$Corriente\ de\ salida\ del\ regulador: Isalida = \frac{1{,}25*Pcc + \frac{Pac}{\eta inv}}{Vbat}$$

Ecuación 12

Donde,

Isalida: Corriente de salida del regulador
Pcc: Potencia de las cargas en corriente continua
Pac: Potencia de las cargas en corriente alterna
ηinv: Rendimiento del inversor

- ✓ Cálculos inversor

$$Potencia\ del\ Inversor:\ Pinv = 1{,}2 * SD * Pac$$

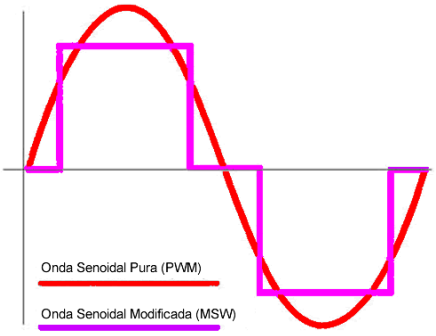
Ecuación 13

Donde,

Pinv: Potencia necesaria del inversor
1.2: Factor de margen de seguridad
SD: Sobredimensionamiento de la potencia. Esto se hace debido a que electrodomésticos y aparatos con motor tienen 'picos de arranque', por lo cual necesitan mayor demanda de potencia para su arranque, en ocasiones hasta 4 o 5 veces más de la potencia prevista.

Para seleccionar el inversor, se sabe que en el mercado hay inversores de onda senoidal pura (PWM) y de onda senoidal modificada (MSW). Se recomienda utilizar, siempre que sea posible, los de onda senoidal pura pues aunque generalmente son más costosos, evitarán problemas ocasionados por los de onda modificada con aparatos con motores.

Ilustración 19. Ondas senoidal pura y modificada.



Fuente: (Alonso Lorenzo)

Los inversores de onda senoidal pura (PWM), "imitan" la forma de onda que de la red eléctrica y en consecuencia es la mejor opción la alimentar los equipos eléctricos y electrónicos actuales.

- **Producción de energía anual del sistema fotovoltaico**

$$Producción\ Anual = HPS\ x\ N\ x\ Pp\ x\ n$$

Ecuación 14

donde,

N= número de paneles
Pp= potencia del panel solar bajo las condiciones a las que será sometido
n= número de días del año

5.2.6 Estudio de sombras

Para el aprovechamiento máximo de un sistema de energía solar, hay que hacer un análisis de la posible existencia de sombras en los paneles solares que se disponen a instalar.

Por lo general, los paneles no dejan de funcionar cuando son parcialmente sombreados hasta en un 15-30% de su superficie; esto reduce evidentemente su producción, sobre todo si las sombras se presentan en las horas centrales del día (entre las 9 de la mañana y 3 de la tarde).

Cálculo de sombras

Primero es necesario definir los parámetros que definen la posición del sol:

-Azimut (A): ángulo que forma la proyección de los rayos solares sobre un plano tangente a la superficie terrestre y el sur geográfico.

-Altura solar (h): ángulo que forman los rayos solares con la horizontal cuando llegan a la superficie de la tierra.

Para saber a qué distancia colocar los paneles de manera que determinado objeto no dé lugar a pérdidas de radiación solar por su sombra, se debe determinar el azimut y la altura solar al mediodía para el día menos favorable en términos de radiación solar, en el que la altura solar es mínima.

Una vez teniendo dichos valores, y conociendo las fechas y horas de los cálculos, se procede a conocer la altura de los objetos (I) que pueden generar sombra sobre el área de instalación.

Las sombras proyectadas se pueden calcular mediante la siguiente ecuación:

$$Sombra\ Proyectada = \frac{I}{\tan(radianes(\rho))}$$

Ecuación 15

Donde

I: Altura de los objetos que generan la sobra

ρ: Ángulo de la altitud correspondiente a determinada fecha y hora.

Cálculo de pérdidas por sombras mediante diagrama

Para el cálculo de pérdidas por sombras se puede emplear el método del diagrama de sombras. Este es un método de cálculo de las pérdidas de radiación solar que experimenta una superficie debidas a sombras circundantes. Tales pérdidas se expresan como porcentaje de la radiación solar global que incidiría sobre la mencionada superficie de no existir sombra alguna.

El procedimiento consiste en la comparación del perfil de obstáculos que afecta a la superficie de estudio con el diagrama de trayectorias del Sol.

Los pasos son los siguientes:

1. Localización de los principales obstáculos que afectan a la superficie, en términos de sus coordenadas de posición azimut (ángulo de desviación con respecto a la dirección Sur) y elevación (ángulo de inclinación con respecto al plano horizontal). Para ello puede utilizarse un teodolito.

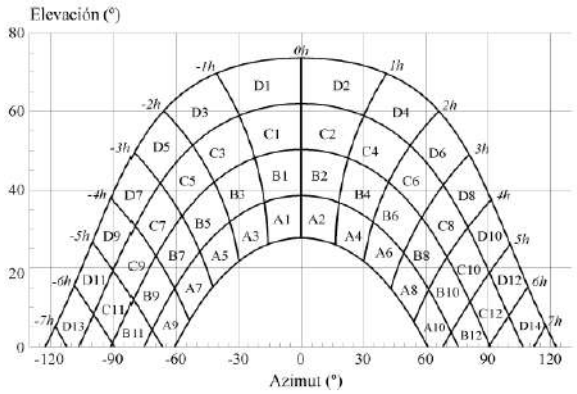
2. Representación del perfil de obstáculos en el diagrama de sombras. El diagrama de sombras Ilustración 20) es una representación gráfica del área sombreada por un elemento en el transcurso de las horas centrales del día, lo que permite tomar una decisión sobre la posición de los módulos sin tener problemas con las sombras del lugar estudiado.

El diagrama muestra la trayectoria del Sol, en el eje horizontal el azimut, y en el eje vertical la elevación o altitud. En el diagrama las curvas que delimitan son:

- 21 de Junio (Solsticio de verano en el hemisferio norte y de invierno en el hemisferio sur, cuando el sol alcanza la máxima declinación con respecto al ecuador terrestre, en el caso de Colombia, cuando el sol alcance la altitud máxima)
- 21 de Diciembre (Solsticio de invierno en el hemisferio norte y de verano en el hemisferio sur, cuando el sol alcanza la máxima declinación con respecto al ecuador terrestre, en el caso de Colombia, cuando el sol alcance la altitud mínima)

Las curvas se encuentran divididas en porciones, delimitadas por las horas solares (Negativas antes del mediodía solar y positivas después de éste) e identificadas por una letra y un número (A1, A2,..., D14).

Ilustración 20.



Fuente: (UCO)

3. Cada una de las porciones de la Ilustración 20 representa el recorrido del Sol en un cierto período de tiempo (una hora a lo largo de varios días) y tiene, por tanto, una determinada contribución a la irradiación solar global anual que incide sobre la superficie de estudio. Así, el hecho de que un obstáculo cubra una de las porciones supone una cierta pérdida de irradiación, en particular aquella que resulte interceptada por el obstáculo. Deberá escogerse como referencia para el cálculo la tabla más adecuada de entre las que se incluyen en el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**.

4. La comparación del perfil de obstáculos con el diagrama de trayectorias del Sol permite calcular las pérdidas por sombreado de la irradiación solar global que incide sobre la superficie, a lo largo de todo el año. Para ello se han de sumar las contribuciones de aquellas porciones que resulten total o parcialmente ocultas por el perfil de obstáculos representado. En el caso de ocultación parcial se utilizará el factor de llenado (fracción oculta respecto del total de la porción) más próximo a los valores: 0,25; 0,50; 0,75 ó 1.

5.2.6 Inclinación de los paneles fotovoltaicos

El ángulo óptimo de inclinación que se determina con el fin de lograr la mayor captación de energía solar por los módulos fotovoltaicos, está relacionado con los movimientos de rotación y traslación de la tierra en el sistema solar. Es bien conocido, que el desplazamiento total de la tierra alrededor del sol tiene una duración de un año sobre una órbita elíptica, y paralelamente rota sobre su propio eje durante un día. Así mismo, está relacionado con el ángulo de inclinación de la tierra en su eje polar, el cual está definido por 23,45° en el plano de su órbita con respecto al sol. (Álvarez, Izquierdo, Olmos, & Paternina, 2012)

Esta inclinación causa que el sol esté más alto en el cielo durante el verano que en el invierno.

El ángulo de desviación del sol respecto a la tierra en el plano ecuatorial es llamado declinación (δ). Si el ángulo resulta al Norte de la línea ecuatorial es positivo, si resulta al Sur es negativo, entonces en cualquier día del año la declinación se define como:

$$\delta = 23{,}45° * \text{sen}\ \frac{360 * (n - 80)}{365}$$

Ecuación 16

donde,

n= número de día del año de la declinación que se quiere conocer

Luego, el ángulo óptimo de inclinación de los paneles fotovoltaicos se calcula así:

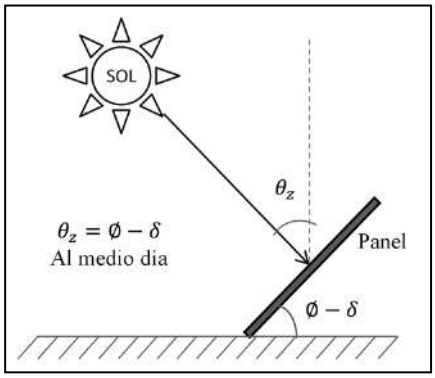
$$\alpha = \varphi - \delta$$

Ecuación 17

donde,

α= ángulo óptimo de inclinación del módulo
φ= latitud de la zona donde se instalaran los módulos
δ =declinación

Ilustración 21. Ángulo óptimo de inclinación del módulo fotovoltaico.

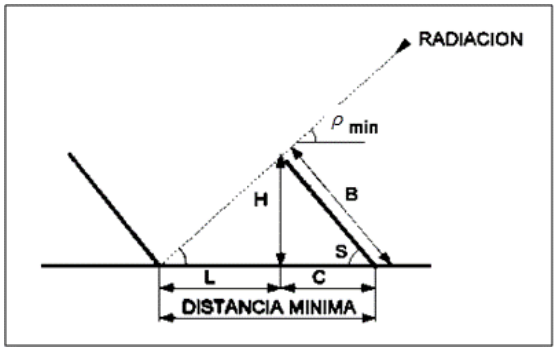


Fuente: (Álvarez, Izquierdo, Olmos, & Paternina, 2012)

5.2.7 Distancia entre paneles fotovoltaicos

Para tener menores temperaturas en los paneles, se busca que estos tengan cierta inclinación. Al tenerla, los paneles pueden presentar sombras entre ellos, y lo que se busca es conocer la distancia correcta para evitar sombras entre módulos.

Ilustración 22. Distancia mínima ente módulos.



Fuente: (Cleanergysolar.com, 2011)

Como se observa (Ilustración 22), la distancia mínima es la suma de dos longitudes:

1. Distancia ocupada por el panel.
   Calculada a partir del triángulo formado con la horizontal donde
   $$C = B \cos S$$

2. Distancia ocupada por la sombra del panel.
   $$L = \frac{B * sen\ S}{Tan\ \varphi min}$$

   Agrupando entonces las dos expresiones obtenidas se tiene que la distancia mínima entre módulos para evitar sombras es igual a:
   $$D\ min = C + L$$

donde,

B= Longitud del módulo
S= Ángulo óptimo de inclinación del módulo
ρ= Ángulo de la altitud mínima al medio día (del 21 de diciembre)

5.2.8 Mantenimiento

Para las instalaciones fotovoltaicas se recomienda realizar (Seccion HE5. Contribucion fotovoltaica minima de energia electrica):

a) Un plan de vigilancia: operaciones que permitan asegurar que los valores operacionales de la instalación son correctos. Es un plan de observación simple de los parámetros funcionales principales (energía, tensión etc.) para verificar el correcto funcionamiento de la instalación, incluyendo la limpieza de los módulos en el caso de que sea necesario.

b) Un plan de mantenimiento preventivo:

1. Operaciones de inspección visual, verificación de actuaciones y otros, que permitan mantener dentro de límites aceptables las condiciones de funcionamiento, prestaciones, protección y durabilidad de la instalación.
2. Debe realizarse por personal técnico competente que conozca la tecnología solar fotovoltaica y las instalaciones eléctricas en general
3. El mantenimiento preventivo ha de incluir todas las operaciones de mantenimiento y sustitución de elementos fungibles ó desgastados por el uso, necesarias para asegurar que el sistema funcione correctamente durante su vida útil.
4. Se recomienda al menos, una revisión semestral en la que se realizarán las siguientes actividades: comprobación de las protecciones eléctricas; comprobación del estado de los módulos: comprobar la situación respecto al proyecto original y verificar el estado de las conexiones; comprobación del estado del inversor: funcionamiento, lámparas de señalizaciones, alarmas, etc; comprobación del estado mecánico de cables y terminales (incluyendo cables de tomas de tierra y reapriete de bornas), pletinas, transformadores, ventiladores/extractores, uniones, reaprietes, limpieza.

Según el tipo de sistema solar fotovoltaico

- Para un sistema autónomo:

Mientras el sistema haya sido montando correctamente se recomienda hacer una revisión anual y un control periódico del estado de los acumuladores, ya que son los elementos de mayor cuidado en el interior de la instalación. Así mismo, se recomienda una vez al mes realizar la limpieza de los paneles y evitar la acumulación de polvo, o remover algún elemento que haya caído encima de estos.

La persona encargada del mantenimiento puede ser el usuario, y poder ejercer un control de la instalación. Más allá de la limpieza de los mismos, se necesita considera realizar la medición de la densidad del electrolito y revisar el estado de los conductores y empalmes.

- Para Instalaciones conectadas a red:

El mantenimiento a este tipo de sistema es mínimo, y siguiendo las recomendaciones de los sistemas autónomos se garantiza su funcionamiento, ya que estos no cuentan con partes móviles que se puedan desgastar, ni hay cambios de piezas.

Aunque normalmente la lluvia suele tener los paneles limpios, de nuevo se recomienda hacer una limpieza periódica para garantizar que no hay elementos que hayan caído sobre los paneles, o el polvo este disminuyendo la eficiencia de los mismos (puede llegar a ser hasta de un 5%).

5.3 APORTE INTELECTUAL

Dentro del marco de estudios que se están realizando a nivel regional con respecto a implementación de paneles solares, se vio la necesidad de realizar un compilado de los antecedentes encontrados tanto a nivel nacional como internacional, el cual contenga los datos más relevantes, y se pueda revisar la información de ellos de manera fácil y clara, y que también sirva como referencia para otros futuros proyectos.

Anterior a este proyecto, no existía esta herramienta, la cual surge a partir de la revisión bibliográfica realizada, y permite dar cuenta de qué, dónde, quiénes, cómo, y para qué se llevaron a cabo los proyectos en las demás instituciones.

Tabla 2. Tabla compilatoria de antecedentes a nivel nacional

Institución/ Año	Ciudad	Realizador/ Financiador	Cantidad de paneles/ Configuración	Lugar de instalación	Energía generada	Uso	Vista
Universidad Jorge Tadeo Lozano/2014	Bogotá	Centro de investigación de Proceso de Ingeniería/UJTL	24 / conectados a la red	Techo del edifico del CIPI	8% de los requerimientos del CIPI	Funcionamiento de los equipos del CIPI	
Universidad de la Costa/ 2013	Barranquilla	Programa de energía eléctrica y especialización E.R	6 de Silicona cristalina/ aislado	Laboratorio de energías renovables		Iluminación lámparas leds y ventiladores, prácticas de lab	
EPSA/2014	Yumbo	Colaboradores de EPSA	294 módulos Silicio monocristalino, policristalino y amorfo/ conectados a la red	Terraza del edificio de la compañía	6227 kWh/ mes (5% de energía que demanda el edificio)	Suministro energía a edificio	
Universidad Autónoma de Occidente/ 2006	Cali	Integrantes comunidad UAO	3 sistemas solares fotovoltaicos	Terraza del edificio de aulas 3		Labores académico-investigativas para conocer la radiación solar fotovoltaica	

Tabla 3. Tabla compilatoria de antecedentes a nivel internacional

Institución Educativa/Año	Ciudad /País	Realizador/ Financiador	Cantidad de paneles/ Configuración	Lugar de instalación	Potencia/ Energía generada	Uso	Vista
Pontificia Universidad Católica de Chile/2014	Santiago de Chile/ Chile	Dirección de infraestructura y Escuela de Ingeniería/venta y apoyos	Conectados a la red	Techo del hall de la Universidad y edificio de Ingeniería	9 Y 15,8 kWp (kilowatts peak= potencia pico)	Suministro energía a los edificios	
Universidad Nacional de La Plata/2013	La Plata/ Argentina	UNLP	72 paneles de silicio cristalino/ conectados a la red	Terraza de la Facultad de Informática	17 kWp	Suministro energía a edificio	
Universidad de Boulder, Colorado/2013	Colorado/ Estados Unidos	Panasonic/ Renwable Social Benefit Funds	Conectados a la red	Parque de investigación de 220 acres	500 kW	Suministro energía a edificios del parque	
Universidad de Vermount/ 2002	Burlington /Estados Unidos	Dpto de Planta Física y Consejería de Medio Ambiente / Dpto Eléctrico de Burlington y Dpto de Energía de EEUU	48 paneles de 120 watts/ conectados a la red	Tejado orientado al sur de la Planta Central de Calefacción	19 kWh/día	Suministro de energía a la Planta de Calefacción Central de la Universidad de Vermont	

Fuente: Los autores.

A partir de la información encontrada, se observa que en cuanto a los proyectos a nivel nacional dentro de instituciones educativas, estos se han empleado, en su mayoría, sólo con fines académicos dentro de laboratorios, tan sólo la Universidad Jorge Tadeo Lozano cuenta con una instalación de paneles conectados a la red de suministro de energía de un edificio. Mientras que a nivel internacional, se observa que generalmente los sistemas fotovoltaicos se encuentran conectados a una red de suministro energético, y están involucrados en el abastecimiento de energía de cierto recinto. Además los proyectos a nivel internacional son de mucha mayor magnitud que los de nivel internacional, y cuentan con el respaldo de entidades tanto gubernamentales como privadas.

6. SELECCIÓN DE UBICACIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN

6.1 SELECCIÓN DE UBICACIÓN DE LA INSTALACIÓN

Esta etapa se dividió en los siguientes pasos:

- Primero, se escogieron seis criterios para seleccionar las posibles zonas de instalación del sistema fotovoltaico (Tabla 4).

Tabla 4. Criterios de evaluación de las posibles zonas

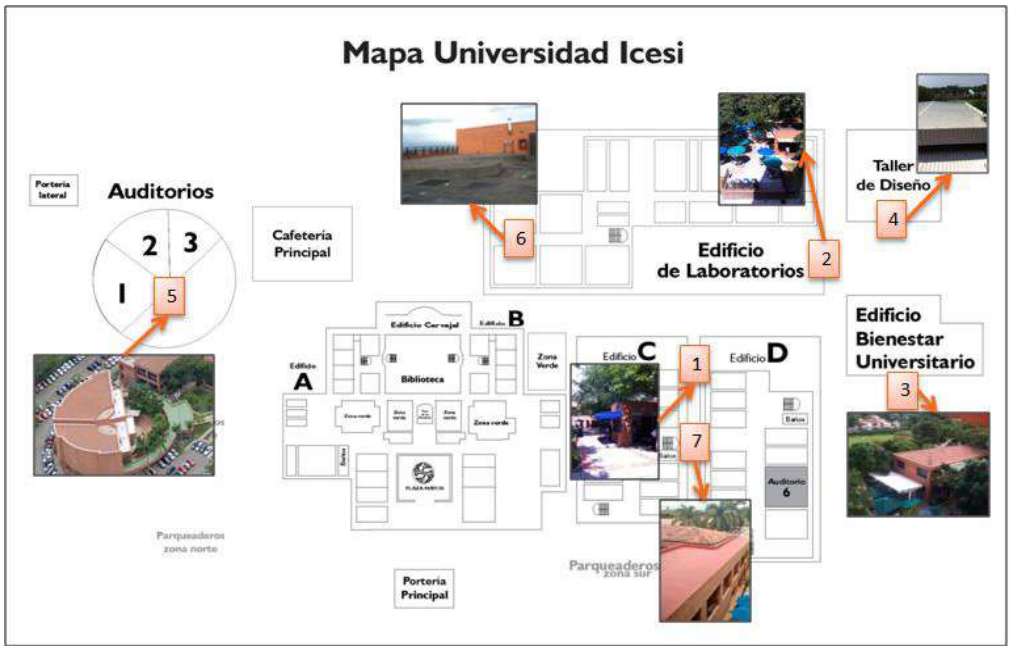
CRITERIOS DE EVALUACIÓN
1. Facilidad de instalación: Dada la infraestructura de la zona, posibilidad de realizar la instalación de equipos y cableados.
2. Espacio disponible: Capacidad en la zona en términos de espacio libre y área.
3. Visibilidad: Posibilidad de que la comunidad universitaria y visitantes observen la instalación y que los alrededores de la zona sean altamente transitados por las personas.
4. Sin Presencia de sombras: No hay sombras existentes en la zona que impiden el paso pleno de los rayos del Sol.
5. Fácil Acceso al lugar: Facilidad para que el personal realice mantenimiento y que otras personas puedan acceder a la zona.
6. Tipología del techo adecuada: Forma del techo propicia para realizar la instalación.

Fuente: Los autores

- Segundo, se identificaron las posibles zonas de instalación del sistema fotovoltaico, teniendo en cuenta los criterios escogidos y basadas en observaciones, según la viabilidad que presentan las aéreas del campus para la misma.

  Estas se muestran en el siguiente mapa de la vista superior de la Universidad Icesi, la cual está ubicada en las coordenadas 3°20'29"N 76°31'48"W:

Ilustración 23. Mapa posibles zonas de Instalación.



Fuente: (Universidad Icesi, 2012) y Los Autores

1	Zona comidas Wonka
2	Zona comidas La Plazoleta
3	Bienestar Universitario
4	Lab. Ing. Industrial
5	Terraza auditorios
6	Terraza edificio L
7	Cubierta del puente entre edificios B Y C

- Tercero, se determinó una puntuación del 1 al 3 según el cumplimiento de los criterios, siendo 1: no cumple con el criterio; 2: cumple parcialmente con el criterio; y 3: cumple completamente con el criterio. Y posteriormente, teniendo en cuenta lo anterior, se realizó la evaluación de cada zona (
- Tabla 5), pudiendo obtener finalmente un total de puntuación para cada una, y así seleccionar la más adecuada, que por el mayor puntaje obtenido fue la zona: **Cubierta del puente entre edificios B y C.**

Tabla 5. Tabla de evaluación de zonas

# DE ZONA	ZONA	CRITERIOS DE EVALUACIÓN						
		Facilidad de instalación	Espacio disponible	Visibilidad	Presencia de sombras	Acceso al lugar	Tipología del techo	TOTAL
1	Zona comidas Wonka	2	1	2	1	3	2	**11**
2	Zona comidas La Plazoleta	2	1	2	1	3	2	**11**
3	Bienestar Universitario	1	1	3	1	3	1	**10**
4	Laboratorio de Ingeniería Industrial	1	3	2	2	2	1	**11**
5	Terraza auditorios	3	3	1	2	1	3	**13**
6	Terraza edificio L	3	3	2	1	2	3	**14**
7	Cubierta del puente entre edificios B y C	3	2	3	3	1	3	**15**

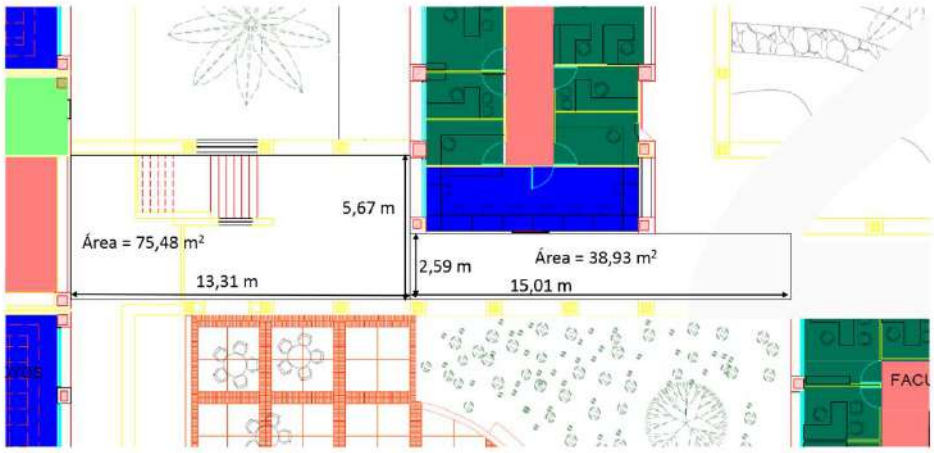
PUNTUACIÓN
1: No cumple con el criterio
2: Cumple parcialmente con el criterio.
3: Cumple completamente con el criterio

- Cuarto, se recopiló información de la zona seleccionada. A continuación se muestran ilustraciones de la zona (Ilustración 25 e Ilustración 24) y las medidas de la misma (Ilustración 26). Como se observa el techo de la zona es terraza, es un ático de mampostería con acabado de ladrillo, de losa de piso (losa Steel deck en concreto) y está cubierta con una estructura metálica.

Ilustración 25. Vista superior desde pasillo del tercer piso edificio C. (Ospina, 2015)

Ilustración 24. Vista desde salones del tercer piso edificio C. (Ospina, 2015)

Ilustración 26. Medidas Cubierta puente B al C.



