

ESTUDIO TÉCNICO Y FINANCIERO DE IMPLEMENTACIÓN DE PANELES
SOLARES ENFOCADO A CENTROS COMERCIALES

OSCAR ANTONIO ARENAS SANTAMARÍA
ANDRÉS MAURICIO OVIEDO PINZÓN

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA

2009

ESTUDIO TÉCNICO Y FINANCIERO DE IMPLEMENTACIÓN DE PANELES
SOLARES ENFOCADO A CENTROS COMERCIALES

OSCAR ANTONIO ARENAS SANTAMARÍA

ANDRÉS MAURICIO OVIEDO PINZÓN

Trabajo de grado para optar el título de
Ingeniero Electricista

Director:

DR. GERARDO LATORRE BAYONA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA

2009

CONTENIDO

| | Pág. |
|--|------|
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1 LAS ENERGÍAS RENOVABLES O ALTERNATIVAS | 2 |
| 1.1 LA ENERGÍA SOLAR | 2 |
| 1.1.1 Radiación Solar | 3 |
| 1.1.2 Irradiancia e Irradiación Sobre Superficies | 3 |
| 1.1.3 La Radiación Solar en Colombia | 4 |
| 1.1.4 Atlas de Radiación Solar de Colombia | 6 |
| 1.1.5 El Efecto Fotoeléctrico | 6 |
| 2 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS | 8 |
| 2.1 CELDAS FOTOVOLTAICAS SOLARES | 8 |
| 2.1.1 Composición de una Celda Fotovoltaica | 9 |
| 2.1.2 Funcionamiento de una Celda Fotovoltaica | 9 |
| 2.1.3 Curva Característica de Funcionamiento de una Celda | 11 |
| 2.1.4 Eficiencia de una Celda Fotovoltaica | 13 |
| 2.2 DIODOS DE SEGURIDAD | 14 |
| 2.2.1 Diodo de Bloqueo en Paneles Solares | 14 |
| 2.2.2 Diodos By-Pass | 15 |
| 2.3 REGULADOR DE CARGA | 15 |
| 2.3.1 Regulador Serie | 16 |
| 2.3.2 Regulador Paralelo | 17 |
| 2.3.3 Datos Específicos de un Regulador | 18 |
| 2.4 BATERÍAS O ACUMULADORES | 19 |
| 2.4.1 Parámetros Específicos de una Batería | 19 |
| 2.4.2 Tipos de Baterías | 22 |
| 2.5 EL INVERSOR | 23 |
| 2.5.1 Clases de Inversores | 24 |
| 2.5.2 Parámetros Específicos y Características de los Inversores | 25 |

| | | |
|-------|--|----|
| 3 | MATEMÁTICAS FINANCIERAS | 29 |
| 3.1 | EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE INVERSIÓN..... | 29 |
| 3.2 | FACTIBILIDAD FINANCIERA..... | 29 |
| 3.3 | RENTABILIDAD..... | 29 |
| 3.4 | CRITERIOS EN LA EVALUACIÓN DE PROYECTOS | 29 |
| 3.4.1 | Ingresos de los proyectos | 29 |
| 3.4.2 | Inversión en el proyecto | 30 |
| 3.4.3 | Gastos de operación del proyecto..... | 30 |
| 3.5 | EL VALOR DEL DINERO A TRAVÉS DEL TIEMPO | 30 |
| 3.5.1 | Valor presente neto (VPN) | 30 |
| 3.5.2 | Tasa Interna de Retorno (TIR) | 31 |
| 3.5.3 | Ecuaciones utilizadas para hallar el VPN y el TIR | 31 |
| 4 | NORMATIVIDAD..... | 33 |
| 4.1 | CÓDIGO ELÉCTRICO COLOMBIANO NTC 2050 | 33 |
| 4.2 | REQUISITOS DE LA INSTALACIÓN SEGÚN NORMA TÉCNICA UNIVERSAL PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DOMÉSTICOS | 34 |
| 4.2.1 | Requisitos del Sistema..... | 34 |
| 4.2.2 | Requisitos de los Módulos Fotovoltaicos | 34 |
| 4.2.3 | Requisitos de la Estructura de Soporte | 34 |
| 4.2.4 | Requisitos de la Batería | 35 |
| 4.2.5 | Requisitos del Regulador de Carga..... | 35 |
| 4.2.6 | Requisitos del Cableado | 37 |
| 4.2.7 | Requisitos de la Instalación..... | 38 |
| 4.3 | DISPOSICIONES DE LA CREG PARA AUTOGENERADORES | 39 |
| 4.3.1 | Autogenerador | 39 |
| 4.3.2 | Energía Suplementaria..... | 39 |
| 4.3.3 | Autogenerador Usuario Regulado..... | 39 |
| 4.3.4 | Autogenerador Usuario No Regulado | 39 |
| 4.3.5 | Condiciones para el Acceso al Respaldo..... | 40 |
| 4.3.6 | Uso del Respaldo..... | 40 |

| | | |
|---------|---|----|
| 4.3.7 | Tarifas para los Servicios de Respaldo | 40 |
| 4.3.8 | Venta de Excedentes | 40 |
| 5 | ESTUDIO TÉCNICO | 41 |
| 5.1 | LUGAR O SITIO DE UBICACIÓN DEL ESTUDIO TÉCNICO Y FINANCIERO PARA EL DISEÑO PROTOTIPO..... | 41 |
| 5.1.1 | Determinación de la Radiación Para la Ciudad de Bucaramanga | 41 |
| 5.2 | DIMENSIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA | 44 |
| 5.2.1 | Dimensionamiento de los Paneles Solares | 44 |
| 5.2.1.1 | <i>Inclinación de los Paneles Solares</i> | 44 |
| 5.2.1.2 | <i>Orientación de los Paneles Solares</i> | 45 |
| 5.2.1.3 | <i>Aporte Diario de Paneles Solares</i> | 45 |
| 5.2.1.4 | <i>Número de Paneles Solares</i> | 46 |
| 5.2.1.5 | <i>Distancia entre Paneles</i> | 47 |
| 5.2.2 | Estructura de Soporte y Anclaje | 48 |
| 5.2.3 | Capacidad de la Batería..... | 49 |
| 5.2.3.1 | Diseño del Banco de Baterías | 50 |
| 5.2.4 | Regulador de Carga..... | 50 |
| 5.2.5 | Inversor | 51 |
| 5.2.6 | Sistemas de Protección..... | 52 |
| 5.2.7 | Sistema de Puesta a Tierra..... | 53 |
| 5.2.8 | Mantenimiento de la Instalación Fotovoltaica..... | 53 |
| 5.3 | CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE CENTROS COMERCIALES | 55 |
| 5.3.1 | Clasificación de Centros Comerciales..... | 56 |
| 5.4 | OPCIONES DE DISEÑO DEL SISTEMA..... | 57 |
| 5.5 | METODOLOGÍA DE DISEÑO DEL SISTEMA..... | 58 |
| 5.5.1 | Análisis Energético..... | 58 |
| 5.5.1.1 | Energía Consumida | 58 |
| 5.5.1.2 | Disponibilidad Energética | 61 |
| 5.5.1.3 | Carga a Suplir..... | 63 |

| | | |
|---------|--|----|
| 5.5.2 | Cantidad de Paneles Definitivos..... | 64 |
| 5.5.3 | Banco de Baterías..... | 64 |
| 5.5.4 | Regulador de Carga..... | 67 |
| 5.5.5 | Inversor de Corriente..... | 68 |
| 5.5.6 | Esquemas de Conexión y Selección de Conductores..... | 69 |
| 6 | ESTUDIO FINANCIERO | 70 |
| 6.1 | LAS INVERSIONES DEL PROYECTO..... | 70 |
| 6.1.1 | Inversión Inicial..... | 70 |
| 6.1.1.1 | Paneles Solares y Baterías..... | 70 |
| 6.1.1.2 | Regulador de Carga | 71 |
| 6.1.1.3 | Inversor de Corriente | 71 |
| 6.1.1.4 | Obra Civil..... | 72 |
| 6.1.1.5 | Otros..... | 72 |
| 6.1.2 | Precio Unitario de Inversión Inicial | 72 |
| 6.1.3 | Inversiones Durante la Marcha | 74 |
| 6.2 | INGRESOS..... | 75 |
| 6.2.1 | Precio de la Energía..... | 75 |
| 6.2.2 | Ahorro Aparente | 81 |
| 6.3 | EVALUACIÓN DE LA INVERSIÓN..... | 82 |
| 6.3.1 | Variación respecto al precio de la energía | 83 |
| 6.3.2 | Variación respecto al tamaño del sistema..... | 85 |
| 6.3.3 | Variación respecto a otros factores..... | 90 |
| 7 | DISEÑO PROTOTIPO..... | 93 |
| 7.1 | DISEÑO DEL SISTEMA | 94 |
| 7.1.1 | Dimensionamiento de Equipos..... | 94 |
| 7.1.2 | Especificación de equipos..... | 94 |
| 7.1.3 | Esquemas de conexión | 96 |
| 7.1.3.1 | Selección de Conductores..... | 97 |
| 7.1.3.2 | Protecciones | 98 |
| 7.1.3.3 | Señalización de Fallas..... | 98 |

| | | |
|-----|----------------------------|-----|
| 7.2 | PRESUPUESTO..... | 99 |
| 7.3 | EVALUACIÓN FINANCIERA..... | 99 |
| 8 | OBSERVACIONES..... | 101 |
| 9 | CONCLUSIONES..... | 102 |
| | BIBLIOGRAFÍA..... | 104 |
| | ANEXOS..... | 107 |

LISTA DE TABLAS

| | Pág. |
|--|------|
| Tabla 1. Disponibilidad promedio multianual de energía solar por regiones..... | 6 |
| Tabla 2. Tecnología para celdas fotovoltaicas..... | 10 |
| Tabla 3. Características de diferentes baterías..... | 23 |
| Tabla 4. Valores de irradiación solar global promedio de Bucaramanga..... | 43 |
| Tabla 5. Energía consumida en kWh..... | 61 |
| Tabla 6. Carga a suplir..... | 64 |
| Tabla 7. Número de paneles necesario..... | 64 |
| Tabla 8. Energía consumida en kWh y kWh..... | 65 |
| Tabla 9. Capacidad de la batería..... | 66 |
| Tabla 10. Número de baterías por zona..... | 67 |
| Tabla 11. Corriente nominal del regulador de carga o grupo de reguladores..... | 68 |
| Tabla 12. Potencia régimen inversor para cada tipo de carga..... | 69 |
| Tabla 13. Estimación de Precios Paneles y Baterías..... | 71 |
| Tabla 14. Tabla resumen inversión 1..... | 73 |
| Tabla 15. Tabla resumen inversión 2..... | 73 |
| Tabla 16. Tarifas ESSA mes de enero de 2007 tarifa plana..... | 76 |
| Tabla 17. Tarifas ESSA mes de enero tarifa triple horario..... | 76 |
| Tabla 18. Precio del kWh de energía enero 2007 a septiembre 2009..... | 79 |
| Tabla 19. Inversión inicial para todo T..... | 83 |
| Tabla 20. Recuperación de la inversión todo T..... | 84 |
| Tabla 21. Inversión inicial franja 18-21..... | 84 |
| Tabla 22. Recuperación de la inversión franja 18-21..... | 85 |
| Tabla 23. Inversión inicial centro comercial pequeño..... | 86 |
| Tabla 24. Recuperación de la inversión centro comercial pequeño..... | 86 |
| Tabla 25. Inversión inicial centro comercial mediano..... | 87 |
| Tabla 26. Recuperación de la inversión centro comercial mediano..... | 87 |
| Tabla 27. Inversión inicial centro comercial pequeño tarifa I-II..... | 88 |
| Tabla 28. Recuperación de la inversión centro comercial pequeño tarifa I-II..... | 88 |
| Tabla 29. Inversión inicial centro comercial mediano a tarifa I-III franja 18-21..... | 89 |
| Tabla 30. Recuperación de la inversión centro comercial mediano a tarifa I-III franja 18-21..... | 89 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 31. Recuperación de la inversión centro comercial mediano a tarifa I-III franja 18-21..... | 90 |
| Tabla 32. Recuperación tasa del 1% (anual-mensual). | 91 |
| Tabla 33. Recuperación tasa del 10% (anual-mensual). | 91 |
| Tabla 34. Recuperación tasa del 17% (anual-mensual). | 91 |
| Tabla 35. Dimensionamiento de equipos diseño prototipo. | 94 |
| Tabla 36. Característica del panel seleccionado..... | 94 |
| Tabla 37. Características batería seleccionada. | 95 |
| Tabla 38. Características inversor – cargador. | 95 |
| Tabla 39. Resumen de conductores y caída de tensión de CC. | 97 |
| Tabla 40. Conductor y regulación en corriente alterna. | 97 |
| Tabla 41. Inversión inicial diseño prototipo. | 99 |
| Tabla 42. Recuperación de la inversión diseño prototipo. | 100 |

LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|---|------|
| Figura 1. Radiación Perpendicular y Oblicua a una Superficie Plana. | 4 |
| Figura 2. Zonas principales simétricas respecto al Ecuador. | 5 |
| Figura 3. Espectro solar útil en el silicio. | 7 |
| Figura 4. Sistema Fotovoltaico. | 8 |
| Figura 5. Curva Característica de funcionamiento de una celda. | 12 |
| Figura 6. Diodo de bloqueo. | 14 |
| Figura 7. Configuración diodos By-pass con diodos de bloqueo. | 15 |
| Figura 8. Regulador serie. | 17 |
| Figura 9. Regulador paralelo. | 17 |
| Figura 10. Profundidad de descarga. | 20 |
| Figura 11. Diferentes formas de onda en C.A. (60 Hz). | 24 |
| Figura 12. Gráfica VPN Vs i. | 31 |
| Figura 13. Convención de colores nivel de radiación solar. | 41 |
| Figura 14. Isolíneas nivel de radiación solar global promedio diario mes de enero. | 42 |
| Figura 15. Isolíneas nivel de radiación solar global promedio diario anual. | 43 |
| Figura 16. Ángulo de inclinación módulo fotovoltaico. | 44 |
| Figura 17. Ángulo de incidencia de radiación solar sobre un panel. | 45 |
| Figura 18. Distancia mínima entre paneles. | 48 |
| Figura 19. Cargas de iluminación. | 59 |
| Figura 20. Cargas varias. | 60 |
| Figura 21. Gráfico de cargas. | 60 |
| Figura 22. Gráfica de precio unitario Vs. kWh-día instalado. | 74 |
| Figura 23. Comportamiento del precio de la energía. | 77 |
| Figura 24. Gráfica precios nivel de tensión 1. | 78 |
| Figura 25. Gráfica regresión lineal para precios de energía. | 80 |
| Figura 26. Gráfica de cargas diseño prototipo. | 93 |

LISTA DE ANEXOS

| | Pág. |
|--|------|
| ANEXO A. Planos esquemáticos de conexión..... | 107 |
| ANEXO B. Herramienta Programada Utilizada en Cálculos..... | 107 |
| ANEXO C. Síntesis de la Investigación..... | 108 |
| ANEXO D. Algunos de los Precios de Dispositivos Encontrados..... | 111 |

RESUMEN

TÍTULO: ESTUDIO TÉCNICO Y FINANCIERO DE IMPLEMENTACIÓN DE PANELES SOLARES ENFOCADO A CENTROS COMERCIALES *.

AUTORES: Oscar Antonio Arenas Santamaría, Andrés Mauricio Oviedo Pinzón **.

PALABRAS CLAVES: Energía Alternativa, Energía Renovable, Radiación Solar, Panel, Celda, Módulo Fotovoltaico, Centros Comerciales, Estudio Técnico, Estudio Financiero.

DESCRIPCIÓN:

El trabajo de grado presentado a continuación tuvo como objetivo principal el estudio y análisis del proceso de generación eléctrica mediante paneles solares fotovoltaicos y las implicaciones técnicas y financieras que tendría esta implementación en un centro comercial que tenga la particularidad de poseer gran área de techo que pueda ser utilizada para la instalación de éstos.

Este estudio técnico y financiero involucró una estimación de las opciones de carga total o parcial a suplir teniendo en cuenta el uso de la tarifa de franja horaria que rige en algunos centros comerciales y que depende del tipo de carga que estos manejan.

La dimensión de los elementos que conforman el sistema fotovoltaico y el impacto financiero que tendría la variación de cada uno de ellos, depende de diferentes factores como la radiación solar global promedio diario anual en el lugar donde se va a efectuar la instalación, la carga a suplir y el área con que se cuenta para la ubicación de los paneles fotovoltaicos.

La ejecución de este trabajo permite vislumbrar las posibles ventajas económicas que presenta el uso de sistemas fotovoltaicos en centros comerciales, esperándose un avance significativo en la eficiencia y el costo de los paneles solares fotovoltaicos durante los próximos años.

*Trabajo de Grado

**Facultad de Ingeniería Físico-Mecánicas. Ingeniería Eléctrica. Director: Gerardo Latorre Bayona.

ABSTRACT

TITLE: TECHNICAL AND FINANCIAL STUDY OF IMPLEMENTATION OF SOLAR PANELS FOCUSED ON SHOPPING CENTERS *.

AUTHORS: Oscar Antonio Arenas Santamaría, Andrés Mauricio Oviedo Pinzón**.

KEYWORDS: Alternative Energy, Renewable Energy, Solar Radiation, Panel, Cell, Photovoltaic Module, Shopping Centers, Technical Study, Financial Study.

DESCRIPTION:

The work of degree presented later took as a principal aim the study and analysis of the process of electrical generation by solar photovoltaic panels and the technical and financial implications that this implementation would have in a mall that has the particularity of having great area of roof that could be used for the installation of these.

This technical and financial study involved an estimation of the options of total or partial capacity to supply bearing in mind the use of the tariff of time slot that applies in some malls and that depends on the type of load that these handle.

The dimension of the elements that shape the photovoltaic system and the financial impact that would have the variation of each one of them, depends on different factors as the solar global average radiation annual diary in the place where the installation is, the load to supply and the area which one has for the location of the photovoltaic panels.

The execution of this work provides a glimpse into the potential economic advantages presented by the use of photovoltaic systems in malls, expecting a breakthrough in efficiency and cost of solar photovoltaic panels in the coming years.

*Grade Work

**College of Engineering's Physique Mechanics. Electrical Engineering.
Director: Gerardo Latorre Bayona.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad nuestro planeta atraviesa por una gran crisis energética, esto debido a que los combustibles fósiles como petróleo, carbón y gas empiezan a agotarse, razón por la cual existe un interés por las fuentes de energía renovables como la solar o la eólica, las cuales son respetuosas con el medio ambiente.

En los últimos años la producción de módulos fotovoltaicos ha aumentado y el precio de estos ha disminuido considerablemente, con lo que se está recurriendo a esta tecnología, esto sumado a que Colombia tiene un buen potencial energético solar. Entre las ventajas de la energía solar fotovoltaica se encuentra que el sol es una fuente gratuita e inagotable de energía, es un sistema silencioso, limpio y amigable con el medio ambiente porque no produce emisiones nocivas ni gases contaminantes, además la generación de energía solar fotovoltaica se obtiene en el sitio de consumo, con lo que no se presentan pérdidas por transmisión y distribución de energía; como el sistema no presenta partes móviles requiere un mínimo de mantenimiento y tiene una vida útil de alrededor de 40 años.

El propósito de este trabajo de grado es elaborar un estudio técnico y financiero de implementación de paneles solares en centros comerciales como una alternativa para suplir parte de las necesidades energéticas de éstos, y de esta manera reducir los costos de operación, teniendo en cuenta las limitaciones tecnológicas que estos equipos presentan al trabajar con diferentes clases de cargas, así como las limitaciones financieras de rentabilidad y amortización de la inversión.

Este trabajo ofrece una visión sobre el tema para futuros proyectos en donde se desee utilizar la energía solar como alternativa al agotamiento de los combustibles fósiles y de paso contribuir al mejoramiento del medio ambiente sin dejar a un lado el análisis técnico y financiero que esta implementación requiere.