Fuente: (Pineda, 2015), Arquitecta de la Universidad Icesi.

Como se mencionó anteriormente, se seleccionó la zona: **Cubierta del puente entre edificios B y C,** debido a que esta tiene ventajas comparativas con respecto a las otras zonas en términos de facilidad de instalación, espacio disponible, visibilidad, presencia de sombras, acceso al lugar, y tipología del techo.

6.2 CONFIGURACIÓN DE LA INSTALACIÓN

La energía generada por la instalación fotovoltaica será para uso de la comunidad universitaria y visitantes. Con esta, se quiere suplir la demanda energética que se presenta en los seis tomas de energía de la pared que separa la parte interna de la parte externa del cubículo rojo del primer piso inferior al puente entre los edificios B y C. En estos tomas de energía se conectan generalmente celulares, computadores portátiles y tablets.

Teniendo en cuenta lo anterior, la configuración de la instalación será un **sistema aislado**. Es decir será un sistema independiente de la red de distribución eléctrica de la universidad. Con este tipo de configuración se quiere que los consumidores de la energía generada por este sistema, puedan darse cuenta tangiblemente de las aplicaciones del uso de la energía solar, y así mismo motivarlos a usarla y a seguir generando aplicaciones de la misma.

6.3 DIMENSIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN

6.3.1 Análisis de demanda

Una vez seleccionada la zona de la Cubierta del puente entre el edificios B y C, se realizó un análisis de demanda energética teniendo en cuenta el consumo de energía que se presenta en el piso inferior a este puente, exactamente el consumo energético en los seis tomas de la pared que separa la parte interna de la parte externa del cubículo rojo del primer piso.

Para esto, se realizó la Tabla 6 en la cual se registraron durante 30 días del mes de enero de 2015 el consumo energético en esta zona.

Tabla 6. Tabla de registro de consumo energético

DÍA						
HORA	EQUIPO	CANTIDAD EN USO	POTENCIA (W)	HORAS DE USO	CONSUMO (Wh)	TOTAL CONSUMO FRANJA HORARIA (Wh)
7-9 A.M						
9-11 A.M						
11-1 P.M						
1-2 P.M						
2-3 P.M						
3-4 P.M						
4-5 P.M						
5-6 P.M						
				TOTAL CONSUMO Wh/día		

- Hora: se escogieron estas franjas horarias, ya que representan lo que dura cada clase en la universidad y donde se presentan los cambios de los estudiantes de un lugar a otro, generalmente. También se tuvo en cuenta la franja horaria de 1-2 P.M que es la del almuerzo libre para la comunidad universitaria. Y sólo se tuvo en cuenta hasta las 6 P.M debido a que después de esta hora se reduce considerablemente el flujo de personas por la zona, y el número de personas que cargan sus equipos allí es casi nula.

- Equipo: en este campo se registran los aparatos conectados, tales como celulares, computadores portátiles y tablets.

- Potencia:

Para el cálculo de la potencia de los equipos se realizo la siguiente tabla:

Tabla 7. Cálculo de potencia de equipos

CALCULO DE POTENCIA DE EQUIPOS								
Equipo	Marca del equipo	Voltaje de entrada (Vca)	Corriente de entrada (A)	Potencia Aparente (VA)	Φ	Factor de Potencia	Potencia Activa (W)	Potencia promedio (W)
Celular	IPhone	120	0,15	18	0,451027	0,9	16,2	21,6
	Samsung Galaxi	120	0,15	18	0,451027	0,9	16,2	
	Motorola	120	0,2	24	0,451027	0,9	21,6	
	LG	120	0,3	36	0,451027	0,9	32,4	
Tablet	Samsung	120	0,3	36	0,451027	0,9	32,4	40,5
	Lenovo	120	0,4	48	0,451027	0,9	43,2	
	Acer	120	0,5	60	0,451027	0,9	54	
	Titan	120	0,3	36	0,451027	0,9	32,4	
Computador	Toshiba	120	1,6	192	0,451027	0,9	172,8	156,6
	Samsung	120	1,5	180	0,451027	0,9	162	
	Hp	120	1,7	204	0,451027	0,9	183,6	
	Acer	120	1	120	0,451027	0,9	108	

*Equipos: se tomaron como referencia las marcas de los equipos más comunes en la comunidad universitaria.

*Voltaje de entrada (V): Este el voltaje de entrada al cargador en corriente alterna, la cual en Colombia es de 120 Vca.

*Corriente de entrada (I): Medido en amperios. Este dato se tomó de la información suministrada por los cargadores de los equipos.

*Potencia aparente (S): Medida en voltiamperios, se denota como S

$$S=V*I$$

Ecuación 18.

*Potencia Activa (P): medida en Watts. Representa realmente la potencia útil. Es la necesaria para realizar los cálculos de Wh en la zona.

*Potencia Reactiva (Q): medida en kVAR (kilo voltiamperios reactivos). No genera trabajo útil. Aparece en instalaciones eléctricas con bobinas o condensadores, y es necesaria para crear campos magnéticos y eléctricos en dichos componentes.

* Φ: Es el ángulo que relaciona la Potencia activa y la Potencia reactiva. Como se muestra en la Ilustración 27.

$$\Phi= \cos^{-1}(f.d.p)$$

Ecuación 19

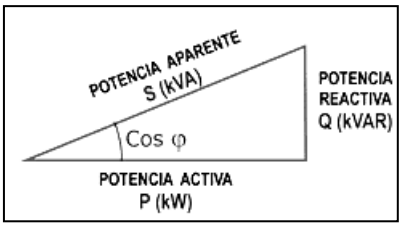


Ilustración 27. Potencias.

Fuente: (Álvarez J. A., 2005)

*Factor de potencia (f.d.p): Es la medida de la capacidad de una carga de absorber potencia activa. Se halla de la siguiente manera:

$$\text{f.d.p}=\frac{P}{|S|}= \cos(\Phi)$$

Ecuación 20

Sin embargo, como no se conocía ni S ni Φ previamente, entonces se optó por usar la convención internacional llamada International Efficiency Marking Protocol, la cual establece unos factores de potencia según el equipo, y esta información se encuentra en los cargadores de los mismos, mediante números romanos (Tabla 8).

Tabla 8. Factor de potencia según International Efficiency Marking Protocol (Energy Star, 2008)

Mark	Power Factor
I	Used if none of the other criteria are met.
II	Not applicable
III	Not applicable
IV	Not applicable
V	0,9
VI and higer	Reserved for future use.

Luego, se observó que en los cargadores de los equipos estudiados se clasificaba con la marca V, lo que da lugar a un factor de potencia de 0,9.

*Potencia promedio: una vez teniendo los valores de la potencia activa para cada equipo, la cual se halló con base en la Ecuación 20 (de donde P= S*f.d.p), se procedió a hallar un promedio de potencia activa (Tabla 7) para cada tipo de equipo (celulares, tablets y computadores).

Tabla 9. Potencia de equipos

EQUIPO	POTENCIA (W)
Celular	21,6
Tablet	40,5
Computador	156,6

- Horas de uso: el tiempo en horas que las personas tenían conectados sus equipos en uno de los seis tomas de energía mencionados.

- Consumo: medido en Wh. Este se calculó con la Ecuación 2, a partir de la cual CONSUMO = Cantidad en uso de equipos* Potencia (W)* Horas de uso

Luego, en resumen, se tienen las demandas totales por cada día evaluado:

Tabla 11. Demanda total diaria

# DÍA	Demanda total diaria (Wh)
1	853,875
2	252,315
3	837,540
4	638,775
5	661,050
6	1052,325
7	851,400
8	339,300
9	444,375
10	749,250
11	629,100
12	434,250
13	478,350
14	608,400
15	361,125
16	760,05
17	514,485
18	796,23
19	982,476
20	813,006
21	575,1
22	510,381
23	865,8
24	560,016
25	530,955
26	986,85
27	695,709
28	668,385
29	603,531
30	495,828

Tabla 10. Consumo energético en día # 6

HORA	TOTAL CONSUMO FRANJA HORARIA (Wh)
7-9 A.M	0
9-11 A.M	20,925
11-1 P.M	27
1-2 P.M	334,800
2-3 P.M	21,6
3-4 P.M	10,8
4-5 P.M	313,2
5-6 P.M	324

Así se observa que el día que presentó una mayor demanda fue el día número 6 con un total de 1052,325 Wh consumidos, y la franja horaria que presentó más consumo en este día fue de 1-2 P.M (con 334,8 Wh), tiempo en que los estudiantes y la mayoría de trabajadores se encuentran en su horario de almuerzo.

Luego se multiplicó la demanda energética por un factor de seguridad del 25% y del 50%, para tener una holgura con respecto al consumo registrado (Tabla 12).

Tabla 12. Demanda energética con factor de seguridad

# día	Demanda Diaria (Wh)	Factor de Seguridad 25% Demanda Diaria (Wh)	50% Demanda Diaria (Wh)
1	853,88	1067,34	1280,81
2	252,32	315,39	378,47
3	837,54	1046,93	1256,31
4	638,78	798,47	958,16
5	661,05	826,31	991,58
6	1052,33	1315,41	1578,49
7	851,40	1064,25	1277,10
8	339,30	424,13	508,95
9	444,38	555,47	666,56
10	749,25	936,56	1123,88
11	629,10	786,38	943,65
12	434,25	542,81	651,38
13	478,35	597,94	717,53
14	608,40	760,50	912,60
15	361,13	451,41	541,69
16	760,05	950,06	1140,08
17	514,49	643,11	771,73
18	796,23	995,29	1194,35
19	982,48	1228,10	1473,71
20	813,01	1016,26	1219,51
21	575,10	718,88	862,65
22	510,38	637,98	765,57
23	865,80	1082,25	1298,70
24	560,02	700,02	840,02
25	530,96	663,69	796,43
26	986,85	1233,56	1480,28
27	695,71	869,64	1043,56
28	668,39	835,48	1002,58
29	603,53	754,41	905,30
30	495,83	619,79	743,74

Así, teniendo en cuenta que la mayor demanda energética en los días evaluados fue de **1052,325 Wh**, se tiene que con un factor de seguridad del 25% esta será de 1315,406 Wh y con un factor de seguridad de 50% será de 1578,488 Wh.

Luego teniendo en cuenta que la demanda puede variar, para tener un mayor margen de seguridad se trabajará con la demanda energética aplicándole el factor

de corrección del 50% es decir con una demanda energética diaria redondeada de **1579 Wh,** equivalente a 576.335 Wh anuales.

Una vez conocida la demanda energética de la zona se inició el proceso de realizar las cotizaciones del sistema solar fotovoltaico a 55 diferentes proveedores a nivel nacional (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), para a partir de la información suministrada por estos, hacer los cálculos correspondientes respecto a cantidad de paneles requeridos, inversores, baterías, e inversión monetaria para cada uno, lo cual se especifica más adelante en el Capítulo 7 del documento.

6.3.2 Evaluación del aporte del sistema fotovoltaico

- **Recolección de datos de la radiación solar**

Dada la ubicación que tendría la instalación, se escogió para la recolección de datos de la radiación solar la Estación climatológica de Jamundí, los cuales fueron suministrados por el archivo de la CVC (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca). Esta estación queda alrededor de 8,85 km de distancia de la Universidad Icesi (Ilustración 28), distancia cercana para efectos del cálculo de recurso solar, tiene las especificaciones que se muestran en la Tabla 13.

Ilustración 28. Ubicación del sistema fotovoltaico (Universidad Icesi) y Estación climatológica de Jamundí.

Fuente: (Google, 2015)

Tabla 13. Especificaciones Estación climatológica de Jamundí

ESTACIÓN	Abreviatura	Orden Norte-Sur	Inicio Operación	Área (m^2)	NORTE	ESTE	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	Latitud N	Longitud W
Jamundí	JAM	27	Dic-95	9,155	853943	1060409	3,27524	-76,5341	990	3° 16' 30,86"	76° 32' 02,65"

A través de la base de datos de la CVC se recopiló la información de radiación solar de los años 2012, 2013 y 2014 (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), y con estos datos se halló un promedio de radiación para cada mes de los años mencionados (Tabla 14). Las unidades de los datos obtenidos era cal/cm^2, por lo tanto se usó la Ecuación 21 para convertir estas unidades a Wh/m^2, y de esta manera poder luego realizar los respectivos cálculos.

Como se observa los meses de menor radiación fueron Noviembre en 2012, Mayo en 2013 y Noviembre en 2014. Luego, se halló un promedio total de los tres años (Tabla 14) y se identificó que el menor promedio de radiación solar corresponde al mes de Noviembre. Por tanto se escoge este valor para los cálculos del dimensionamiento del sistema fotovoltaico, que corresponde a 3944,51 Wh/m^2, aproximadamente **3,94 kWh/m^2.** Este valor comparado con los datos de la NASA de radiación solar diaria horizontal es muy similar, estos datos indican que la menor radiación es de 3,82 kWh/m2/d (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

$$\frac{1cal}{cm^2} = 11{,}63Wh/m^2$$

Ecuación 21

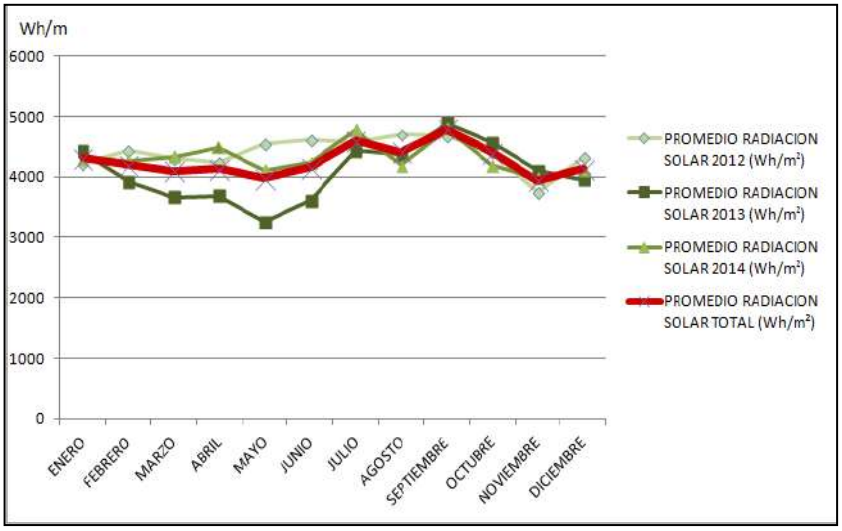
Tabla 14. Promedio de radiación solar mensual años 2012, 2013 y 2014 estación meteorológica de Jamundí

DATOS 2012		DATOS 2013		DATOS 2014	
MES	PROMEDIO RADIACION SOLAR 2012 (Wh/m²)	MES	PROMEDIO RADIACION SOLAR 2013 (Wh/m²)	MES	PROMEDIO RADIACION SOLAR 2014 (Wh/m²)
ENERO	4216,81	ENERO	4428,03	ENERO	4306,48
FEBRERO	4439,45	FEBRERO	3922,22	FEBRERO	4272,36
MARZO	4313,48	MARZO	3666,45	MARZO	4332,74
ABRIL	4230,61	ABRIL	3688,26	ABRIL	4495,00
MAYO	4546,95	MAYO	3258,73	MAYO	4109,14
JUNIO	4624,48	JUNIO	3608,79	JUNIO	4230,99
JULIO	4572,47	JULIO	4439,08	JULIO	4785,93
AGOSTO	4699,65	AGOSTO	4368,00	AGOSTO	4188,30
SEPTIEMBRE	4695,46	SEPTIEMBRE	4893,44	SEPTIEMBRE	4801,27
OCTUBRE	4425,99	OCTUBRE	4580,28	OCTUBRE	4191,84
NOVIEMBRE	3746,02	NOVIEMBRE	4105,00	NOVIEMBRE	3982,50
DICIEMBRE	4320,36	DICIEMBRE	3957,58	DICIEMBRE	4129,40

Tabla 15. Promedio de radiación solar años 2012, 2013 y 2014

PROMEDIOS 2012-2014	
MES	PROMEDIO RADIACION SOLAR TOTAL (Wh/m²)
ENERO	4317,11
FEBRERO	4211,34
MARZO	4104,22
ABRIL	4137,95
MAYO	3971,61
JUNIO	4154,75
JULIO	4599,16
AGOSTO	4418,65
SEPTIEMBRE	4796,72
OCTUBRE	4399,37
NOVIEMBRE	3944,51
DICIEMBRE	4135,78

Ilustración 29. Promedio de radiación solar mensual años 2012, 2013 y 2014



- **Cálculo Horas Pico Solar (HPS)**

Teniendo el valor de la radiación solar en la zona, de acuerdo a la Ecuación 4 se obtienen entonces las HPS:

$$HPS = \frac{\text{R}}{\text{I(CEM)}} = \frac{3{,}94451\ \text{kWh/ m}^2}{1\text{kW/ m}^2} \cong \mathbf{3,9}\boldsymbol{h}$$

donde,

$HPS\beta$= horas de pico solar para una inclinación β
R= radiación media diaria en kWh/m²día para una inclinación β
$I(CEM)$= potencia de radiación incidente en kW/m² en CEM = 1kW/m²

6.3.3 Componentes del sistema

Para el sistema fotovoltaico aislado a dimensionar se consideran los siguientes componentes (Álvarez, Izquierdo, Olmos, & Paternina, 2012):

1. Módulos fotovoltaicos o paneles solares: realizan la conversión de energía solar en energía eléctrica. Los módulos fotovoltaicos interconectados en serie y paralelo componen el campo fotovoltaico de tal manera que generen la tensión y corriente suficiente para alimentar la carga prevista.

2. Baterías: almacenan el exceso de energía eléctrica producida por los módulos fotovoltaicos.

3. Regulador: mantiene un nivel de tensión constante. Acepta una tensión eléctrica de voltaje variable a la entrada, dentro de un parámetro predeterminado y mantiene a la salida una tensión constante.

4. Inversor: Cambia el voltaje de entrada de corriente continua de los módulos fotovoltaicos a un voltaje simétrico de salida de corriente alterna para los equipos que se conectaran en la zona, con la magnitud y frecuencia requerida para los mismos.

5. Carga: son los equipos o dispositivos de consumo de energía almacenada en baterías.

6.3.4 Estudio de sombras

El objeto que genera sombra sobre la zona seleccionada es el edificio C. Este tiene una altura total de 13,87m (Sarria, 2015). Sin embargo la zona seleccionada (puente entre B y C) está ubicado a 7,66m (desde el primer piso hasta el ático de mampostería, que da la altura de dos pisos), como se muestra en la Ilustración 30. Por tanto la parte del edificio que generaría sombra mediría 6,21m.

Ilustración 30

Para realizar el estudio de sombras es necesario primero conocer el azimut y la altura solar en la zona seleccionada para la instalación, al mediodía en el día en que la altura sola es mínima, en este caso, en el solsticio de invierno que se presenta en Diciembre 21 en Colombia, por estar en el hemisferio norte.

Estos datos se obtuvieron de la plataforma Sun or Moon Altitud/Azimuth Table que pertenece a Astronomical Applications Department of the U.S. Naval Observatory.

A continuación se muestra la interfaz de la plataforma, y los parámetros a introducir para obtener la información.

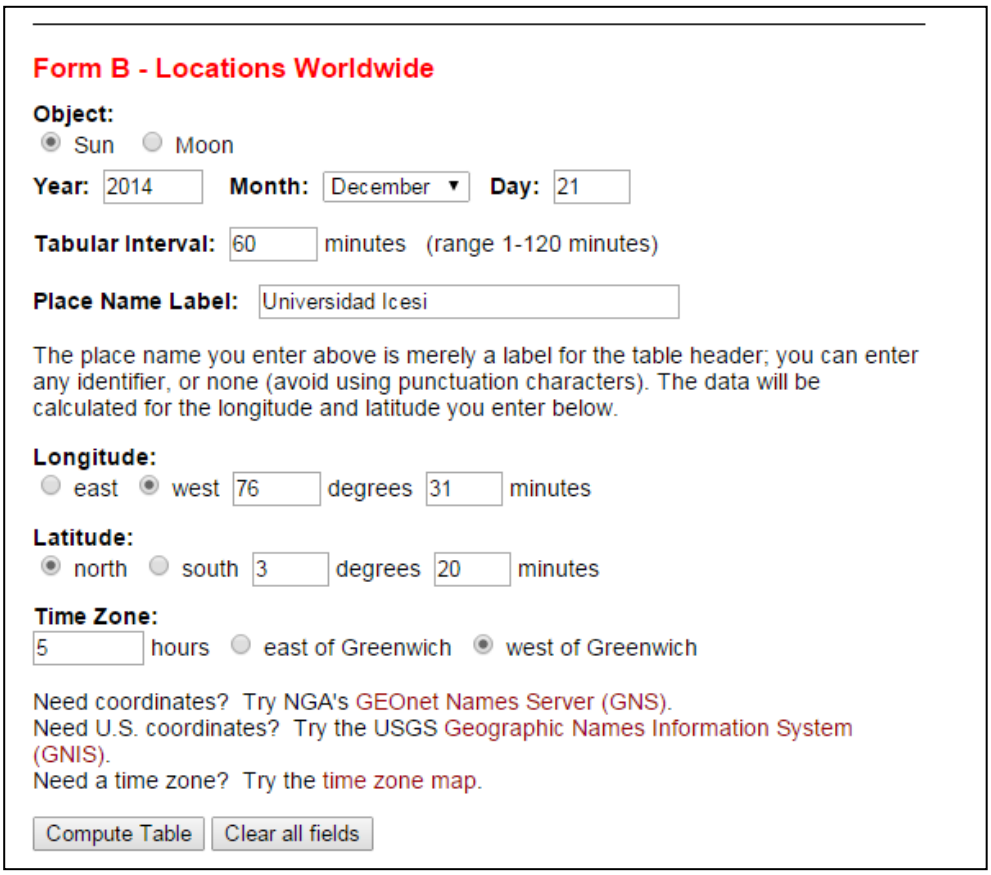


Ilustración 31. Interfaz Sun or Moon Altitud/Azimuth Table (Astronomical Applications Department of the U.S. Naval Observatory)

- ✓ Objet: Este es el objeto del que se desea conocer la información, es este caso el Sol.
- ✓ Year, Month, Day: Se escogió el mes inmediatamente anterior (2014), se obtuvo la información de los 12 meses del año, y se utilizo el día 1 de cada mes.
- ✓ Tabular interval: este es el intervalo de tiempo en que se presentan los datos, es escogió un intervalo de una hora, equivalente a 60 minutos.
- ✓ Longitude: es la longitud de la locación seleccionada, que como se mencionó en la sección 6.1 es 76°31'48"W
- ✓ Latitude: es la latitud de la locación seleccionada, que como se mencionó en la sección 6.1 es 3°20'29"N
- ✓ Time Zone: es la zona horaria de la zona, en este caso corresponde a la zona horaria de Colombia, la cual es de +5 respecto al meridiano de Greenwich, 5 al oeste del meridiano de Greenwich.

Con estos parámetros se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 16. Altitud y Azimut Diciembre 21

DECEMBER 21		
Hour	Altitude (°)	Azimuth (E of N) (°)
6:00	-2,2	113,4
7:00	11,5	114,7
8:00	24,9	117,8
9:00	37,8	123,3
10:00	49,6	133,1
11:00	59	150,5
12:00	63,2	177,9
13:00	60	206,3
14:00	51,1	225
15:00	39,5	235,6
16:00	26,7	241,6
17:00	13,4	245
18:00	0,2	246,5

Luego, mediante la Ecuación 15 y la altitud al mediodía del 21 de diciembre, se calcula la sombra proyectada por el edificio C:

$$Sombra\ Proyectada = \frac{I}{\tan(radianes(\rho))} = \frac{6{,}21m}{\tan(radianes(63{,}2)} = 3{,}14m$$

Por tanto los paneles solares fotovoltaicos se deberán ubicar como mínimo con una distancia de **3,14m** del edificio C.

6.3.5 Inclinación de los paneles del sistema fotovoltaico

Con la Ecuación 17 se procede a calcular el ángulo de inclinación más apropiado para los módulos fotovoltaicos:

$$\alpha = \varphi - \delta = 3{,}3423° - 1{,}4301° = 1{,}9122°$$

donde,

α= ángulo óptimo de inclinación del módulo
φ= latitud de la Universidad Icesi
δ = valor promedio de la declinación anual (Fuente: (Álvarez, Izquierdo, Olmos, & Paternina, 2012)

Se tiene entonces que el ángulo óptimo de inclinación que deben tener los módulos de este sistema fotovoltaico debe ser de 1,9122° ≅ **2°.**

7. SELECCIÓN DE PROVEEDOR Y FINANCIAMIENTO

7.1 SELECCIÓN DE PROVEEDOR

Primero se contactaron 55 proveedores a nivel nacional (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) a los cuales se les presentó el proyecto a realizar con los respectivos datos hallados de demanda energética.

De acuerdo a la solicitud de cotización realizada a cada proveedor, estos suministraron información de sus ofertas. Sin embargo, todos los detalles necesarios sólo pudieron ser suministrados por los 6 proveedores, de los cuales 4 visitaron las instalaciones de la Universidad Icesi para analizar por sí mismos la viabilidad de la instalación del sistema fotovoltaico.