1 LAS ENERGÍAS RENOVABLES O ALTERNATIVAS

Las energías renovables son aquellas que se consideran inagotables, entre ellas tenemos la solar (sol), eólica (viento), hidráulica (ríos y corrientes de agua dulce), biomasa (materia orgánica de origen vegetal o animal), mareomotriz (mares y océanos) y geotérmica (el calor de la tierra). Esta clase de energías se consideran limpias a excepción de la biomasa que se considera contaminante (Energías, 2009), pero en menor medida que las energías no renovables o combustibles fósiles, las cuales son altamente contaminantes y son responsables del calentamiento global del planeta debido al CO₂ y de la lluvia ácida debida al SO₂.

Dado que las energías renovables son inagotables, limpias y además contribuyen a reducir las emisiones de CO₂ a la atmósfera preservando el medio ambiente, el futuro de las fuentes energéticas se está centrando en éstas, además se debe estar preparados y tener avances destacados en el uso eficiente de estas energías para el momento en que las fuentes no renovables como los combustibles fósiles los cuales están almacenados empiecen a agotarse, pues el consumo actual de estos combustibles es 100000 veces más rápido que su velocidad de formación. Hacia el año 2004 las energías renovables suministraban un 20% del consumo mundial (Santamarta 2004).

1.1 LA ENERGÍA SOLAR

El sol es la fuente primaria de luz y calor para la tierra y es además el origen de todas las energías renovables excepto la geotermia (calor de la tierra); la energía del sol se puede aprovechar directamente en forma de calor o energía térmica por medio de colectores solares o también se puede convertir en electricidad a través de celdas fotovoltaicas. En Colombia la utilización de la energía solar es muy reducida y su mayor uso se presenta con la denominada energía solar térmica la cual es utilizada para el calentamiento de agua en clínicas, hoteles y uso industrial (Rodríguez, 2008); La energía solar fotovoltaica se usa en menor medida en

telecomunicaciones para alimentar los repetidores y en aplicaciones domésticas para lugares alejados donde no existe interconexión eléctrica, aunque ya se está empezando a utilizar sistemas fotovoltaicos en protección catódica de oleoductos, iluminación pública y cercas eléctricas.

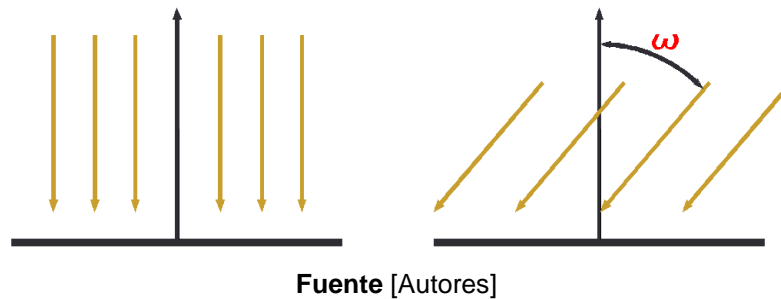
1.1.1 Radiación Solar

La radiación solar es la energía emitida por el sol en forma de ondas electromagnéticas; la radiación que recibimos del sol se divide en luz visible, rayos infrarrojos y rayos ultravioletas los cuales son invisibles para el ojo humano. La radiación solar global (radiación total incidente sobre una superficie) está compuesta por radiación directa y radiación difusa; la primera es la que llega directamente del sol cuando se tiene cielo despejado y la difusa es la que resulta por los fenómenos de reflexión y refracción en la atmosfera y en las nubes.

1.1.2 Irradiancia e Irradiación Sobre Superficies

La potencia incidente por unidad de superficie de todo tipo de radiación electromagnética se describe con una magnitud llamada irradiancia la cual se presenta en valores de vatio por metro cuadrado (W/m^2), con esta magnitud se mide la cantidad de energía solar que llega a la atmosfera de la tierra que es de $1367 W/m^2$ y que recibe el nombre de constante solar. En la superficie terrestre el mejor valor de irradiancia posible es alrededor de $1000 W/m^2$, este valor es la potencia recibida en $1 m^2$ que se encuentra perpendicular a la radiación solar, si la radiación solar no es perpendicular a la superficie el valor de irradiancia debe multiplicarse por el coseno del ángulo entre la normal a la superficie y la dirección de la radiación.

Figura 1. Radiación Perpendicular y Oblicua a una Superficie Plana.

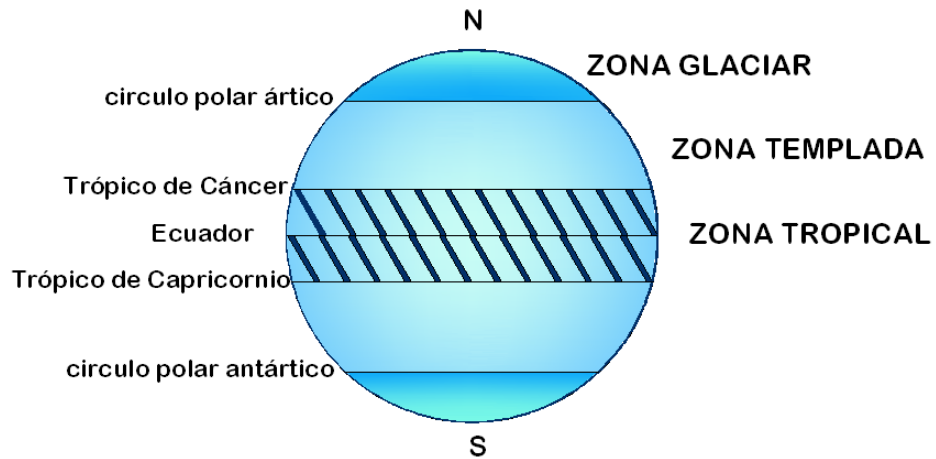


La energía incidente por unidad de superficie recibe el nombre de irradiación y está dada en unidades de kWh/m² o Wh/m². La irradiación sobre una superficie también depende del ángulo de incidencia ω (Irradiancia, 2009).

1.1.3 La Radiación Solar en Colombia

En los países donde existen las estaciones (verano, invierno, otoño y primavera) los cuales se encuentran en la zona templada el sol nunca alcanza el zenit que es el punto más alto en el cielo el cual se mide a partir de la horizontal 90 grados, en estos países la luz del sol dura más horas en verano y menos horas en invierno; en los glaciales hay días en que el sol no sale, mientras que en los países de la zona tropical situados sobre la línea del Ecuador como Colombia el sol alcanza el zenit por lo menos dos días durante el año en los equinoccios (21 de marzo y 23 de septiembre) y lo que más se aparta el sol del zenit es 23,45° en los solsticios (21 de junio y 22 de diciembre) que es el ángulo que forma el plano del Ecuador con el movimiento del sol alrededor de la tierra, este movimiento es llamado eclíptica; en esta zona la luz solar se mantiene alrededor de 12 horas diarias por lo que las variaciones de radiación en el año son pequeñas comparadas con las de otras regiones del mundo como la zona templada.

Figura 2. Zonas principales simétricas respecto al Ecuador.



Fuente [Autores]

De acuerdo a estudios realizados por el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) Colombia es favorecida por gran disponibilidad de recurso solar gracias a su ubicación geográfica, con un promedio diario multianual cercano a $4,5 \text{ kWh/m}^2$ (IDEAM – UPME, 2002).

Las zonas de mayor intensidad de irradiación solar en Colombia (alrededor de $5,0 \text{ kWh/m}^2$ por día) son la región Caribe, nororiente de la Orinoquia, sectores de Meta y Casanare y pequeños sectores de los departamentos de Cauca, Huila, Valle, Tolima, Cundinamarca, Boyacá, Santanderes, Antioquia y las Islas de San Andrés y Providencia. Los valores más altos (entre $5,5$ y $6,0 \text{ kWh/m}^2$ por día y en algunos sitios con valores superiores) se presentan en el departamento de La Guajira, norte y sur del Magdalena, norte de Cesar y reducidos sectores de Atlántico, Bolívar, Sucre y Arauca.

Tabla 1. Disponibilidad promedio multianual de energía solar por regiones.

| REGIÓN | kWh/m²/año |
|-----------------|------------------------------|
| GUAJIRA | 2.190 |
| COSTA ATLÁNTICA | 1.825 |
| ORINOQUIA | 1.643 |
| AMAZONIA | 1.551 |
| ANDINA | 1.643 |
| COSTA PACÍFICA | 1.278 |

Fuente [IDEAM – UPME, 2002]

1.1.4 Atlas de Radiación Solar de Colombia

Es un trabajo realizado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) en conjunto con la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) mediante un convenio firmado en diciembre del año 2002, el cual se realizó con el fin de aprovechar la energía solar como fuente de energía alternativa y renovable en Colombia para ser utilizada en sistemas fotovoltaicos y sistemas térmicos solares.

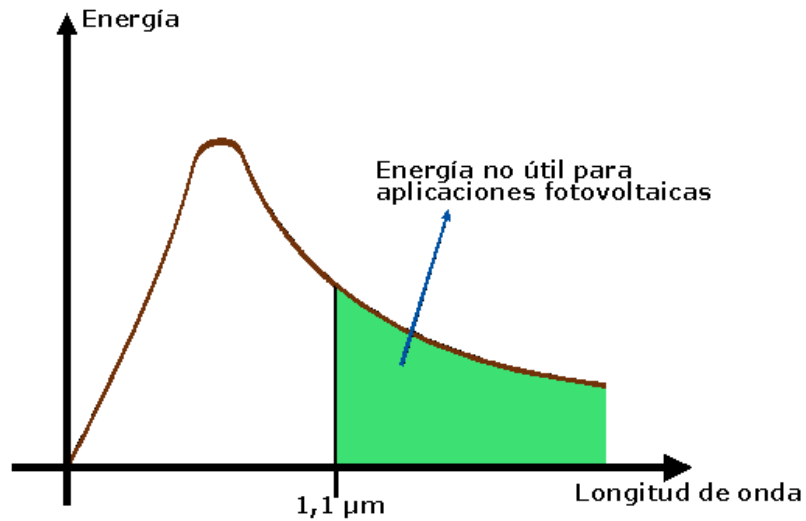
En este atlas se identifican las regiones donde es más adecuada la utilización de la energía solar mediante una serie de mapas de Colombia en los cuales se observa el valor promedio diario de radiación global, brillo y radiación ultravioleta solar que incide sobre una superficie plana por metro cuadrado. Además cuenta con apéndices los cuales explican las características del Sol, su relación astronómica con el planeta Tierra, las estaciones meteorológicas de referencia para la elaboración del estudio, metodologías e instrumentos utilizados en la medición de la radiación solar y la forma de utilizar e interpretar la información existente en los mapas para hallar los niveles de radiación solar global promedio diario en determinado mes del año o promedio diario anual en cualquier lugar del país.

1.1.5 El Efecto Fotoeléctrico

Es la emisión de electrones en un material cuando incide sobre éste una radiación electromagnética (radiación solar) la cual está conformada por fotones, cada fotón

posee una energía determinada, a menor longitud de onda mayor es la energía del fotón (es decir esta energía viene determinada por su frecuencia) y más fácil arranca electrones del material. A mayor número de fotones por segundo en una superficie se puede arrancar más electrones del material lo cual depende de la irradiancia en W/m^2 . Cada material tiene una frecuencia mínima de radiación por debajo de la cual ningún electrón puede ser emitido o arrancado llamada la frecuencia umbral (Fotoeléctrico, 2009); para el silicio solo se puede aprovechar la energía del espectro solar que tenga una longitud de onda menor a $1,1 \mu m$.

Figura 3. Espectro solar útil en el silicio.

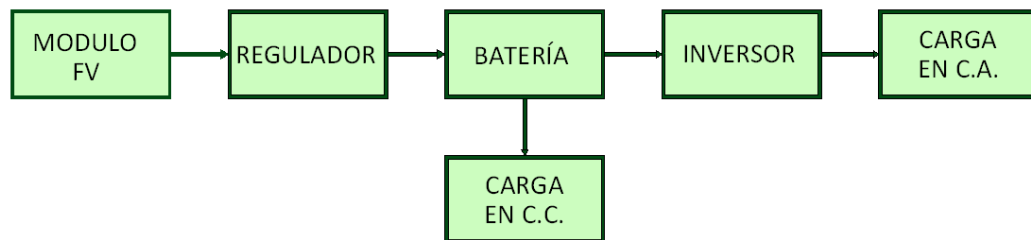


Fuente [Autores]

2 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Un sistema fotovoltaico es el que alimenta un circuito eléctrico externo a partir de la radiación solar que incide sobre un dispositivo conocido como celda fotovoltaica gracias a un fenómeno llamado el efecto fotovoltaico, que es una aplicación del efecto fotoeléctrico particularizado a celdas fotovoltaicas para que se genere energía eléctrica a partir de la incidencia de fotones sobre éstas; un conjunto de celdas fotovoltaicas conectadas en serie y encapsuladas en un material transparente que las protege de las condiciones ambientales como lluvia y polvo forman un panel solar; un sistema fotovoltaico también está compuesto de otros elementos como reguladores de carga para proteger las baterías de sobrecargas y descargas excesivas, baterías o acumuladores para almacenar energía, e inversores para alimentar cargas de corriente alterna, entre otros.

Figura 4. Sistema Fotovoltaico.



Fuente [Autores]

2.1 CELDAS FOTOVOLTAICAS SOLARES

Las celdas fotovoltaicas son semiconductores sensibles a la luz solar los cuales cuando se exponen a esta clase de radiación producen una circulación de corriente eléctrica entre sus dos caras por la generación de una pequeña diferencia de potencial entre éstas. Luego cuando sobre una celda fotovoltaica que está conformada por semiconductores tipo “p” y tipo “n” inciden fotones éstos pueden ser absorbidos o reflejados o pueden pasar a través de la celda; los fotones absorbidos son los que tienen la capacidad de hacer que se genere

electricidad ya que su energía es transmitida a los electrones y éstos a su vez son los que originan la corriente eléctrica entre los dos tipos de semiconductor. Cabe recordar que la energía de los fotones absorbidos debe ser mayor que la frecuencia umbral para que esta energía sea aprovechada por los electrones, luego en un material como el silicio para radiaciones cuya longitud de onda sea mayor a $1,1 \mu\text{m}$ esta energía se convertirá en calor; el incremento de temperatura en una celda hace que se pierda rendimiento en ésta.

2.1.1 Composición de una Celda Fotovoltaica

Una celda fotovoltaica de silicio está compuesta de dos discos de silicio tipo n y tipo p uno encima del otro, el disco superior es más delgado que el inferior (tan delgado que es casi translucido), esto con el fin de que la mitad de la radiación sea absorbida por el disco superior y la otra mitad por el disco inferior; el disco superior tiene unos contactos metálicos en forma de rejilla (muy delgadas con el fin de que dejen pasar la luz) que se encargan de recoger la corriente eléctrica, el disco inferior también se encuentra situado sobre un contacto metálico, estos contactos son los encargados de llevar y traer la corriente eléctrica a una carga o a un acumulador cuando incide radiación solar sobre la celda. Que el disco delgado (superior) sea tipo n y el inferior tipo p o viceversa solo influye en la dirección de la corriente ya que los electrones se mueven del material tipo n al tipo p y la corriente eléctrica se mueve en sentido contrario al de los electrones.

2.1.2 Funcionamiento de una Celda Fotovoltaica

Cuando incide radiación solar sobre una celda fotovoltaica existe un bombardeo de fotones sobre este material, si la energía de estos es mayor que la frecuencia umbral los electrones son atraídos por el silicio tipo p con lo que se carga negativamente y los huecos son atraídos por el silicio tipo n con lo cual éste se carga positivamente apareciendo una diferencia de potencial de aproximadamente 0,5 voltios entre los terminales de la celda, por esta razón cuando se necesita un voltaje determinado se colocan celdas en serie que encapsuladas en un material transparente forman un panel solar. Cuando se necesita incrementar la corriente

de un panel solar se colocan arreglos de celdas fotovoltaicas serie conectados en paralelo.

Generalmente estas celdas están hechas a partir de silicio monocristalino o policristalino; lo cual determina su eficiencia, como lo muestra la siguiente figura:

Tabla 2. Tecnología para celdas fotovoltaicas.

| Tecnología | Película delgada | | Oblea Cristalina | |
|------------------------|-------------------|------------------------------------|------------------|------------------|
| | Silicio amorfo | Diseleniuro de Indio y Cobre (CIS) | Multicristalina | Monocristalina |
| Eficiencia del módulo | 6 – 7 % | 10 – 11 % | 12 – 14 % | 13 – 15 % |
| Área requerida por kWp | 15 m ² | 10 m ² | 8 m ² | 7 m ² |

Fuente [Hulshorst, 2009]

Cada panel solar cuenta generalmente entre 33 a 72 celdas conectadas en serie, dependiendo del voltaje que se requiera que generalmente es de 12 y 24 voltios, tienen aproximadamente 1 metro cuadrado de área (1 m²), pueden generar entre 40 y 150 Wp y tienen 12 kg/m² de peso aproximado, con baterías de 12 voltios cuando se presentan ambientes con temperaturas muy altas se colocan paneles que tengan 44 celdas (lo que daría una tensión de alrededor de 20 voltios) dado que a estas temperaturas se pierde eficiencia y por lo tanto la tensión nominal se reduce.

Las celdas multicapa de Arseniuro de Galio alcanzan eficiencias del 30% y en el laboratorio se han alcanzado eficiencias del 42% con paneles experimentales (Célula, 2009). Actualmente se están elaborando paneles solares mejorando la eficiencia a base de lentes convergentes que multiplican la potencia irradiada por

el sol sobre las celdas o utilizando espejos que concentran la energía solar sobre celdas bifaciales las cuales están compuestas de silicio tipo p y las dos caras externas por silicio tipo n o viceversa, aquí los espejos se utilizan para reflejar los rayos del sol sobre la cara inferior de la celda bifacial mientras que la cara superior es irradiada directamente por el sol, aunque el uso de estos lentes y espejos requiere un sistema de seguimiento del sol. Las celdas de película delgada fabricadas a base de silicio amorfo son más baratas y menos eficientes porque utilizan menor cantidad de silicio, además presentan el problema de que se empiezan a degradar cuando son expuestas a la radiación solar con lo que su eficiencia disminuye aún más, pero tienen la ventaja de afectarse menos cuando hay niveles de radiación bajos, con lo que aprovechan más la radiación difusa; las celdas de película delgada de diseleniuro de indio y cobre (CIS) conocidas como de tercera generación tienen eficiencias más bajas que las monocristalinas y policristalinas pero se espera alcanzarlas e incluso superarlas en los próximos años.

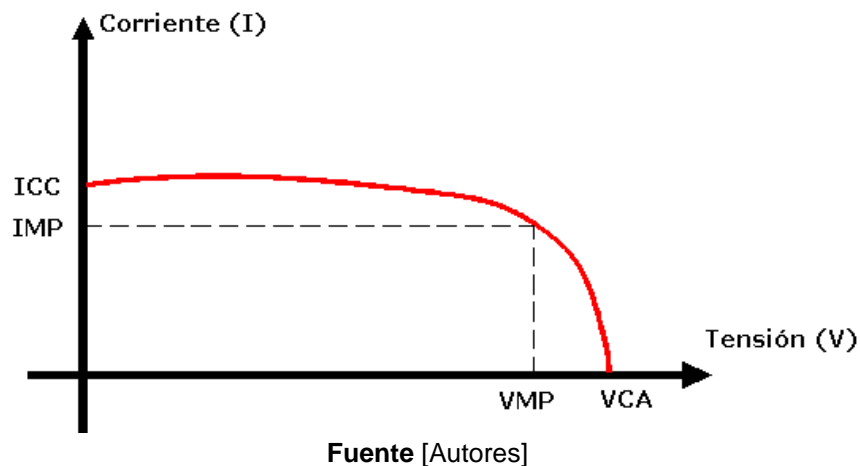
2.1.3 Curva Característica de Funcionamiento de una Celda

Todo equipo eléctrico se caracteriza por una corriente, una tensión y una potencia de funcionamiento; cuando se le practican pruebas a una celda fotovoltaica se puede observar que la tensión de circuito abierto es independiente de la intensidad de la irradiación que incide sobre ésta, por lo que la tensión se mantiene para diferentes valores de irradiación pero depende de la temperatura de la celda fotovoltaica la cual es producto de la energía del sol que no es aprovechada por el material semiconductor.

Al practicar la prueba de cortocircuito a la celda se observa que la intensidad de corriente aumenta a medida que se aumenta la intensidad de la irradiación, además, esta intensidad de corriente es independiente de la temperatura de la fotocelda.

Al producto de la intensidad de corriente por la tensión en un dispositivo eléctrico se le conoce como potencia, esta se le entrega a otro dispositivo eléctrico conectado en las terminales de la fotocelda como un acumulador o una carga de DC. En una prueba de circuito abierto la potencia es nula porque no hay corriente eléctrica, en una prueba de cortocircuito la potencia también es nula porque no hay diferencia de potencial entre los terminales del dispositivo. Las condiciones óptimas de funcionamiento de una celda fotovoltaica se presentan cuando el producto de la intensidad de corriente eléctrica y la tensión es máximo, este punto óptimo recibe el nombre de potencia pico, en la siguiente gráfica se puede observar:

Figura 5. Curva Característica de funcionamiento de una celda.



En donde:

Corriente de cortocircuito (I_{CC}): Máxima corriente que puede entregar un dispositivo, correspondiendo a tensión nula y consecuentemente a potencia nula.

Tensión de circuito abierto (V_{CA}): Máxima tensión que puede entregar un dispositivo, correspondiendo a circulación de corriente nula y consecuentemente a potencia nula.

Potencia Pico (P_{MP}): Es el máximo valor de potencia que puede entregar el dispositivo. Corresponde al punto de la curva en el cual el producto $V \times I$ es máximo, $P_{MP} = V_{MP} * I_{MP}$.

Corriente a máxima potencia (I_{MP}): Corriente que entrega el dispositivo a potencia máxima. Es la corriente nominal del panel solar.

Tensión a máxima potencia (V_{MP}): tensión que entrega el dispositivo a potencia máxima. Es la tensión nominal del panel solar.

2.1.4 Eficiencia de una Celda Fotovoltaica

Cuando se adquiere un panel solar comercial el fabricante en la hoja de características define una potencia máxima (P_{MP}), la tensión y la corriente en el punto de máxima potencia (I_{MP} y V_{MP}), corriente de cortocircuito (I_{CC}) y tensión de circuito abierto (V_{CA}) cuyas pruebas se realizan con una irradiancia, temperatura de la celda y masa del aire determinadas (bajo condiciones estándar 1000 W/m^2 , $25 \text{ }^\circ\text{C}$ y AM 1,5). El rendimiento de las celdas fotovoltaicas depende de la radiación solar y la temperatura la cual por cada grado Celsius de aumento ocasiona en la potencia de salida de los módulos una reducción del 0.5%, con esto se hace necesario refrigerar el sistema de paneles solares para obtener una mejor eficiencia, pero por lo general un sistema de refrigeración se usa cuando se calientan las celdas debido al aumento de la intensidad luminosa mediante lentes y espejos.

Luego la eficiencia de una celda fotovoltaica viene dada por la ecuación:

$$\eta = \frac{P_{MP}}{S * E} \quad (2.1)$$

Donde:

P_{MP} = Potencia pico en W

S = Superficie de la celda en m^2

$E =$ Irradiancia en W/m^2

2.2 DIODOS DE SEGURIDAD

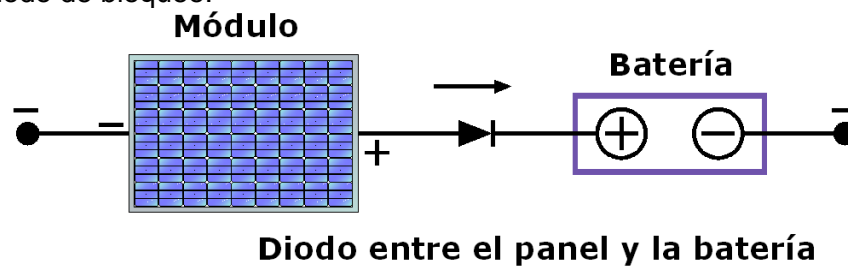
Generalmente los paneles solares tienen protecciones incorporadas tales como el diodo de bloqueo y el diodo By-Pass; ahora se hará una descripción de estos tipos de diodos.

2.2.1 Diodo de Bloqueo en Paneles Solares

Cuando incide radiación solar sobre un panel solar se presenta una corriente eléctrica en dirección de la carga que por lo general es una batería o acumulador; en las noches cuando no hay luz solar y las baterías están cargadas estas verían al panel solar como una carga y habría un corriente eléctrica hacia esa dirección, por lo cual se deben colocar diodos de bloqueo entre los paneles solares y las baterías para que solo haya flujo de energía eléctrica de los paneles a los acumuladores o baterías.

Dado que los diodos presentan una caída de tensión (de alrededor de 0,6 voltios en diodos de uso común o de 0,2 a 0,3 voltios en diodos Schottky) en la fabricación del panel solar o módulo se destinan uno o dos celdas fotovoltaicas en serie para este fin; estos diodos de bloqueo son elementos de protección que vienen incluidos dentro del panel fotovoltaico.

Figura 6. Diodo de bloqueo.

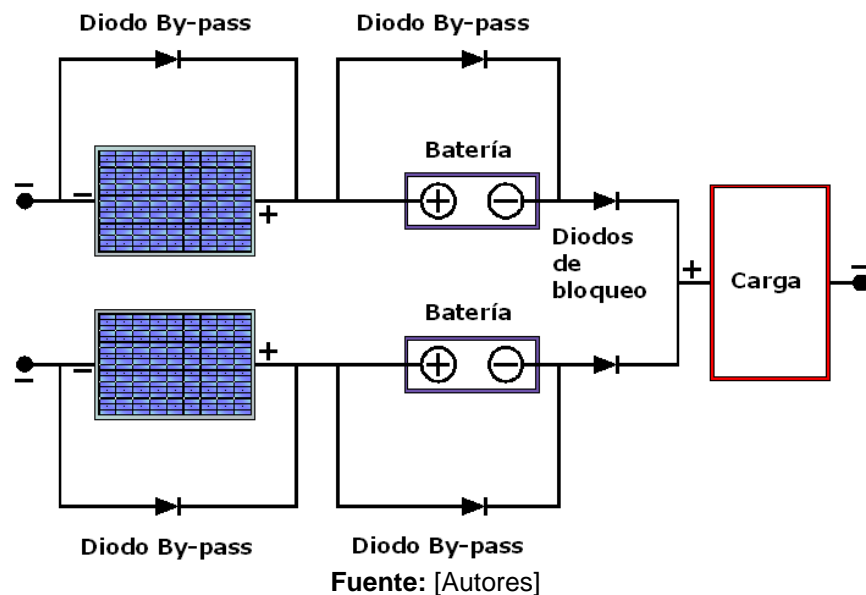


Fuente: [Autores]

2.2.2 Diodos By-Pass

Estos diodos se utilizan para proteger el módulo o panel individualmente en el momento en que se presente un sombreado en este, con lo cual consumiría la corriente de otro módulo conectado en serie que si este recibiendo radiación solar.

Figura 7. Configuración diodos By-pass con diodos de bloqueo.



Nótese en la figura que se colocan diodos de bloqueo para prevenir que un grupo de paneles consuma corriente de otro grupo de paneles conectado en paralelo.

2.3 REGULADOR DE CARGA

La función de un regulador de carga en un sistema fotovoltaico es el de proteger contra sobrecargas y descargas excesivas a las baterías existentes en el sistema por medio de la comparación entre la tensión de las baterías con una tensión de referencia. Cada batería tiene una capacidad óptima de almacenamiento de energía, es decir un límite máximo al cual puede ser cargada para evitar una sobrecarga y un límite mínimo al cual puede ser descargada para evitar una

descarga excesiva; si la batería no se protege adecuadamente contra estos dos factores la vida útil de esta puede disminuir drásticamente.

La sobrecarga en una batería se presenta cuando se carga completamente y el consumo es inferior al aporte de energía de los paneles solares, con lo cual la batería sigue recibiendo corriente eléctrica y se sigue cargando, lo que es perjudicial para ésta porque se empieza a descomponer el líquido que tiene en su interior; para que esto no ocurra y repercuta en la vida útil de la batería se coloca un regulador entre las baterías y los paneles solares el cual impide que la batería se siga cargando una vez alcanzado su límite óptimo de capacidad de carga, es decir su carga completa.

La descarga excesiva en la batería ocurre cuando el consumo de energía del circuito que se está alimentando es superior al aporte de energía de los paneles solares, con lo que la batería entrega corriente eléctrica llevando su nivel de voltaje a niveles que están por debajo de su límite inferior de carga lo cual afecta como ya se dijo antes la vida útil de la batería. La función del regulador para impedir que la batería se siga descargando por debajo de su límite inferior óptimo de carga es el de cortar la corriente eléctrica que va hacia el sitio de consumo.

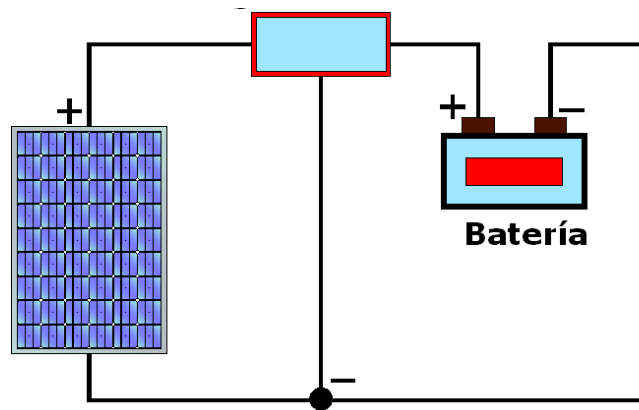
Existen dos clases de reguladores para controlar la carga del panel solar a la batería, estos son el regulador serie y el regulador paralelo o shunt.

2.3.1 Regulador Serie

Este regulador que puede ser un relevador o un regulador electrónico como transistores BJT (Bipolar Junction Transistor), IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) o MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) abre el circuito entre los paneles solares y la batería cuando ésta ya ha alcanzado su límite superior de carga óptima, también corta el fluido de corriente eléctrica de la batería hacia la carga para impedir que la batería se descargue por debajo de su límite inferior, por lo cual el regulador hace que haya conducción de la batería ya sea de carga o descarga solo cuando la tensión este dentro de un cierto rango; el

regulador serie se utiliza generalmente en aplicaciones de corrientes mayores a 20 amperios.

Figura 8. Regulador serie.

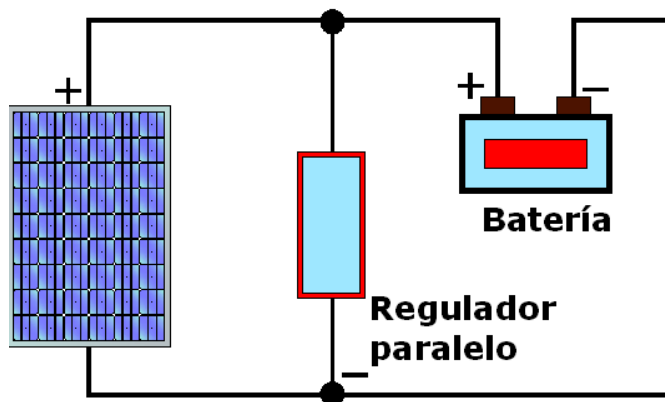


Fuente: [Autores]

2.3.2 Regulador Paralelo

Estos reguladores generalmente se utilizan en aplicaciones menores de 20 amperios, cuando la batería se carga completamente el regulador interrumpe la corriente de los paneles solares hacia las baterías, esta energía es disipada por el mismo regulador o por resistencias externas ya que el regulador queda conectado en paralelo con los paneles solares; al igual que los reguladores en serie el regulador paralelo o shunt también puede proteger a la batería contra descargas excesivas.

Figura 9. Regulador paralelo.



Fuente: [Autores]

2.3.3 Datos Específicos de un Regulador

Cuando se adquiere un regulador para un sistema fotovoltaico se especifica su tensión nominal, la tensión superior e inferior de corte y la capacidad de corriente.

a) Tensión Nominal: Es la misma tensión del sistema fotovoltaico que por lo general es de 12 o 24 voltios.

b) Tensión de Corte: Es la tensión a la cual el regulador va a operar una vez la batería se haya cargado completamente para evitar una sobrecarga llamada tensión superior de corte que puede variar de 14 a 15 voltios para sistemas de 12 voltios, cuando la tensión de la batería baje alrededor de 13,5 voltios se presenta la tensión de reconexión de recarga y se presenta corriente eléctrica entre los módulos y las baterías.

También se especifica la tensión inferior de corte que es la tensión a la cual el regulador corta la corriente de la batería al sitio de consumo para evitar una descarga excesiva, esta tensión inferior de corte generalmente es de 11,8 a 12,2 voltios en sistemas fotovoltaicos de 12 voltios, cuando la batería presenta alrededor de 13 voltios se presenta la tensión de reconexión de carga y se reanuda la corriente eléctrica entre la batería y la carga. Estas tensiones superior e inferior de corte dependen de la clase de batería utilizada en el sistema fotovoltaico.

- c) Capacidad de Corriente del regulador:** El regulador se dimensiona calculando la corriente a máxima potencia producida por los paneles solares en paralelo y multiplicándola por un factor de seguridad de 1,25 para manejar la corriente excesiva ocasional.

2.4 BATERÍAS O ACUMULADORES

Una batería es un dispositivo que almacena energía química, esta energía se transforma en energía eléctrica cuando la batería se conecta a un circuito eléctrico externo. Al igual que los paneles solares o módulos fotovoltaicos las baterías también están compuestas por unas celdas electroquímicas conectadas en serie; cada celda tiene electrodos positivos (terminales anódicos) y electrodos negativos (terminales catódicos) conectados en paralelo y sumergidos en líquido o gel que sirve de electrolito o medio conductor iónico, a medida que la batería se descarga el electrodo negativo se oxida y libera electrones que llegan al electrodo positivo por medio del circuito externo.

La función de una batería en un sistema fotovoltaico es almacenar la energía eléctrica generada por los paneles solares o módulos fotovoltaicos durante los periodos de radiación solar para su posterior uso en horas nocturnas o periodos de tiempo nublados. Con la ayuda de un regulador de carga se puede evitar una sobrecarga o una descarga excesiva las cuales son perjudiciales en la vida útil de la batería (González, 2009).

2.4.1 Parámetros Específicos de una Batería

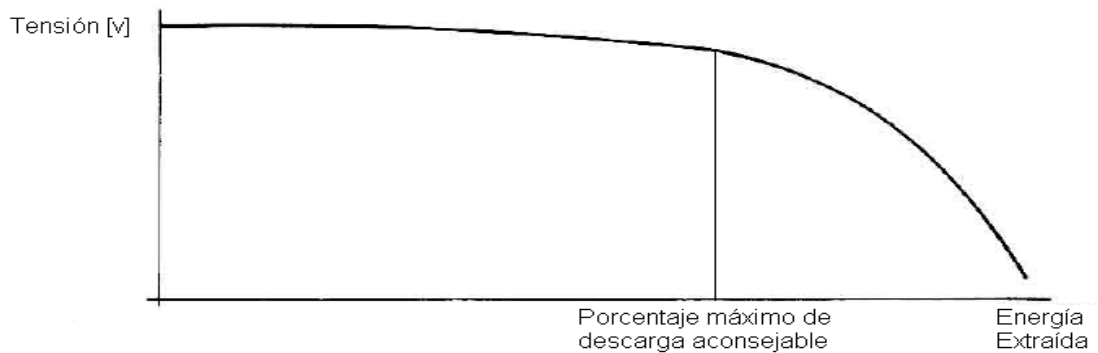
- a) Tensión Nominal:** Cada batería tiene una tensión nominal de operación, las baterías se pueden conectar en serie, por ejemplo en un sistema fotovoltaico de 24 voltios se pueden colocar dos baterías en serie de 12 voltios.

b) Capacidad de Almacenamiento: Es el producto de la intensidad de corriente a tensión constante y el tiempo en horas en que se puede entregar esta corriente, la capacidad de almacenamiento se da en $A \cdot h$ durante un tiempo régimen especificado; por ejemplo si se tiene una batería con una capacidad de almacenamiento de $100 A \cdot h$ con un régimen de 10 horas quiere decir que la batería puede entregar 10 A durante 10 horas, si esta misma batería se descarga con una intensidad de 1 A duraría más de 100 horas y si se descarga a una intensidad de 100 A no alcanzaría a durar una hora ya que la capacidad de la batería varía dependiendo del régimen de la descarga, es decir cuando el régimen de descarga es leve la capacidad de almacenamiento aumenta y si es fuerte la capacidad de la batería disminuye, no es aconsejable someter las baterías utilizadas en sistemas fotovoltaicos a descargas fuertes.

La capacidad de almacenamiento también depende de la temperatura, si se incrementa hay un aumento en la actividad de los procesos químicos y por lo tanto aumenta la capacidad de la batería, pero la vida útil de ésta se acorta; por el contrario a bajas temperaturas la actividad química es baja y la capacidad de la batería disminuye pero la vida útil se prolonga, por lo que existe un rango óptimo de temperatura para la capacidad de la batería.

c) Profundidad de Descarga: Indica el porcentaje máximo al cual se puede descargar la batería sin que afecte su vida útil; si la profundidad de descarga de una batería de $100 A \cdot h$ es del 70% esto quiere decir que solo es recomendable utilizar $70 A \cdot h$. Con un regulador de carga se puede lograr que en la batería no se disponga de los $30 A \cdot h$ restantes, en realidad lo que el regulador censa es la tensión de la batería ya que esta es casi constante hasta cierto punto, de aquí en adelante se presenta una curva donde la tensión decrece rápidamente:

Figura 10. Profundidad de descarga.



Fuente: [RIBOT, 1995]

La energía extraída para una batería de 12 voltios, 100 A * h y profundidad de descarga de 70% es:

$$E_{extraida} = (70 A * h) * (12 V) = 840 W * h = 0,84 kWh \quad (2.2)$$

d) Auto descarga: Es un porcentaje de la energía de la batería que se pierde por si sola por efecto de una reacción entre los materiales que forman la batería en condiciones de circuito abierto, por ejemplo si se tiene una batería de 12 voltios y 100 A * h con un 10% de autodescarga al mes, la pérdida de energía por autodescarga es:

$$E = (100 A * h/mes) * (12 V) * (10/100) = 120 W * \frac{h}{mes} \quad (2.3)$$

e) Ciclos de Vida: Un ciclo de vida comprende un período de carga y otro de descarga. Una batería posee varios ciclos de vida y se denominan vida útil de la batería.

f) Rendimiento: Las baterías presentan pérdidas por producción de energía calorífica durante la carga y descarga, el rendimiento es la relación entre la energía que se suministra durante la descarga y la que se necesita para cargar la batería plenamente.

2.4.2 Tipos de Baterías

En sistemas fotovoltaicos los tipos de baterías más comunes son las de plomo-ácido y las de Níquel-Cadmio.

- a) **Plomo-ácido:** Son más económicas que las de Níquel-Cadmio, las placas o electrodos son de una aleación de plomo con otro material en pequeñas proporciones como antimonio, calcio o selenio en una solución de ácido sulfúrico (H_2SO_4) cuya función es la de servir de electrolito. Las aleaciones de plomo-antimonio presentan una alta profundidad de descarga, mientras que las aleaciones plomo-calcio presentan muy baja autodescarga pero también baja profundidad de descarga. Existe otro tipo de batería plomo-ácido donde el electrolito viene en forma de gel, pueden operar en cualquier posición pero no soportan corrientes fuertes de descarga ni descargas profundas.

A bajas temperaturas cuando las baterías plomo-ácido se descargan la densidad del electrolito en el ácido sulfúrico es baja y esto puede hacer que la batería se congele, cuando esto sucede la batería sufre daño permanente y no puede volver a ser utilizada, con lo que si se tiene una batería operando en climas fríos se deben tomar las debidas precauciones ya que la temperatura de congelamiento varía entre -5 y -10 grados Celsius, aquí lo que se puede hacer es desconectar la batería por medio del regulador, evitar que se descargue y de este modo no se presente congelamiento. Como la temperatura de referencia en las baterías es de 20 grados Celsius, temperaturas por encima tienden a acortar su vida útil, mientras que temperaturas por debajo tienden a alargar la vida útil de la batería.