Luego cada proveedor envió la cotización con las características detalladas de sus productos, necesarias para realizar los cálculos del dimensionamiento. Para poder realizar el dimensionamiento fue necesario conocer: la eficiencia del inversor, la eficiencia de la batería, el total de carga, el voltaje de la batería, los días de autonomía de la batería, el amperaje de la batería que ofrece cada proveedor, la potencia del panel ofrecido por el proveedor. La Tabla 17 muestra estos datos para cada proveedor que envió la cotización. Y la Tabla 18 muestra los precios de los equipos de cada proveedor.

Tabla 17. Características de los equipos de los proveedores

PROVEEDOR	EFICIENCIA INVERSOR	EFICIENCIA BATERIA	TOTAL CARGA (Wh)	VOLTAJE PANEL (V)	VOLTAJE BATERIA (V)	DIAS DE AUTONOMIA DE LA BATERIA	AMPERAJE BATERIA PROVEEDOR (A)	POTENCIA DEL PANEL PROVEEDOR (W)
COEXITO	0,85	0,8	2921,15	24	24	3	200	250
ENECO	0,85	0,8	2921,15	24	12	2	205	305
SUN POWER	0,85	0,8	2921,15	12	12	2	200	130
APROTEC	0,9	0,8	3000,1	12	12	2	90	140
INGESOLAR	0,85	0,75	2921,15	12	12	2	100	140
TESOCOL	0,8	0,75	2842,2	12	12	2	155	50

Tabla 18. Precios de los equipos de cada proveedor

PROVEEDOR	PRECIO DE PANEL ($COP)	PRECIO BATERÍA ($COP)	PRECIO REGULADOR ($COP)	PRECIO INVERSOR ($COP)
COEXITO	$500.000	$660.000	$555.000	$1.850.000
ENECO	$1.769.000	$1.683.624	$40.000	$1.386.000
SUN POWER	$851.724	$430.800	$788.571	$1.243.414
APROTEC	$914.286	$871.429	$250.000	$1.297.241
INGESOLAR	$325.862	$376.724	$77.000	$138.000
TESOCOL	$160.000	$674.250	$187.500	$423.824

Con los datos suministrados, se procedió a hacer los cálculos del dimensionamiento del sistema fotovoltaico de acuerdo a las ecuaciones de la sección 5.2.5. Se calculó el amperaje total necesario de la batería según la demanda energética calculada, el número de paneles necesarios, el número de baterías necesarias (Tabla 19).

Tabla 19. Cálculos dimensionamiento sistema fotovoltaico

PROVEEDOR	AMPERAJE BATERÍA PROVEEDOR (A)	POTENCIA DEL PANEL PROVEEDOR (W)	AMPERAJE TOTAL NECESARIO BATERÍA (A)	NÚMERO DE PANELES	NÚMERO DE BATERÍAS
COEXITO	200	250	246,72	3	2
ENECO	205	305	328,96	2	2
SUN POWER	200	130	328,96	5	2
APROTEC	90	140	328,96	5	4
INGESOLAR	100	140	350,89	5	4
TESOCOL	155	50	350,89	14	3

Luego, de acuerdo a lo obtenido en los cálculos de dimensionamiento y según los precios y demás características de los productos de cada proveedor se procedió a realizar un análisis cuantitativo y cualitativo para tomar la decisión de seleccionar el proveedor más apropiado.

Para el análisis cualitativo se tuvo en cuenta el precio total (con el IVA incluido) y los costos de mantenimiento. Y para el análisis cualitativo se tuvo en cuenta el tipo de panel, la garantía integral sobre todos los equipos, el tipo de inversor, la experiencia en proyectos similares y la ciudad.

Para cada variable cuantitativa y cualitativa se escogieron en cada columna los tres mejores, los cuales se encuentra demarcados con cuadros de colores naranja y azul (Se tuvo que usar dos colores diferentes para que no se abarcara un cuadrado inapropiado). Finalmente, se dio una puntuación a cada proveedor según el número de variables que tuviera a su favor Tabla 20)

Tabla 20. Evaluación de proveedores

	ANALISIS CUANTITATIVO		ANALISIS CUALITATIVO					
PROVEEDOR	PRECIO TOTAL ($COP)	COSTOS DE MANTENIMIENTO	TIPO DE PANEL	GARANTÍA INTEGRAL SOBRE LOS EQUIPOS	TIPO DE INVERSOR	EXPERIENCIA EN PROYECTOS SIMILARES	CIUDAD	PUNTUACIÓN
COEXITO	$7.668.200	$100.000	Policristalino	3	Onda senoidal pura	3	Cali	7
ENECO	$9.401.268	$250.000	Monocristalino	2	Onda senoidal pura	3	Cali	4
SUN POWER	$8.353.801	$200.000	Policristalino	2	Onda senoidal pura	2	Santa Marta	3
APROTEC	$11.051.603	$320.000	Policristalino	2	Onda senoidal pura	2	Cali	3
INGESOLAR	$3.743.531	$300.000	Policristalino	1	Onda senoidal pura	3	Bogotá	4
TESOCOL	$5.498.166	No especifica	Policristalino	2	Onda senoidal pura	2	Cali	4

GARANTÍA INTEGRAL SOBRE LOS EQUIPOS	
3	Excelente
2	Buena
1	Deficiente

EXPERIENCIA EN PROYECTOS SIMILARES	
3	Más de 15 años
2	De 7 a 15 años
1	De 0 a 7 años

A partir de lo anterior, se opta por seleccionar a COEXITO como el mejor proveedor, con la mayor puntuación con respecto a los demás.

COEXITO, es el tercer proveedor con menor precio total de la instalación. Este, ofrece un panel policristalino, el cual fue más recomendado por los proveedores con respecto a un panel monocristalino, ya que manifestaron, que para la zona seleccionada el monocristalino sería mucho más sensible a la presencia de sombras que un policristalino, y que por tanto el policristalino seria más apropiado para esta zona.

Otro ventaja comparativa de COEXITO con respecto a los demás proveedores, es que ofrece garantía de un año en todos los equipos que se utilicen para la instalación, a diferencia de los demás que no ofrecían total garantía en sus productos, como por ejemplo Tesocol e Ingesolar que ofrecían un inversor a muy bajo precio, pero no daban total garantía sobre el mismo.

7.2 DIMENSIONAMIENTO ACORDE A PROVEEDOR

Habiendo seleccionado a COEXITO como el proveedor más apropiado, y aplicando las ecuaciones de la sección 5.2, el sistema fotovoltaico tendría las características que se muestran a continuación:

Tabla 21. Componentes del sistema fotovoltaico

COMPONENTES DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO					
ITEM	REFERENCIA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO ($COP)	PRECIO TOTAL($COP)
1	YL250	Panel fotovoltaico de 250W marca Yingli	3	$500.000	$1.500.000
2	MA200-12	Bateria estacionaria de 12 VDc y 200 Ah	2	$660.000	$1.320.000
3		Inversor de onda senoidal pura	1	$1.850.000	$1.850.000
4	MPPT2010	Controlador de carga de 24 VDC/20 A. Marca Steca	1	$555.000	$555.000
5	MO0550210	Mano de obra: Insumos, estructuras e instalación	1	$1.400.000	$1.400.000
				SUBTOTAL	$6.625.000
				IVA 16%	$1.060.000
				TOTAL	$7.685.000

Tabla 22. Especificaciones de los paneles

ESPECIFICACIONES DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS	
Largo	1,64 m
Ancho	0,99 m
Alto	0,04 m
Peso	18,5 kg
Área	1,63 m^2

Tabla 23. Otras características del sistema fotovoltaico

OTRAS CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO	
Área total del sistema	4,9 m^2
Producción de energía anual	725.985 Wh
Ángulo de inclinación de los paneles	2,00 °
Orientación de los paneles	Sur
Distancia entre paneles	3,20 m

7.3 FINANCIAMIENTO

Según el estudio realizado y la selección de proveedor, se requiere una inversión de aproximadamente $8.000.000 para la realización del proyecto. Para esto se proponen 3 posibles fuentes de financiamiento.

1. Empresa patrocinadora.

   Esta opción consiste en hacer la presentación del proyecto a diferentes empresas asociadas a la institución a la cuales, como primer paso, se les enviaría un documento escrito, en el cual se explica el proyecto, y como segundo paso se acordaría una reunión con un representante de la organización para discutir el tema fondo. En dicha reunión se mostrarían los beneficios para la empresa y para la Universidad Icesi.

   En este método de busca financiación del 100% por parte de la empresa.

   Posibles empresas a contactar:
   -Tecnoquímicas .
   -Smurfit Kappa Carton de Colombia.
   -Colombina.
   -Carvajal.

2. Universidad Icesi

   Hacer la presentación del proyecto a diferentes instancias de la universidad, entre los cuales se encuentren los altos directivos (en lo posible junta directiva), Facultad de Ingeniería, Bienestar Universitario, donde se vendan los beneficios económicos, ambientales, académicos y de mercadeo para la universidad. También se propone que con las utilidades generadas por eventos como el EUDII se aporte un porcentaje para la realización de este tipo de proyectos, de esta manera serían los mismos estudiantes los que ayudarían a la ejecución de los mismos.

   La presentación podría realizarse en la sustentación final del proyecto, siendo esta una oportunidad muy apropiada para mostrar el proyecto a diferentes departamentos de la universidad, e invitarlos a participar en el mismo.

En este método de busca financiación del 100% por parte de la Universidad.

3. Funding Pivot – Centro

   Funding es una plataforma electrónica que patrocina proyectos académicos a nivel mundial. Después de una exploración por esta, se identificarían las aplicaciones de las cuales podría hacer parte este proyecto para presentar los diferentes requisitos de cada una.

   En este método se busca el 100% del financiamiento del proyecto.

4. Híbrido Universidad Icesi – Empresa patrocinadora.
   Hacer una unión de la propuesta 1 y 2, y que conjunto la empresa privada y la universidad se logre sumar el total de la inversión, buscando conseguir el 100% del capital necesario.

8. EVALUACIÓN DE IMPACTO ACADÉMICO, AMBIENTAL Y ECONÓMICO

8.1 IMPACTO ACADÉMICO

La instalación de un sistema fotovoltaico en la Universidad Icesi, puede considerarse como el precursor de diversos proyectos en diferentes programas y facultades, siendo el punto de partida y motivación para su posible desarrollo.

Uno de los proyectos cuya creación se podría comenzar a motivar a partir de esta instalación, es la creación de un grupo de investigación en energías renovables (GIER) de la Universidad Icesi, ya que actualmente no existe un grupo estudiantil en el plantel educativo que se dedique a temas de energías alternativas. Este se plantea como un grupo interdisciplinario, con el que se buscaría investigar acerca del recurso energético alternativo local, su potencial y sus posibles aplicaciones, a su vez que lleve a cabo propuestas de realización otros proyectos relacionados con energías alternativas.

A continuación se mencionarán otros proyectos que se podrían llevar a cabo en la universidad en diferentes programas:

- **En Ingeniería Industrial:**

✓ Estudios de demanda y oferta de energía solar en la universidad.
✓ Estudios de eficiencia del sistema fotovoltaico.
✓ Laboratorios de termodinámica, de estudios de transformación de energía.
✓ Laboratorios de ingeniería de los materiales, cómo hacer más eficientes los paneles de acuerdo a su composición.
✓ Simulación con procesos estocásticos del comportamiento del sistema fotovoltaico.
✓ Laboratorios de electrotecnia aplicados a la energía fotovoltaica.
✓ Estudios de la calidad de la energía generada por el sistema fotovoltaico.
✓ Evaluación de la implementación de sistemas fotovoltaicos en otras zonas de la universidad.

- **En Ingeniería de Sistemas:**

✓ Desarrollo de sistema de información que permita recolectar los datos de energía generada por el sistema fotovoltaico y la energía consumida.
✓ Elaboración de la base de datos de la energía generada por el sistema fotovoltaico.
✓ Creación de software que pronostique la demanda y la oferta de la energía generada por el sistema fotovoltaico.
✓ Desarrollo de software que permita realizar el dimensionamiento y costeo de sistemas fotovoltaicos.

- **En Ingeniería Telemática:**

✓ Creación de aplicaciones móviles que permita conocer la energía eléctrica generada mediante energía solar a través del sistema fotovoltaico, y la disponibilidad de la misma en la zona en la que se instaló.
✓ Desarrollo de una red en los computadores de la universidad que permita conocer constantemente la energía disponible para los usuarios generada por el sistema fotovoltaico.

- **En Diseño Industrial:**

✓ Elaboración de estructuras físicas para el sistema fotovoltaico, tales como árboles solares, entre otras.
✓ Construcción de cubículo de carga de energía para la comunidad universitaria mediante la energía solar.

- **Mercadeo Internacional y Publicidad:**

✓ Desarrollar una estrategia de mercadeo de la Universidad Icesi, teniendo como eje el uso de energías renovables, específicamente la energía solar.
✓ Realización de campañas de mercadeo que permitan dar a conocer al público en general, la implementación de sistemas fotovoltaicos en la Universidad

- **Economía:**

✓ Estudios de impactos económicos del uso de energía solar en la universidad Icesi.

- **Sociología:**

✓ Estudios de la relación entre la comunidad universitaria y la energía solar, desde el punto de vista sociológico.

- **Ciencia Política y Derecho:**

✓ Estudio de desarrollo de políticas en Colombia que propendan por el uso de energías con fuentes renovables, como la energía solar.

Estos son algunos de los proyectos que a grandes rasgos se podrían desarrollar en la universidad teniendo como motivación la instalación de un sistema fotovoltaico en la misma. Sin embargo, podrían también llevarse a cabo muchos más, y no solo incluyendo a la universidad Icesi, sino sirviendo también como proyecto precedente para trabajos de otras instituciones educativas y entidades externas.

Así mismo, la implementación del presente proyecto puede ayudar a promover en los estudiantes el desarrollo de competencias como:

✓ Gestión de proyectos de energías alternativas:

La documentación que deja este proyecto acerca de la implementación de sistemas fotovoltaicos, disponible para los estudiantes, puede dar un acercamiento a la gestión de este tipo de proyectos, teniendo como ejemplo este con energía solar fotovoltaica, cómo se llevaron a cabo los procesos de planeación, direccionamiento y ejecución.

- ✓ Valoración del recurso energético alternativo local:

  Aunque este proyecto trata la energía solar, se puede hacer extensivo a otros tipos de energías alternativas. Es importante fomentar en los estudiantes la apreciación del potencial de los recursos naturales energéticos con los que cuenta la ciudad y la región.

- ✓ Identificación de viabilidad de aplicaciones con energías alternativas:

  Una vez pudiendo valorar el potencial de energías alternativas en la ciudad y en la región, se podría comenzar a trabajar en la identificación de las posibles aplicaciones de la misma en diferentes sectores, y de esta forma contribuir al desarrollo de la región mediante aplicación de este tipo de energías.

- ✓ Sensibilización por la generación de energía mediante fuentes renovables:

Debe ser un compromiso de los profesionales propender por el aprovechamiento óptimo de los recursos renovables en pro de procesos sostenibles tanto a nivel industrial, comercial, institucional y social.

8.2 IMPACTO AMBIENTAL

El uso de energía solar fotovoltaica, siendo una fuente de energía renovable genera impactos en factores del medio ambiente, tanto físicos, como biológicos, y sociales, tales como son la geología, el aire, el suelo, el agua, la flora, la fauna, el paisaje, y medio social.

Los sistemas fotovoltaicos sobre otras fuentes de energía no renovables tienen ventajas tales como: la no producción de emisiones ni ruidos o vibraciones; el impacto visual es reducido gracias a que por su disposición en módulos, pueden adaptarse a la morfología de los lugares en los que se instalan; y además, producen energía cerca de los lugares de consumo, evitando las pérdidas que se producen en el transporte. (Minelli & Properi)

El impacto ambiental de este proyecto se centra principalmente en la disminución de la emisión de CO_2 al medio ambiente. Para calcular esta disminución es necesario conocer el factor de emisión de CO_2/Wh en Colombia.

El cálculo mas reciente que hizo la UPME de este factor fue en 2013. El cálculo del Factor de Emisión del Sistema Interconectado Nacional (FE del SIN) tiene esencialmente dos aplicaciones: a) para proyectos de Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) y b) para inventarios de emisiones de Gases Efecto Invernadero-GEI, huella de carbono o Factor de Emisión de la Generación Eléctrica (Mix Eléctrico). (UPME, 2013)

Para proyectos MDL, el Factor de emisión resultante de 0,374 TonCO_2/MWh puede ser usado para estimar emisiones reducidas en proyectos que: 1. Produzcan desplazamiento de la electricidad generada con plantas de energía renovable en un sistema eléctrico, es decir cuando una actividad de proyecto con energías renovables suministra electricidad a una red (oferta energética), o 2. Actividades de proyectos que resultan en ahorros de electricidad y esta electricidad ahorrada habría sido suministrada por la red (por ejemplo, proyectos de eficiencia energética, uso eficiente de energía). (UPME, 2013)

En este caso la implementación de este proyecto acogería la opción 2 antes mencionada, ya que resultaría en ahorros en electricidad, la cual habría sido suministrada por la red eléctrica en la Universidad Icesi. Por esto, para los cálculos se utilizara el FE del SIN que es 0,374TonCO_2/MWh, lo que es equivalente a **0,374gCO_2/Wh**.

Luego, teniendo en cuenta la demanda diaria hallada en el literal 6.3.1 se realizó el cálculo de emisiones de CO_2 a la atmósfera, cuando esta demanda es suplida por la red eléctrica convencional.

Tabla 24. Emisiones de CO_2 con energía eléctrica convencional

Consumo diario (Wh)	Consumo anual (Wh)	Factor de emisión (g de CO2/Wh)	g de CO2 anuales
1.579	576.335	0,374	215.549

Así, con la implementación del sistema fotovoltaico que se propone en este proyecto se estaría evitando la emisión de 215.549 mil gramos de CO_2 anuales a la atmósfera. Por lo cual se estaría disminuyendo un poco la contribución al efecto invernadero.

Para comparar esta cifra se puede utilizar la cantidad de CO_2 anual emitida por un vehículo en Colombia. Un estudio adelantado por la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá y la Universidad de los Andes, determinó que los 1.200 millones de vehículos que transitan en Bogotá, emiten más de 4.800 millones de toneladas de CO_2 al año. Es decir que cada automóvil emite alrededor de 4 toneladas de CO_2 anualmente. (Soy Ecolombiano)

Por lo tanto la disminución de emisión de 215.549 gramos de CO_2 anuales que aportaría este proyecto, sería equivalente aproximadamente a eliminar la emisión del 5,4% de CO_2 de un automóvil anualmente.

De manera general a continuación se muestras los impactos ambientales que se presentarían con la implementación del proyecto (Tabla 25):

Tabla 25. Matriz impacto ambiental del proyecto

FACTOR AFECTADO		Descripción General	Impacto en la zona seleccionada	Signo del Impacto
FÍSICO	Geología	Alteraciones en las características litológicas, topográficas o estructurales del terreno	La instalación del sistema fotovoltaico no genera alteraciones geológicas. Esta se realizaría sobre una terraza.	0
	Aire	Procesos de combustión, polución termica. emisiones de CO2 que	La instalación reduce las emisiones de CO2 en 215.549 gramos anuales.	+
		Emisión de ruidos	El sistema fotovoltaico es totalmente silencioso, no emite ningún tipo de ruido en su operación.	+
	Suelo	Contaminación, vertimientos, movimiento de tierra, alteración de características físico-químiccas, erosioabilidad.	Con la implementación del sistema fotovoltaico no se afecta el suelo, ya que la intalación esta prevista en una terraza techada.	0
	Agua	Alteración en el recurso hídrico	La instalación no genera efecto sobre el recurso hídrico. No genera ni residuos ni vertidos al agua.	0
BIÓTICO	Flora	Afectación sobre la vegetación	Esta instalación no afecta la vegetación de la zona, no tiene contacto con ella.	0
	Fauna	Afectación sobre los animales	Al no necesitar tendidos eléctricos se evitan posibles efectos perjudiciales para aves, como las palomas que ocasionalmente se sitúan cerca a la zona.	+
SOCIAL	Paisaje	Impacto visual	La instalación no genera obstrucciones en el paisaje del campus universitario. Las personas pueden observar la instalación desde el 2do y 3er piso del edificio C.La estructura del sistema fotovoltaico permite que se adapte fácilmente al techo seleccionado. No necesita postes ni líneas eléctricas .	+
	Comunidad educativa	Efectos sobre la comunidad educativa de la Universidad Icesi	Esta instalación permite a la comunidad educativa relacionarse directamente con una fuente de energía renovable.	+

Signo del Impacto	Descripción
+	Indica que el impacto sobre el factor descrito es positivo.
-	Indica que el impacto sobre el factor descrito es negativo
0	Indica que el impacto sobre el factor descrito es nulo.

Como se observa en la Tabla 25, la instalación del sistema fotovoltaico no tendría ningún impacto negativo en el medio ambiente de la zona seleccionada. Por el contrario, tendría impactos positivos sobre 4 factores, entre ellos el aire, la fauna, el paisaje y la comunidad educativa.

Teniendo como principal aporte la reducción de emisión de CO_2 a la atmosfera por concepto de energía eléctrica en 215.549 mil gramos de CO_2 anuales.

8.3 IMPACTO ECONÓMICO

Los principales factores para determinar la viabilidad financiera de instalar un sistema de energía renovable son (Nelson, 2011):

1. El costo inicial de la instalación
   Como se estableció en el capítulo anterior, para este proyecto sería de $7.685.000.

2. La producción neta de energía anual del sistema
   La cual se halla de acuerdo a la Ecuación 14:

$$Producción\ Anual = HPS\ x\ N\ x\ Pp\ x\ n=$$

3,9h* 3* 250W*0,8*0,85*365=725.985 Wh

donde,

HPS: Horas Pico Solar
N= número de paneles
Pp= potencia del panel solar bajo las condiciones a las que será sometido (teniendo en cuenta la eficiencia)
n= número de días del año

El análisis económico se enfocará entonces en el análisis de los siguientes aspectos:

1. Retorno de la inversión
2. Costo de la energía
3. Flujo de fondos
4. Ahorro monetario

1. Retorno de la inversión

Este da un juicio preliminar de la viabilidad económica del sistema de energía renovable. Compara los costos iniciales del sistema fotovoltaico con la producción anual de energía generada por el mismo.

Retorno simple de la inversión=

$$\frac{CI}{(PAE*PE)-M}=\frac{\$7.685.000}{(725.985Wh/\text{año}*\$0{,}30209/\text{Wh})-\$100.000}=\ 65\ años$$

Ecuación 22

donde,

CI: Costo inicial del sistema fotovoltaico ($) = $7.685.000

PAE: Producción anual de energía = 725.985 Wh/año

PE: Precio de la energía ($/kWh): $302,09/kWh= $0,30209/Wh

M: costos de mantenimiento anuales ($) = $100.000

De acuerdo a esta ecuación se obtiene que en 65 años, se recuperaría la inversión hecha en este proyecto.

Sin embargo, la anterior ecuación no tiene en cuenta el porcentaje de incremento del precio de la energía, factor importante a tener en cuenta en este cálculo. Por esto, se decide realizar la proyección de retorno de inversión anual, teniendo en cuenta dicho incremento anual, el cual según fuente es del 2%. A continuación se recrean tres escenarios. El primero, es el retorno de la inversión con el dimensionamiento actual del sistema (3 paneles y 2 baterías). El segundo escenario es con un sistema que dobla al anterior (6 paneles y 4 baterías). Y el tercer escenario se hace con un sistema en el que se optimiza el espacio de la zona, utilizando toda el área disponible entre la cubierta del puente entre edificios B y C, teniendo en cuenta la distancia que debe haber entre los paneles, con un total de 9 paneles fotovoltaicos y 6 baterías.

Para estos cálculos se utilizaron los siguientes parámetros:

Precio de la energía	0,30209 $/Wh
Costos de mantenimiento	100.000 $COP
Incremento anual del precio de la energia	2 %

Escenario 1.

Producción anual de energía	725.985 Wh
Inversión	7.685.000 $COP

Escenario 2.

Producción anual de energía	1.451.970 Wh
Inversión	10.956.200 $COP

Escenario 3.

Producción anual de energía	2.177.955 Wh
Inversión	14.227.400 $COP

Se hizo la proyección de estos escenarios en 55 años **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**. Para los dos primeros escenarios se obtuvo la gráfica que se muestra en la Ilustración 32, donde se observa que para el escenario 1, la inversión se retornaría en 36 años. Sin embargo, con el escenario 2, se obtiene un retorno de la inversión en 25 años, período igual a la vida útil del sistema, por lo tanto el escenario 2 muestra una posible alternativa de instalación del sistema para que sea viable a nivel financiero.

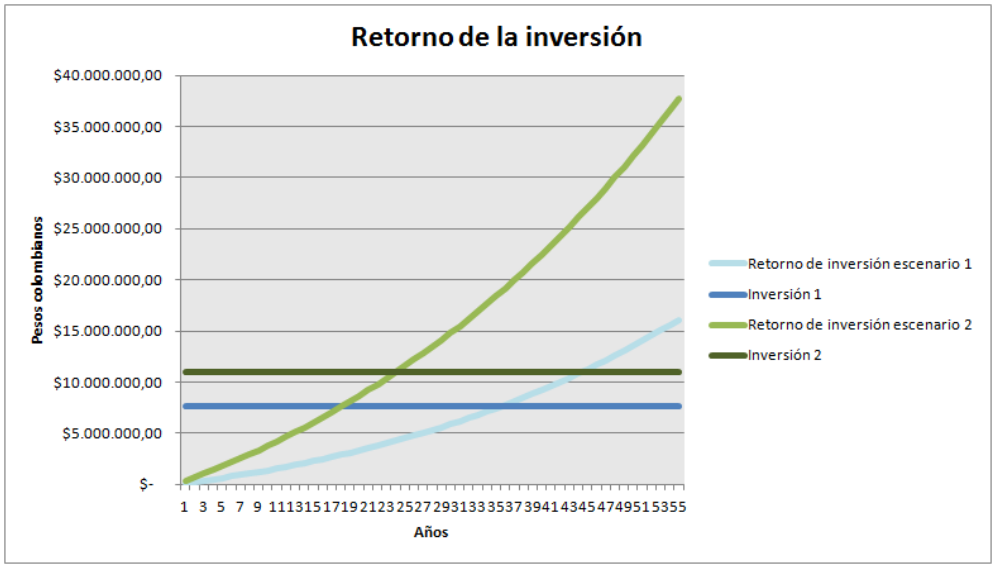


Ilustración 32. Gráfica retorno de la inversión en escenarios 1 y 2.