Las baterías más utilizadas en sistemas fotovoltaicos son las de plomo-antimonio-ácido ya que poseen varios ciclos de vida, buen porcentaje de profundidad de descarga, baja autodescarga y son mucho más económicas que las de Níquel-Cadmio.

b) Níquel-Cadmio: Utiliza en las placas el polo positivo compuesto en Níquel y el negativo en Cadmio, usan hidróxido de potasio como electrolito que sirve de medio de transferencia para los electrones; pueden soportar fuertes corrientes de descarga, pueden ser descargadas en un 100% sin que esto afecte su vida útil y no sufren daños ante congelamientos y descongelamientos, el único inconveniente en esta clase de baterías es que son extremadamente costosas.

Tabla 3. Características de diferentes baterías.

| Tipo Batería | Costo Aproximado (US\$/kWh) | Ciclos de Vida | Profundidad de Descarga % | Auto descarga % / mes |
|-----------------------------|-----------------------------|----------------|---------------------------|-----------------------|
| Plomo-antimonio (automóvil) | 70 | 150-250 | 10 | 7-50 |
| Plomo-ácido (fotovoltaica) | 80 | 1000-2000 | 10-30 | 3-4 |
| Plomo puro (fotovoltaica) | 140 | 1000-3000 | 30-50 | 2 |
| Plomo-calcio (fotovoltaica) | 200 | 2000-6000 | 20-70 | 1 |
| Níquel-cadmio | 300-1000 | 3000-10000 | 100 | 5 |

Fuente: [GEA, 2009]

2.5 EL INVERSOR

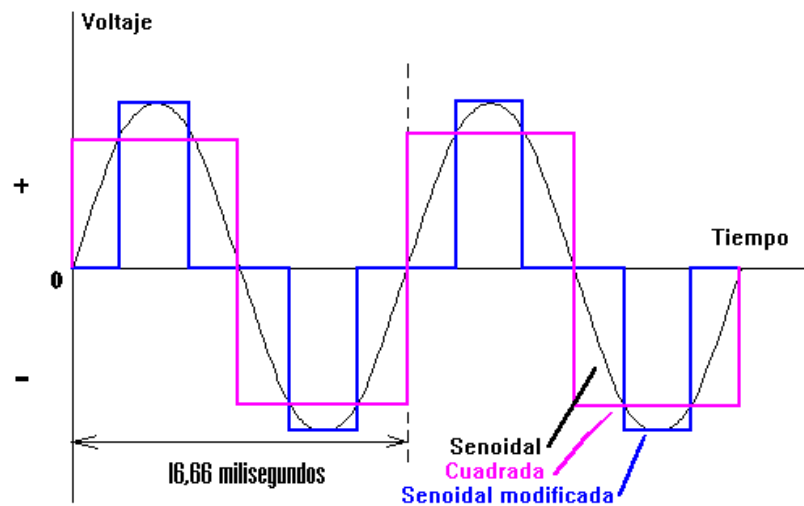
Un inversor es un dispositivo electrónico utilizado para convertir corriente continua (DC) en corriente alterna (CA) a una determinada frecuencia (60 Hz en Colombia) y tensión de salida requerida. La función del inversor en el sistema fotovoltaico es convertir la corriente continua generada por los paneles solares o acumulada en las baterías a corriente alterna para que pueda ser utilizada en iluminación, electrodomésticos y motores que funcionen con esta clase de corriente. Un inversor en un sistema fotovoltaico debe presentar pocas pérdidas para aprovechar al máximo la energía generada por los paneles solares, ser confiable y resistir cambios bruscos de carga.

2.5.1 Clases de Inversores

Dependiendo del uso final que se le va a dar a la instalación fotovoltaica, es decir la clase de carga en corriente alterna que se va a alimentar se puede utilizar un inversor que entregue una determinada forma de onda, ya sea cuadrada, senoidal modificada o senoidal pura; además los inversores pueden ser trifásicos o monofásicos.

Los inversores más comunes son los de modulación de ancho de pulso PWM los cuales mejoran la distorsión armónica de salida, están constituidos por transistores de potencia como MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) o IGBT'S (Insulated Gate Bipolar Transistor) los cuales tienen bajas pérdidas por conmutación, estos se alternan adecuadamente de manera que interrumpen y conectan la corriente continua en un circuito interno a una determinada frecuencia para así producir pulsos de duración modulada que posteriormente se pueden filtrar mediante elementos inductivos y capacitivos para obtener una onda senoidal y de esta manera eliminar armónicas que afectan la calidad de la energía eléctrica.

Figura 11. Diferentes formas de onda en C.A. (60 Hz).



Fuente: [SAECSA, 2009]

a) Inversores de Onda Cuadrada: Son los más económicos, generalmente son los menos eficientes y presentan una alta distorsión armónica (un gran número

de armónicos); son utilizados para alimentar electrodomésticos que no requieran una onda senoidal de gran calidad para su funcionamiento como hornos eléctricos y calentadores con resistencia interna. Estos inversores funcionan a partir de un dispositivo de conmutación que hace que la corriente continua en el primario de un transformador cambie constantemente de dirección obteniéndose en el secundario del transformador una onda cuadrada.

b) Inversores de Onda Senoidal Modificada: Son más costosos que los de onda cuadrada, utilizan modulación de ancho de pulsos; la forma de onda todavía no es una senoidal pura pero presenta menos armónicos que la onda cuadrada, estos inversores son los más usados en las instalaciones fotovoltaicas, se pueden utilizar en iluminación y en electrodomésticos como televisores, equipos de sonido y computadores. La onda senoidal modificada es producida por la conmutación a partir de tres puntos, uno positivo, uno negativo y uno de tierra (Inversor, 2009) para que se parezca lo más posible a una onda senoidal.

c) Inversores de Onda Senoidal pura: Son los más avanzados que existen, así mismo son los más costosos, presentan la menor distorsión armónica de todos los inversores; se usan cuando existen en la instalación motores de inducción, lavadoras o equipos electrónicos avanzados. También utilizan la modulación de ancho de pulsos en conjunto con elementos electrónicos como capacitores e inductores que filtran la onda adecuadamente haciendo que esta sea una senoidal pura.

2.5.2 Parámetros Específicos y Características de los Inversores

(CONALUE, 2009).

a) Potencia de Régimen: Es la potencia activa que el inversor puede suministrar durante su funcionamiento normal y es la suma de las potencias nominales de todas las cargas que pueden funcionar al mismo tiempo. Por seguridad y

confiabilidad se debe sobredimensionar el inversor con un 25% para situaciones no previstas como aumento de la demanda; sobredimensionarlo con un porcentaje mayor hace que este sea menos eficiente.

- b) Régimen de Funcionamiento:** Tiempo máximo en el cual el inversor puede funcionar a capacidad máxima. Exceder este tiempo puede hacer que el inversor falle.
- c) Capacidad de Sobre Potencia Transitoria:** Algunos motores que no poseen arrancadores o variadores de velocidad requieren de corrientes de arranque de hasta 8 veces su corriente nominal, por lo que se debe escoger el inversor con una capacidad de potencia pico capaz de suministrar durante cortos periodos de tiempo picos de sobre potencia transitoria de motores en arranque.
- d) Tensión de Entrada:** Es el valor de tensión de entrada en corriente continua en el inversor, es decir la tensión nominal de salida de la batería y del panel solar. Se deben colocar protecciones a los inversores para desconectarlos cuando se presentan rangos de tensión de entrada que puedan dañar el inversor ya sean tensiones muy altas o muy bajas.
- e) Regulación de Tensión:** Es la variación de tensión que puede tener el inversor en su tensión nominal de salida, se procura que un buen inversor tenga valores de tensión casi fijos.
- f) Frecuencia:** Es la frecuencia de la onda de salida que va a tener el inversor, en Colombia la frecuencia es de 60 HZ pero existen países en los cuales la frecuencia de la red es de 50 Hz, por lo cual se debe colocar especial atención a la frecuencia de salida ya que algunos equipos electrónicos requieren frecuencias específicas para su adecuado funcionamiento.

g) Modularidad: Es el uso de inversores múltiples en sistemas fotovoltaicos, los inversores se pueden interconectar en paralelo para abastecer la demanda total o colocar inversores que alimenten cargas específicas. Hoy en día también es común destinar un inversor para un cierto número de paneles y hasta instalar un inversor por cada panel solar. La modularidad se utiliza para aumentar la confiabilidad del sistema.

h) Factor de Potencia (FP): En un circuito que trabaja con corriente alterna (CA) el factor de potencia es la relación existente entre la potencia activa (P) y la potencia aparente (S):

$$FP = \cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (2.4)$$

Cuando la forma de onda del voltaje y la corriente es senoidal pura la relación entre la potencia activa (P) y la potencia aparente (S) es coincidente con el coseno del ángulo entre la tensión y la corriente producidas por el inversor, esto es:

$$FP = \cos \varphi = \frac{P}{S} = \cos (\theta_v - \theta_i) \quad (2.5)$$

Donde:

θ_v = ángulo de la tensión

θ_i = ángulo de la corriente

Un inversor que alimenta una carga inductiva ($FP < 1$) a una potencia determinada P suministra una corriente I mayor que si alimentara una carga resistiva ($FP = 1$) de la misma potencia P, esto se puede ver en la siguiente ecuación:

$$I = \frac{P}{V * FP} \quad (2.6)$$

i) **Rendimiento de la Conversión de Potencia:** En un inversor es la relación entre la potencia de salida y la potencia de entrada:

$$\eta = \frac{V_{AC} * I_{AC}}{V_{DC} * I_{DC}} \quad (2.7)$$

En donde:

η = Rendimiento del Inversor

V_{AC} = Tensión de Corriente Alterna

I_{AC} = Intensidad de Corriente Alterna

V_{DC} = Tensión de Corriente Continua

I_{DC} = Intensidad de Corriente Continua

Entre más alto sea el rendimiento del inversor y más baja sea la intensidad de corriente alterna (CA) que la carga toma del inversor más baja es la intensidad de corriente continua (DC) que la carga toma de la batería, de aquí la ventaja de mejorar el factor de potencia en la carga, esto es:

$$I_{DC} = \frac{V_{AC} * I_{AC}}{V_{DC} * \eta} \quad (2.8)$$

El rendimiento específico de un inversor es afectado por el tipo de carga que se conecte a éste, por lo que el rendimiento especificado en la hoja de datos es el máximo que el inversor puede suministrar.

3 MATEMÁTICAS FINANCIERAS

Es el conjunto de herramientas matemáticas con las cuales se puede analizar cuantitativamente la viabilidad o factibilidad económica y financiera de los proyectos de inversión.

3.1 EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE INVERSIÓN

Es un proceso mediante el cual se elabora un análisis para buscar las ventajas y desventajas de asignar recursos a una iniciativa (proyecto) que surge como una solución a una necesidad o problema. A partir de los resultados se decide sobre la ejecución y operación del proyecto, ya que con un análisis que se anticipe al futuro se pueden evitar posibles problemas a largo plazo; es decir, la evaluación del proyecto determina si la utilización de los recursos se hace en forma eficiente.

3.2 FACTIBILIDAD FINANCIERA

En la factibilidad financiera de un proyecto de inversión se evalúa el retorno del dinero, aquí lo que interesa es determinar si la inversión efectuada obtiene la rentabilidad esperada.

3.3 RENTABILIDAD

La rentabilidad es el rendimiento o beneficio obtenido, que en un período de tiempo produce el capital invertido.

3.4 CRITERIOS EN LA EVALUACIÓN DE PROYECTOS

Ahora se hará mención de los principales criterios que se tienen en cuenta a la hora de evaluar un proyecto.

3.4.1 Ingresos de los proyectos

Es el ahorro en dinero o el capital que se recibe en el futuro una vez culminado el proyecto.

3.4.2 Inversión en el proyecto

Son los recursos que se invirtieron desde un principio para la elaboración del proyecto, se generan ingresos cuando se recupera esta inversión más los gastos de operación.

3.4.3 Gastos de operación del proyecto

Son los desembolsos que se deben realizar para que la inversión del proyecto se convierta en los ingresos del proyecto.

3.5 EL VALOR DEL DINERO A TRAVÉS DEL TIEMPO

Un proyecto se encuentra en equilibrio cuando los ingresos igualan a los egresos, pero lo que se busca en un proyecto es recuperar los gastos operacionales, recuperar la inversión y además obtener una buena rentabilidad. Para eso existen herramientas de gran utilidad como es el Valor Presente Neto (VPN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR).

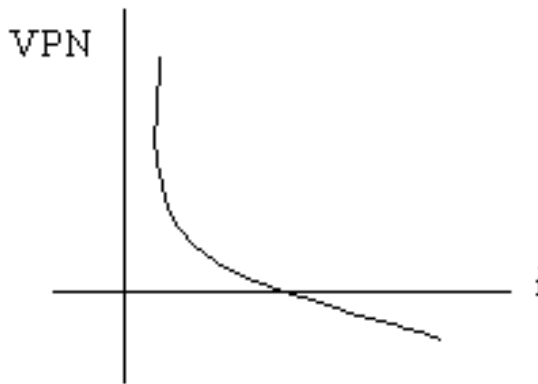
3.5.1 Valor presente neto (VPN)

Todos los ingresos y egresos futuros se deben transformar a pesos de hoy, para saber si los ingresos que deja el proyecto son mayores que los egresos. Si el VPN es mayor que cero se obtiene una ganancia y se puede aceptar el proyecto. Por el contrario, si el VPN es menor que cero existe una pérdida a cierta tasa de interés y por lo tanto se debe rechazar el proyecto. Si el VPN es igual a cero se dice que el proyecto es indiferente y no presenta ganancia ni pérdida.

Para comparar alternativas siempre se debe tener igual número de años, si el tiempo en cada alternativa es diferente se toma como base el mínimo común múltiplo de los años de cada alternativa.

El VPN disminuye a medida que se eleva la tasa de interés:

Figura 12. Gráfica VPN Vs i.



Fuente: [Escalona, 2009]

3.5.2 Tasa Interna de Retorno (TIR)

La tasa interna de retorno es la tasa que está ganando un interés sobre el saldo no recuperado de la inversión en cualquier momento de la duración del proyecto, es la tasa de interés para la cual el valor presente neto (VPN) es igual a cero.

3.5.3 Ecuaciones utilizadas para hallar el VPN y el TIR

- Valor Presente Neto (VPN):

$$VPN = -P + \sum_1^N \frac{FNE}{(1 + TMAR)^n} + \frac{VS}{(1 + TMAR)^n} \quad (3.1)$$

- Tasa Interna de Retorno (TIR):

$$TIR = \sum_1^N \frac{FNE}{(1+i)^n} + \frac{VS}{(1+i)^n} \quad (3.2)$$

Donde:

- P = inversión inicial.
- FNE = Flujo neto de efectivo del periodo n, o beneficio neto después de impuesto más depreciación.
- VS = Valor de salvamento al final de período n.

- TMAR = Tasa mínima aceptable de rendimiento o tasa de descuento que se aplica para llevar a valor presente. los FNE y el VS.

i = Cuando se calcula la TIR, el VPN se hace cero y se desconoce la tasa de descuento que es el parámetro que se debe calcular. Por eso la TMAR ya no se utiliza en el cálculo de la TIR. Así la (i) en la segunda ecuación viene a ser la TIR.

(Escalona, 2009).

4 NORMATIVIDAD

Todo sistema fotovoltaico que funcione en Colombia debe cumplir con las características técnicas exigidas en el Código Eléctrico Colombiano NTC 2050 y con los requerimientos de seguridad del Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE. Adicionalmente existe una Norma Técnica Universal para Sistemas Fotovoltaicos Domésticos que es una recopilación de normas de diferentes países entre los cuales se encuentran Francia, Alemania, España, India, USA, Brasil y México entre otros.

4.1 CÓDIGO ELÉCTRICO COLOMBIANO NTC 2050

Las disposiciones de la Sección 690 de la NTC 2050 Sección 690. SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS se aplican a los sistemas fotovoltaicos de generación de energía eléctrica, incluidos los circuitos eléctricos, unidad o unidades de regulación y controladores de dichos sistemas. Los sistemas solares fotovoltaicos a los que se refiere esta Sección pueden estar interconectados con otras fuentes de generación de energía eléctrica o ser autónomos y tener o no acumuladores. La salida de estos sistemas puede ser de corriente continua o de corriente alterna (ICONTEC NTC 2050).

Los literales que se tratan en esta sección son los siguientes:

- A. Generalidades: Artículos 690-1 a 690-5
- B. Requisitos de los Circuitos: Artículos 690-7 a 690-9
- C. Medios de Desconexión: Art. 690-13 a 690-18
- D. Métodos de Alambrado: Art. 690-31 a 690-34
- E. Puesta a Tierra: Art. 690-41 a 690-47
- F. Rotulado: Art. 690-51 a 690-52
- G. Conexión a Otras Fuentes de Energía: Art. 690-61 a 690-64
- H. Baterías de Acumuladores: Art. 690-71 a 690-74

Los sistemas solares fotovoltaicos que funcionen interconectados a otras fuentes de generación de energía eléctrica se deben instalar de acuerdo con lo establecido en la Sección 705. Fuentes de Generación de Energía Eléctrica Interconectadas.

4.2 REQUISITOS DE LA INSTALACIÓN SEGÚN NORMA TÉCNICA UNIVERSAL PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DOMÉSTICOS

Dado que la mayoría de los sistemas fotovoltaicos de hoy en día se hacen para aplicaciones domesticas se hace necesario dar una mirada a esta normatividad para tener una idea de los lineamientos a seguir a la hora de una implementación en un centro comercial. A continuación se darán los requerimientos que exige la norma técnica universal para sistemas fotovoltaicos domésticos.

4.2.1 Requisitos del Sistema

- Tanto la batería como el regulador de carga deben estar protegidos contra sobrecorrientes y corrientes de cortocircuito por medio de fusibles, diodos, etc. Las protecciones deben afectar tanto a la línea del generador fotovoltaico como a la línea de las cargas.
- los módulos fotovoltaicos, baterías y reguladores de carga deberán estar debidamente etiquetados.

4.2.2 Requisitos de los Módulos Fotovoltaicos

- Los módulos fotovoltaicos deben cumplir con las pruebas standard de ciclaje térmico, humedad, carga de viento y aislamiento eléctrico entre otras, especificadas en la norma internacional IEC 61215.

4.2.3 Requisitos de la Estructura de Soporte

- las estructuras de soporte deben ser capaces de resistir, como mínimo, 10 años de exposición a la intemperie sin corrosión o fatiga apreciables.

- En el caso de módulos fotovoltaicos con marco, su fijación a los soportes solo puede realizarse mediante elementos (tornillos, tuercas, arandelas, etc.) de acero inoxidable.

4.2.4 Requisitos de la Batería

- Las baterías deben cumplir con la norma IEC 896-2, al momento de su instalación deben estar libres de daños físicos y sus terminales no deben presentar deformaciones ni desajustes.
- La capacidad nominal de la batería expresada en Ah no debe exceder en 40 veces la corriente de cortocircuito del generador fotovoltaico (medida en las denominadas condiciones estándar: irradiancia igual a 1000 W/m² y temperatura de celda igual a 25° C)
- Deben hacerse las provisiones necesarias para asegurar que la capacidad inicial de las baterías puestas en operación no difiere en más del 95 % del valor nominal.
- *La autodescarga de las baterías a 25°C, no debe exceder el 6% de su capacidad nominal por mes.*

4.2.5 Requisitos del Regulador de Carga

- Debe haber protección contra descargas profundas.
- *Los voltajes de desconexión, reconexión y alarma deben tener una precisión de ±1% (±120 mV/batería de 12 V) y permanecer constantes en todo el rango de posible variación de la temperatura ambiente.*
- La “tensión de corte superior” y la “tensión de reconexión de recarga” deben tener una precisión del 1% (±120 mV para 12 V batería).
- Si se utilizan relés electromecánicos, la tensión de reconexión de recarga debe retardarse entre 1 y 5 minutos.
- Todos los terminales del regulador deben poder acomodar fácilmente cables de, al menos, 4 mm² de sección.