Por último se recreó el escenario 3, en el cual se utiliza toda el área disponible, y con este se obtuvieron los resultados mostrados en la Ilustración 33. Como se observa, en este escenario la inversión se retornaría en 21 años, 15 años menos que en el escenario 1. Con lo cual se observa que aumentando el tamaño del sistema fotovoltaico, el proyecto es viable, generando muchos más beneficios económicos en el largo plazo.

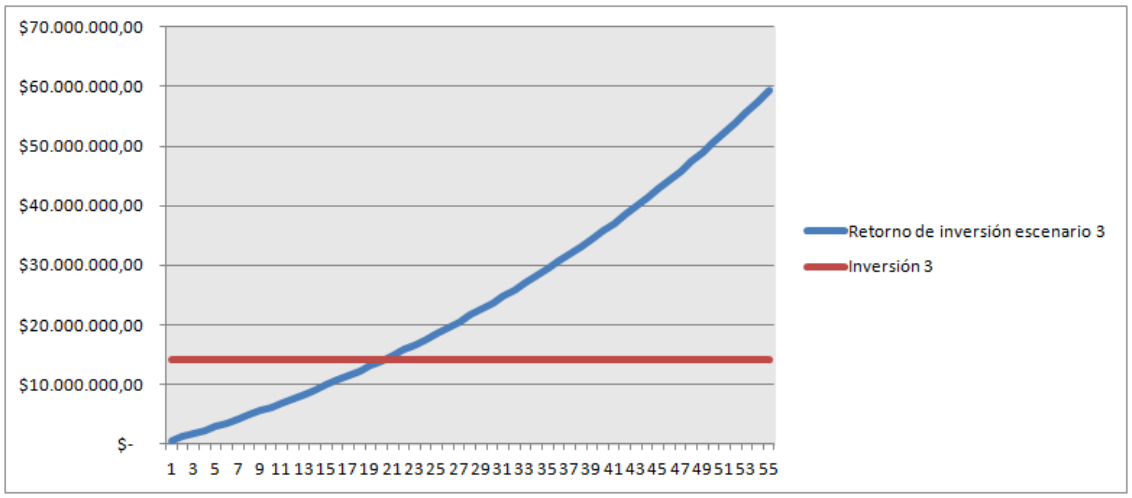


Ilustración 33. Retorno de la inversión en escenario 3

Costo de la energía

Es el valor de la energía producida por el sistema de energía renovable. Es la relación entre los costos anuales y la producción de energía anual.

$$CE = \frac{M}{PAE} = \frac{\$100.000}{725.985\ \text{Wh}} = \frac{\$0{,}13774}{Wh} = \$137{,}74/kWh$$

Ecuación 23

donde,

CE: Costo de la energía anual

PR: Porcentaje del costo inicial por cargos de reparación anuales (%)

M: costos de mantenimiento anuales ($)

PAE: Producción anual de energía

Como se observa el costo de la energía solar para eL sistema fotovoltaico del escenario 1 es de $137,74/kWh, es decir que es $164,35 más económico que la energía de la red eléctrica de la universidad, es decir el costo de la energía generada por el sistema fotovoltaico es 55% más económico que el precio de la energía de la red eléctrica que suministra la energía en la universidad.

Con el escenario 2 planteado anteriormente se obtendría un costo de $69/kWh, y con el escenario 3 se obtendría un costo de $46/kWh, con lo cual se observa que a mayor magnitud del sistema fotovoltaico, menor será el costo de la energía producida, la cual se reduce considerablemente, esto es debido a que básicamente los costos de generar energía eléctrica mediante los paneles fotovoltaicos están sujetos a los costos fijos de mantenimiento, por tanto entre mayor sea la producción se obtendrá gran reducción en el costo final de la energía.

Flujo de fondos y TIR

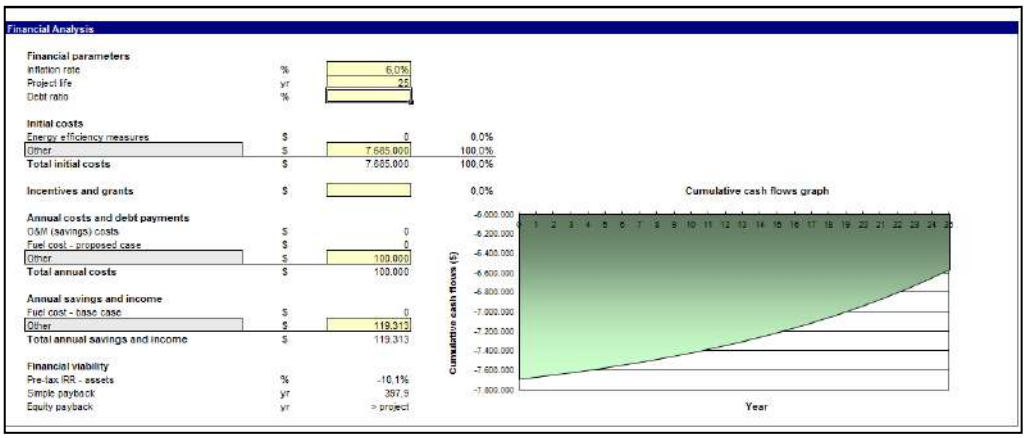
A continuación se presenta el flujo de fondos que se da a partir de la inversión inicial teniendo en cuenta los costos de mantenimiento, y la depreciación. Para este se utilizó la herramienta RETScreen4, el cual es un software con aprobación a nivel mundial para evaluar la viabilidad económica y financiera de sistemas energéticos con fuentes renovable, desarrollado por el Ministerio de Energía de Canadá.

Los parámetros utilizados en esta herramienta fueron:

Tasa de inflacion en Colombia	6%	
Vida util del sistema	25	Años
Costos de mantenimiento	$ 100.000	
Precio de la energía	0,30209	$/Wh

Con los cuales la herramienta arrojó el siguiente flujo de fondos:ç

Ilustración 34. Flujo de fondos Escenario 1.

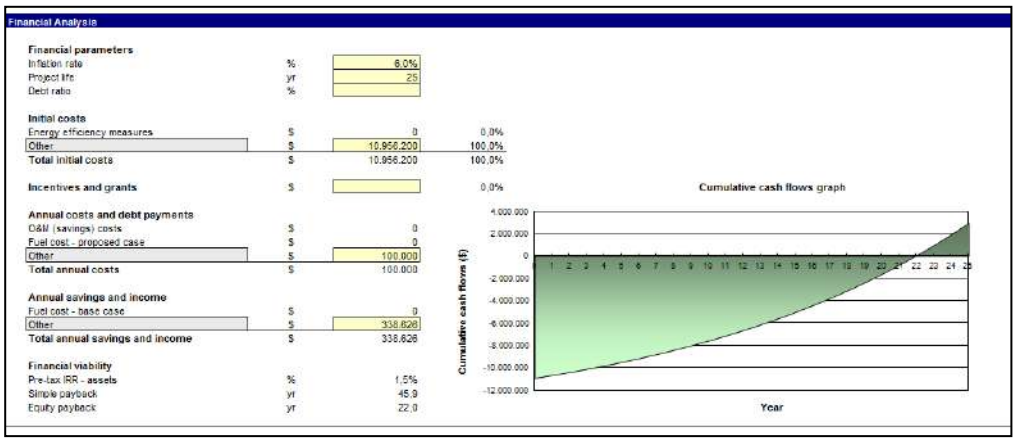


Fuente: (Natural Resources Canada)

Como se observa en la Ilustración 34, el flujo de fondos no alcanza a ser positivo durante el periodo de vida útil de 25 años del sistema fotovoltaico, por lo que lo haría un proyecto no viable a nivel financiero.

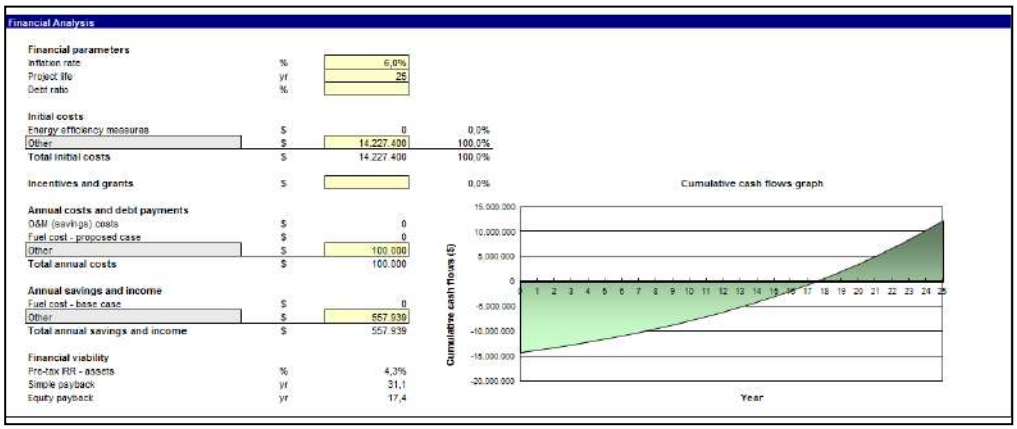
Sin embargo, como se observa en la Ilustración 35, para el escenario 2, se observa que después del año 22 comienzan a presentarse flujos positivos, por lo que se identifica la viabilidad de la implementación del proyecto para este caso, ya que comienzan a haber flujos positivos antes del periodo de vida útil del sistema.

Ilustración 35. Flujo de fondos Escenario 2.



Y para el escenario 3, como se observa en la Ilustración 36Ilustración 36 el flujo de fondos comienza a ser positivo después del año 17. Por tanto a medida que el sistema fotovoltaico se hace más grande, a medida que se amplía la inversión en él, se produce más energía, permite obtener mayores ahorros monetarios, y aumenta la viabilidad a nivel financiero.

Ilustración 36. Flujo de fondos Escenario 3.

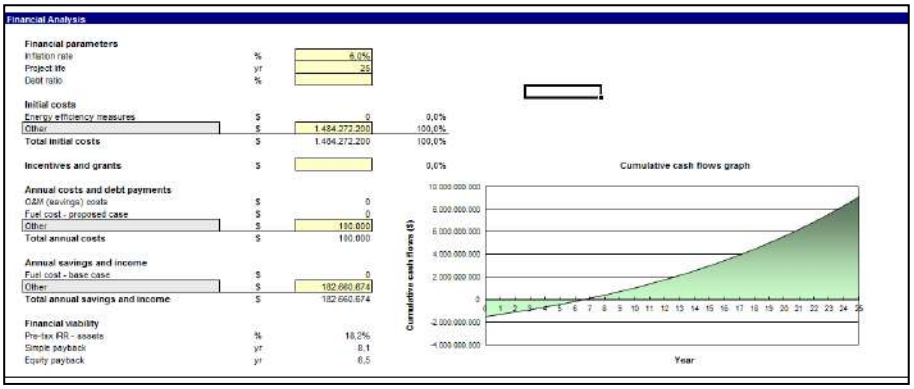


Con respecto a la TIR del proyecto, para el escenario 1 es de -10,1%, para el escenario 2 es de 1,5%, y para el escenario 3 es de 4,3%.

Sin embargo, para proyectos que involucran energías renovables, la TIR debe compararse con el rendimiento promedio del sistema financiero nacional o costo de dinero en Colombia, es decir, en caso de que se desee pedir un crédito o apoyo financiero a inversionistas privados, el proyecto debe tener un rendimiento igual o superior a 18,19%, esto debido a que el Ministerio de Hacienda y el Banco de la República de Colombia definen en 14,69% el rendimiento mínimo de proyectos energéticos en Colombia, pero para los que involucran fuentes de energía renovables se les agrega un 3,5% como compensación del riesgo (Lopez, 2015).

Teniendo en cuenta eso, sólo con 2.500 paneles se logra obtener una TIR de 18,2%.

Ilustración 37. Escenario para una TIR de 18,2%



Esto último seria para tenerlo en cuenta cuando se va a realizar un proyecto de un sistema fotovoltaico de gran magnitud, del cual se requiere obtener una utilidad para los inversionistas.

Para la propuesta que se presenta a la Universidad Icesi no se espera hasta el momento obtener una utilidad monetaria del sistema, ya que es para uso académico institucional.

Ahorro monetario

Con el uso del sistema fotovoltaico en la zona seleccionada, se estaría dejando de consumir una cantidad de energía suministrada por la red eléctrica de la universidad. Esto implicaría un ahorro monetario para la institución educativa como se mostrará a continuación.

$$Ahorro\ monetario\ anual = DA\ * PE = \$174.105{,}3422$$

Ecuación 24

donde,

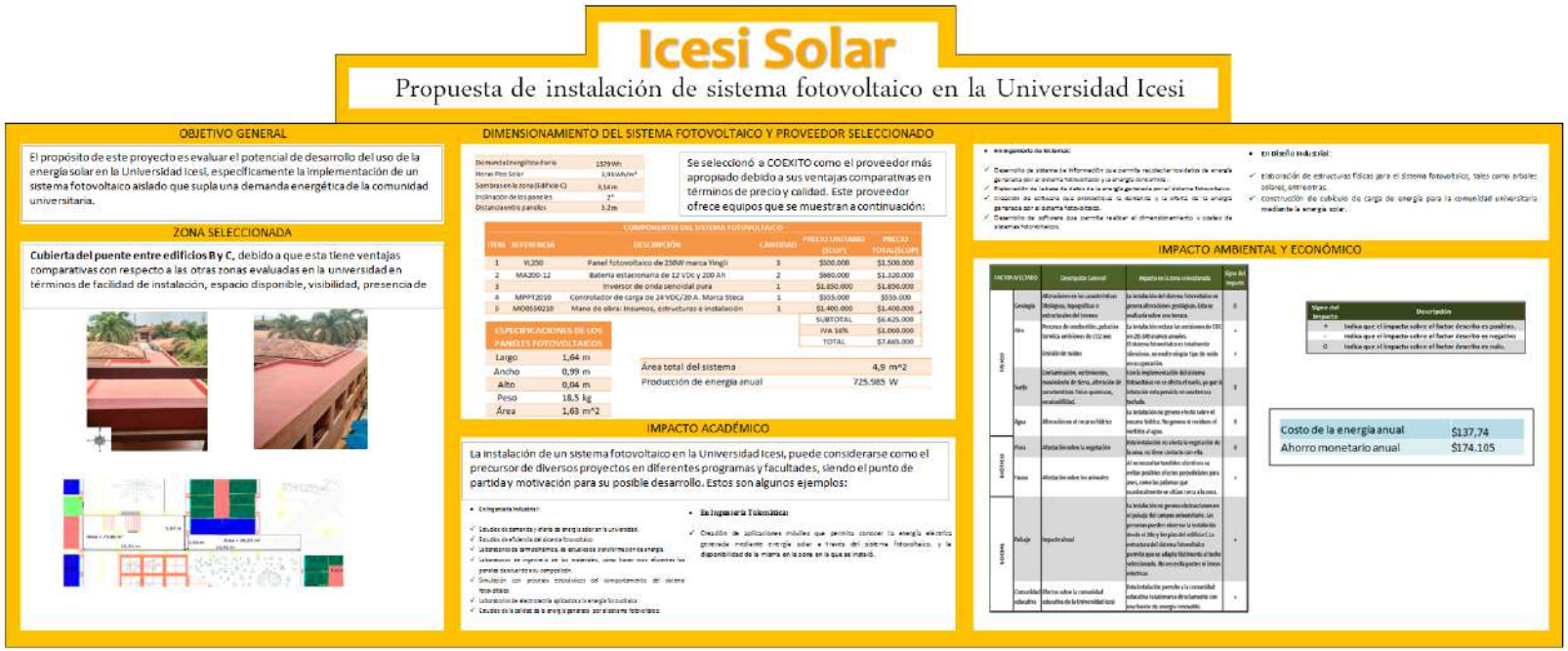
DA: demanda energética anual en la zona seleccionada (Wh)=576.336 Wh

PE: Precio de la energía ($/kWh)= $302.09/kWh=$0.30209/Wh

De lo anterior, se obtiene que con este sistema fotovoltaico se puede ahorrar $174.105 de los gastos en energía eléctrica durante su primer año de funcionamiento. Durante los años siguientes se proyectaría un incremento del 2% anual, debido a que este se considera como porcentaje legal de incremento del precio de la energía en Colombia.

9. PROPUESTA CONSOLIDADA

Mediante el siguiente afiche se presentaría a la comunidad universitaria la propuesta de instalación del sistema fotovoltaico. Se decide titular la propuesta como “Icesi Solar”, y esta contiene el objetivo general del proyecto, la zona seleccionada para la instalación, el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, el proveedor seleccionado y los impactos académico, ambiental y económico.



10. CONCLUSIONES

Aunque la Universidad Icesi aún no ha incorporado el uso de energías renovables como elemento de sostenibilidad en su campus y en sus actividades académicas, mediante los resultados obtenidos en este trabajo se observa que existe el potencial para el desarrollo del uso de energía solar.

Con la implementación de este proyecto, la Universidad Icesi sería de las primeras instituciones educativas en Cali, en poner en marcha un sistema fotovoltaico aplicado, es decir, que supla una demanda energética, ya que otras instituciones educativas tienen dichos sistemas, pero no los utilizan para abastecer cierta demanda energética, sino únicamente como elementos didácticos en laboratorios.

La Universidad Icesi se encuentra en una ubicación privilegiada en cuanto al recurso solar, ya que todo el año cuenta con una radiación promedio que supera los 3,9kWh/m^2, llegando a alcanzar en algunos períodos un promedio de radiación de 4,8 kWh/m^2, cifras que demuestran el potencial en cuanto a recurso solar para ser aprovechado por sistemas fotovoltaicos.

Una vez conocida la demanda (1.579 Wh/día), el recurso energético (HPS= 3,9h), la zona seleccionada (Cubierta del puente entre edificios B y C), y sus propiedades, definitivamente el proveedor cuyos productos y características, más se ajustaban a la implementación del sistema fotovoltaico requerido fue COEXITO tanto por precio como calidad.

Así, el recurso solar aprovechado por el sistema fotovoltaico alcanza a cubrir la demanda que se estimó en la zona seleccionada de 576.335 Wh anuales. Sin embargo el sistema fotovoltaico es capaz de generar un total de 725.985 Wh, por lo cual la energía que no se consuma al instante se almacena en las baterías. Así el sistema propuesto puede producir un 26% más de energía de la que se necesita.

La financiación de este proyecto se recomienda hacerla por medio de un patrocinio de la empresa privada y dinero invertido por parte de la universidad. Cada parte puede aportar un porcentaje de la inversión total necesitada, y proyectarse a una posible ampliación del proyecto que repercuta a mayor instancia en la comunidad en los ámbitos anteriormente estudiados.

La implementación de este proyecto tiene un gran impacto académico, ya que contribuye al desarrollo de competencias en los estudiantes, y es un pilar para llevar a cabo otros proyectos relacionados con la energía solar y los sistemas

fotovoltaicos, desde distintos programas académicos, no sólo desde ingeniería industrial, sino que la aplicación se hace extensivo a los demás programas de la universidad, desde diversos ámbitos del conocimiento.

El impacto ambiental se observa principalmente en la disminución de emisiones de CO_2 (215.549 gramos anuales) con lo cual no solamente se realiza un aporte al medio ambiente, sino que se hace desde una aplicación tangible para la comunidad educativa, demostrándole que con este tipo de aplicaciones se puede contribuir a la sostenibilidad, e incentivándoles a la continuidad de la realización de este tipo de proyectos.

En cuanto al aspecto económico, la inversión del proyecto de $7.685.000, se podría recuperar en 36 años. Aunque el retorno de la inversión identificada supera el período de vida útil del sistema fotovoltaico de 25 años, lo que conllevaría a establecer que el proyecto no es factible a nivel financiero, es necesario tener en cuenta que la dimensión del sistema propuesto no es de gran magnitud, que si se duplicara su capacidad la inversión se podría llegar a recuperar en 25 años, es decir dentro del periodo de vida útil, haciéndolo viable financieramente, y además es necesario tener en cuenta también que la implementación de este sistema presenta otros beneficios a la comunidad que no pueden ser evidenciados en un cálculo estrictamente financiero. Además, de que el objetivo del sistema no es generar utilidades monetarias, sino relacionar a la comunidad con la aplicación del uso de la energía solar en el campus universitario.

Si se optimizara el espacio de la zona seleccionada, y se utilizara todo el espacio disponible para instalar los paneles solares, quedaría una instalación de 9 paneles solares, que podrían producir 2.177.955 Wh anuales, y se realizaría una inversión de $14.227.400, la cual se recuperaría en 21 años, identificándose así la viabilidad financiera de un sistema fotovoltaico de mayor magnitud al planteado inicialmente, que generaría mayores beneficios en el largo plazo.

La universidad tendrá también un ahorro monetario en sus facturas de energía eléctrica de $174.105 durante el primer año, y con un incremento de aproximadamente 2% a partir de los siguientes años. De esta manera se hace también una contribución a la universidad, la cual podría emplear ese ahorro monetario generado, en el aporte para la realización de otros proyectos académicos, la mejora de instalaciones, u otras actividades que contribuyan al bienestar de la comunidad universitaria y al mejoramiento continuo de la institución educativa.

Por último, a partir de los tres impactos estudiados en este documento se puede concluir que hacer la instalación propuesta es beneficiosa para la institución, siendo el punto de partida para desarrollar un programa de sostenibilidad dentro de la universidad, introduciendo aplicadamente el tema de energías renovables en la institución, no solo teniendo en cuenta factores económicos sino también las repercusiones que estas aplicaciones tienen en pro el medio ambiente y en la comunidad.

11. RECOMENDACIONES

Al ser esta una aplicación tangible para la comunidad educativa, se espera que no sólo se quede en el sistema fotovoltaico como tal, sino que sea un modelo para futuros proyectos tanto a nivel educativo, como comercial e industrial.

Se recomienda instalar un controlador y una interfaz que permita recolectar datos de variables como voltaje del modulo fotovoltaico, corriente de carga de baterías, voltaje del banco de baterías, corriente de consumo de carga, energía producida por el sistema, energía consumida, para así llevar un control sobre el sistema fotovoltaico, su producción de energía y su uso. Esto con el objetivo de permitir hacer diferentes estudios sobre la información recolectada.

Igualmente, se recomienda estudiar la posibilidad de una instalación de mayor magnitud, como mínimo con el doble de capacidad que el sistema planteado inicialmente, es decir con un mínimo de 6 paneles y 4 baterías, incrementando la energía producida, llegando a un total de 1.451.970 Wh anuales y logrando así mayor contribución ambiental y económica para la universidad, pudiendo recuperar la inversión dentro del periodo de vida útil del sistema de 25 años. De ser posible conseguir el financiamiento se recomendaría, para la zona estudiada, una instalación que optimice el espacio de la zona, con 9 paneles solares, los cuales producirían 2.177.955Wh anuales, pudiendo recuperar la inversión en 21 años.