- Las caídas internas de tensión del regulador, entre los terminales de la batería y los del generador, deben ser inferiores al 4 % de la tensión nominal ($\cong 0,5$ V para 12 V), en las peores condiciones de operación, es decir, con todas las cargas apagadas y con la máxima corriente procedente del generador fotovoltaico.
- Las caídas internas de tensión del regulador, entre los terminales de la batería y los del consumo, deben ser inferiores al 4 % del voltaje nominal. ($\cong 0,5$ V para 12 V) en las peores condiciones de operación, es decir, con todas las cargas encendidas y sin corriente alguna procedente del generador fotovoltaico.
- Deben proveerse protecciones contra corrientes inversas (diodos de bloqueo).
- El regulador de carga debe ser capaz de resistir cualquier situación posible de operación “sin batería”, cuando el generador fotovoltaico opera en condiciones estándar de medida, y con cualquier condición de carga permitida.
- El regulador de carga debe también proteger a las cargas en cualquier situación posible de operación “sin batería”, como fue definida anteriormente, limitando el voltaje de salida a un máximo de 1,3 veces el valor nominal. (También se permite la total interrupción de la alimentación a las cargas).
- El regulador de carga debe resistir sin daño la siguiente condición de operación: temperatura ambiente 45°C, corriente de carga 25% superior a la corriente de cortocircuito del generador fotovoltaico en las condiciones estándar de medida, y corriente de descarga 25% superior a la correspondiente a todas las cargas encendidas y al voltaje nominal de operación.
- El regulador de carga no debe producir interferencias en las radiofrecuencias en ninguna condición de operación.

- Cuando las cargas puedan ser utilizadas sin restricciones, porque el estado de carga de la batería es suficientemente elevado, se indicara con una señal de color verde.
- Cuando las cargas hayan sido desconectadas de la batería, porque el estado de carga es excesivamente bajo, se indicara con una señal de color rojo.

4.2.6 Requisitos del Cableado

- Las secciones de los conductores deben ser tales que las caídas de tensión en ellos sean inferiores al 3% entre el generador fotovoltaico y el regulador de carga, inferiores al 1% entre la batería y el regulador de carga, e inferiores al 5% entre el regulador de carga y las cargas. Todos estos valores corresponden a la condición de máxima corriente.
- Sin perjuicio de la especificación anterior, las mínimas secciones de los cables en cada una de las líneas serán las siguientes: 2,5 mm² del generador fotovoltaico al regulador de carga y 4 mm² del regulador de carga a las baterías.
- Los cables externos deberán ser aptos para operar a la intemperie según la norma internacional IEC 60811 o la norma nacional para cables relevante en cada país.
- Todos los terminales de los cables deben permitir una conexión segura y mecánicamente fuerte. Deben tener una resistencia interna pequeña, que no permita caídas de tensión superiores al 0,5 % del voltaje nominal. Esta condición es aplicable a cada terminal en las condiciones de máxima corriente.
- Los terminales de los cables no deben favorecer la corrosión que se produce cuando hay contacto entre dos metales distintos.
- Los extremos de los cables de sección ≥ 4 mm² deben estar dotados con terminales específicos y de cobre. Los extremos de los cables de sección

$\leq 2,5 \text{ mm}^2$ podrán retorcerse y estañarse para lograr una conexión adecuada.

- Los fusibles deben elegirse de modo tal que la máxima corriente de operación esté en el rango del 50 al 80% de la capacidad nominal del fusible.

4.2.7 Requisitos de la Instalación

- La batería debe estar ubicada en un espacio bien ventilado y con acceso restringido.
- Deben tomarse precauciones para evitar el cortocircuito accidental de los terminales de la batería.
- El generador fotovoltaico debe estar libre de sombras durante por lo menos 8 horas diarias, centradas al mediodía, y a lo largo de todo el año.
- El diseño de las estructuras de soporte debe facilitar la limpieza de los módulos fotovoltaicos y la inspección de las cajas de conexión.
- El montaje de las estructuras de soporte debe preservar su resistencia a la fatiga, corrosión y efectos del viento.
- Si se permite el montaje en los tejados, deberá haber una separación de, por lo menos, 5 cm entre los módulos y el tejado ó cubierta para permitir la circulación de aire.
- Si se permite el montaje en los tejados, las estructuras de soporte no deberán fijarse a las tejas o a las chapas, sino a las vigas del tejado u otro elemento de la estructura.
- El diseño de luminarias y reguladores de carga debe permitir el acceso con cierta facilidad a los fusibles y terminales de cables.
- No se permite conexión en paralelo de más de dos baterías.
- No se permite la conexión en paralelo de baterías diferentes.
- No se permite la conexión en paralelo de baterías nuevas y viejas.

(Thermie, 1998).

4.3 DISPOSICIONES DE LA CREG PARA AUTOGENERADORES

La Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) mediante la resolución número 084 del 15 de Octubre de 1996 reglamenta las actividades del autogenerador conectado al Sistema Interconectado Nacional (SIN) (CREG, 1996).

4.3.1 Autogenerador

Es aquella persona natural o jurídica que produce energía eléctrica exclusivamente para atender sus propias necesidades. Por lo tanto, no usa la red pública para fines distintos al de obtener respaldo del SIN, y puede o no, ser el propietario del sistema de generación.

4.3.2 Energía Suplementaria

Es la energía adicional (MWh) que puede requerir un Autogenerador conectado al SIN para cubrir el 100% de sus necesidades de energía.

4.3.3 Autogenerador Usuario Regulado

Un Autogenerador tiene esta categoría si su demanda máxima es igual o inferior al límite de potencia establecido por la CREG (2 MW en 1996, 1 MW en 1997, actualmente 0.5 MW en potencia y 270 MWh-mes en energía).

4.3.4 Autogenerador Usuario No Regulado

Un Autogenerador obtiene esta categoría si su demanda máxima es superior al límite establecido por la CREG, además se debe tener una demanda promedio mensual de potencia durante seis meses, mayor a 0.1 MW, o en energía de 55 MWh-mes en promedio durante los últimos 6 meses. Este usuario puede negociar libremente la tarifa de electricidad con el comercializador que desee, estas tarifas no están reguladas por la CREG sino que son acordadas por negociación entre el consumidor y el comercializador (ESSA, 2009).

4.3.5 Condiciones para el Acceso al Respaldo

El Autogenerador que tiene la categoría de Usuario Regulado, debe ser respaldado por el comercializador del mercado regulado donde se encuentre localizada la planta de generación del Autogenerador. El Autogenerador que tiene la categoría de Usuario No Regulado, debe contratar su respaldo con cualquier comercializador del mercado.

4.3.6 Uso del Respaldo

Para el caso del Autogenerador que suple parte de sus necesidades con compras a un comercializador, se entenderá que usa el servicio de respaldo cuando la potencia eléctrica promedio que toma de la red en cualquier hora particular, es mayor a la Demanda Suplementaria Contratada.

4.3.7 Tarifas para los Servicios de Respaldo

El comercializador aplicara tarifas reguladas (establecidas por la CREG) a los Usuarios Regulados. Para el Usuario No Regulado las tarifas se acuerdan libremente entre las partes.

4.3.8 Venta de Excedentes

El Autogenerador no puede vender energía a terceros si quiere mantener la categoría de Autogenerador. Solo podrá vender a la Bolsa en los términos comerciales que se definan en el respectivo estatuto en situaciones de racionamiento declarado de energía.

5 ESTUDIO TÉCNICO

En esta sección del documento se analizarán los aspectos técnicos y de diseño de instalaciones fotovoltaicas generales además de ver una metodología a seguir para el diseño y dimensionamiento de esta misma.

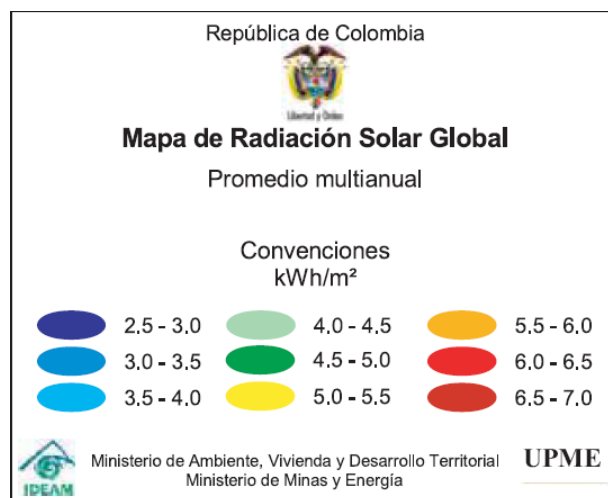
5.1 LUGAR O SITIO DE UBICACIÓN DEL ESTUDIO TÉCNICO Y FINANCIERO PARA EL DISEÑO PROTOTIPO

Bucaramanga es la capital del departamento de Santander con una superficie de 165 km², su población es de 508.102 habitantes, pero con los municipios metropolitanos asciende a 1.012.331 habitantes (Presidencia, 2009); está ubicado a 7 08' de Latitud Norte y 73 08' de Longitud al Oeste de Greenwich, su altura sobre el nivel del mar es de 959 m y la temperatura promedio diario es de 23° C.

5.1.1 Determinación de la Radiación Para la Ciudad de Bucaramanga

Para hallar el valor de radiación solar global promedio diario se debe observar en los mapas de “Radiación Solar de Colombia” las isólineas cercanas a la ciudad de Bucaramanga; el nivel de radiación solar está determinado por un color específico según la convención:

Figura 13. Convención de colores nivel de radiación solar.



Fuente [IDEAM – UPME, 2002]

Cada color está dividido por isólinas en cinco niveles que cambian a razón de 0,1 kWh/m² por isólinea.

a) Radiación Solar Global Promedio Diario Mensual del Mes de Enero: Para determinar la radiación solar global promedio diario del mes de enero, se ubica en el Atlas de “Radiación Solar de Colombia” en “Mapas de Radiación Solar Global sobre una Superficie Plana” el mapa correspondiente al mes de enero en la ciudad de Bucaramanga:

Figura 14. Isólinas nivel de radiación solar global promedio diario mes de enero.



Fuente [IDEAM – UPME, 2002]

Se puede observar que la ciudad de Bucaramanga está ubicada entre isólinas de color azul claro (3,5 a 4 kWh/m²) y verde claro (4 a 4,5 kWh/m²), por lo tanto se interpola entre los dos límites de la banda de valores y se encuentra para el mes de enero 4,1 kWh/m².

De la misma manera se analizan los mapas de radiación solar global de los demás meses del año y del promedio diario anual el cual se muestra a continuación:

b) Radiación Solar Global Promedio Diario Anual: En este mapa por interpolación de los límites de la banda de valores y de acuerdo a un promedio entre todos los meses del año se obtuvo como nivel de irradiación solar global 3,75 kWh/m².

Figura 15. Isolíneas nivel de radiación solar global promedio diario anual.



Fuente [IDEAM – UPME, 2002]

En la siguiente tabla se colocan los valores de irradiación solar global promedio diario de cada mes y promedio diario anual:

Tabla 4. Valores de irradiación solar global promedio de Bucaramanga.

| Período | Irradiación solar global promedio diario en kWh/m ² |
|------------|--|
| Enero | 4,1 |
| Febrero | 3,9 |
| Marzo | 3,7 |
| Abril | 3,8 |
| Mayo | 3,7 |
| Junio | 3,3 |
| Julio | 4 |
| Agosto | 3,8 |
| Septiembre | 3,7 |
| Octubre | 3,6 |
| Noviembre | 3,7 |
| Diciembre | 3,7 |
| Anual | 3,75 |

Fuente [Autores]

5.2 DIMENSIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

A continuación se darán los principales lineamientos para el dimensionamiento de los elementos que componen un sistema solar fotovoltaico.

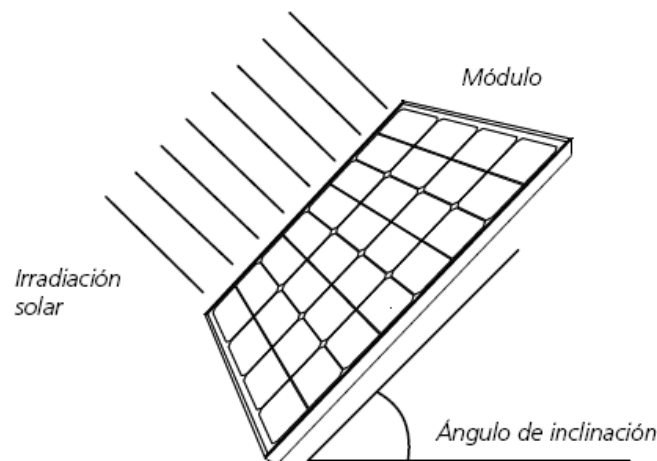
5.2.1 Dimensionamiento de los Paneles Solares

Ahora se verán las principales características a definir al momento de dimensionar e instalar los paneles solares.

5.2.1.1 *Inclinación de los Paneles Solares*

El valor de irradiación que incide sobre un módulo fotovoltaico depende de la inclinación que adopte el panel y por lo tanto del ángulo de incidencia θ entre la normal a la superficie del módulo y el haz de radiación solar.

Figura 16. Ángulo de inclinación módulo fotovoltaico.

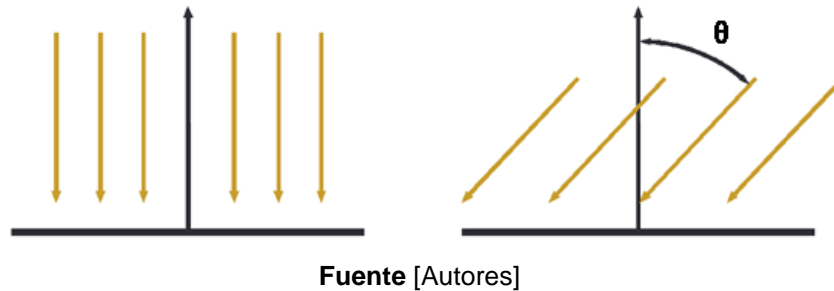


Fuente [Lorentz, 2009]

Si la radiación solar es perpendicular a la superficie del módulo fotovoltaico la captación de energía será máxima; para recolectar la mayor cantidad posible de energía se puede recurrir a sistemas de seguimiento del sol para hacer que la superficie de los paneles siempre esté perpendicular a la radiación solar, pero es un sistema costoso que requiere de mantenimiento continuo, en su lugar aunque no con la misma eficiencia se puede optar por sistemas estáticos, en los cuales se puede fijar la inclinación de los paneles solares para cada época del año o una

sola inclinación óptima para todo el año y de este modo la potencia media anual recibida sea la máxima posible.

Figura 17. Ángulo de incidencia de radiación solar sobre un panel.



En países tropicales se acostumbra a utilizar una inclinación fija para paneles solares durante todo el año igual a la latitud del lugar pero no menor a 10° , esto con el fin de que no se acumule polvo y agua sobre la superficie del panel. En Colombia donde la latitud varía entre $4^\circ 12' 19''$ Sur en Leticia y $12^\circ 26' 46''$ Norte en Punta Gallina en la península de la Guajira se inclinan los paneles entre 10 y 15° con respecto a la horizontal, con lo que se puede fijar una sola inclinación para todo el año ya que el sol no se aparta mucho del zenit en el medio día solar.

5.2.1.2 Orientación de los Paneles Solares

En países del hemisferio norte la orientación debe ser directamente hacia el sur, en los países del hemisferio sur la orientación debe ser directamente hacia el norte. Las desviaciones hacia el oriente o hacia el occidente (medidos a partir del sur o del norte dependiendo de la ubicación del lugar) en un ángulo no mayor a 30° hacen que el valor de irradiación diaria disminuya en un valor inferior al 5%; si la desviación es mayor a 30° las pérdidas de irradiación pueden ser considerables.

5.2.1.3 Aporte Diario de Paneles Solares

La intensidad de corriente de un panel solar varía con el nivel de radiación, y ya que la tensión es constante siempre y cuando incida radiación sobre el panel, es suficiente conocer este valor para obtener la potencia eléctrica que se

proporciona, pues la intensidad de corriente eléctrica es proporcional a la radiación que incide sobre el panel solar.

Los fabricantes de paneles solares en la hoja de características nominales suministran la intensidad de corriente que proporcionan sus paneles a una irradiancia de 1000 W/m^2 y $25 \text{ }^\circ\text{C}$ de temperatura en el panel y masa de aire de 1,5. Por ejemplo un panel solar de 15 V y 4 A (60 Wp) sometido a una irradiancia de 500 W/m^2 proporcionará una intensidad de corriente de 2 A, así para la ciudad de Bucaramanga donde la irradiación solar global promedio diario es de $3,75 \text{ kWh/m}^2$ el aporte de este panel en A * h diario será:

$$\frac{3,75 \text{ kWh/m}^2 \text{ diario} * 4 \text{ A}}{1 \text{ kW/m}^2} = 15 \text{ A} * h \text{ diario}$$

5.2.1.4 Número de Paneles Solares

El número de paneles solares necesarios para la instalación fotovoltaica se puede determinar conociendo el aporte individual de cada panel y el valor de la carga eléctrica en A * h diario que se necesita suplir, es decir el consumo medio diario del lugar en el cual se va a colocar el sistema fotovoltaico, para esto se consulta el consumo individual y el tiempo de funcionamiento de cada equipo, electrodoméstico y lámpara que se va a conectar a la instalación fotovoltaica; se debe tener en cuenta que este consumo en A * h es en corriente continua (CC), y en caso de tener cargas en corriente alterna (CA) acopladas mediante un inversor se debe hallar el equivalente en corriente continua mediante la fórmula:

$$I_{DC} = \frac{V_{AC} * I_{AC}}{V_{DC} * \eta} \quad (5.1)$$

Donde η es el rendimiento del inversor.

Ya teniendo la carga total diaria en A * h se halla el número de paneles necesario, como un factor de seguridad se agrega un 40%, para cubrir las pérdidas y garantizar la carga de las baterías después de un período de baja radiación.

$$Np = 1,4 * \frac{\text{Consumo medio diario en } A * h}{\text{Aporte de un panel en } A * h \text{ diario}} \quad (5.2)$$

O bien trabajando con potencias:

$$Np = 1,4 * \frac{\text{Consumo medio diario en } kWh \text{ día}}{\eta * \text{Aporte de un panel en } kWh \text{ día}} \quad (5.3)$$

Donde el consumo medio diario en kWh día es el consumo de la carga en AC.

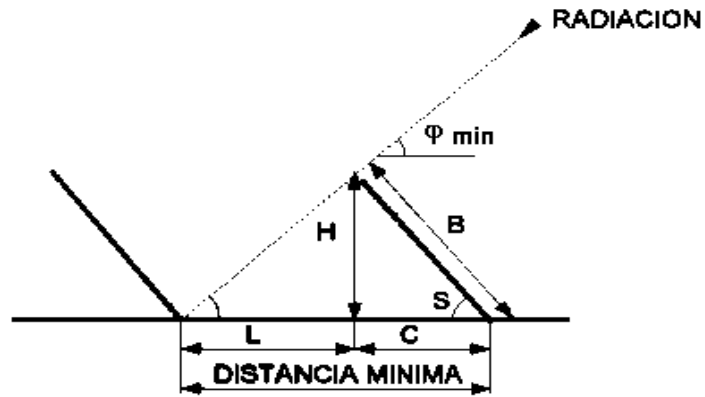
Luego para un consumo medio diario de 100 A * h y con 15 A * h de aporte diario de cada panel, el número de paneles necesario es de:

$$Np = 1,4 * \frac{100 \text{ A * h diario}}{15 \text{ A * h diario}} = 9,33 \quad \text{Paneles} \cong 10 \text{ paneles}$$

5.2.1.5 Distancia entre Paneles

Cuando se dispone de una gran cantidad de área para la instalación de los paneles solares se puede ubicar cada fila de paneles con una gran separación para evitar que durante el año la sombra de una fila se proyecte sobre otra; pero cuando el espacio para la ubicación de los paneles es reducido, entre filas de paneles solares debe haber una separación tal que al medio día solar en el día más desfavorable del año (solsticio de invierno el 21 de diciembre día en el que al medio día solar el sol se aleja más del zenit en los países del hemisferio norte) la sombra de la arista superior de una fila se proyecte como máximo sobre la cresta inferior de la siguiente:

Figura 18. Distancia mínima entre paneles.