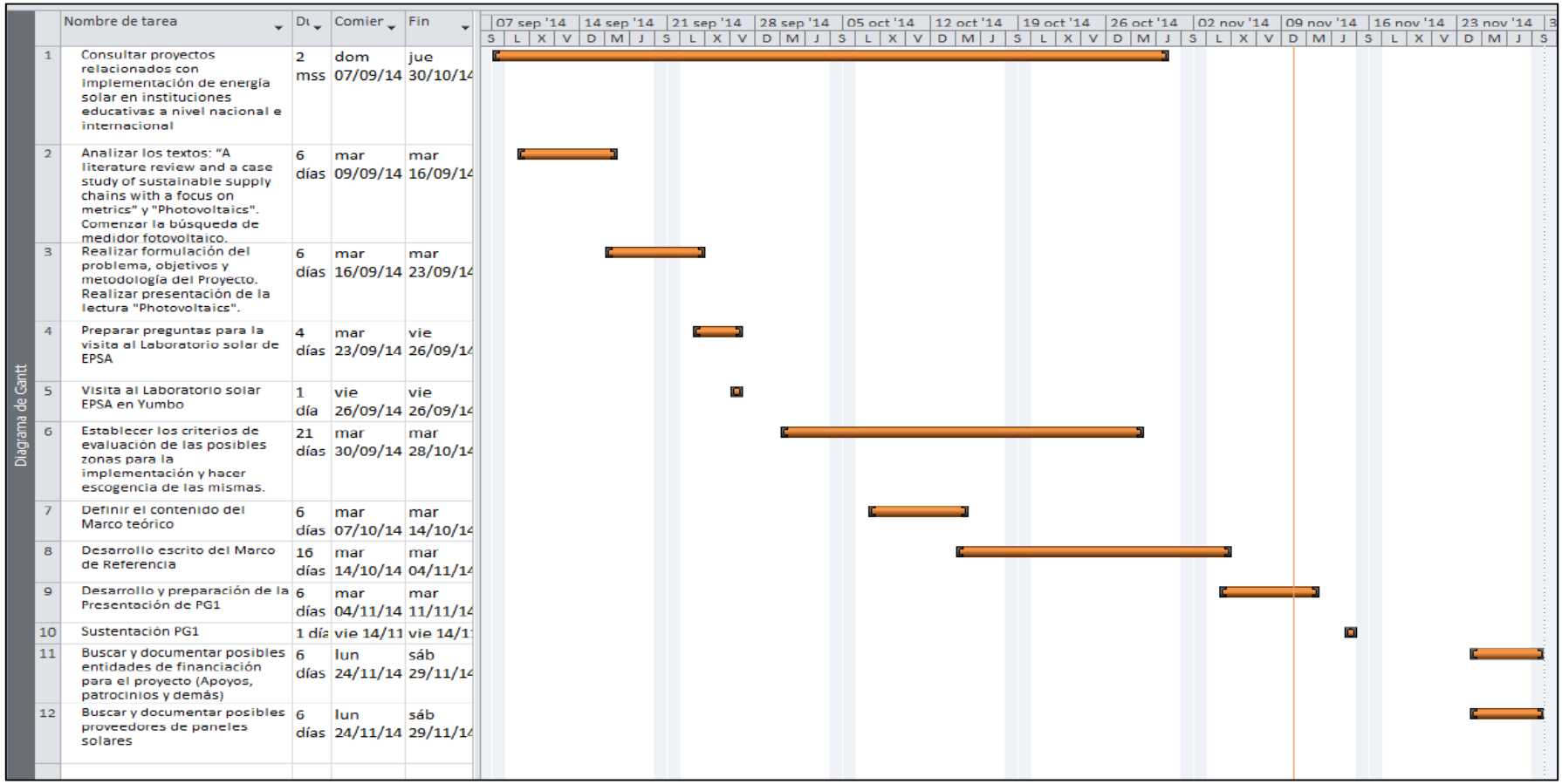
Se recomienda estudiar las zonas ya evaluadas y propuestas en este documento (como lo son las terrazas de los edificios L, E o Auditorios) para futuros proyectos de este tipo, ya que pueden llegar ser espacios propicios para la construcción de instalaciones fotovoltaicas más grandes, donde se logre producir mayor energía mediante el recurso solar. Además darle uso a estos espacios con energías alternativas, que hasta el momento no han sido utilizadas en la universidad.

Darle importancia al potencial en cuanto a recurso energético que hay en la Universidad Icesi para llevar a cabo este tipo de proyectos, y también en cuanto a la viabilidad de los diferentes espacios de la misma.

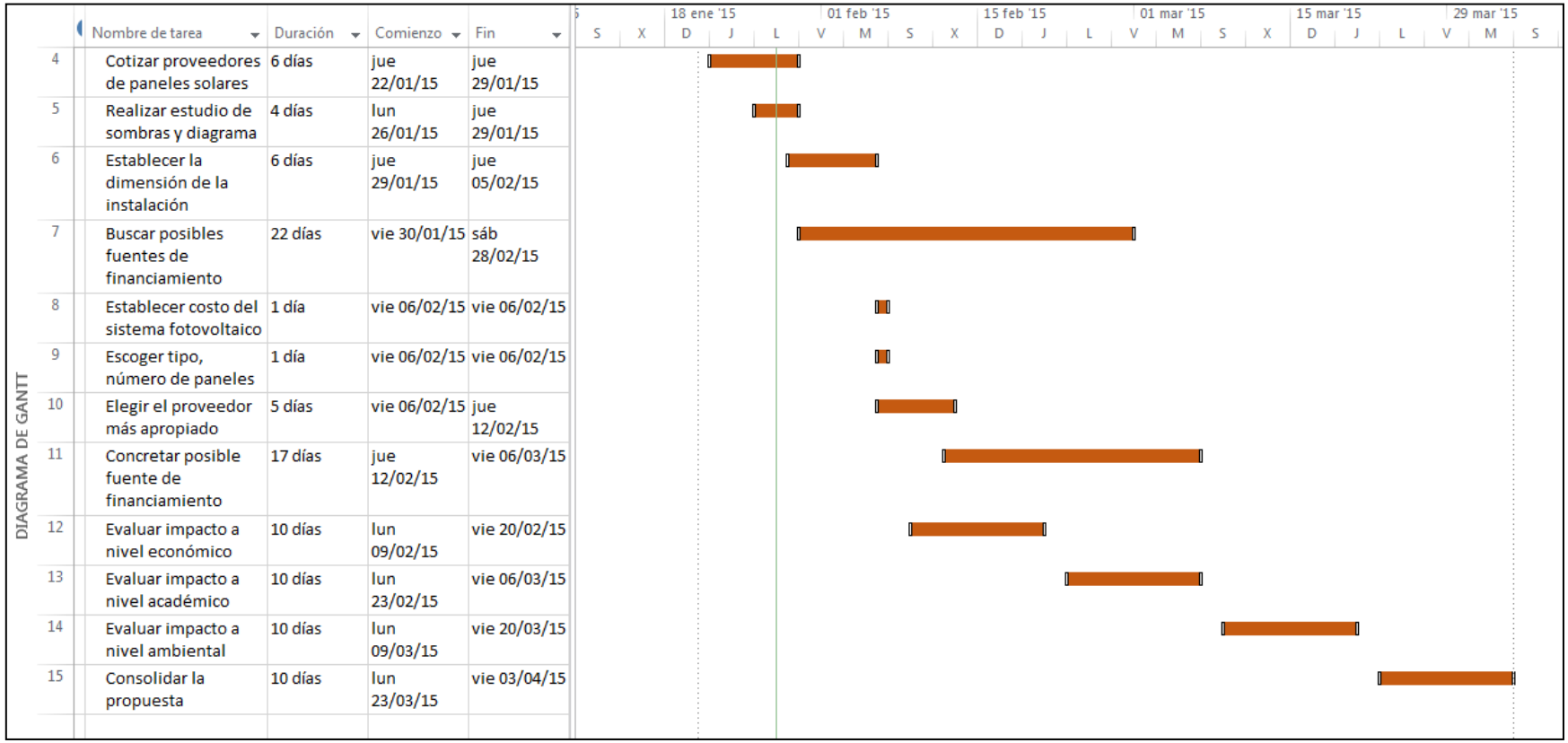
ANEXOS

Anexo A. Cronograma

Cronograma proyecto de grado I



Cronograma proyecto de grado II



	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
4	Cotizar proveedores de paneles solares	6 días	jue 22/01/15	jue 29/01/15
5	Realizar estudio de sombras y diagrama	4 días	lun 26/01/15	jue 29/01/15
6	Establecer la dimensión de la instalación	6 días	jue 29/01/15	jue 05/02/15
7	Buscar posibles fuentes de financiamiento	22 días	vie 30/01/15	sáb 28/02/15
8	Establecer costo del sistema fotovoltaico	1 día	vie 06/02/15	vie 06/02/15
9	Escoger tipo, número de paneles	1 día	vie 06/02/15	vie 06/02/15
10	Elegir el proveedor más apropiado	5 días	vie 06/02/15	jue 12/02/15
11	Concretar posible fuente de financiamiento	17 días	jue 12/02/15	vie 06/03/15
12	Evaluar impacto a nivel económico	10 días	lun 09/02/15	vie 20/02/15
13	Evaluar impacto a nivel académico	10 días	lun 23/02/15	vie 06/03/15
14	Evaluar impacto a nivel ambiental	10 días	lun 09/03/15	vie 20/03/15
15	Consolidar la propuesta	10 días	lun 23/03/15	vie 03/04/15

Anexo B. Recursos

Para la realización de este proyecto se requiere de los siguientes recursos:

- Recursos Humanos:

  Personal de mantenimiento de la Universidad Icesi

  Arquitecta de la Universidad

  Expertos en instalación de paneles solares

- Recursos Financieros:

Se buscarán posibles patrocinadores y/o apoyos de entidades interesadas en invertir en el proyecto, quienes proveerían los recursos monetarios.

- Recursos materiales:

Lugar adecuado para la instalación

Registros de demanda energética

Mediciones del recurso solar

Información de proveedores

Anexo C. Tablas de referencia de cálculo de pérdidas de radiación solar por sombras

Las tablas incluidas en esta sección se refieren a distintas superficies caracterizadas por sus ángulos de inclinación y orientación (α y β, respectivamente). Debe escogerse aquella que resulte más parecida a la superficie de estudio. Los números que figuran en cada casilla corresponden a el porcentaje de irradiación solar global anual que se perdería si la porción correspondiente resultase interceptada por un obstáculo.

Tabla V-1

$\beta = 35°$ $\alpha = 0°$	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,03
11	0,00	0,01	0,12	0,44
9	0,13	0,41	0,62	1,49
7	1,00	0,95	1,27	2,76
5	1,84	1,50	1,83	3,87
3	2,70	1,88	2,21	4,67
1	3,15	2,12	2,43	5,04
2	3,17	2,12	2,33	4,99
4	2,70	1,89	2,01	4,46
6	1,79	1,51	1,65	3,63
8	0,98	0,90	1,08	2,55
10	0,11	0,42	0,52	1,33
12	0,00	0,02	0,10	0,40
14	0,00	0,00	0,00	0,02

Tabla V-2

$\beta = 0°$ $\alpha = 0°$	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,18
11	0,00	0,01	0,18	1,05
9	0,05	0,32	0,70	2,23
7	0,52	0,77	1,32	3,56
5	1,11	1,26	1,85	4,66
3	1,75	1,60	2,20	5,44
1	2,10	1,81	2,40	5,78
2	2,11	1,80	2,30	5,73
4	1,75	1,61	2,00	5,19
6	1,09	1,26	1,65	4,37
8	0,51	0,82	1,11	3,28
10	0,05	0,33	0,57	1,98
12	0,00	0,02	0,15	0,96
14	0,00	0,00	0,00	0,17

Tabla V-3

$\beta = 90°$ $\alpha = 0°$	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,15
11	0,00	0,01	0,02	0,15
9	0,23	0,50	0,37	0,10
7	1,66	1,06	0,93	0,78
5	2,76	1,62	1,43	1,68
3	3,83	2,00	1,77	2,36
1	4,36	2,23	1,98	2,69
2	4,40	2,23	1,91	2,66
4	3,82	2,01	1,62	2,26
6	2,68	1,62	1,30	1,58
8	1,62	1,09	0,79	0,74
10	0,19	0,49	0,32	0,10
12	0,00	0,02	0,02	0,13
14	0,00	0,00	0,00	0,13

Tabla V-4

$\beta = 35°$ $\alpha = 30°$	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,10
11	0,00	0,00	0,03	0,06
9	0,02	0,10	0,19	0,56
7	0,54	0,55	0,78	1,80
5	1,32	1,12	1,40	3,06
3	2,24	1,60	1,92	4,14
1	2,89	1,98	2,31	4,87
2	3,16	2,15	2,40	5,20
4	2,93	2,08	2,23	5,02
6	2,14	1,82	2,00	4,46
8	1,35	1,36	1,48	3,54
10	0,18	0,71	0,88	2,26
12	0,00	0,06	0,32	1,17
14	0,00	0,00	0,00	0,22

Tabla V-5

$\beta = 90°$ $\alpha = 30°$	A	B	C	D
13	0,10	0,00	0,00	0,33
11	0,06	0,01	0,15	0,51
9	0,56	0,06	0,14	0,43
7	1,80	0,04	0,07	0,31
5	3,06	0,55	0,22	0,11
3	4,14	1,16	0,87	0,67
1	4,87	1,73	1,49	1,86
2	5,20	2,15	1,88	2,79
4	5,02	2,34	2,02	3,29
6	4,46	2,28	2,05	3,36
8	3,54	1,92	1,71	2,98
10	2,26	1,19	1,19	2,12
12	1,17	0,12	0,53	1,22
14	0,22	0,00	0,00	0,24

Tabla V-6

$\beta = 35°$ $\alpha = 60°$	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,14
11	0,00	0,00	0,08	0,16
9	0,02	0,04	0,04	0,02
7	0,02	0,13	0,31	1,02
5	0,64	0,68	0,97	2,39
3	1,55	1,24	1,59	3,70
1	2,35	1,74	2,12	4,73
2	2,85	2,05	2,38	5,40
4	2,86	2,14	2,37	5,53
6	2,24	2,00	2,27	5,25
8	1,51	1,61	1,81	4,49
10	0,23	0,94	1,20	3,18
12	0,00	0,09	0,52	1,96
14	0,00	0,00	0,00	0,55

Tabla V-7

$\beta = 90°$ $\alpha = 60°$	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,43
11	0,00	0,01	0,27	0,78
9	0,09	0,21	0,33	0,76
7	0,21	0,18	0,27	0,70
5	0,10	0,11	0,21	0,52
3	0,45	0,03	0,05	0,25
1	1,73	0,80	0,62	0,55
2	2,91	1,36	1,42	2,26
4	3,59	2,13	1,97	3,60
6	3,35	2,43	2,37	4,45
8	2,67	2,35	2,28	4,65
10	0,47	1,64	1,82	3,95
12	0,00	0,19	0,97	2,93
14	0,00	0,00	0,00	1,00

Tabla V-8

$\beta = 35°$ $\alpha = -30°$	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,22
11	0,00	0,03	0,37	1,26
9	0,21	0,70	1,05	2,50
7	1,34	1,28	1,73	3,79
5	2,17	1,79	2,21	4,70
3	2,90	2,05	2,43	5,20
1	3,12	2,13	2,47	5,20
2	2,88	1,96	2,19	4,77
4	2,22	1,60	1,73	3,91
6	1,27	1,11	1,25	2,84
8	0,52	0,57	0,65	1,64
10	0,02	0,10	0,15	0,50
12	0,00	0,00	0,03	0,05
14	0,00	0,00	0,00	0,08

Tabla V-9

$\beta = 90°$ $\alpha = -30°$	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,24
11	0,00	0,05	0,60	1,28
9	0,43	1,17	1,38	2,36
7	2,42	1,82	1,98	3,15
5	3,43	2,24	2,24	3,51
3	4,12	2,29	2,18	3,38
1	4,05	2,11	1,95	2,77
2	3,45	1,71	1,41	1,81
4	2,43	1,14	0,79	0,64
6	1,24	0,54	0,20	0,11
8	0,40	0,03	0,06	0,31
10	0,01	0,06	0,12	0,39
12	0,00	0,01	0,13	0,45
14	0,00	0,00	0,00	0,27

Tabla V-10

$\beta = 35°$ $\alpha = -60°$	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,56
11	0,00	0,04	0,60	2,09
9	0,27	0,91	1,42	3,49
7	1,51	1,51	2,10	4,76
5	2,25	1,95	2,48	5,48
3	2,80	2,08	2,56	5,68
1	2,78	2,01	2,43	5,34
2	2,22	1,70	2,00	4,59
4	1,52	1,22	1,42	3,46
6	0,62	0,67	0,85	2,20
8	0,02	0,14	0,26	0,92
10	0,02	0,04	0,03	0,02
12	0,00	0,01	0,07	0,14
14	0,00	0,00	0,00	0,12

Tabla V-11

$\beta = 90°$ $\alpha = -60°$	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	1,01
11	0,00	0,08	1,10	3,08
9	0,55	1,60	2,11	4,28
7	2,66	2,19	2,61	4,89
5	3,36	2,37	2,56	4,61
3	3,49	2,06	2,10	3,67
1	2,81	1,52	1,44	2,22
2	1,69	0,78	0,58	0,53
4	0,44	0,03	0,05	0,24
6	0,10	0,13	0,19	0,48
8	0,22	0,18	0,26	0,69
10	0,08	0,21	0,28	0,68
12	0,00	0,02	0,24	0,67
14	0,00	0,00	0,00	0,36

Anexo D. Tablas de registro diario de consumo energético en zona seleccionada

DÍA 1

HORA	EQUIPO	CANTIDAD EN USO	POTENCIA (W)	HORAS DE USO	CONSUMO (Wh)	TOTAL CONSUMO FRANJA HORARIA (Wh)
			0		0	
7-9 A.M			0		0	0
			0		0	
	Celular	1	21,6	1	21,6	
9-11 A.M	Tablet	1	40,5	0,75	30,375	51,975
			0		0	
	Computador	1	156,6	0,75	117,45	
11-1 P.M			0		0	117,45
			0		0	
			0		0	
1-2 P.M	Tablet	1	40,5	0,5	20,25	333,45
	Computador	2	156,6	1	313,2	
	Celular	1	21,6	0,5	10,8	
2-3 P.M	Tablet	1	40,5	0,33333333	13,5	24,3
			0		0	
			0		0	
3-4 P.M	Tablet	1	40,5	0,33333333	13,5	13,5
			0		0	
			0		0	
4-5 P.M			0		0	156,6
	Computador	1	156,6	1	156,6	
			0		0	
5-6 P.M			0		0	156,6
	Computador	1	156,6	1	156,6	
				TOTAL CONSUMO Wh/día	853,875	

DÍA 2

HORA	EQUIPO	CANTIDAD EN USO	POTENCIA (W)	HORAS DE USO	CONSUMO (Wh)	TOTAL CONSUMO FRANJA HORARIA (Wh)
			0		0	
7-9 A.M			0		0	0
			0		0	
	Tablet	1	40,5	0,25	10,125	
9-11 A.M			0		0	10,125
			0		0	
	Celular	1	21,6	1	21,6	
11-1 P.M	Celular	1	21,6	0,33333333	7,2	28,8
			0		0	
	Celular	1	21,6	0,41666667	9	
1-2 P.M			0		0	9
			0		0	
	Computador	1	156,6	0,66666667	104,4	
2-3 P.M			0		0	104,4
			0		0	
	Celular	1	21,6	1	21,6	
3-4 P.M			0		0	21,6
			0		0	
	Tablet	1	40,5	0,16666667	6,75	
4-5 P.M			0		0	6,75
			0		0	
	Celular	3	21,6	0,3	19,44	
5-6 P.M	Computador	1	156,6	0,33333333	52,2	71,64
			0		0	
				TOTAL CONSUMO Wh/día	252,315	

DÍA 3

HORA	EQUIPO	CANTIDAD EN USO	POTENCIA (W)	HORAS DE USO	CONSUMO (Wh)	TOTAL CONSUMO FRANJA HORARIA (Wh)
			0		0	
7-9 A.M			0		0	0
			0		0	
	Computador	1	156,6	2	313,2	
9-11 A.M			0		0	313,2
			0		0	
	Computador	1	156,6	1	156,6	
11-1 P.M			0		0	156,6
			0		0	
	Celular	1	21,6	0,25	5,4	
1-2 P.M	Computador	2	156,6	1	313,2	318,6
			0		0	
	Celular	1	21,6	0,3	6,48	
2-3 P.M	Computador	1	156,6	0,16666667	26,1	32,58
			0		0	
	Celular	2	21,6	0,23333333	10,08	
3-4 P.M			0		0	10,08
			0		0	
			0		0	
4-5 P.M			0		0	0
			0		0	
	Celular	1	21,6	0,3	6,48	
5-6 P.M			0		0	6,48
			0		0	
				TOTAL CONSUMO Wh/día	837,54	

DÍA 4

HORA	EQUIPO	CANTIDAD EN USO	POTENCIA (W)	HORAS DE USO	CONSUMO (Wh)	TOTAL CONSUMO FRANJA HORARIA (Wh)
			0		0	
7-9 A.M			0		0	0
			0		0	
	Tablet	1	40,5	0,41666667	16,875	
9-11 A.M			0		0	16,875
			0		0	
	Celular	1	21,6	0,5	10,8	
11-1 P.M			0		0	10,8
			0		0	
	Computador	4	156,6	0,58333333	365,4	
1-2 P.M			0		0	365,4
			0		0	
	Celular	2	21,6	1	43,2	
2-3 P.M			0		0	43,2
			0		0	
	Tablet	1	40,5	0,33333333	13,5	
3-4 P.M			0		0	13,5
			0		0	
	Celular	1	21,6	0,5	10,8	
4-5 P.M			0		0	10,8
			0		0	
	Celular	3	21,6	0,33333333	21,6	
5-6 P.M	Computador	1	156,6	1	156,6	178,2
			0		0	
				TOTAL CONSUMO Wh/día	638,775	

DÍA 5

HORA	EQUIPO	CANTIDAD EN USO	POTENCIA (W)	HORAS DE USO	CONSUMO (Wh)	TOTAL CONSUMO FRANJA HORARIA (Wh)
	Celular	1	21,6	0,41666667	9	
7-9 A.M			0		0	9
			0		0	
			0		0	
9-11 A.M			0		0	0
			0		0	
	Celular	3	21,6	0,33333333	21,6	
11-1 P.M	Computador	1	156,6	0,41666667	65,25	178,2
	Computador	1	156,6	0,58333333	91,35	
	Celular	2	21,6	0,33333333	14,4	
1-2 P.M	Tablet	1	40,5	0,5	20,25	34,65
			0		0	
			0		0	
2-3 P.M			0		0	0
			0		0	
	Celular	1	21,6	1	21,6	
3-4 P.M			0		0	21,6
			0		0	
	Computador	2	156,6	1	313,2	
4-5 P.M			0		0	313,2
			0		0	
	Computador	1	156,6	0,66666667	104,4	
5-6 P.M	Celular	1	0	0,66666667	0	104,4
			0		0	
				TOTAL CONSUMO Wh/día	661,05	

DÍA 6

HORA	EQUIPO	CANTIDAD EN USO	POTENCIA (W)	HORAS DE USO	CONSUMO (Wh)	TOTAL CONSUMO FRANJA HORARIA (Wh)
			0		0	
7-9 A.M			0		0	0
			0		0	
	Celular	1	21,6	0,25	5,4	
9-11 A.M	Tablet	1	40,5	0,33333333	15,525	20,925
			0		0	
	Tablet	2	40,5	0,33333333	27	
11-1 P.M			0		0	27
			0		0	
	Celular	1	21,6	0,5	10,8	
1-2 P.M	Celular	1	21,6	0,5	10,8	334,8
	Computador	2	156,6	1	313,2	
	Celular	1	21,6	1	21,6	
2-3 P.M			0		0	21,6
			0		0	
	Celular	1	21,6	0,25	5,4	
3-4 P.M	Celular	1	21,6	0,25	5,4	10,8
			0		0	
	Computador	2	156,6	1	313,2	
4-5 P.M			0		0	313,2
			0		0	
	Computador	2	156,6	1	313,2	
5-6 P.M	Celular	1	21,6	0,5	10,8	324
			0		0	
				TOTAL CONSUMO Wh/día	1052,325	

DÍA 7

HORA	EQUIPO	CANTIDAD EN USO	POTENCIA (W)	HORAS DE USO	CONSUMO (Wh)	TOTAL CONSUMO FRANJA HORARIA (Wh)
			0		0	
7-9 A.M			0		0	0
			0		0	
	Computador	1	156,6	1	156,6	
9-11 A.M			0		0	156,6
			0		0	
	Computador	1	156,6	1	156,6	
11-1 P.M			0		0	156,6
			0		0	
	Celular	2	21,6	1	43,2	
1-2 P.M	Computador	2	156,6	1	313,2	356,4
			0		0	
	Celular	1	21,6	0,66666667	14,4	
2-3 P.M			0		0	14,4
			0		0	
			0		0	
3-4 P.M			0		0	0
			0		0	
			0		0	
4-5 P.M			0		0	0
			0		0	
	Celular	1	21,6	0,5	10,8	
5-6 P.M	Computador	1	156,6	1	156,6	167,4
			0		0	
				TOTAL CONSUMO Wh/día	851,4	

DÍA 8

HORA	EQUIPO	CANTIDAD EN USO	POTENCIA (W)	HORAS DE USO	CONSUMO (Wh)	TOTAL CONSUMO FRANJA HORARIA (Wh)
	Celular	1	21,6	0,5	10,8	
7-9 A.M			0		0	10,8
			0		0	
			0		0	
9-11 A.M			0		0	0
			0		0	
	Tablet	2	40,5	0,33333333	27	
11-1 P.M			0		0	27
			0		0	
	Computador	1	156,6	1	156,6	
1-2 P.M			0		0	156,6
			0		0	
	Celular	1	21,6	1	21,6	
2-3 P.M	Celular	1	21,6	1	21,6	50,4
	Celular	1	21,6	0,33333333	7,2	
	Celular	1	21,6	0,75	16,2	
3-4 P.M			0		0	16,2
			0		0	
	Tablet	1	40,5	0,33333333	13,5	
4-5 P.M			0		0	13,5
			0		0	
	Celular	3	21,6	1	64,8	
5-6 P.M			0		0	64,8
			0		0	
				TOTAL CONSUMO Wh/día	339,3	

DÍA 9

HORA	EQUIPO	CANTIDAD EN USO	POTENCIA (W)	HORAS DE USO	CONSUMO (Wh)	TOTAL CONSUMO FRANJA HORARIA (Wh)
	Tablet	1	40,5	0,5	20,25	
7-9 A.M			0		0	20,25
			0		0	
	Celular	1	21,6	0,41666667	9	
9-11 A.M			0		0	9
			0		0	
			0		0	
11-1 P.M			0		0	0
			0		0	
	Computador	2	156,6	0,25	78,3	
1-2 P.M			0		0	78,3
			0		0	
	Tablet	1	40,5	0,33333333	13,5	
2-3 P.M			0		0	13,5
			0		0	
			0		0	
3-4 P.M			0		0	0
			0		0	
	Computador	2	156,6	1	313,2	
4-5 P.M			0		0	313,2
			0		0	
	Tablet	1	40,5	0,25	10,125	
5-6 P.M			0		0	10,125
			0		0	
				TOTAL CONSUMO Wh/día	444,375	

DÍA 10

HORA	EQUIPO	CANTIDAD EN USO	POTENCIA (W)	HORAS DE USO	CONSUMO (Wh)	TOTAL CONSUMO FRANJA HORARIA (Wh)
7-9 A.M	Celular	2	43,2	0,75	64,8	64,8
			0		0	
			0		0	
9-11 A.M	Tablet	1	40,5	0,5	20,25	20,25
			0		0	
			0		0	
11-1 P.M	Computador	1	156,6	1	156,6	156,6
			0		0	
			0		0	
1-2 P.M	Celular	1	21,6	0,5	10,8	167,4
	Computador	1	156,6	1	156,6	
			0		0	
2-3 P.M	Computador	1	156,6	1	156,6	156,6
			0		0	
			0		0	
3-4 P.M	Computador	1	156,6	1	156,6	156,6
			0		0	
			0		0	
4-5 P.M	Celular	1	21,6	0,5	10,8	10,8
			0		0	
			0		0	
5-6 P.M	Celular	1	21,6	0,75	16,2	16,2
			0		0	
			0		0	
				TOTAL CONSUMO Wh/día	749,25	

DÍA 11

HORA	EQUIPO	CANTIDAD EN USO	POTENCIA (W)	HORAS DE USO	CONSUMO (Wh)	TOTAL CONSUMO FRANJA HORARIA (Wh)
7-9 A.M			0		0	0
			0		0	
			0		0	
9-11 A.M	Computador	2	156,6	0,66666667	208,8	208,8
			0		0	
			0		0	
11-1 P.M			0		0	0
			0		0	
			0		0	
1-2 P.M			0		0	0
			0		0	
			0		0	
2-3 P.M	Computador	1	156,6	0,5	78,3	78,3
			0		0	
			0		0	
3-4 P.M	Computador	1	156,6	1	156,6	156,6
			0		0	
			0		0	
4-5 P.M	Celular	1	21,6	0,33333333	7,2	7,2
			0		0	
			0		0	
5-6 P.M	Computador	1	156,6	1	156,6	178,2
	Celular	2	21,6	0,5	21,6	
			0		0	
				TOTAL CONSUMO Wh/día	629,1	

DÍA 12

HORA	EQUIPO	CANTIDAD EN USO	POTENCIA (W)	HORAS DE USO	CONSUMO (Wh)	TOTAL CONSUMO FRANJA HORARIA (Wh)
7-9 A.M	Computador	1	156,6	0,75	117,45	117,45
			0		0	
			0		0	
9-11 A.M			0		0	0
			0		0	
			0		0	
11-1 P.M	Celular	2	21,6	0,58333333	25,2	25,2
			0		0	
			0		0	
1-2 P.M	Celular	3	21,6	0,66666667	43,2	173,7
	Computador	1	156,6	0,83333333	130,5	
			0		0	
2-3 P.M			0		0	0
			0		0	
			0		0	
3-4 P.M			0		0	0
			0		0	
			0		0	
4-5 P.M	Tablet	1	40,5	0,33333333	13,5	13,5
			0		0	
			0		0	
5-6 P.M	Computador	1	156,6	0,66666667	104,4	104,4
			0		0	
			0		0	
				TOTAL CONSUMO Wh/día	434,25	

DÍA 13

HORA	EQUIPO	CANTIDAD EN USO	POTENCIA (W)	HORAS DE USO	CONSUMO (Wh)	TOTAL CONSUMO FRANJA HORARIA (Wh)
7-9 A.M			0		0	0
			0		0	
			0		0	
9-11 A.M	Celular	2	43,2	0,5	43,2	63,45
	Tablet	1	40,5	0,5	20,25	
			0		0	
11-1 P.M			0		0	0
			0		0	
			0		0	
1-2 P.M	Computador	1	156,6	0,5	78,3	94,5
	Celular	1	21,6	0,75	16,2	
			0		0	
2-3 P.M			0		0	0
			0		0	
			0		0	
3-4 P.M	Computador	1	156,6	1	156,6	163,8
	Celular	1	21,6	0,33333333	7,2	
			0		0	
4-5 P.M	Computador	1	156,6	1	156,6	156,6
			0		0	
			0		0	
			0		0	
5-6 P.M			0		0	0
			0		0	
			0		0	
				TOTAL CONSUMO Wh/día	478,35	

DÍA 14

HORA	EQUIPO	CANTIDAD EN USO	POTENCIA (W)	HORAS DE USO	CONSUMO (Wh)	TOTAL CONSUMO FRANJA HORARIA (Wh)
7-9 A.M			0		0	6,75
	Tablet	1	40,5	0,16666667	6,75	
			0		0	
9-11 A.M	Computador	1	156,6	0,5	78,3	78,3
			0		0	
			0		0	
11-1 P.M			0		0	0
			0		0	
			0		0	
1-2 P.M	Computador	1	156,6	0,75	117,45	117,45
			0		0	
			0		0	
2-3 P.M	Celular	1	21,6	0,25	5,4	5,4
			0		0	
			0		0	
3-4 P.M	Celular	1	21,6	0,41666667	9	9
			0		0	
			0		0	
4-5 P.M	Computador	1	156,6	0,5	78,3	78,3
			0		0	
			0		0	
5-6 P.M	Computador	2	156,6	1	313,2	313,2
			0		0	
			0		0	
				TOTAL CONSUMO Wh/día	608,4	

DÍA 15

HORA	EQUIPO	CANTIDAD EN USO	POTENCIA (W)	HORAS DE USO	CONSUMO (Wh)	TOTAL CONSUMO FRANJA HORARIA (Wh)
7-9 A.M			0		0	0
			0		0	
			0		0	
9-11 A.M	Tablet	2	40,5	0,25	20,25	20,25
			0		0	
			0		0	
11-1 P.M	Computador	1	156,6	1	156,6	156,6
			0		0	
			0		0	
1-2 P.M	Computador	2	156,6	0,5	156,6	156,6
			0		0	
			0		0	
2-3 P.M			0		0	0
			0		0	
			0		0	
3-4 P.M	Tablet	1	40,5	0,41666667	16,875	16,875
			0		0	
			0		0	
4-5 P.M	Celular	1	21,6	0,5	10,8	10,8
			0		0	
			0		0	
5-6 P.M			0		0	0
			0		0	
			0		0	
				TOTAL CONSUMO Wh/día	361,125	

DÍA 16

HORA	EQUIPO	CANTIDAD EN USO	POTENCIA (W)	HORAS DE USO	CONSUMO (Wh)	TOTAL CONSUMO FRANJA HORARIA (Wh)
7-9 A.M			0		0	0
			0		0	
			0		0	
9-11 A.M	Computador	2	156,6	0,75	234,9	234,9
			0		0	
			0	0,75	0	
11-1 P.M	Celular	2	21,6	1	43,2	43,2
			0		0	
	Computador	1	156,6	0,5	78,3	89,1
1-2 P.M	Celular	1	21,6	0,5	10,8	
					0	
	Tablet	1	40,5	0,5	20,25	72,45
2-3 P.M	Computador	1	156,6	0,33333333	52,2	
			0		0	
			0		0	
3-4 P.M	Celular	1	21,6	0,33333333	7,2	7,2
			0		0	
			0		0	
4-5 P.M			0		0	0
			0		0	
	Computador	2	156,6	1	313,2	313,2
5-6 P.M			0		0	
			0		0	
				TOTAL CONSUMO Wh/día	760,05	

DÍA 17

HORA	EQUIPO	CANTIDAD EN USO	POTENCIA (W)	HORAS DE USO	CONSUMO (Wh)	TOTAL CONSUMO FRANJA HORARIA (Wh)
7-9 A.M			0		0	0
			0		0	
			0		0	
9-11 A.M			0		0	0
			0		0	
			0		0	
11-1 P.M	Computador	1	156,6	1	156,6	188,325
	Tablet	1	40,5	0,25	10,125	
	Celular	1	21,6	1	21,6	
1-2 P.M	Computador	2	156,6	0,5	156,6	164,16
	Celular	1	21,6	0,35	7,56	
			0		0	
2-3 P.M			0		0	0
			0		0	
			0		0	
3-4 P.M	Celular	1	21,6	0,25	5,4	5,4
			0		0	
4-5 P.M	Computador	2	156,6	0,5	156,6	156,6
			0		0	
			0		0	
5-6 P.M			0		0	0
			0		0	
				TOTAL CONSUMO Wh/día	514,485	

DÍA 18

HORA	EQUIPO	CANTIDAD EN USO	POTENCIA (W)	HORAS DE USO	CONSUMO (Wh)	TOTAL CONSUMO FRANJA HORARIA (Wh)
7-9 A.M			0		0	0
			0		0	
			0		0	
9-11 A.M			0		0	0
			0		0	
			0		0	
11-1 P.M	Tablet	1	40,5	0,5	20,25	176,85
	Computador	1	156,6	1	156,6	
			0		0	
1-2 P.M			0		0	241,38
	Celular	1	21,6	0,3	6,48	
	Computador	3	156,6	0,5	234,9	
2-3 P.M	Celular	1	21,6	1	21,6	21,6
			0		0	
			0		0	
3-4 P.M	Celular	1	21,6	0,75	16,2	16,2
			0		0	
	Celular	1	21,6	0,75	16,2	16,2
4-5 P.M			0		0	
			0		0	
	Computador	2	156,6	1	313,2	324
5-6 P.M	Celular	1	21,6	0,5	10,8	
			0		0	
				TOTAL CONSUMO Wh/día	796,23	

DÍA 19

HORA	EQUIPO	CANTIDAD EN USO	POTENCIA (W)	HORAS DE USO	CONSUMO (Wh)	TOTAL CONSUMO FRANJA HORARIA (Wh)
			0		0	
7-9 A.M	Computador	1	156,6	1	156,6	167,4
	Celular	1	21,6	0,5	10,8	
					0	
9-11 A.M	Computador	1	156,6	0,75	117,45	117,45
			0		0	
	Celular	1	21,6	0,75	16,2	
11-1 P.M	Tablet	1	40,5	0,5	20,25	36,45
			0		0	
	Computador	2	156,6	1	313,2	
1-2 P.M	Celular	1	21,6	0,5	10,8	324
			0		0	
			0		0	
2-3 P.M	Computador	3	156,6	0,33333333	156,6	156,6
			0		0	
			0		0	
3-4 P.M	Celular	1	21,6	0,45	9,72	166,32
	Computador	1	156,6	1	156,6	
			0		0	
4-5 P.M	Celular	1	21,6	0,66	14,256	14,256
			0		0	
			0		0	
5-6 P.M			0		0	0
			0		0	
				TOTAL CONSUMO Wh/dia	982,476	

DÍA 20

HORA	EQUIPO	CANTIDAD EN USO	POTENCIA (W)	HORAS DE USO	CONSUMO (Wh)	TOTAL CONSUMO FRANJA HORARIA (Wh)
			0		0	
7-9 A.M			0		0	0
			0		0	
			0		0	
9-11 A.M	Computador	1	156,6	1	156,6	156,6
			0		0	
	Computador	1	156,6	1	156,6	
11-1 P.M	Tablet	1	40,5	0,5	20,25	176,85
			0		0	
	Computador	2	156,6	1	313,2	
1-2 P.M	Celular	1	21,6	0,5	10,8	324
			0		0	
			0		0	
2-3 P.M	Computador	1	156,6	0,33333333	52,2	52,2
			0		0	
			0		0	
3-4 P.M	Celular	1	21,6	0,5	10,8	89,1
	Computador	1	156,6	0,5	78,3	
			0		0	
4-5 P.M	Celular	2	21,6	0,33	14,256	14,256
			0		0	
			0		0	
5-6 P.M			0		0	0
			0		0	
				TOTAL CONSUMO Wh/dia	813,006	

DÍA 21

HORA	EQUIPO	CANTIDAD EN USO	POTENCIA (W)	HORAS DE USO	CONSUMO (Wh)	TOTAL CONSUMO FRANJA HORARIA (Wh)
			0		0	
7-9 A.M			0		0	0
			0		0	
			0		0	
9-11 A.M	Celular	3	21,6	0,75	48,6	48,6
			0		0	
	Computador	1	156,6	0,75	117,45	
11-1 P.M	Celular	1	0	0,75	0	117,45
			0		0	
	Computador	2	156,6	1	313,2	
1-2 P.M	Celular	2	21,6	1	43,2	356,4
			0		0	
			0		0	
2-3 P.M			0		0	0
			0		0	
			0		0	
3-4 P.M	Celular	1	21,6	0,5	10,8	31,05
	Tablet	1	40,5	0,5	20,25	
			0		0	
4-5 P.M	Celular	1	21,6	1	21,6	21,6
			0		0	
	Celular	2	0	0,75	0	
5-6 P.M			0		0	0
			0		0	
				TOTAL CONSUMO Wh/dia	575,1	

DÍA 22

HORA	EQUIPO	CANTIDAD EN USO	POTENCIA (W)	HORAS DE USO	CONSUMO (Wh)	TOTAL CONSUMO FRANJA HORARIA (Wh)
			0		0	
7-9 A.M			0		0	0
			0		0	
			0		0	
9-11 A.M	Computador	1	156,6	0,33	51,678	58,806
	Celular	1	21,6	0,33	7,128	
	Tablet	1	40,5	0,25	10,125	
11-1 P.M	Computador	1	156,6	0,75	117,45	127,575
			0		0	
	Computador	1	156,6	1	156,6	
1-2 P.M	Celular	1	21,6	0,5	10,8	167,4
			0		0	
			0		0	
2-3 P.M			0		0	0
			0		0	
			0		0	
3-4 P.M			0		0	0
			0		0	
			0		0	
4-5 P.M	Computador	1	156,6	1	156,6	156,6
			0		0	
	Celular	1	0	0,5	0	
5-6 P.M			0		0	0
			0		0	
				TOTAL CONSUMO Wh/dia	510,381	

DÍA 23

HORA	EQUIPO	CANTIDAD EN USO	POTENCIA (W)	HORAS DE USO	CONSUMO (Wh)	TOTAL CONSUMO FRANJA HORARIA (Wh)
			0		0	
7-9 A.M	Celular		21,6	0,75	0	0
			0		0	
			0		0	
9-11 A.M	Computador	2	156,6	1	313,2	313,2
			0		0	
			0		0	
11-1 P.M	Celular	2	21,6	1	43,2	43,2
			0		0	
	Computador	1	156,6	0,25	39,15	
1-2 P.M	Celular	1	21,6	0,5	10,8	49,95
					0	
	Tablet	1	40,5	0,5	20,25	
2-3 P.M	Computador	1	156,6	0,33333333	52,2	72,45
			0		0	
			0		0	
3-4 P.M	Computador	1	156,6	0,33333333	52,2	73,8
	Celular	2	21,6	0,5	21,6	
			0		0	
4-5 P.M			0		0	0
			0		0	
	Computador	2	156,6	1	313,2	
5-6 P.M			0		0	313,2
			0		0	
				TOTAL CONSUMO Wh/dia	865,8	

DÍA 24

HORA	EQUIPO	CANTIDAD EN USO	POTENCIA (W)	HORAS DE USO	CONSUMO (Wh)	TOTAL CONSUMO FRANJA HORARIA (Wh)
			0		0	
7-9 A.M			0		0	0
			0		0	
			0		0	
9-11 A.M			0		0	0
			0		0	
			0		0	
11-1 P.M	Celular	2	21,6	1	43,2	43,2
			0		0	
	Computador	2	156,6	0,3	93,96	
1-2 P.M	Celular	1	21,6	1	21,6	115,56
					0	
			0		0	
2-3 P.M	Celular	1	21,6	0,66	14,256	14,256
			0		0	
			0		0	
3-4 P.M	Computador	1	156,6	0,33333333	52,2	73,8
	Celular	2	21,6	0,5	21,6	
			0		0	
4-5 P.M			0		0	0
			0		0	
	Computador	2	156,6	1	313,2	
5-6 P.M			0		0	313,2
			0		0	
				TOTAL CONSUMO Wh/dia	560,016	

DÍA 25

HORA	EQUIPO	CANTIDAD EN USO	POTENCIA (W)	HORAS DE USO	CONSUMO (Wh)	TOTAL CONSUMO FRANJA HORARIA (Wh)
			0		0	
7-9 A.M	Computador	1	156,6	0,7	109,62	116,1
	Celular	1	21,6	0,3	6,48	
			0		0	
9-11 A.M	Celular	2	21,6	0,75	32,4	62,775
	Tablet	1	40,5	0,75	30,375	
			0		0	
11-1 P.M			0		0	78,3
	Computador	1	156,6	0,5	78,3	
			0		0	
1-2 P.M	Celular	2	21,6	0,5	21,6	21,6
					0	
			0		0	
2-3 P.M	Computador	1	156,6	0,3	46,98	63,18
	Celular	1	21,6	0,75	16,2	
			0		0	
3-4 P.M	Computador	2	156,6	0,5	156,6	156,6
			0		0	
			0		0	
4-5 P.M			0		0	10,8
	Celular	1	21,6	0,5	10,8	
			0		0	
5-6 P.M	Celular	1	21,6	1	21,6	21,6
			0		0	
				TOTAL CONSUMO Wh/dia	530,955	

DÍA 26

HORA	EQUIPO	CANTIDAD EN USO	POTENCIA (W)	HORAS DE USO	CONSUMO (Wh)	TOTAL CONSUMO FRANJA HORARIA (Wh)
			0		0	
7-9 A.M			0		0	0
			0		0	
	Celular	1	21,6	0,5	10,8	
9-11 A.M	Tablet	1	40,5	0,3	12,15	85,59
	Computador	1	156,6	0,4	62,64	
			0		0	
11-1 P.M	Computador	1	156,6	1	156,6	178,2
	Celular	1	21,6	1	21,6	
			0		0	
1-2 P.M	Computador	2	156,6	1	313,2	313,2
					0	
			0		0	
2-3 P.M			0		0	0
			0		0	
	Celular	1	21,6	0,35	7,56	
3-4 P.M			0		0	7,56
			0		0	
	Computador	1	156,6	0,5	78,3	
4-5 P.M	Celular	1	21,6	0,5	10,8	89,1
			0		0	
			0		0	
5-6 P.M	Computador	2	156,6	1	313,2	313,2
			0		0	
				TOTAL CONSUMO Wh/dia	986,85	

DÍA 27

HORA	EQUIPO	CANTIDAD EN USO	POTENCIA (W)	HORAS DE USO	CONSUMO (Wh)	TOTAL CONSUMO FRANJA HORARIA (Wh)
			0		0	
7-9 A.M			0		0	0
			0		0	
	Celular	1	21,6	0,5	10,8	
9-11 A.M	Computador	1	156,6	0,5	78,3	89,1
			0		0	
	Celular	1	21,6	0,6	12,96	
11-1 P.M	Computador	2	156,6	1	313,2	326,16
			0		0	
	Tablet	1	40,5	0,33	13,365	
1-2 P.M	Celular	3	21,6	0,33	21,384	191,349
	Computador	1	156,6	1	156,6	
			0		0	
2-3 P.M			0		0	0
			0		0	
			0		0	
3-4 P.M			0		0	0
			0		0	
			0		0	
4-5 P.M	Celular	1	21,6	0,25	5,4	83,7
	Computador	2	156,6	0,25	78,3	
			0		0	
5-6 P.M	Celular	1	21,6	0,25	5,4	5,4
			0		0	
				TOTAL CONSUMO Wh/dia	695,709	

DÍA 28

HORA	EQUIPO	CANTIDAD EN USO	POTENCIA (W)	HORAS DE USO	CONSUMO (Wh)	TOTAL CONSUMO FRANJA HORARIA (Wh)
			0		0	
7-9 A.M			0		0	313,2
	Computador	2	156,6	1	313,2	
			0		0	
9-11 A.M	Celular	1	21,6	0,5	10,8	10,8
			0		0	
			0		0	
11-1 P.M	Tablet	1	40,5	0,75	30,375	46,575
	Celular	1	21,6	0,75	16,2	
			0		0	
1-2 P.M	Computador	1	156,6	1	156,6	156,6
			0		0	
			0		0	
2-3 P.M	Celular	1	21,6	0,35	7,56	7,56
			0		0	
			0		0	
3-4 P.M	Computador	1	156,6	0,25	39,15	49,95
	Celular	1	21,6	0,5	10,8	
			0		0	
4-5 P.M			0		0	0
			0		0	
	Computador	2	156,6	0,25	78,3	
5-6 P.M	Celular	1	21,6	0,25	5,4	83,7
			0		0	
				TOTAL CONSUMO Wh/dia	668,385	

DÍA 29

HORA	EQUIPO	CANTIDAD EN USO	POTENCIA (W)	HORAS DE USO	CONSUMO (Wh)	TOTAL CONSUMO FRANJA HORARIA (Wh)
			0		0	
7-9 A.M			0		0	0
			0		0	
			0		0	
9-11 A.M			0		0	0
			0		0	
	Celular	1	21,6	1	21,6	
11-1 P.M	Computador	1	156,6	0,66	103,356	124,956
			0		0	
	Celular	1	21,6	0,5	10,8	
1-2 P.M	Computador	2	156,6	1	313,2	324
			0		0	
			0		0	
2-3 P.M			0		0	0
			0		0	
	Computador	1	156,6	0,25	39,15	
3-4 P.M	Tablet	1	40,5	0,25	10,125	49,275
			0		0	
	Celular	1	21,6	0,25	5,4	
4-5 P.M			0		0	5,4
			0		0	
	Computador	1	156,6	0,5	78,3	
5-6 P.M	Celular	2	21,6	0,5	21,6	99,9
			0		0	
				TOTAL CONSUMO Wh/dia	603,531	

DÍA 30

HORA	EQUIPO	CANTIDAD EN USO	POTENCIA (W)	HORAS DE USO	CONSUMO (Wh)	TOTAL CONSUMO FRANJA HORARIA (Wh)
	Computador	1	156,6	0,25	39,15	
7-9 A.M			0		0	44,55
	Celular	1	21,6	0,25	5,4	
			0		0	
9-11 A.M	Celular	1	21,6	0,25	5,4	5,4
			0		0	
			0		0	
11-1 P.M	Tablet	1	40,5	0,5	20,25	98,55
	Computador	1	156,6	0,5	78,3	
			0		0	
1-2 P.M	Celular	1	21,6	1	21,6	178,2
	Computador	1	156,6	1	156,6	
			0		0	
2-3 P.M			0		0	0
			0		0	
			0		0	
3-4 P.M	Celular	1	21,6	0,25	5,4	5,4
			0		0	
			0		0	
4-5 P.M	Celular	1	21,6	0,33	7,128	7,128
			0		0	
			0		0	
5-6 P.M	Computador	1	156,6	1	156,6	156,6
			0		0	
				TOTAL CONSUMO Wh/día	495,828	

Anexo E. Datos Radiación Solar (CVC, 2012-2014)

✓ Datos 2012

ENERO		
Día	Radiación (cal/cm²)	Radiación (Wh/m²)
1	448	5210.24
2	178	2070.14
3	361	4198.43
4	373	4337.99
5	261	3035.43
6	325	3779.75
7	382	4442.66
8	298	3465.74
9	395	4593.85
10	366	4256.58
11	415	4826.45
12	368	4279.84
13	268	3116.84
14	418	4861.34
15	419	4872.97
16	465	5407.95
17	390	4535.7
18	295	3430.85
19	447	5198.61
20	272	3163.36
21	386	4489.18
22	306	3558.78
23	378	4396.14
24	205	2384.15
25	465	5407.95
26	406	4721.78
27	400	4652
28	444	5163.72
29	441	5128.83
30	340	3954.2
31	325	3779.75
PROMEDIO		4216.8129

FEBRERO		
Día	Radiación (cal/cm²)	Radiación (Wh/m²)
1	378	4396.14
2	400	4652
3	318	3698.34
4	404	4698.52
5	214	2488.82
6	246	2860.98
7	369	4291.47
8	243	2826.09
9	379	4407.77
10	369	4291.47
11	279	3244.77
12	400	4652
13	404	4698.52
14	432	5024.16
15	458	5326.54
16	467	5431.21
17	486	5652.18
18	451	5245.13
19	433	5035.79
20	450	5233.5
21	394	4582.22
22	260	3023.8
23	448	5210.24
24	370	4303.1
25	252	2930.76
26	444	5163.72
27	458	5326.54
28	390	4535.7
29	474	5512.62
PROMEDIO		4439.45172

MARZO		
Día	Radiación (cal/cm²)	Radiación (Wh/m²)
1	397	4617.11
2	409	4756.67
3	334	3884.42
4	410	4768.3
5	369	4291.47
6	469	5454.47
7	488	5675.44
8	426	4954.38
9	334	3884.42
10	295	3430.85
14	422	4907.86
15	491	5710.33
16	325	3779.75
17	294	3419.22
18	369	4291.47
19	228	2651.64
20	261	3035.43
21	359	4175.17
22	270	3140.1
23	411	4779.93
24	226	2628.38
25	363	4221.69
26	234	2721.42
27	395	4593.85
28	372	4326.36
29	501	5826.63
30	487	5663.81
31	446	5186.98
PROMEDIO		4313.48393