Fuente [Componentes, 2009]

La distancia mínima se determina de la siguiente forma:

$$\tan \varphi_{min} = \frac{H}{L} = \frac{B * \sin S}{DISTANCIA MINIMA - B * \cos S} \quad (5.4)$$

$$DISTANCIA MINIMA = B * \cos S + \frac{B * \sin S}{\tan \varphi_{min}} \quad (5.5)$$

Donde:

S = inclinación del panel

B = longitud del panel

φ_{min} = ángulo mínimo de incidencia entre el haz de radiación y la horizontal

5.2.2 Estructura de Soporte y Anclaje

La función de la estructura de soporte es mantener los paneles solares fijos en la inclinación y orientación elegida. Es muy importante tener un buen sistema de sujeción de los paneles, pues al ser estos ligeros pueden ser arrastrados por la fuerza del viento, la estructura debe soportar vientos de 120 km/h, también facilitar una altura mínima del panel al suelo de 30 cm. Se debe tener el respectivo cuidado para no dañar la impermeabilización en terrazas al anclar la estructura de soporte, además debe dejarse el espacio suficiente para realizar las conexiones,

el mantenimiento y para que el aire circule fácilmente y de esta manera suministre ventilación a los módulos fotovoltaicos.

La estructura de soporte debe resistir como mínimo 10 años de exposición a la intemperie sin corrosión, debe estar conectada a una tierra común y debe ser preferiblemente de acero inoxidable, hierro galvanizado o aluminio anodizado y la tornillería de acero inoxidable pues estos materiales son apropiados para ambientes corrosivos y uso en la intemperie. Para los anclajes o empotramiento de la estructura se utiliza bloques de hormigón y tornillos roscados (Componentes, 2009).

5.2.3 Capacidad de la Batería

Dimensionar una batería para un sistema fotovoltaico requiere conocer factores como el consumo medio diario o la cantidad de carga que se requiere abastecer diariamente, además no olvidar que cada tipo de batería posee una profundidad de descarga y un porcentaje de auto descarga mensual y que se debe tener en cuenta los días de autonomía de la batería para los días nublados y de lluvia donde la captación de energía es baja. De este modo la capacidad de la batería se determina con la siguiente ecuación:

$$C = Csa + Ca \quad (5.6)$$

Donde Csa es la capacidad de la batería en A * h sin tener en cuenta la descarga y Ca es la auto descarga en A * h, las cuales se calculan con las siguientes ecuaciones:

$$Csa = \frac{(\text{Consumo medio diario en A * h}) * (\text{Número de días de autonomía})}{\text{Profundidad de descarga}} \quad (5.7)$$

La auto descarga en A * h se calcula de la siguiente forma:

$$Ca = \frac{(Csa) * (\text{Número de días de autonomía}) * (\text{Autodescarga mensual})}{30} \quad (5.8)$$

El número 30 de la anterior ecuación corresponde a los días del mes. Si C_a equivale a menos del 5% de C_{sa} , se puede despreciar.

Para hallar la capacidad de una batería de 12 V que presenta una profundidad de descarga del 70% y un porcentaje de auto descarga de 5% mensual, donde exista un consumo medio diario de $100 \text{ A} \cdot \text{h}$ y sea necesario una autonomía de 4 días, se procede de la siguiente manera:

$$C_{sa} = \frac{(100 \text{ A} \cdot \text{h}) \cdot (4)}{0,7} = 571,43 \text{ A} \cdot \text{h}$$

$$C_a = \frac{(571,43 \text{ A} \cdot \text{h}) \cdot (4) \cdot (0,05)}{30} = 3,81 \text{ A} \cdot \text{h}$$

$$C = C_{sa} + C_a = 571,43 \text{ A} \cdot \text{h} + 3,81 \text{ A} \cdot \text{h} = 575,24 \text{ A} \cdot \text{h}$$

Luego se puede escoger una batería o banco de baterías de 12 V y una capacidad de $575,24 \text{ A} \cdot \text{h}$ o el valor más cercano comercialmente como $600 \text{ A} \cdot \text{h}$ (RIBOT, 1995).

5.2.3.1 Diseño del Banco de Baterías

Al tener la capacidad nominal de la batería que se va a utilizar, así como su tensión nominal y el número de baterías necesarias se debe confrontar la tensión nominal de la batería con la tensión nominal del sistema en DC para determinar el número de baterías que van a ser conectadas en serie así como también la cantidad de grupos de baterías en serie que van a existir.

El cuarto donde va a estar este grupo de baterías debe permitir el acceso a todas y cada una de ellas respetando las distancias de trabajo establecidas por el RETIE, con su debida señalización y ventilación.

5.2.4 Regulador de Carga

Los principales factores para escoger un regulador de carga son la tensión nominal y la capacidad de corriente, si se tiene un sistema fotovoltaico de 12 V con 8 paneles en paralelo, cada uno con una corriente de cortocircuito de 4,7 A se

procede de la siguiente forma sin olvidar el factor de seguridad de 1,25 A para manejar la corriente excesiva ocasional:

$$I_{regulador} = 1,25 * I_{CC} * NPR \quad (5.9)$$

Donde:

NPR = número de paneles conectados al regulador.

$$I_{regulador} = 1,25 * 8 * 4,7 = 47 A$$

Por lo que se puede escoger un regulador de carga de 47 A o el siguiente en capacidad que exista en el mercado a una tensión nominal de 12 V. Si se requiere aumentar la confiabilidad del sistema se puede optar por 2 reguladores de 24 A en paralelo a 12 voltios, cada uno actuando sobre 4 paneles o de 4 reguladores en paralelo de 12 A, cada uno actuando sobre 2 paneles.

Se debe tener en cuenta también las tensiones de corte superior e inferior para impedir las sobrecargas y las descargas excesivas en la batería.

5.2.5 Inversor

Para el dimensionamiento del inversor se deben sumar todas las potencias nominales de las cargas que puedan funcionar al mismo tiempo y después multiplicar esa potencia por un factor de seguridad de 1,25 para situaciones no previstas como aumento de la demanda; se debe tener en cuenta que un inversor sobredimensionado presenta un bajo rendimiento en la conversión de potencia.

Si se tiene una potencia máxima instantánea de 1,2 kW la potencia de régimen del inversor se puede calcular como:

$$P_{régimen} = 1,25 * Carga_{pico} \quad (5.10)$$

$$P_{régimen} = 1,25 * 1,2 kW = 1,5 kW$$

Es importante saber el tipo de carga que se tiene en la instalación para seleccionar un inversor con una forma de onda senoidal modificada o senoidal pura ya que este último tiene un precio elevado. Además tener en cuenta el tiempo en el que el inversor puede funcionar a estos 1,5 kW de capacidad máxima, la tensión de entrada y de salida, frecuencia y rendimiento, así como la capacidad de sobre potencia transitoria por ejemplo que este mismo inversor pueda soportar una potencia de 1,8 kW durante 2 minutos o 2,8 kW durante 50 segundos.

5.2.6 Sistemas de Protección

Se debe instalar interruptores aisladores de circuitos (circuit breakers) y fusibles apropiados, estos pueden o no estar incluidos dentro de la caja del regulador.

Los conjuntos fotovoltaicos instalados en el tejado deben tener protección contra fallas a tierra para reducir el riesgo de incendio. El circuito de protección contra fallas a tierra debe ser capaz de detectar una falla a tierra, abrir el circuito y desactivar el conjunto (Art. 690-5 Norma NTC 2050).

Los fusibles e interruptores o interruptores automáticos deben cumplir con los Artículos 690-16 y 690-17 de la Norma NTC 2050 respectivamente.

Los medios de desconexión de los conductores no puestos a tierra deben consistir en uno o varios interruptores o interruptores automáticos accionables manualmente y:

- a) Ubicarse donde sean fácilmente accesibles,
- b) Ser accionables desde el exterior sin que el operador se exponga al contacto con partes energizadas,
- c) Estar claramente rotulados para indicar cuando están en posición de abierto o cerrado y,
- d) Tener una corriente nominal de interrupción suficiente para la tensión nominal del circuito y para la corriente disponible en los terminales de línea de los equipos.

5.2.7 Sistema de Puesta a Tierra

Según el Artículo 690-41 de la Norma NTC 2050 en todas las fuentes de energía fotovoltaica debe haber un conductor de un sistema bifilar de más de 50 V nominales y el conductor del neutro de un sistema trifilar que estén sólidamente puestos a tierra.

La conexión a puesta a tierra del circuito de c.c. se debe hacer en cualquier punto del circuito de salida fotovoltaico, ubicando este punto lo más cerca posible a la fuente fotovoltaica, el sistema quedara mejor protegido contra las posibles subidas de tensión producidas por los rayos.

Todas las partes expuestas metálicas no portadoras de corriente de los bastidores de los módulos, equipos, y encerramientos de conductores, independientemente de su tensión se deben poner a tierra según lo expuesto en el Artículo 690-43 de la Norma NTC 2050.

La instalación del electrodo del sistema de puesta a tierra debe cumplir con los Artículos 250-81 a 250-86 de la Norma NTC 2050.

5.2.8 Mantenimiento de la Instalación Fotovoltaica

Se debe realizar un mantenimiento preventivo de la instalación 3 veces al año para detectar y corregir pequeños problemas de componentes eléctricos y mecánicos antes de que se pueda presentar una falla total en la operación del sistema. La revisión se puede realizar por medio de un multímetro y de observación:

- Revisar todas las conexiones del sistema, tener especial cuidado con la corrosión.
- Revisar continuidad del cableado.
- Verificar el nivel de gravedad específica del electrolito en la batería de acuerdo con las recomendaciones del fabricante después de una recarga completa al banco de baterías.

- Observar el nivel de electrolito en cada vaso de la batería y llenar hasta el nivel adecuado cerciorándose de que las placas estén siempre sumergidas.
- Inspeccionar ventilación apropiada de las baterías, verificar que no hayan conexiones sueltas ni corrosión, engrasar bornes de las baterías con regularidad.
- Tomar muestras de la tensión de cada batería bajo carga, si se presenta una diferencia de tensión en una batería mayor al 10% del promedio de tensión de las demás baterías ésta tiene un problema y se debe consultar al fabricante o distribuidor.
- Realizar mediciones de corriente y tensión en los módulos, preferiblemente en condiciones cercanas a I_{MP} y V_{MP} .
- Revisar el sistema de cableado, especialmente el que está expuesto a la intemperie al sol y a la corrosión, ya que si se forman grietas en el cableado se puede presentar pérdidas de energía.
- Inspeccionar que las cajas de conexiones de los paneles, reguladores e inversores estén correctamente selladas.
- Verificar que la estructura de soporte y anclaje de los módulos se encuentre en buen estado, sin corrosión y sin piezas flojas o sueltas.
- Inspeccionar el estado de los módulos y verificar si hay celdas rotas o descoloradas. En caso de módulos rotos reemplazarlos inmediatamente.
- Revisar la operación de los interruptores y fusibles como también el estado de los contactos y fusibles corroborando que no se presente corrosión.

Adicionalmente se deben lavar los paneles esporádicamente con agua y un trapo suave al amanecer, al atardecer o en la noche cuando éstos no estén calientes para evitar choque térmico. En países tropicales ubicados sobre la línea del ecuador como Colombia donde el ángulo de inclinación varía entre 10 y 15 ° con respecto a la horizontal se deben limpiar los paneles con más frecuencia ya que esta leve inclinación no permite un auto lavado efectivo por lluvia (Solorzano, 2009).

5.3 CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE CENTROS COMERCIALES

Hoy en día los centros comerciales se han convertido en lugares de gran concurrencia de personas, mercancía y entretenimientos como van desde simples juegos de video hasta sala de cine, atracciones mecánicas entre otros. Además los centros comerciales se convierten en algunas ocasiones en albergues de personas en caso de catástrofes por lo que estos deben tener cierta confiabilidad en su sistema eléctrico.

El sistema eléctrico de estos lugares varía de acuerdo a su tamaño y finalidad, ya que en el interior de un centro comercial se pueden encontrar diversidad de forma de cargas, ya sean grandes motores de bombeo y refrigeración así como grandes cargas de iluminación y electrodomésticos. Al tener gran variedad de cargas en los centros comerciales se pueden encontrar instalaciones que van desde pequeñas redes de distribución en baja tensión con una sola subestación, hasta sistemas de distribución interna en media tensión con varias subestaciones o centros de carga. Además se debe tener en cuenta que en estos centros se pueden necesitar varios niveles de tensión para las diferentes actividades que se pueden realizar, como la refrigeración y motores que funcionan de forma más eficiente a valores de tensión por encima de los 120 V nominales de las instalaciones finales, tales como 208 V y 440 V.

Aparte de esto, los centros comerciales deben contar con su iluminación de emergencia así como de ciertos circuitos especiales de respaldo que se consideran de gran importancia a la hora de una falla en la fuente de alimentación.

En el momento de instalar paneles solares se recomendaría incluir primero estos circuitos importantes del centro comercial como son los circuitos de emergencia, bombeo, ventilación (cuando la hay) y circuitos que alimentan los sistemas de seguridad; esto con la finalidad de aumentar la confiabilidad de estos circuitos ya que se alimentarían de una fuente autónoma que sería el sistema fotovoltaico.

Es importante destacar que cada local dentro de los centros comerciales tiene sus instalaciones internas y hace el pago de su energía de forma independiente a la empresa de energía local, de tal forma que de las zonas comunes quedan a cargo de la administración del centro comercial.

5.3.1 Clasificación de Centros Comerciales

De acuerdo a su tamaño y carga se podrían clasificar los centros comerciales en:

a) Pequeños Centros Comerciales: Estos se caracterizan por tener un pequeño número de locales en una planta física sin mucha complejidad, generalmente tienen su transformador dedicado desde la red del distribuidor y su carga total llega hasta 100 KVA aproximadamente.

Este tipo de centros comerciales presentan una carga de zonas comunes no muy elevada que en mayoría es carga de iluminación, entonces el análisis de implementación puede resultar conveniente en cubrir toda la carga de zonas comunes durante parte o totalidad del tiempo.

b) Medianos Centros Comerciales: Son centros de mayor cantidad de locales, pueden tener en sus instalaciones civiles fuentes de agua y zonas comunes de arte y esparcimiento, así como escaleras eléctricas y elementos motores de carga considerable. Su carga total puede llegar hasta los 700 KVA aproximadamente y ya se puede presentar que la administración compre la energía desde nivel II de tensión así como también que se les aplique tarifa horaria para el cobro de la energía que este consume.

Las posibilidades de análisis de implementación para este tipo de centros comerciales también puede limitarse a suplir solo la iluminación, así como la totalidad de la carga, durante parte o totalidad del tiempo en las zonas comunes, con la diferencia que en este caso la selección del tiempo de uso de la energía puede cambiar la rentabilidad del mismo.

c) Grandes Centros Comerciales: Estos ya tienen una carga mucho más notable a la red y su sistema eléctrico ya toma más complejidad. En estos centros comerciales, dada la magnitud de su carga en zonas comunes, ya se puede presentar conexión y compra de energía en niveles II y III de tensión, también pueden estar regidos por el sistema de tarifa horaria para el pago de su energía además de ya poder clasificar como usuarios no regulados de energía teniendo así, opción de compra de energía a diferentes comercializadoras haciendo que la energía comprada sea más barata. Para este tipo de centros comerciales tenemos las mismas opciones de cobertura de carga que en los de mediano tamaño.

5.4 OPCIONES DE DISEÑO DEL SISTEMA

Cuando se habla del diseño del sistema, se trata de definir la dimensión de sus elementos, cantidad, capacidad y finalidad.

Para este estudio de centros comerciales se realizará el análisis para las zonas comunes, ya que esta carga es la que está bajo el manejo de la administración del centro en sí, puesto que cada local interno paga su energía de forma independiente, además de la dificultad que se encontraría para coordinar una inversión conjunta.

Las opciones de diseño del sistema básicamente varían de acuerdo a la finalidad que se desee, y para efectos de este proyecto se encuentran cuatro opciones principales:

a) Cubrir toda la carga de las zonas comunes:

En este caso todos los implementos se dimensionan para cubrir la totalidad de la energía consumida por el sistema.

b) Cubrir una parte de la carga de las zonas comunes:

En este caso se dimensionará el sistema para que cubra la totalidad de la energía consumida por algunos de los circuitos que componen el sistema.

c) Cubrir toda la carga de las zonas comunes durante ciertas horas:

En este caso el sistema fotovoltaico se dimensiona para cubrir la energía consumida por el sistema en una franja de horas determinada.

d) Cubrir parte de la carga de las zonas comunes durante ciertas horas.

En este caso el sistema fotovoltaico se dimensiona para cubrir parte de la energía consumida por el sistema en una franja de horas determinada.

5.5 METODOLOGÍA DE DISEÑO DEL SISTEMA

Para mostrar la metodología de diseño de un sistema fotovoltaico se hará el diseño de la aplicación para un centro comercial de tres plantas y un sótano parqueadero el cual se acomoda a las características de tener un área de techo considerable (en este caso placa o azotea) del cual los detalles se irán mostrando a medida que se haga el dimensionamiento.

A continuación se mostrarán los pasos a seguir para hacer el diseño del sistema FV³ para el centro comercial mencionado.

5.5.1 Análisis Energético

Cuando se habla de análisis energético se trata de definir la carga que se va a suplir con el sistema FV basándose en la disponibilidad energética solar que haya y el consumo del sistema a suplir.

5.5.1.1 Energía Consumida

En sistemas FV es necesario tener un registro o estimación de la energía consumida lo más exacto posible para cuestiones de dimensionamiento de los

³ Fotovoltaico (se empleará la sigla FV para referirse a este término)

elementos del mismo, esto no implica un gran problema en centros comerciales con registro de consumo horario pues estos registros nos dan un fiel comportamiento del consumo del sistema, esto en el caso de alimentar todas las zonas comunes desde nuestro sistema FV.

Cuando no se tiene registro horario o no se planea alimentar toda la carga del usuario objetivo se hace necesario realizar una estimación de acuerdo a la carga instalada o efectuar las medidas de carga a través del tiempo. Para ejecutar la estimación se deben tener en cuenta los equipos conectados a la instalación y el tiempo que estos duran encendidos durante el periodo de tiempo requerido (días o meses según sea necesario).

En el centro comercial a tratar, de tamaño grande se han propuesto las siguientes curvas de carga diarias:

Figura 19. Cargas de iluminación.

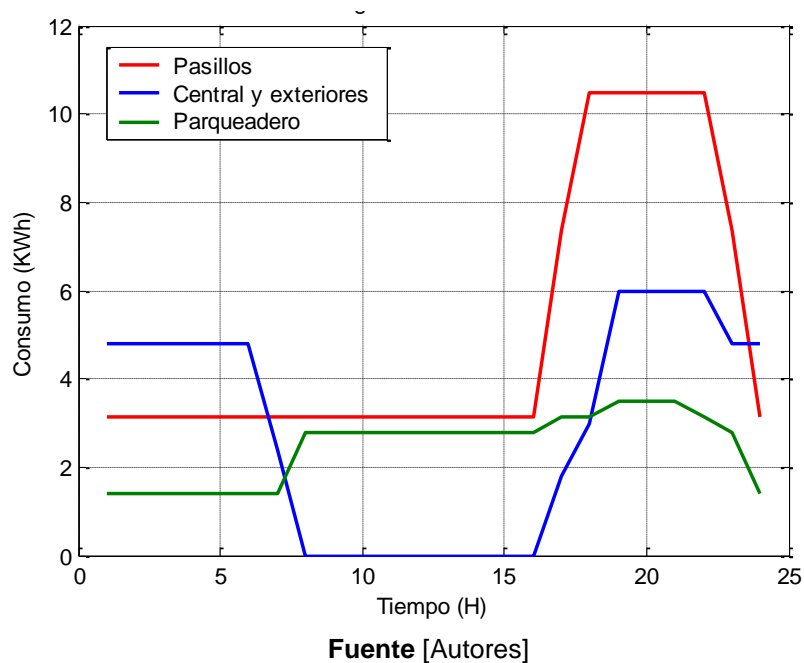


Figura 20. Cargas varias.