ABRIL		
Día	Radiación (cal/cm²)	Radiación (Wh/m²)
1	408	4745.04
2	454	5280.02
3	449	5221.87
4	342	3977.46
5	413	4803.19
6	405	4710.15
7	222	2581.86
8	308	3582.04
9	321	3733.23
10	362	4210.06
11	370	4303.1
12	196	2279.48
13	361	4198.43
14	279	3244.77
15	374	4349.62
16	346	4023.98
17	309	3593.67
18	462	5373.06
19	365	4244.95
20	414	4814.82
21	221	2570.23
22	358	4163.54
23	528	6140.64
24	435	5059.05
25	479	5570.77
26	317	3686.71
27	390	4535.7
28	238	2767.94
29	407	4733.41
30	380	4419.4
PROMEDIO		4230.60633

MAYO		
Día	Radiación (cal/cm²)	Radiación (Wh/m²)
1	291	3384.33
2	446	5186.98
3	470	5466.1
4	304	3535.52
5	432	5024.16
6	446	5186.98
7	300	3489
8	451	5245.13
9	428	4977.64
10	413	4803.19
11	315	3663.45
12	371	4314.73
13	327	3803.01
14	356	4140.28
15	460	5349.8
16	454	5280.02
17	282	3279.66
18	423	4919.49
19	282	3279.66
20	417	4849.71
21	355	4128.65
22	415	4826.45
23	487	5663.81
24	280	3256.4
25	302	3512.26
26	429	4989.27
27	439	5105.57
28	445	5175.35
29	419	4872.97
30	431	5012.53
31	450	5233.5
PROMEDIO		4546.955

JUNIO		
Día	Radiación (cal/cm²)	Radiación (Wh/m²)
1	387	4500.81
2	452	5256.76
3	361	4198.43
4	469	5454.47
5	312	3628.56
6	460	5349.8
7	451	5245.13
8	403	4686.89
9	403	4686.89
10	427	4966.01
11	324	3768.12
12	234	2721.42
13	384	4465.92
14	359	4175.17
15	438	5093.94
16	291	3384.33
17	471	5477.73
18	434	5047.42
19	475	5524.25
20	448	5210.24
21	370	4303.1
22	492	5721.96
23	254	2954.02
24	412	4791.56
25	346	4023.98
26	426	4954.38
27	487	5663.81
28	482	5605.66
29	352	4093.76
30	325	3779.75
PROMEDIO		4624.476

JULIO		
Día	Radiación (cal/cm²)	Radiación (Wh/m²)
1	342	3977.46
2	491	5710.33
3	451	5245.13
4	354	4117.02
5	340	3954.2
6	423	4919.49
7	466	5419.58
8	486	5652.18
9	405	4710.15
10	382	4442.66
11	251	2919.13
12	386	4489.18
13	316	3675.08
14	310	3605.3
15	410	4768.3
16	485	5640.55
17	397	4617.11
18	428	4977.64
19	410	4768.3
20	334	3884.42
21	488	5675.44
22	363	4221.69
23	279	3244.77
24	381	4431.03
25	495	5756.85
26	484	5628.92
27	354	4117.02
28	253	2942.39
29	414	4814.82
30	323	3756.49
31	487	5663.81
PROMEDIO		4572.4658

AGOSTO		
Día	Radiación (cal/cm²)	Radiación (Wh/m²)
1	332	3861.16
2	479	5570.77
3	475	5524.25
4	425	4942.75
5	362	4210.06
6	510	5931.3
7	430	5000.9
8	462	5373.06
9	384	4465.92
10	331	3849.53
11	451	5245.13
12	404	4698.52
13	317	3686.71
14	322	3744.86
15	354	4117.02
16	393	4570.59
17	364	4233.32
18	383	4454.29
19	452	5256.76
20	510	5931.3
21	440	5117.2
22	396	4605.48
23	446	5186.98
24	414	4814.82
25	455	5291.65
26	529	6152.27
27	356	4140.28
28	437	5082.31
29	374	4349.62
30	300	3489
31	240	2791.2
PROMEDIO		4699.64548

SEPTIEMBRE		
Día	Radiación (cal/cm²)	Radiación (Wh/m²)
1	360	4186.8
2	327	3803.01
3	268	3116.84
4	253	2942.39
5	323	3756.49
6	500	5815
7	474	5512.62
8	428	4977.64
9	516	6001.08
10	404	4698.52
11	435	5059.05
12	353	4105.39
13	363	4221.69
14	465	5407.95
15	450	5233.5
16	365	4244.95
17	274	3186.62
18	416	4838.08
19	523	6082.49
20	339	3942.57
21	493	5733.59
22	343	3989.09
23	402	4675.26
24	431	5012.53
25	422	4907.86
26	487	5663.81
27	460	5349.8
28	358	4163.54
29	343	3989.09
30	385	4477.55
PROMEDIO		4695.45866

OCTUBRE		
Día	Radiación (cal/cm²)	Radiación (Wh/m²)
1	454	5280.02
2	387	4500.81
3	485	5640.55
4	424	4931.12
5	445	5175.35
6	335	3896.05
7	377	4384.51
8	369	4291.47
9	476	5535.88
10	476	5535.88
11	309	3593.67
12	365	4244.95
13	466	5419.58
14	246	2860.98
15	474	5512.62
16	130	1511.9
17	314	3651.82
18	96	1116.48
19	349	4058.87
20	419	4872.97
21	444	5163.72
22	243	2826.09
23	473	5500.99
24	322	3744.86
25	362	4210.06
26	479	5570.77
27	494	5745.22
28	508	5908.04
29	369	4291.47
30	327	3803.01
31	443	5152.09
PROMEDIO		4425.99033

NOVIEMBRE		
Día	Radiación (cal/cm²)	Radiación (Wh/m²)
1	431	5012.53
2	401	4663.63
3	471	5477.73
4	368	4279.84
5	324	3768.12
6	322	3744.86
7	448	5210.24
8	284	3302.92
9	325	3779.75
10	407	4733.41
11	247	2872.61
12	0	0
13	0	0
14	0	0
15	171	1988.73
16	301	3500.63
17	461	5361.43
18	295	3430.85
19	447	5198.61
20	410	4768.3
21	224	2605.12
22	388	4512.44
23	418	4861.34
24	386	4489.18
25	411	4779.93
26	402	4675.26
27	374	4349.62
28	208	2419.04
29	343	3989.09
30	396	4605.48
PROMEDIO		3746.023

DICIEMBRE		
Día	Radiación (cal/cm²)	Radiación (Wh/m²)
1	298	3465.74
2	334	3884.42
3	458	5326.54
4	391	4547.33
5	311	3616.93
6	422	4907.86
7	377	4384.51
8	451	5245.13
9	367	4268.21
10	398	4628.74
11	440	5117.2
12	364	4233.32
13	183	2128.29
14	155	1802.65
15	359	4175.17
16	445	5175.35
17	429	4989.27
18	439	5105.57
19	380	4419.4
20	421	4896.23
21	405	4710.15
22	357	4151.91
23	261	3035.43
24	249	2895.87
25	380	4419.4
26	413	4803.19
27	339	3942.57
28	435	5059.05
29	419	4872.97
30	423	4919.49
31	413	4803.19
PROMEDIO		4320.357

✓ Datos 2013[1]

ENERO		
Día	Radiación (cal/cm²)	Radiación (Wh/m²)
1	424	4931.12
2	445	5175.35
3	400	4652
4	418	4861.34
5	426	4954.38
6	363	4221.69
7	410	4768.3
8	477	5547.51
9	411	4779.93
10	340	3954.2
11	410	4768.3
12	90	1046.7
13	439	5105.57
14	274	3186.62
15	317	3686.71
16	445	5175.35
17	355	4128.65
18	256	2977.28
19	439	5105.57
20	430	5000.9
21	388	4512.44
22	408	4745.04
23	410	4768.3
24	109	1267.67
25	424	4931.12
26	398	4628.74
27	404	4698.52
28	367	4268.21
29	458	5326.54
30	448	5210.24
31	420	4884.6
PROMEDIO		4428.02871

FEBRERO		
Día	Radiación (cal/cm²)	Radiación (Wh/m²)
1	169	1965.47
2	238	2767.94
3	389	4524.07
4	317	3686.71
5	224	2605.12
6	342	3977.46
7	416	4838.08
8	205	2384.15
9	240	2791.2
10	304	3535.52
11	368	4279.84
12	156	1814.28
13	402	4675.26
14	342	3977.46
15	420	4884.6
16	428	4977.64
17	274	3186.62
18	362	4210.06
19	407	4733.41
20	468	5442.84
21	291	3384.33
22	438	5093.94
23	477	5547.51
24	323	3756.49
25	399	4640.37
26	452	5256.76
27	317	3686.71
28	275	3198.25
PROMEDIO		3922.2175

MARZO		
Día	Radiación (cal/cm²)	Radiación (Wh/m²)
1	361	4198.43
2	344	4000.72
3	313	3640.19
4	217	2523.71
5	508	5908.04
6	398	4628.74
7	436	5070.68
8	413	4803.19
9	291	3384.33
10	388	4512.44
11	503	5849.89
12	438	5093.94
13	368	4279.84
14	407	4733.41
15	0	0
16	0	0
17	0	0
18	0	0
19	0	0
20	0	0
21	108	1256.04
22	364	4233.32
23	335	3896.05
24	462	5373.06
25	448	5210.24
26	248	2884.24
27	519	6035.97
28	397	4617.11
29	514	5977.82
30	475	5524.25
31	518	6024.34
PROMEDIO		3666.451

ABRIL		
Día	Radiación (cal/cm²)	Radiación (Wh/m²)
1	386	4489.18
2	216	2512.08
3	448	5210.24
4	317	3686.71
5	432	5024.16
6	464	5396.32
7	438	5093.94
8	425	4942.75
9	418	4861.34
10	357	4151.91
11	385	4477.55
12	444	5163.72
13	413	4803.19
14	294	3419.22
15	360	4186.8
16	490	5698.7
17	402	4675.26
18	418	4861.34
19	385	4477.55
20	253	2942.39
21	376	4372.88
22	461	5361.43
23	429	4989.27
24	503	5849.89
25	0	0
26	0	0
27	0	0
28	0	0
29	0	0
30	0	0
PROMEDIO		3688.26067

MAYO		
Día	Radiación (cal/cm²)	Radiación (Wh/m²)
1	0	0
23	189	2198.07
24	338	3930.94
25	430	5000.9
26	288	3349.44
27	317	3686.71
28	289	3361.07
29	399	4640.37
30	380	4419.4
31	172	2000.36
PROMEDIO		3258.726

JUNIO		
Día	Radiación (cal/cm²)	Radiación (Wh/m²)
1	463	5384.69
2	484	5628.92
3	406	4721.78
4	332	3861.16
5	369	4291.47
6	376	4372.88
7	296	3442.48
8	369	4291.47
9	0	0
10	340	3954.2
11	307	3570.41
12	463	5384.69
13	532	6187.16
14	362	4210.06
15	403	4686.89
16	561	6524.43
17	0	0
18	0	0
19	0	0
20	0	0
21	99	1151.37
22	439	5105.57
23	368	4279.84
24	293	3407.59
25	303	3523.89
26	422	4907.86
27	364	4233.32
28	308	3582.04
29	370	4303.1
30	280	3256.4
PROMEDIO		3608.789

JULIO		
Día	Radiación (cal/cm²)	Radiación (Wh/m²)
1	335	3896.05
2	312	3628.56
3	367	4268.21
4	358	4163.54
5	374	4349.62
6	436	5070.68
7	412	4791.56
26	426	4954.38
27	478	5559.14
28	350	4070.5
29	390	4535.7
30	325	3779.75
31	399	4640.37
PROMEDIO		4439.08154

AGOSTO		
Día	Radiación (cal/cm²)	Radiación (Wh/m²)
1	349	4058.87
2	430	5000.9
3	433	5035.79
4	378	4396.14
5	452	5256.76
6	353	4105.39
7	401	4663.63
8	308	3582.04
9	419	4872.97
10	129	1500.27
11	362	4210.06
12	346	4023.98
13	408	4745.04
14	407	4733.41
15	291	3384.33
16	461	5361.43
17	305	3547.15
18	412	4791.56
19	372	4326.36
20	366	4256.58
21	459	5338.17
22	333	3872.79
23	396	4605.48
24	279	3244.77
25	421	4896.23
26	376	4372.88
27	431	5012.53
28	312	3628.56
29	411	4779.93
30	414	4814.82
31	429	4989.27
PROMEDIO		4368.0029

SEPTIEMBRE		
Día	Radiación (cal/cm²)	Radiación (Wh/m²)
1	446	5186.98
2	450	5233.5
3	374	4349.62
4	381	4431.03
5	479	5570.77
6	332	3861.16
7	476	5535.88
8	380	4419.4
9	418	4861.34
10	395	4593.85
11	390	4535.7
12	375	4361.25
13	461	5361.43
14	436	5070.68
15	418	4861.34
16	460	5349.8
17	250	2907.5
18	404	4698.52
19	316	3675.08
20	388	4512.44
21	518	6024.34
22	481	5594.03
23	505	5873.15
24	476	5535.88
25	510	5931.3
PROMEDIO		4893.439

OCTUBRE		
Día	Radiación (cal/cm²)	Radiación (Wh/m²)
1	447	5198.61
2	441	5128.83
3	368	4279.84
4	416	4838.08
5	481	5594.03
6	505	5873.15
7	472	5489.36
8	404	4698.52
9	423	4919.49
10	359	4175.17
11	375	4361.25
12	405	4710.15
13	341	3965.83
14	294	3419.22
15	288	3349.44
16	251	2919.13
17	343	3989.09
18	457	5314.91
19	477	5547.51
20	419	4872.97
21	298	3465.74
22	355	4128.65
23	453	5268.39
24	356	4140.28
25	430	5000.9
26	401	4663.63
27	354	4117.02
28	472	5489.36
29	368	4279.84
30	362	4210.06
31	149	4580.28167
PROMEDIO		4580.28167

NOVIEMBRE		
Día	Radiación (cal/cm²)	Radiación (Wh/m²)
1	279	3244.77
2	229	2663.27
3	433	5035.79
4	231	2686.53
5	382	4442.66
6	369	4291.47
7	365	4244.95
8	468	5442.84
9	436	5070.68
10	373	4337.99
11	449	5221.87
12	412	4791.56
13	302	3512.26
14	366	4256.58
15	421	4896.23
16	405	4710.15
17	306	3558.78
18	301	3500.63
19	334	3884.42
20	383	4454.29
21	400	4652
22	360	4186.8
23	356	4140.28
24	268	3116.84
25	319	3709.97
26	368	4279.84
27	328	3814.64
28	246	2860.98
29	402	4675.26
30	298	3465.74
PROMEDIO		4105.00233

DICIEMBRE		
Día	Radiación (cal/cm²)	Radiación (Wh/m²)
1	406	4721.78
2	224	2605.12
3	306	3558.78
4	291	3384.33
5	373	4337.99
6	434	5047.42
7	253	2942.39
8	304	3535.52
9	333	3872.79
10	373	4337.99
11	443	5152.09
12	431	5012.53
13	346	4023.98
14	401	4663.63
15	423	4919.49
16	404	4698.52
17	220	2558.6
18	314	3651.82
19	0	0
20	329	3826.27
21	300	3489
22	253	2942.39
23	157	1825.91
24	355	4128.65
25	426	4954.38
26	401	4663.63
27	385	4477.55
28	431	5012.53
29	411	4779.93
30	421	4896.23
31	401	4663.63
PROMEDIO		3957.576

[1] Los días que no cuentan con dato de radiación solar, es debido a que algunos días se presentan obstrucciones en el medidor tales como papeles, o insectos como hormigas, entre otros.

✓ Datos 2014

ENERO		
Día	Radiación (cal/cm²)	Radiación (Wh/m²)
1	381	4431.03
2	445	5175.35
3	389	4524.07
4	389	4524.07
5	327	3803.01
6	307	3570.41
7	317	3686.71
8	443	5152.09
9	305	3547.15
10	213	2477.19
11	331	3849.53
12	289	3361.07
13	474	5512.62
14	460	5349.8
15	391	4547.33
16	340	3954.2
17	398	4628.74
18	418	4861.34
19	361	4198.43
20	447	5198.61
21	208	2419.04
22	414	4814.82
23	434	5047.42
24	443	5152.09
25	368	4279.84
26	262	3047.06
27	463	5384.69
28	428	4977.64
29	371	4314.73
30	329	3826.27
31	334	3884.42
PROMEDIO		4306.47645

FEBRERO		
Día	Radiación (cal/cm²)	Radiación (Wh/m²)
1	483	5617.29
2	374	4349.62
3	391	4547.33
4	403	4686.89
5	355	4128.65
6	270	3140.1
7	421	4896.23
8	432	5024.16
9	432	5024.16
10	466	5419.58
11	386	4489.18
12	463	5384.69
13	400	4652
14	0	0
15	443	5152.09
16	405	4710.15
17	382	4442.66
18	338	3930.94
19	416	4838.08
20	315	3663.45
21	227	2640.01
22	378	4396.14
23	367	4268.21
24	378	4396.14
25	281	3268.03
26	446	5186.98
27	255	2965.65
28	379	4407.77
PROMEDIO		4272.36357

MARZO		
Día	Radiación (cal/cm²)	Radiación (Wh/m²)
1	295	3430.85
2	396	4605.48
3	280	3256.4
4	390	4535.7
5	235	2733.05
6	391	4547.33
7	320	3721.6
8	371	4314.73
9	166	1930.58
10	399	4640.37
11	377	4384.51
12	222	2581.86
13	358	4163.54
14	427	4966.01
15	328	3814.64
16	452	5256.76
17	445	5175.35
18	425	4942.75
19	357	4151.91
20	432	5024.16
21	381	4431.03
22	449	5221.87
23	431	5012.53
24	356	4140.28
25	429	4989.27
26	249	2895.87
27	452	5256.76
28	477	5547.51
29	462	5373.06
30	289	3361.07
31	508	5908.04
PROMEDIO		4332.738

ABRIL		
Día	Radiación (cal/cm²)	Radiación (Wh/m²)
1	448	5210.24
2	442	5140.46
3	293	3407.59
4	483	5617.29
5	473	5500.99
6	446	5186.98
7	367	4268.21
8	418	4861.34
9	370	4303.1
10	451	5245.13
11	457	5314.91
12	262	3047.06
13	430	5000.9
14	422	4907.86
15	273	3174.99
16	362	4210.06
17	388	4512.44
18	358	4163.54
19	367	4268.21
20	428	4977.64
21	343	3989.09
22	376	4372.88
23	300	3489
24	155	1802.65
25	473	5500.99
26	388	4512.44
27	465	5407.95
28	452	5256.76
29	384	4465.92
30	321	3733.23
PROMEDIO		4494.995

MAYO		
Día	Radiación (cal/cm²)	Radiación (Wh/m²)
1	341	3965.83
2	367	4268.21
3	357	4151.91
4	324	3768.12
5	467	5431.21
6	341	3965.83
7	272	3163.36
8	252	2930.76
9	318	3698.34
10	313	3640.19
11	304	3535.52
12	488	5675.44
13	478	5559.14
14	241	2802.83
15	422	4907.86
16	328	3814.64
17	297	3454.11
18	393	4570.59
19	392	4558.96
20	226	2628.38
21	435	5059.05
22	437	5082.31
23	389	4524.07
24	405	4710.15
25	450	5233.5
26	258	3000.54
27	324	3768.12
28	360	4186.8
29	261	3035.43
30	335	3896.05
31	378	4396.14
PROMEDIO		4109.142

JUNIO		
Día	Radiación (cal/cm²)	Radiación (Wh/m²)
1	361	4198.43
2	307	3570.41
3	375	4361.25
4	345	4012.35
5	317	3686.71
6	344	4000.72
7	318	3698.34
8	390	4535.7
9	404	4698.52
10	433	5035.79
11	445	5175.35
12	428	4977.64
13	325	3779.75
14	358	4163.54
15	448	5210.24
16	395	4593.85
17	362	4210.06
18	275	3198.25
19	391	4547.33
20	407	4733.41
21	355	4128.65
22	377	4384.51
23	384	4465.92
24	197	2291.11
25	273	3174.99
26	310	3605.3
27	339	3942.57
28	483	5617.29
29	407	4733.41
30	361	4198.43
PROMEDIO		4230.994

JULIO		
Día	Radiación (cal/cm²)	Radiación (Wh/m²)
1	410	4768.3
2	380	4419.4
3	442	5140.46
4	307	3570.41
5	420	4884.6
6	404	4698.52
7	416	4838.08
8	462	5373.06
9	440	5117.2
10	380	4419.4
11	439	5105.57
12	464	5396.32
13	338	3930.94
14	390	4535.7
15	318	3698.34
16	334	3884.42
17	405	4710.15
18	451	5245.13
19	475	5524.25
20	401	4663.63
21	340	3954.2
22	413	4803.19
23	415	4826.45
24	485	5640.55
25	472	5489.36
26	326	3791.38
27	383	4454.29
28	470	5466.1
29	488	5675.44
30	460	5349.8
31	429	4989.27
PROMEDIO		4785.93258

AGOSTO		
Día	Radiación (cal/cm²)	Radiación (Wh/m²)
1	315	3663.45
2	249	2895.87
3	397	4617.11
4	426	4954.38
5	222	2581.86
6	330	3837.9
7	413	4803.19
8	383	4454.29
9	317	3686.71
10	339	3942.57
11	382	4442.66
12	277	3221.51
13	384	4465.92
14	428	4977.64
15	432	5024.16
16	411	4779.93
17	237	2756.31
18	327	3803.01
19	407	4733.41
20	373	4337.99
21	335	3896.05
22	375	4361.25
23	373	4337.99
24	382	4442.66
25	224	2605.12
26	325	3779.75
27	249	2895.87
28	361	4198.43
29	496	5768.48
30	502	5838.26
31	493	5733.59
PROMEDIO		4188.30065

SEPTIEMBRE		
Día	Radiación (cal/cm²)	Radiación (Wh/m²)
1	479	5570.77
2	339	3942.57
3	416	4838.08
4	432	5024.16
5	488	5675.44
6	394	4582.22
7	364	4233.32
8	383	4454.29
18	255	2965.65
19	405	4710.15
20	234	2721.42
21	469	5454.47
22	340	3954.2
23	444	5163.72
24	452	5256.76
25	321	3733.23
26	490	5698.7
27	494	5745.22
28	454	5280.02
29	475	5524.25
30	458	5326.54
PROMEDIO		4801.273

OCTUBRE		
Día	Radiación (cal/cm²)	Radiación (Wh/m²)
1	497	5780.11
2	272	3163.36
3	338	3930.94
4	467	5431.21
5	469	5454.47
6	416	4838.08
7	421	4896.23
8	290	3372.7
9	265	3081.95
10	263	3058.69
11	302	3512.26
12	420	4884.6
13	370	4303.1
14	446	5186.98
15	316	3675.08
16	344	4000.72
17	383	4454.29
18	415	4826.45
19	344	4000.72
20	322	3744.86
21	477	5547.51
22	279	3244.77
23	316	3675.08
24	365	4244.95
25	331	3849.53
26	232	2698.16
27	368	4279.84
28	445	5175.35
29	328	3814.64
30	312	3628.56
PROMEDIO		4191.83967

NOVIEMBRE		
Día	Radiación (cal/cm²)	Radiación (Wh/m²)
1	431	5012.53
2	237	2756.31
3	450	5233.5
4	286	3326.18
5	369	4291.47
6	409	4756.67
7	403	4686.89
8	287	3337.81
9	417	4849.71
10	325	3779.75
11	313	3640.19
12	227	2640.01
13	205	2384.15
14	345	4012.35
15	404	4698.52
16	347	4035.61
17	361	4198.43
18	412	4791.56
19	195	2267.85
20	332	3861.16
21	378	4396.14
22	341	3965.83
23	410	4768.3
24	359	4175.17
25	287	3337.81
26	177	2058.51
27	426	4954.38
28	439	5105.57
29	418	4861.34
30	283	3291.29
PROMEDIO		3982.5

DICIEMBRE		
Día	Radiación (cal/cm²)	Radiación (Wh/m²)
1	396	4605.48
2	435	5059.05
3	391	4547.33
4	388	4512.44
5	300	3489
6	356	4140.28
7	329	3826.27
8	405	4710.15
9	224	2605.12
10	276	3209.88
11	249	2895.87
12	367	4268.21
13	299	3477.37
14	392	4558.96
15	417	4849.71
16	344	4000.72
17	345	4012.35
18	376	4372.88
19	362	4210.06
20	396	4605.48
21	346	4023.98
22	357	4151.91
23	391	4547.33
24	364	4233.32
25	284	3302.92
26	362	4210.06
27	370	4303.1
28	364	4233.32
29	402	4675.26
30	387	4500.81
31	333	3872.79
PROMEDIO		4129.4

Anexo F. Datos de la NASA de la radiación solar diaria en Jamundí

(NASA, 2015)

Month	Daily solar radiation - horizontal (kWh/m2/d)
January	4.06
February	4.28
March	4.37
April	4.21
May	4.1
June	4.05
July	4.34
August	4.31
September	4.26
October	3.99
November	3.89
December	3.82
Annual	4.14