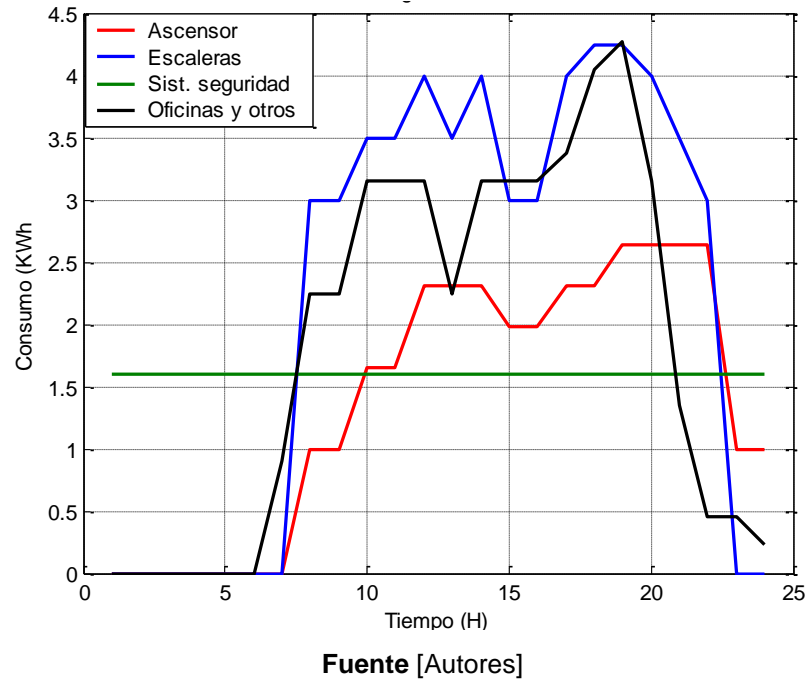
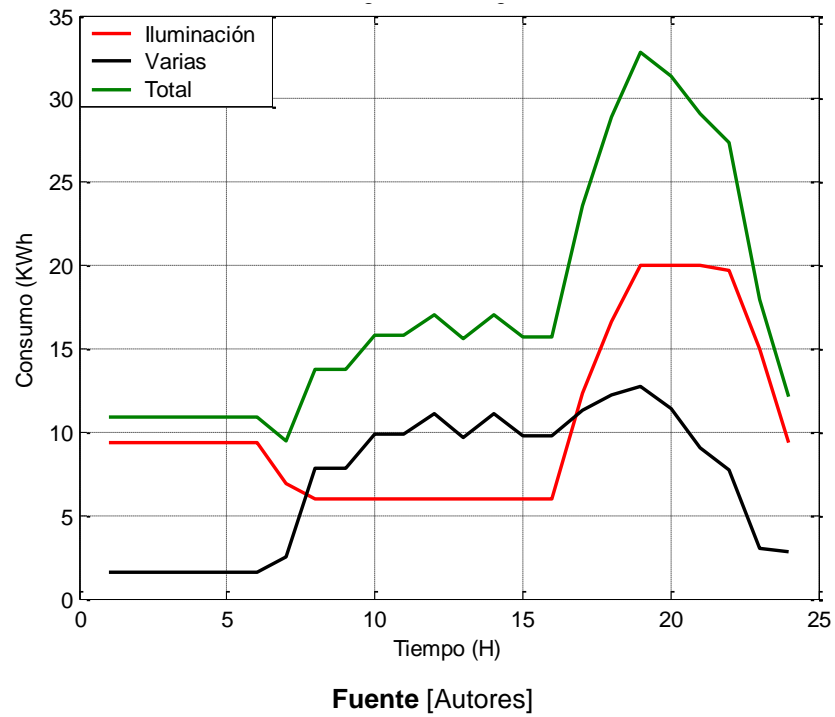


Figura 21. Gráfico de cargas.



De estas gráficas se puede obtener los consumos de energía diarios que serán después contrastados con la energía disponible del sistema.

La energía consumida se obtiene realizando la integral o para este caso la sumatoria del consumo horario de cada curva. Entonces de las curvas se obtienen los siguientes datos:

Tabla 5. Energía consumida en kWh.

| Zona o Tipo de carga | Energía diaria (kWh) | Energía en franja 18-22 (kWh) |
|--------------------------------|----------------------|-------------------------------|
| Iluminación pasillos | 120.75 | 52.5 |
| Iluminación central y exterior | 69.6 | 27 |
| Zona parqueaderos | 59.15 | 16.8 |
| Iluminación total | 249.5 | 96.3 |
| Ascensor | 33.33 | 12.87 |
| Escaleras eléctricas | 53.5 | 19 |
| Sistemas de seguridad | 38.4 | 8 |
| Oficinas y otros | 43.875 | 13.275 |
| Total | 418.605 | 149.445 |

Fuente [Autores]

5.5.1.2 Disponibilidad Energética

Ahora se verá cuanta energía puede llegar a generarse en el centro comercial. Esta capacidad depende del área que se tenga disponible para usar tanto como del tipo de panel que se vaya a usar.

a) Área Disponible: Se puede considerar como área disponible para uso en la instalación de paneles fotovoltaicos toda aquella zona del techo o azotea que no esté siendo utilizada para otros fines.

Generalmente en los centros comerciales a las azoteas no se les designa ningún uso en especial y se dejan simplemente reservados los lugares para cuartos de máquinas y aires acondicionados, así como los tubos de ventilación de salidas de gases.

También puede considerarse como posible área de uso las zonas de techo metálico, siempre y cuando este tenga la capacidad mecánica de soportar los paneles así como la circulación del personal que efectuará el mantenimiento. Hoy en día, con el uso racional de la energía se ha comenzado a implementar techos metálicos con ventanas o tragaluces debidamente espaciados para aprovechar la luz del sol durante el día; este hecho dificulta usar este tipo de techo metálico como área disponible para uso, pues no sería muy eficiente tapar estos tragaluces con los paneles a instalar, pero si la distancia entre los tragaluces permite el espacio para la instalación de los paneles además de el cumplimiento de los requerimientos anteriores, entonces esta área puede considerarse como efectiva para los fines tratados.

Para este ejemplo se va a considerar un área disponible de 1500 m².

- b) Tipo de Panel Usado:** Se escoge un panel policristalino (por su eficiencia aproximada 16 % y por presentar un precio por Wp bajo) con dimensiones aproximadas de 1.5 * 1 m y potencia nominal de 210 Wp (a radiación de 1000 W/m²) ±5%.

Para hallar el aporte de potencia diaria de cada panel fotovoltaico de forma similar a como se hizo anteriormente...Véase el numeral 5.2.1.3... se tiene que:

$$PDU = \frac{RD * Pn}{1 \text{ kW/m}^2} = \frac{3,75 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \text{ diario} * 210W}{1 \text{ kW/m}^2} = 787,5 \text{ Wh diario} \quad (5.11)$$

Donde:

PDU: Potencia diaria aportada por un panel.

RD: Radiación solar en la zona.

Pn: Potencia pico nominal del panel.

Esto quiere decir que se van a tener 787,5 Wh diario para un área de 1,5 m².

c) Carga Disponible: La carga disponible está determinada por el número máximo de paneles (NMP) que pueden usarse. Este número máximo se calcula con el área disponible y el área de un solo panel, de la siguiente forma:

$$NMP = \frac{\text{Área disponible}}{\text{Área de un panel}} \quad (5.12)$$

$$NMP = \frac{1500 \text{ m}^2}{1,5 \text{ m}^2} = 1000 \text{ Paneles}$$

Entonces:

$$\text{Carga Disponible} = \frac{NMP * PDU}{1,2} \quad (5.13)$$

$$\text{Carga Disponible} = \frac{1000 * 0,7875 \text{ kWh} * \text{día}}{1,2} = 656,25 \text{ kWh} * \text{día}$$

Aclaración: Suponiendo que el sistema presenta unas pérdidas del 20%, se divide en 1,2 para cobijarlas; estas pérdidas dependen del rendimiento del inversor, baterías y cableado.

5.5.1.3 Carga a Suplir

Para determinar la carga a suplir se hace un contraste entre la energía consumida y la energía disponible para ver si se alcanza a suplir toda la energía necesitada o parte de ella.

Para continuar el diseño que se está trabajando se puede ver que la carga disponible puede suplir la totalidad de la carga de zonas comunes del centro comercial, pero con fines didácticos se hará el cálculo para las cuatro opciones de diseño.

Tabla 6. Carga a suplir.

| Opción | Carga a Suplir (kWh día) |
|--|--------------------------|
| a. Totalidad de la carga | 418,605 |
| b. Parte de la carga* | 249,5 |
| c. Toda la carga en franja horaria | 149,445 |
| d. Parte de la carga en franja* | 96,3 |
| (*) Se escogió suplir las cargas de iluminación. | |

Fuente [Autores]

5.5.2 Cantidad de Paneles Definitivos

De forma similar a como se mostró en la ecuación (5.3) la cantidad de paneles es...Véase el numeral 5.2.1.4...:

Tabla 7. Número de paneles necesario.

| Zona o Tipo de carga | Energía diaria | | Energía franja 18-22 | |
|--------------------------------|----------------------|-------------------|-------------------------------|-------------------|
| | Energía diaria (kWh) | Número de Paneles | Energía en franja 18-22 (kWh) | Número de Paneles |
| Iluminación pasillos | 120.75 | 254 | 52.5 | 110 |
| Iluminación central y exterior | 69.6 | 146 | 27 | 58 |
| Zona parqueaderos | 59.15 | 124 | 16.8 | 36 |
| Iluminación total | 249.5 | 522 | 96.3 | 202 |
| Ascensor | 33.33 | 70 | 12.87 | 28 |
| Escaleras eléctricas | 53.5 | 112 | 19 | 40 |
| Sistemas de seguridad | 38.4 | 82 | 8 | 18 |
| Oficinas y otros | 43.875 | 92 | 13.275 | 28 |
| Total | 418.605 | 876 | 149.445 | 314 |

Fuente [Autores]

5.5.3 Banco de Baterías

a) Tipo de Batería Seleccionada: Batería estacionaria abierta, bajo mantenimiento, de 12 V y 150 Ah, Se selecciona esta batería porque el sistema estará bajo continua supervisión además de ser el un tipo de batería económico respecto a otros.

b) Capacidad del Banco de Baterías

Para dimensionar el banco de baterías en la instalación fotovoltaica es necesario calcular la corriente que la carga en AC va a tomar de la batería con la formula:

$$I_{DC} = \frac{V_{AC} * I_{AC}}{V_{DC} * \eta} = \frac{P_{AC} / \cos \varphi}{V_{DC} * \eta} \quad (5.14)$$

$$I_{DC} = \frac{P_{AC} / 0,9}{12 * 0,85}$$

$$V_{DC} = 12 V \quad \text{Tensión Nominal de la Batería}$$

$$\eta = 0,85 \quad \text{Eficiencia del Inversor}$$

$$\cos \varphi = 0,9 \quad \text{Factor de potencia}$$

Tabla 8. Energía consumida en kWh y kWh.

| Zona o Tipo de carga | Energía diaria | | Energía franja 18-22 | |
|--------------------------------|----------------------|----------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | Energía diaria (kWh) | Energía diaria (kAh) | Energía en franja 18-22 (kWh) | Energía en franja 18-22 (kAh) |
| Iluminación pasillos | 120,75 | 13,154 | 52,5 | 5,72 |
| Iluminación central y exterior | 69,6 | 7,58 | 27 | 2,94 |
| Zona parqueaderos | 59,15 | 6,44 | 16,8 | 1,83 |
| Iluminación total | 249,5 | 27,18 | 96,3 | 10,49 |
| Ascensor | 33,33 | 3,63 | 12,87 | 1,4 |
| Escaleras eléctricas | 53,5 | 5,83 | 19 | 2,07 |
| Sistemas de seguridad | 38,4 | 4,183 | 8 | 0,871 |
| Oficinas y otros | 43,875 | 4,8 | 13,275 | 1,446 |
| Totalidad carga | 418,605 | 45,6 | 149,445 | 16,28 |

Fuente [Autores]

Para hallar la capacidad de las baterías para las diferentes configuraciones, se utilizan las fórmulas (5.6), (5.7) y (5.8) como ya se había expuesto...Véase el numeral 5.2.3...Capacidad de la Batería.

Los resultados se presentan en la tabla 9.

Tabla 9. Capacidad de la batería.

| Zona o Tipo de carga | Energía diaria | | Energía franja 18-22 | |
|--------------------------------|----------------------|---------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|
| | Energía diaria (kAh) | Capacidad del banco de baterías (kAh) | Energía en franja 18-22 (kAh) | Capacidad del banco de baterías (kAh) |
| Iluminación pasillos | 13,154 | 56,6 | 5,72 | 24,6 |
| Iluminación central y exterior | 7,58 | 32,6 | 2,94 | 12,64 |
| Zona parqueaderos | 6,44 | 27,68 | 1,83 | 7,866 |
| Iluminación total | 27,18 | 116,835 | 10,49 | 45.1 |
| Ascensor | 3,63 | 15,6 | 1,4 | 6 |
| Escaleras eléctricas | 5,83 | 25 | 2,07 | 8,9 |
| Sistemas de seguridad | 4,183 | 17,98 | 0,871 | 3,744 |
| Oficinas y otros | 4,8 | 20,63 | 1,446 | 6,215 |
| Totalidad carga | 45,6 | 196 | 16,28 | 70 |

Fuente [Autores]

c) **Número de Baterías:** El número de baterías necesario para cubrir cada zona se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 10. Número de baterías por zona.

| Zona o Tipo de carga | Funcionamiento diario | | Franja 18-22 | |
|--------------------------------|---------------------------------------|--------------------|---------------------------------------|--------------------|
| | Capacidad del banco de baterías (kAh) | Número de baterías | Capacidad del banco de baterías (kAh) | Número de baterías |
| Iluminación pasillos | 56,6 | 378 | 24,6 | 164 |
| Iluminación central y exterior | 32,6 | 218 | 12,64 | 84 |
| Zona parqueaderos | 27,68 | 184 | 7,866 | 52 |
| Iluminación total | 116,835 | 780 | 45.1 | 300 |
| Ascensor | 15,6 | 104 | 6 | 40 |
| Escaleras eléctricas | 25 | 168 | 8,9 | 60 |
| Sistemas de seguridad | 17,98 | 120 | 3,744 | 26 |
| Oficinas y otros | 20,63 | 138 | 6,215 | 42 |
| Totalidad carga | 196 | 1308 | 70 | 468 |

Fuente [Autores]

5.5.4 Regulador de Carga

La corriente de cortocircuito de los paneles solares utilizados es de 8,58 A. Luego el dimensionamiento del regulador o de los reguladores se hace de la siguiente manera teniendo en cuenta lo visto en la ecuación (5.9)...Véase el numeral 5.2.4...:

$$I_{regulador} = 1,25 * 8,58 * NPR$$

Donde:

NPR = número de paneles conectados al regulador.

Se pueden hacer diferentes arreglos de reguladores, ya sea uno individual o varios en paralelo para cierto número de paneles, una determinada zona de carga o la totalidad de la carga.

Tabla 11. Corriente nominal del regulador de carga o grupo de reguladores.

| Zona o Tipo de carga | Funcionamiento diario | | Franja 18-22 | |
|--------------------------------|-----------------------|-----------------------------|-------------------|-----------------------------|
| | Número de Paneles | $I_{\text{regulador}}$ (kA) | Número de Paneles | $I_{\text{regulador}}$ (kA) |
| Iluminación pasillos | 254 | 2,725 | 110 | 1,18 |
| Iluminación central y exterior | 146 | 1,566 | 58 | 0,623 |
| Zona parqueaderos | 124 | 1,33 | 36 | 0,387 |
| Iluminación total | 522 | 5,6 | 202 | 2,17 |
| Ascensor | 70 | 0,75 | 28 | 0,3 |
| Escaleras eléctricas | 112 | 1,2 | 40 | 0,43 |
| Sistemas de seguridad | 82 | 0,88 | 18 | 0,194 |
| Oficinas y otros | 92 | 0,99 | 28 | 0,3 |
| Total | 876 | 9,4 | 314 | 3,368 |

Fuente [Autores]

Para la iluminación total en la franja 18-22 se podría escoger un regulador que actúe sobre 202 paneles con tensión nominal de 24 V y capacidad para 2,17 kA o el que se pueda adquirir comercialmente por encima de este valor; o dos reguladores con tensión nominal de 24 V y 1,09 kA cada uno actuando sobre 101 paneles y así sucesivamente.

5.5.5 Inversor de Corriente

De acuerdo a lo visto en cuanto al dimensionamiento del inversor en la ecuación (5.10)...Véase el numeral 5.2.5...:

Luego para un inversor único en cada zona:

Tabla 12. Potencia régimen inversor para cada tipo de carga.

| Zona o Tipo de carga | Carga pico (kW) | Potencia régimen inversor (kW) |
|--------------------------------|------------------------|---------------------------------------|
| Iluminación pasillos | 10,5 | 13,125 |
| Iluminación central y exterior | 6 | 7,5 |
| Zona parqueaderos | 3,5 | 4,375 |
| Iluminación total | 20 | 25 |
| Ascensor | 2,64 | 3,3 |
| Escaleras eléctricas | 4,25 | 5,3125 |
| Sistemas de seguridad | 1,6 | 2 |
| Oficinas y otros | 4,275 | 5,34375 |
| Total | 32,765 | 40,95625 |

Fuente [Autores]

Se puede aplicar modularidad cambiando el único inversor por varios en paralelo o un inversor modular para aumentar la confiabilidad del sistema.

5.5.6 Esquemas de Conexión y Selección de Conductores

Este ítem se desarrollará más adelante cuando se haya escogido alguna de las opciones de diseño ...en la sección 7...

6 ESTUDIO FINANCIERO

En esta sección se verán los principales aspectos que inciden en la inversión de sistemas FV en centros comerciales así como los criterios para su evaluación e indicadores financieros.

6.1 LAS INVERSIONES DEL PROYECTO

Son los recursos invertidos al inicio y durante la marcha del proyecto, se empezará a recibir ingresos una vez recuperadas estas inversiones.

6.1.1 Inversión Inicial

La inversión inicial para un proyecto de generación fotovoltaico se compone de los paneles solares fotovoltaicos, las baterías, los reguladores, los inversores y las obras civiles que se necesiten para la puesta en marcha del proyecto.

6.1.1.1 Paneles Solares y Baterías

La inversión de los paneles solares y las baterías está dada por el producto entre la cantidad y el precio unitario del mismo, se pueden recibir descuentos en la compra por parte del proveedor o intermediario si se le compra cierto número de paneles o baterías, con lo que el precio unitario puede variar de acuerdo a la cantidad, esto se modeló para los paneles y las baterías teniendo en cuenta el precio en el exterior y sus posibles costos de importación, impuestos, aranceles y transporte; también teniendo en cuenta los precios encontrados de algunos proponentes locales. Entonces se proponen las siguientes estimaciones del precio de estos elementos:

Tabla 13. Estimación de Precios Paneles y Baterías.

| Cantidad (C) | C ≤ 100 | C > 100 |
|---|----------------|-------------------|
| Precio Unitario Paneles en Millones de Pesos (M\$) | 3,1-0,01*C | 2,1 |
| Precio Unitario Baterías en Millones de Pesos (M\$) | 0,68-0,00204*C | 0,476 |

Fuente [Autores]

Para el caso de los paneles del estudio técnico para la zona de iluminación total en franja horaria 18-22 donde se dimensionaron 202 paneles cuyo precio unitario al ser más de 100 es de 2,1 millones de pesos (\$), la inversión total de paneles es de \$424,2 millones; y dado que para esta configuración el número de baterías de 12 V y 150 Ah es de 302 para 3 días de autonomía con un precio unitario de \$476.000, la inversión total en baterías es de \$143,752 millones.

6.1.1.2 Regulador de Carga

Esta inversión se realiza teniendo en cuenta el valor del kA nominal, en el mercado los proveedores ofrecen un precio/kA, con lo que solo se necesitaría la capacidad de corriente en kA y el precio por kA del regulador. Para la zona de iluminación total en franja horaria 18-22 se dimensionó un regulador de carga con capacidad para 2,2 kA, para un precio supuesto de \$5 millones/kA el regulador costaría \$11 millones.

6.1.1.3 Inversor de Corriente

En esta inversión se averigua el precio por kW del inversor, que en la mayoría de fabricantes tiende a ser aproximada, para adquirir el inversor se necesitaría la potencia régimen y el precio del kW. Para la iluminación total en franja horaria 18-22 se dimensiono un inversor de corriente de 25 kW, luego a un precio de \$400.000/kW, la inversión inicial total del inversor es de \$10 millones.