Anexo G. Proveedores contactados

INFORMACION DE POSIBLES PROVEEDORES				
Nombre	Teléfonos	E-mail	Pagina web	Ciudad
APROTEC	(2) 6535797 (2) 4034246	info@aprotec.com.co	http://www.aprotec.com.co/pages/Ofertas.htm	Cali
AMPASOLAR	(57) 7 6650479 (57) 3178041706 (57) 3113345061	proyectos@ampasolar.com	ampasolar.com	Piedecuesta, Santander
TESOCOL	57 + 318 332 3503	info@tesocol.com	http://www.tesocol.com/index.php/productos/kit-solares	Cali, Palmira
FERRAGRO	01 8000 115159	ventas@ferragro.com	ferragro.com	Itagui, Antioquia
ETAGRO	572 665215 572 4851442 572 4851443	etagro@etagro.com	etagro.com	Cali
SURTIMOTORES	572 8844603	surtimotores@une.net.co	repuestossurtimotores.com	Cali
SOLEN TECHNOLOGY	(1) 8044345-320 4204278 (5) 6436600 - 310	info@solentechnology.com	solentechnology.com	Bogotá
AMBIENTE SOLUCIONES	304 203 42 49 301 4765349	info@ambientesoluciones.com	ambientesoluciones.com	Medellín
COEXITO	01 8000 510606 - 320 6884949	servicioalcliente@coexito.com.co	http://www.coexito.com.co/index.php?option=com_content&view=article&id=45	Cali
GIE S.A.S	1 4660161	giesa@gie.com.co	gie.com.co	Bogotá
HEMEVA S.A.S	1 4136282	info@hemeva.com	http://www.hemeva.com/index.php?option=com_content&view=article&id=3:2013-11-21-14-57-07&catid=2:generacion-solar-fotovoltaica&Itemid=30	Bogotá
HYBRYTEC	57 4 4440520 57 314 8894191 57 1 3000414	info@hybrytec.com	http://www.hybrytec.com/Productos/	Itagui, Bogotá
ORQUIDEA SOLAR	4 3115158	orquideasolarsos@gmail.com	http://www.orquideasolar.co/productos.html	Medellín
SOLARMAX	2 3740000		http://www.solarmax.co/#!location/c2q4	Cali
ALTA INGENIERIA XXI	57 1 4738969 57 318 6425089	servicioalclieete@altaingenieriaxxi.com	http://www.altaingenieriaxxi.com/index.php?option=com_content&view=article&id=27&Itemid=15	Bogotá
ECOENERGIA	57 1 3341052	masecoenergia@gmail.com	http://www.ecoenergia.com.co/	Bogotá
BIO-MECANICA	1 4792189 310 8659828	biomecanicaenergiasrenovables@hotmail.com	http://www.actiweb.es/biomecanica/productos.html	Bogotá

INGESOLAR	1 2770719 313 3344767	solar1colombia@gmail.com	http://ingesolar.com.co/paneles-solar-fotovoltaico	Bogotá
DESOLCON	57 3154125544	desolcon@hotmail.com	http://desolcon.wix.com/desolcon#!deeer/c1wbs	Cali
SEBASOLAR ENERGY	57 3105516616 300 6791420	sebasolarenergy@yahoo.com	http://sebasolarenergy.jimdo.com/sebasolar-energy/	Piedecuesta, Santander
ENERGIA INTEGRAL ANDINA	(57 1) 6684343 3182611999	sales@energiaintegralanadina.com	http://www.energiaintegralandina.com/productos/unidad-energia/energia-solar-fotovoltaica.html	Bogotá
COLPILAS	571 2615444	info@colpilasolar.com	colpilas.com	Bogotá
ECOPOWER SOLUTIONS	57 1 7029032	info@ecopower.com.co	ecopower.com.co	Bogotá
HELIOSYST	57 4 5624622	gerencia@heliosyst.com	heliosyst.com	Rionegro, Antioquia
SUN POWER	57 5 4336934 3184113710 3046494639	info@spwr.biz	http://www.spwr.biz/productos/	Santa Marta
ENERGIA Y MOVILIDAD	57 1 3382652	Info@Energiaymovilidad.Com	http://www.energiaymovilidad.com/19-paneles-solares	Bogotá
ES ENERGIA SOLAR	57 4 4482852 57 4 2327487	info@esenergiasolar.com	www.esenergiasolar.com	Medellín
SOL ARS	57 1 2565661	info@sol-ars.com	http://www.sol-ars.com/energias-alternativas/energia-solar	Bogotá
ENECO	57 301-607-09-03 57 317-441-32-17	soporte@eneco-ic.com	http://www.eneco-ic.com/productos/#panel_solar	Cali
ENERGIA VIVA	(57) 312 2326974	gerenciatecnica@energiaviva.co	www.energiaviva.co	Cali
COLOMBIAN SOLAR SYSTEMS	312 2766 635	energiasolar@colombiansolarsystems.com	http://www.colombiansolarsystems.com/	Pereira
SUPER FOX	312 757 3319	Info@super-fox.com	http://www.super-fox.com/	Medellín
SOLARIUM	3106660680	contacto@solariumsas.com	http://www.solariumsas.com/	Bogotá

Anexo H. Proyecciones Retorno de inversión

Año	$/Wh	Retorno de inversión escenario 1	Retorno de inversión escenario 2	Retorno de inversión escenario 3	Inversión 1	Inversión 2	Inversión 3
1	0,30209	$ 119.312,81	$ 338.625,62	$ 557.938,43	$ 7.685.000	$ 10.956.200	$ 14.227.400
2	0,30813	$ 243.011,87	$ 686.023,75	$ 1.129.035,62	$ 7.685.000	$ 10.956.200	$ 14.227.400
3	0,31429	$ 371.184,92	$ 1.042.369,84	$ 1.713.554,76	$ 7.685.000	$ 10.956.200	$ 14.227.400
4	0,32058	$ 503.921,43	$ 1.407.842,85	$ 2.311.764,28	$ 7.685.000	$ 10.956.200	$ 14.227.400
5	0,32699	$ 641.312,66	$ 1.782.625,33	$ 2.923.937,99	$ 7.685.000	$ 10.956.200	$ 14.227.400
6	0,33353	$ 783.451,73	$ 2.166.903,45	$ 3.550.355,18	$ 7.685.000	$ 10.956.200	$ 14.227.400
7	0,34020	$ 930.433,57	$ 2.560.867,14	$ 4.191.300,71	$ 7.685.000	$ 10.956.200	$ 14.227.400
8	0,34701	$ 1.082.355,05	$ 2.964.710,10	$ 4.847.065,15	$ 7.685.000	$ 10.956.200	$ 14.227.400
9	0,35395	$ 1.239.314,96	$ 3.378.629,92	$ 5.517.944,88	$ 7.685.000	$ 10.956.200	$ 14.227.400
10	0,36103	$ 1.401.414,07	$ 3.802.828,13	$ 6.204.242,20	$ 7.685.000	$ 10.956.200	$ 14.227.400
11	0,36825	$ 1.568.755,16	$ 4.237.510,31	$ 6.906.265,47	$ 7.685.000	$ 10.956.200	$ 14.227.400
12	0,37561	$ 1.741.443,07	$ 4.682.886,14	$ 7.624.329,20	$ 7.685.000	$ 10.956.200	$ 14.227.400
13	0,38312	$ 1.919.584,74	$ 5.139.169,48	$ 8.358.754,21	$ 7.685.000	$ 10.956.200	$ 14.227.400
14	0,39079	$ 2.103.289,24	$ 5.606.578,48	$ 9.109.867,72	$ 7.685.000	$ 10.956.200	$ 14.227.400
15	0,39860	$ 2.292.667,84	$ 6.085.335,67	$ 9.878.003,51	$ 7.685.000	$ 10.956.200	$ 14.227.400
16	0,40657	$ 2.487.834,00	$ 6.575.668,00	$ 10.663.502,00	$ 7.685.000	$ 10.956.200	$ 14.227.400
17	0,41470	$ 2.688.903,49	$ 7.077.806,98	$ 11.466.710,47	$ 7.685.000	$ 10.956.200	$ 14.227.400
18	0,42300	$ 2.895.994,37	$ 7.591.988,73	$ 12.287.983,10	$ 7.685.000	$ 10.956.200	$ 14.227.400
19	0,43146	$ 3.109.227,06	$ 8.118.454,13	$ 13.127.681,19	$ 7.685.000	$ 10.956.200	$ 14.227.400
20	0,44009	$ 3.328.724,41	$ 8.657.448,83	$ 13.986.173,24	$ 7.685.000	$ 10.956.200	$ 14.227.400
21	0,44889	$ 3.554.611,71	$ 9.209.223,42	$ 14.863.835,13	$ 7.685.000	$ 10.956.200	$ 14.227.400
22	0,45787	$ 3.787.016,75	$ 9.774.033,51	$ 15.761.050,26	$ 7.685.000	$ 10.956.200	$ 14.227.400
23	0,46702	$ 4.026.069,90	$ 10.352.139,79	$ 16.678.209,69	$ 7.685.000	$ 10.956.200	$ 14.227.400
24	0,47637	$ 4.271.904,10	$ 10.943.808,21	$ 17.615.712,31	$ 7.685.000	$ 10.956.200	$ 14.227.400
25	0,48589	$ 4.524.654,99	$ 11.549.309,99	$ 18.573.964,98	$ 7.685.000	$ 10.956.200	$ 14.227.400
26	0,49561	$ 4.784.460,90	$ 12.168.921,81	$ 19.553.382,71	$ 7.685.000	$ 10.956.200	$ 14.227.400
27	0,50552	$ 5.051.462,93	$ 12.802.925,86	$ 20.554.388,79	$ 7.685.000	$ 10.956.200	$ 14.227.400
28	0,51563	$ 5.325.805,00	$ 13.451.609,99	$ 21.577.414,99	$ 7.685.000	$ 10.956.200	$ 14.227.400
29	0,52595	$ 5.607.633,91	$ 14.115.267,81	$ 22.622.901,72	$ 7.685.000	$ 10.956.200	$ 14.227.400
30	0,53646	$ 5.897.099,39	$ 14.794.198,78	$ 23.691.298,18	$ 7.685.000	$ 10.956.200	$ 14.227.400
31	0,54719	$ 6.194.354,19	$ 15.488.708,38	$ 24.783.062,57	$ 7.685.000	$ 10.956.200	$ 14.227.400
32	0,55814	$ 6.499.554,08	$ 16.199.108,16	$ 25.898.662,24	$ 7.685.000	$ 10.956.200	$ 14.227.400
33	0,56930	$ 6.812.857,97	$ 16.925.715,94	$ 27.038.573,91	$ 7.685.000	$ 10.956.200	$ 14.227.400
34	0,58069	$ 7.134.427,94	$ 17.668.855,88	$ 28.203.283,82	$ 7.685.000	$ 10.956.200	$ 14.227.400
35	0,59230	$ 7.464.429,31	$ 18.428.858,61	$ 29.393.287,92	$ 7.685.000	$ 10.956.200	$ 14.227.400
36	0,60415	$ 7.803.030,70	$ 19.206.061,40	$ 30.609.092,10	$ 7.685.000	$ 10.956.200	$ 14.227.400
37	0,61623	$ 8.150.404,12	$ 20.000.808,25	$ 31.851.212,37	$ 7.685.000	$ 10.956.200	$ 14.227.400
38	0,62855	$ 8.506.725,02	$ 20.813.450,03	$ 33.120.175,05	$ 7.685.000	$ 10.956.200	$ 14.227.400
39	0,64113	$ 8.872.172,32	$ 21.644.344,65	$ 34.416.516,97	$ 7.685.000	$ 10.956.200	$ 14.227.400
40	0,65395	$ 9.246.928,58	$ 22.493.857,16	$ 35.740.785,74	$ 7.685.000	$ 10.956.200	$ 14.227.400
41	0,66703	$ 9.631.179,96	$ 23.362.359,92	$ 37.093.539,88	$ 7.685.000	$ 10.956.200	$ 14.227.400
42	0,68037	$ 10.025.116,37	$ 24.250.232,73	$ 38.475.349,10	$ 7.685.000	$ 10.956.200	$ 14.227.400
43	0,69397	$ 10.428.931,50	$ 25.157.863,01	$ 39.886.794,51	$ 7.685.000	$ 10.956.200	$ 14.227.400
44	0,70785	$ 10.842.822,94	$ 26.085.645,88	$ 41.328.468,83	$ 7.685.000	$ 10.956.200	$ 14.227.400
45	0,72201	$ 11.266.992,21	$ 27.033.984,42	$ 42.800.976,63	$ 7.685.000	$ 10.956.200	$ 14.227.400
46	0,73645	$ 11.701.644,86	$ 28.003.289,73	$ 44.304.934,59	$ 7.685.000	$ 10.956.200	$ 14.227.400
47	0,75118	$ 12.146.990,57	$ 28.993.981,14	$ 45.840.971,71	$ 7.685.000	$ 10.956.200	$ 14.227.400
48	0,76620	$ 12.603.243,19	$ 30.006.486,38	$ 47.409.729,57	$ 7.685.000	$ 10.956.200	$ 14.227.400
49	0,78153	$ 13.070.620,86	$ 31.041.241,72	$ 49.011.862,58	$ 7.685.000	$ 10.956.200	$ 14.227.400
50	0,79716	$ 13.549.346,09	$ 32.098.692,17	$ 50.648.038,26	$ 7.685.000	$ 10.956.200	$ 14.227.400
51	0,81310	$ 14.039.645,82	$ 33.179.291,63	$ 52.318.937,45	$ 7.685.000	$ 10.956.200	$ 14.227.400
52	0,82936	$ 14.541.751,54	$ 34.283.503,08	$ 54.025.254,63	$ 7.685.000	$ 10.956.200	$ 14.227.400
53	0,84595	$ 15.055.899,38	$ 35.411.798,76	$ 55.767.698,14	$ 7.685.000	$ 10.956.200	$ 14.227.400
54	0,86287	$ 15.582.330,18	$ 36.564.660,36	$ 57.546.990,53	$ 7.685.000	$ 10.956.200	$ 14.227.400
55	0,88013	$ 16.121.289,59	$ 37.742.579,18	$ 59.363.868,77	$ 7.685.000	$ 10.956.200	$ 14.227.400

BIBLIOGRAFÍA

4ICU. (2014). *4 international college and universities*. Obtenido de http://www.4icu.org/co/

Alonso Lorenzo, J. (n.d.). *Calculos sistemas fotovoltaicos autonomos.* Retrieved 2015 йил Febrero from Europe SunFields: http://www.sfe-solar.com/calculo-sistemas-fotovoltaicos-aislados-autonomos/

Álvarez, J. A. (2005). *Que es el factor de potencia*. Retrieved 2015 йил Febrero from Asi Funciona: http://www.asifunciona.com/electrotecnia/ke_factor_potencia/ke_factor_potencia_3.htm

Álvarez, R., Izquierdo, J., Olmos, L., & Paternina, M. A. (2012 йил Enero-Junio). *Diseño de prototipo de sistema solar fotovoltaico optimizando el ángulo de inclinación de los paneles solares.* Retrieved 2015 йил 10-Marzo from Autonoma del Caribe La Universidad: https://www.uac.edu.co/images/stories/publicaciones/revistas_cientificas/prospectiva/volumen-10-no-1/11_articulo_vol_10_1.pdf

APPA. (s.f.). *¿Qué es la energía solar fotovoltaica?* Recuperado el 8 de Noviembre de 2014, de APPA. Asociaición de empresas de energías renovables.: http://www.appa.es/09fotovoltaica/09que_es.php

Astronomical Applications Department of the U.S. Naval Observatory. (n.d.). *Sun or Moon Altitude/Azimuth Table*. Retrieved 2015 йил Marzo from Astronomical: http://aa.usno.navy.mil/data/docs/AltAz.php

CAMIÑA, J. (1 de Octubre de 2013). *Instalaciones térmicas y certificación energética.* Recuperado el 10 de Noviembre de 2014, de http://instalaciones-termicas.blogspot.com/2013/10/patron-de-sombras-ce3x-introduccion.html

Cleanergysolar.com. (15 de Septiembre de 2011). *Cleanergysolar-Portal.* Recuperado el 10 de Noviembre de 2014, de Tutorial: Cálculo de la distancia entre filas de colectores: http://www.cleanergysolar.com/2011/09/15/tutorial-calculo-de-la-distancia-entre-filas-de-colectores/

Clover, I. (20 de Septiembre de 2013). *US solar power costs fall 60% in just 18 months.* Recuperado el 21 de octubre de 2014, de http://www.pv-

magazine.com/news/details/beitrag/us-solar-power-costs-fall-60-in-just-18-months_100012797/#axzz3Go1dMlzN

Comunicaciones EPSA. (14 de Marzo de 2014). *EPSA.COM.CO.* Recuperado el 24 de Septiembre de 2014, de http://www.epsa.com.co/Portals/0/EPSA/documentos/notasprensa/comunicados-prensa/21-3-14-EpsaPusoEnOperacionElLaboratorioSolarMasGrandeDeColombia.pdf

CVC. (2012-2014). Boletín meteorológico. Cali, Valle del Cauca, Colombia.

DNETN MIEM. (s.f.). *Microgeneración.* Recuperado el 10 de Noviembre de 2014, de Generalidadades: http://www.energiaeolica.gub.uy/index.php?page=generalidades

DOE NREL Solar Market Report. (n.d.). *SolarBuzz Retail Price Enviroment.* Retrieved 2014 йил Octubre from http://www.gstriatum.com/energiasolar/blog/2013/05/04/importante-grafica-los-costos-de-la-energia-solar-estan-por-alcanzar-al-carbon-y-gas/

Ecopotencia.com. (n.d.). *ecopotencia.com*. Retrieved 2015 йил Enero from www.ecopotencia.com

El Espectador. (30 de Octubre de 2014). *El Espectador.* Recuperado el 1 de Noviembre de 2014, de http://www.elespectador.com/noticias/educacion/jorge-tadeo-lozano-universidad-movida-energia-solar-articulo-524953

El Tiempo. (2013). *EL TIEMPO.* Obtenido de http://m.eltiempo.com/estilo-de-vida/educacion/estas-son-las-cinco-universidades-mas-sostenibles-de-colombia/13996375

Energy Star. (2008). *International Efficiency Marking Protocol for External Power Supplies .* Retrieved 2015 йил Febrero from Energystar.gov: http://www.energystar.gov/ia/partners/prod_development/revisions/downloads/International_Efficiency_Marking_Protocol.pdf

Factores de emisión del S.I.N Sistema Interconectado Nacional de Colombia . (2013). Retrieved 2015 йил Marzo from SIAME.GOV.CO: http://www.siame.gov.co/siame/documentos/Calculo_FE_SIN_2013_Nov2014.pdf

Google. (2015). *Google maps*. Retrieved 2015 йил Febrero from https://www.google.com/maps/dir/Universidad+del+Valle,+Cali+-

+Valle+del+Cauca,+Colombia/Universidad+Icesi,+Calle+18+%23+122-135,+Cali,+Valle+Del+Cauca,+Colombia/@3.3597676,-76.541164,9713m/data=!3m1!1e3!4m14!4m13!1m5!1m1!1s0x8e30a16e2f6dc9ff:0xaac1d38b15e

Hinojosa, F. (2011). *Energía solar*. Recuperado el 24 de 10 de 2014, de http://www.energiasolar.com.es/seccion/placa-solar-luz/sfa-sistemas-fotovoltaicos-autos

Instituto Metereológico Nacional. (2009). *IMN*. Recuperado el 25 de Octubre de 2014, de http://www.imn.ac.cr/educacion/UV/UVB1.html

La República. (6 de Marzo de 2012). *La República.* Obtenido de http://www.larepublica.co/responsabilidad-social/colombia-un-mercado-con-potencial-en-energ%C3%ADa-solar_3773

Lopez, V. (Mayo de 2015). (A. Mendez, Entrevistador)

Mineducación. (23 de Mayo de 2008). *Centro virtual de Noticias de la Educación.* Recuperado el 8 de Noviembre de 2014, de http://www.mineducacion.gov.co/cvn/1665/w3-article-161126.html

Minelli, C., & Properi, M. (n.d.). *Energía Solar Fotovoltaica. Proyecto RES & RUE Dissemination*. Retrieved 2015 йил Marzo from cecu.es: http://www.cecu.es/campanas/medio%20ambiente/res&rue/htm/dossier/2%20fotovoltaica.htm

Moreno, L. (26 de Agosto de 2013). *Física Futuro*. Recuperado el 25 de Octubre de 2014, de http://fisicafuturo.blogspot.com/2013/05/electrificacion-de-viviendas-rurales.html

NASA. (28 de Marzo de 2015). *Surface meteorology and Solar Energy*. Recuperado el Marzo de 2015, de Atmospheric Science Data Center: https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/RETScreen/

Natural Resources Canada. (s.f.). RETScreen4. Canada.

Nelson, V. (2011). Economics. In V. Nelson, *Introduction to Renewable Energy* (pp. 315-351). CRC Press.

Nelson, V. (2011). Introduction to renawable energy. CRC Press.

OEI. (2012). *Luces para aprender*. Recuperado el 25 de Octubre de 2014, de http://lucesparaaprender.org/web/

Ospina, G. (5 de Febrero de 2015). Vista superior. Cali, Valle, Colombia.

Panasonic. (5 de Mayo de 2013). *Panasonic*. Recuperado el 5 de Mayo de 2014, de http://www.panasonic.com/pa/corporate/news/articles/201302-proyecto-de-paneles-solares--boulder-colorado.html#.VElblvk0VcZ

Pineda, S. (2015 йил Enero). Cubierta B y C. Cali, Valle, Colombia.

Presidencia de la República de Colombia. (13 de Mayo de 2014). Recuperado el 8 de Noviembre de 2014, de http://wsp.presidencia.gov.co/Normativa/Leyes/Documents/LEY%201715%20DEL%2013%20DE%20MAYO%20DE%202014.pdf

Rodriguez, H. (Enero de 2009). *Scielo Colombia.* Recuperado el 13 de Octubre de 2014, de http://www.scielo.org.co/pdf/ring/n28/n28a12.pdf

Romero, P. (2013). *ACOFI*. Recuperado el 25 de Octubre de 2014, de http://www.acofipapers.org/index.php/acofipapers/2013/paper/viewFile/288/153

Sanchez, M. Á. (2008). *Energía solar fotovoltaica.* México, DF: Limusa.

Sanchez, M. A. (2008). *Energia solar termica.* Mejico: Limusa SA.

Sarria, L. M. (2015).

Sebastian, E. (2011 de Junio de 2011). *Eliseo Sebastian.* Recuperado el 10 de Noviembre de 2014, de http://eliseosebastian.com/diagramas-instalaciones-de-sistemas-fotovoltaicos-1/

Seccion HE5. Contribucion fotovoltaica minima de energia electrica . (n.d.). Retrieved 2015 йил Maarzo from coitt.es: http://www.coitt.es/res/openlegislacion/HE_5_contribucion_fotovoltaica_minima.pdf

Shahan, Z. (2012). *Clean Techinca.* Obtenido de http://cleantechnica.com/2013/06/26/solar-power-by-country-solar-rankings-by-country/

Soy Ecolombiano. (n.d.). *Transporte. Reinventando la forma en que nos movemos.* Retrieved 2015 йил Marzo from Soy Ecolombiano: http://www.soyecolombiano.com/site/Portals/0/documents/biblioteca/A_PUBLICACIONES/I_FASCICULOS_COLECCIONABLES_EL_ESPECTADOR/Fasciculo_8_Soy%20Ecolombiano_FINAL_57-64.pdf

Sustentator.com. (n.d.). *sustentator.com*. Retrieved 2015 йил Enero from www.sustentator.com

UCO. (n.d.). *Calculo de las perdidas de radiacion solar por sombras.* Retrieved 2015 йил Marzo from uco.es: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CB4QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.uco.es%2F~el1zasaj%2Fdocumentos%2FCalperdsombras.doc&ei=Uu4dVc3yHqflsATc-oHACA&usg=AFQjCNEDB1zBqOWtX995IhGQJLXy9wZpTw

UDaily. (16 de Agosto de 2010). *UDaily*. Recuperado el 13 de Octubre de 2014, de http://www.udel.edu/udaily/2011/aug/solar081610.html

Universidad Autónoma de Occidente. (Marzo de 2014). *Universidad Autónoma de Occidente.* Recuperado el 8 de Noviembre de 2014, de http://www.uao.edu.co/agencia-noticias/gien-trabaja-en-proyecto-de-sistema-solar-fotovoltaico

Universidad de Jaén. (s.f.). *Universidad de Jaén.* Recuperado el 10 de Noviembre de 2014, de http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/02_radiacion/01_basico/images/radoacion.gif

Universidad Icesi. (2012). *Simposio Internacional NIIF.* Retrieved 2015 йил Enero from http://www.icesi.edu.co/simposio_niif/mapaicesi.php

Universidad Nacional de la Plata. (7 de Abril de 2014). *Universidad Nacional de la Plata.* Recuperado el 10 de Octubre de 2014, de http://www.unlp.edu.ar/articulo/2014/4/7/balance_de_uso_de_energia_solar_en_informatica_abril_2014

UPME. (2013). *Factores de emisión del S.I.N Sistema Interconectado Nacional de Colombia*. Retrieved 2015 йил Marzo from SIAME.GOV.CO: http://www.siame.gov.co/siame/documentos/Calculo_FE_SIN_2013_Nov2014.pdf

UVM. (21 de Agosto de 2002). *Solar Energy Project.* Recuperado el 13 de Octubre de 2014, de http://www.autoreseditores.com/blog/2011/08/28/estilos-de-referencias-bibliograficas-normas-icontec/

Villalon, X. (10 de Enero de 2014). *Pontificia Universidad Católica de Chile.* Recuperado el 22 de Octubre de 2014, de La UC comienza instalación de paneles solares en edificios de campus San Joaquín.: http://www.uc.cl/es/la-

universidad/noticias/13842-la-uc-comienza-instalacion-de-paneles-solares-en-edificios-de-campus-san-joaquin