6.1.1.4 Obra Civil

En esta inversión inicial se incluyen los gastos de construcción de cuartos donde pueden ir alojados los componentes del sistema fotovoltaico como el regulador y las baterías; además de bloques de hormigón para el empotramiento de la estructura de soporte de los paneles y la mano de obra por construcción e instalación. Para un precio supuesto de \$100.000/kWh-día y una instalación de 96,3 kWh-día para la zona de iluminación en franja 18-22 la inversión total es de \$9,63 millones.

6.1.1.5 Otros

En esta inversión van incluidas las transferencias automáticas, tableros de distribución, conectores, Cableado y estructuras de soporte y anclaje de los paneles. Para un precio supuesto de \$100.000/kWh-día y una instalación de 96,3 kWh-día hay una inversión inicial de \$9,63 millones.

6.1.2 Precio Unitario de Inversión Inicial

Este precio unitario es el que se obtiene al dividir la cantidad total de inversión inicial sobre la carga a cubrir, generalmente se trabaja con la carga diaria a cubrir y ésta nos da una idea para comparar diferentes tipos de inversiones, por ejemplo tenemos estas dos inversiones:

Tabla 14. Tabla resumen inversión 1.

| | | | |
|--|----------------------------|------------------------------|--------------------|
| Potencia a suplir (kWh-día) | 6,4 | Días de Autonomía | 3 |
| | Cantidad/V. Nominal | Precio unitario (M\$) | Total (M\$) |
| Paneles | 14 | 2,96 | 41,44 |
| Baterías | 20 | 0,6392 | 12,784 |
| Inversor | 2 kW | 0,4 | 0,8 |
| Regulador | 0,2 kA | 5 | 1 |
| Obra civil | 6,4 kWh-día | 0,1 | 0,64 |
| Otros | 6,4 kWh-día | 0,1 | 0,64 |
| inv. Inicial | | 8,95375 | 57,304 |
| Con un precio unitario de 8,95 millones de pesos por kWp instalado | | | |

Fuente [Autores]

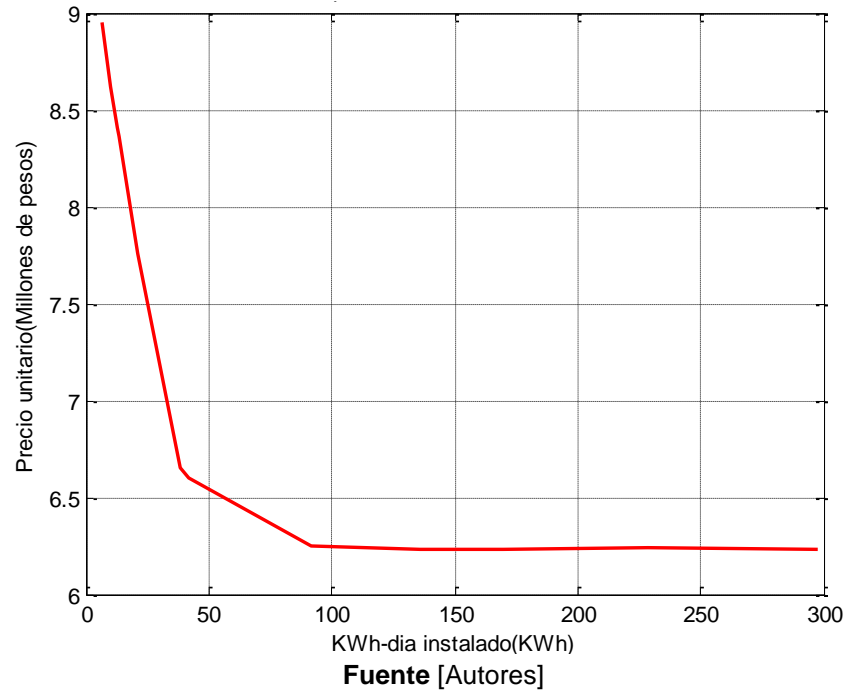
Tabla 15. Tabla resumen inversión 2.

| | | | |
|--|----------------------------|-----------------------------|--------------------|
| Potencia a suplir (kWh-día) | 108 | Días de Autonomía | 3 |
| | Cantidad/V. Nominal | Precio unitario(M\$) | Total (M\$) |
| Paneles | 226 | 2,1 | 474,6 |
| Baterías | 338 | 0,476 | 160,888 |
| Inversor | 10 kW | 0,4 | 4 |
| Regulador | 2,5 kA | 5 | 12,5 |
| Obra civil | 108 kWh-día | 0,1 | 10,8 |
| Otros | 108 kWh-día | 0,1 | 10,8 |
| inv. Inicial | | 6,236926 | 673,588 |
| Con un precio unitario de 6,236925 millones de pesos por kWp instalado | | | |

Fuente [Autores]

Entonces para el ejemplo manejado tenemos un comportamiento del precio unitario de la siguiente forma:

Figura 22. Gráfica de precio unitario Vs. kWh-día instalado.



Donde se ve que para nuestro ejemplo, después de los 100 KWh-día instalados el precio unitario se hace más estable, en esta grafica se ve reflejado el hecho de que comprar más implementos, hará que la inversión inicial resulte unitariamente más barata, lo que puede incidir en que se haga más rentable o atractiva la inversión.

6.1.3 Inversiones Durante la Marcha

Las inversiones durante la marcha están compuestas de los costos de administración, operación y mantenimiento además del reemplazo de equipos. Los primeros no se tendrán en cuenta ya que no se hace necesaria la contratación de personal adicional en el centro comercial.

Se considera que una instalación fotovoltaica como tal tiene una vida útil de 40 años con la excepción de las baterías que se deben cambiar cuanto máximo cada

10 años, con esto en la vida útil del proyecto que es de 20 años solo se presentará un reemplazo de baterías a los 10 años de inicio del proyecto. Para un aumento del 5% anual en el precio de las baterías dentro de 10 años éstas tendrían un valor de \$775.354 por batería de 12 V y 150 Ah, con lo que al reemplazar todas las 302 baterías la inversión durante la marcha del proyecto sería de \$234,15686 millones.

6.2 INGRESOS

Los ingresos en este tipo de proyecto no deben considerarse ingresos como tal sino como ahorros aparentes o estimados; a continuación se verá como se compone este ahorro.

6.2.1 Precio de la Energía

Este precio puede tener variaciones de acuerdo a la magnitud del centro comercial como del tipo de tarifa que se aplique, ya sea plana u horaria.

La tarifa plana es en la cual se cobra por kWh siempre al mismo precio, mientras que en la tarifa horaria el precio de la energía va variando de acuerdo con la hora del día, para esto el usuario debe tener la infraestructura de registro por horas. También es notable aclarar que la tarifa es más baja para aquellos usuarios que tienen sus propios activos (transformador propio), y que para los niveles de conexión II y III el precio es aún más bajo.

Véase por ejemplo las tarifas aplicadas por la empresa ESSA en el mes de enero de 2007:

Tabla 16. Tarifas ESSA mes de enero de 2007 tarifa plana.

| Tipo Tarifa | Plana | | | | | |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | I-II | | I-III | | II | III |
| Nivel | | | | | | |
| Dueño AC. | ESSA | Cliente | ESSA | Cliente | | |
| franja | | | | | | |
| mes | PRECIO (\$) | PRECIO (\$) | PRECIO (\$) | PRECIO (\$) | PRECIO (\$) | PRECIO (\$) |
| 01-Ene | 333,535000 | 298,66000 | 260,99930 | 226,12550 | 278,18040 | 205,31380 |

Fuente [Autores]

Tabla 17. Tarifas ESSA mes de enero tarifa triple horario.

| Triple horario | | | | | | | | | | | |
|----------------|--------------|------------------|-----------|--------------|------------------|-----------|--------------|------------------|-----------|--------------|------------------|
| I-II | | | | | | I-III | | | | | |
| ESSA | | | Cliente | | | ESSA | | | Cliente | | |
| 19 y 20 | 18 y 21 a 22 | 1 a 17 y 23 a 24 | 19 y 20 | 18 y 21 a 22 | 1 a 17 y 23 a 24 | 19 y 20 | 18 y 21 a 22 | 1 a 17 y 23 a 24 | 19 y 20 | 18 y 21 a 22 | 1 a 17 y 23 a 24 |
| Precio (\$) | (\$) | (\$) | (\$) | (\$) | (\$) | (\$) | (\$) | (\$) | (\$) | (\$) | (\$) |
| 443,28550 | 382,9800 | 285,94910 | 380,84050 | 335,68000 | 263,03000 | 313,40000 | 284,60880 | 238,27800 | 250,96000 | 237,31300 | 215,3590 |

Fuente [Autores]

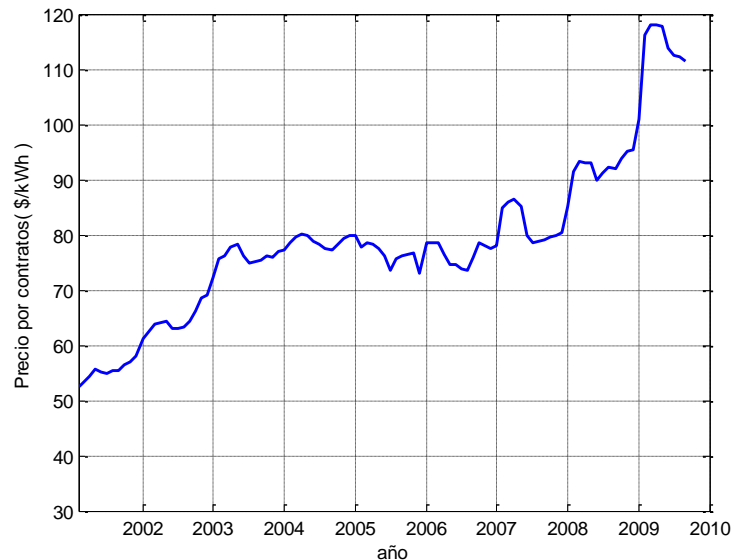
En donde se puede ver que la tarifa más alta se presenta para un usuario que compra su energía bajo tarifa triple en la franja de horas 19 a 20 con precio de \$443,2855 con lo que la idea de suplir la energía a estas horas puede ser más atractiva que suplirla durante todo el tiempo.

Independiente del tipo de tarifa que se aplique es necesario ver la evolución de los precios de la energía a través del tiempo, para esto es necesario encontrar los

registros de los precios de algunos años anteriores y analizar el entorno para poder realizar una estimación del precio de la energía a futuro.

En Colombia los registros de los precios de energía se pueden encontrar en línea a través de la página web de los diferentes distribuidores de energía cuyo sistema tarifario está regulado por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) en sus resoluciones 031/97, 079/97, 082/02, 043/03. Si se consulta algunos de estos registros, tales como las memorias de precios de bolsa y contratos de XM (Compañía de Expertos en Mercados S.A. ESP), podemos encontrar comportamientos del precio de la energía como este:

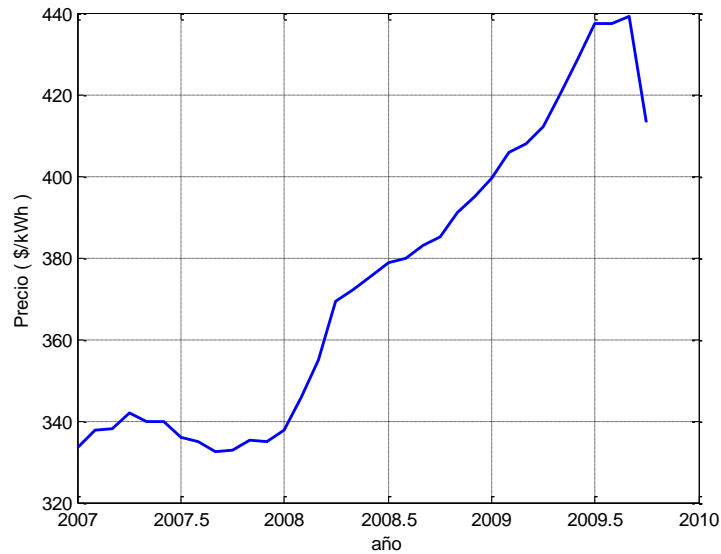
Figura 23. Comportamiento del precio de la energía.



Fuente [Autores]

Se hace notar que pese a tener varios altibajos, el precio de la energía siempre tiende al alza; claro está que estos son los precios únicamente de generación de energía, falta agregarle los cargos por transmisión y distribución. Entonces véase los precios que pagaría un consumidor de la electrificadora de Santander (ESSA) del sector comercial conectado a nivel de tensión 1 (menor a 1000 V).

Figura 24. Gráfica precios nivel de tensión 1.



Fuente [Autores]

Nótese entonces que también se tiene un comportamiento similar al precio de contratos de energía en donde la energía va aumentando de precio con el paso del tiempo.

Con respecto al aumento de los precios de la energía a futuro hay un gran número de variables que inciden en una gran incertidumbre sobre este precio, pese a los esfuerzos del ente regulador para mantenerlo estable. Dichas variables pueden ser el precio del dólar, las lluvias, el precio de los combustibles fósiles, el marco regulatorio y la entrada de nuevas tecnologías y culturas en materia de generación de energía eléctrica. Ya que en los mercados maduros o ideales de energía se busca que tanto la demanda como la capacidad instalada y el precio de la energía crezcan de forma estable y constante, para efectos de este estudio se realizará la estimación de los precios a futuro de la energía eléctrica por medio de regresión lineal.

Para este caso por medio de la regresión lineal (método de mínimos cuadrados) se obtiene una función lineal del precio de la energía en función del tiempo que sería:

$$PE = a + b * T \quad (6.1)$$

Donde PE es el precio de la energía y T el tiempo, a y b son constantes obtenidas en la regresión para los siguientes datos de tarifa:

Tabla 18. Precio del kWh de energía enero 2007 a septiembre 2009.

| mes | año | PRECIO (\$) |
|--------|------|-------------|
| 01-Ene | 2007 | 333,535000 |
| 01-Feb | 2007 | 337,757500 |
| 01-Mar | 2007 | 341,900400 |
| 01-Abr | 2007 | 339,660000 |
| 01-May | 2007 | 339,660000 |
| 01-Jun | 2007 | 336,000000 |
| 01-Jul | 2007 | 334,920000 |
| 01-Ago | 2007 | 332,525400 |
| 01-Sep | 2007 | 332,778400 |
| 01-Oct | 2007 | 335,393400 |
| 01-Nov | 2007 | 334,836000 |
| 01-Dic | 2008 | 337,853800 |
| 01-Ene | 2008 | 345,739600 |
| 01-Feb | 2008 | 354,739600 |
| 01-Mar | 2008 | 369,315000 |
| 01-Abr | 2008 | 372,100000 |
| 01-May | 2008 | 375,410000 |
| 01-Jun | 2008 | 378,600000 |
| 01-Jul | 2008 | 380,000000 |
| 01-Ago | 2008 | 383,027600 |
| 01-Sep | 2008 | 385,142500 |
| 01-Oct | 2008 | 391,062600 |
| 01-Nov | 2008 | 394,844500 |
| 01-Dic | 2009 | 399,569000 |
| 01-Ene | 2009 | 405,890900 |
| 01-Feb | 2009 | 408,000000 |
| 01-Mar | 2009 | 412,051000 |
| 01-Abr | 2009 | 420,290000 |
| 01-May | 2009 | 428,697700 |
| 01-Jun | 2009 | 437,270000 |
| 01-Jul | 2009 | 437,272700 |
| 01-Ago | 2009 | 439,014000 |
| 01-Sep | 2009 | 413,274200 |

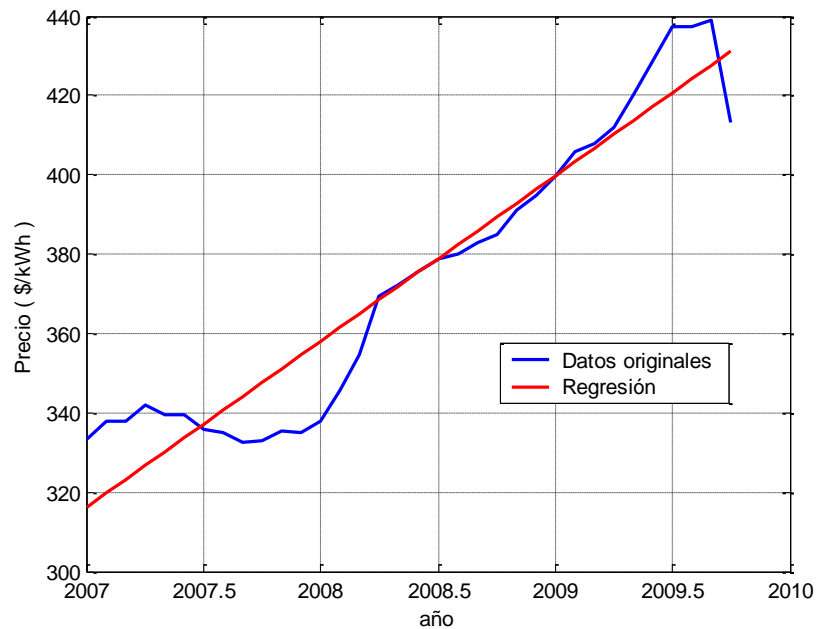
Fuente [Autores]

La ecuación obtenida es:

$$PE = -83488.99 + 41.756434 * T$$

Y graficando: véase figura 25.

Figura 25. Gráfica regresión lineal para precios de energía.



Fuente [Autores]

Entonces con esta ecuación se podrá hacer la estimación del precio de la energía a futuro. Pero esta estimación tiene el inconveniente de no tener en cuenta que las economías tienden a crecer de forma exponencial en muchas ocasiones, es decir, crecen cierto porcentaje de forma periódica; lo que hace que esta estimación al largo plazo me muestre un precio relativamente inferior al actual, entonces para contemplar un entorno en el cual la energía tendrá un valor más alto en el futuro, también se harán cálculos suponiendo unos crecimientos anuales porcentuales de 5% (que sería equiparado al crecimiento por inflación), 10% (que sería un crecimiento similar a las tendencias actuales), un 20% (Suponiendo que el precio

de la energía se disparara en el futuro) y se va a suponer un entorno donde la energía será 4 veces más cara que la actual para simular.

6.2.2 Ahorro Aparente

Se le llama ahorro aparente porque es un ahorro que contiene cierta incertidumbre debido al precio de la energía, este ahorro se obtiene calculando el producto de la energía mensual consumida y el precio de esta misma, teniendo en cuenta si se presenta tarifa horaria o plana, si la tarifa es plana se hace simplemente con el precio plano multiplicado por la energía consumida en un período (para efectos de este estudio, mensual o diario).

Cuando se aplica tarifa por franjas este ahorro se calcula multiplicando la carga consumida a cierta hora, por el precio en el que se encuentre la energía a esa misma hora.

En resumen, si se desea calcular el ahorro aparente diario para cierta instalación se tiene que:

$$APD = \sum C_i * PE_i \quad (6.2)$$

$$APM = 30 * APD \quad (6.3)$$

Donde:

APD= Ahorro aparente diario

APM= Ahorro aparente mensual

Ci= Potencia consumida por la carga a la hora determinada

PEi= Precio de la energía a esa misma hora

Este ahorro aparente juega un papel muy importante en el momento de evaluar la inversión, ya que está estrechamente ligada al precio de la energía y se va a

presentar un mayor ahorro aparente cuanto mayor sea la tarifa para una misma carga.

6.3 EVALUACIÓN DE LA INVERSIÓN

Al realizar una inversión en sistemas FV así como cualquier otra inversión se debe tener en cuenta los indicadores o criterios de evaluación financiera como son el VPN (Valor Presente Neto), TIR (Tasa Interna de Retorno) y el periodo de recuperación así como su comportamiento ante la inflación, comportamiento del mercado y financiación. En esta sección se analizará el comportamiento de estos indicadores bajo la variación de los parámetros más importantes.

Si se recuerda la ecuación (6.3) para hallar el VPN ...Véase numeral 3.5.3...:

$$VPN = -P + \sum_1^N \frac{FNE}{(1 + TMAR)^n} + \frac{VS}{(1 + TMAR)^n}$$

Donde:

P= Inversión inicial del proyecto

VS = Valor de salvamento (en nuestro caso 0, se considera que el sistema no tiene valor de salvamento al final de su vida útil)

TMAR = Tasa de descuento combinada entre la inflación y la tasa de oportunidad.

N = Número de periodos de evaluación

FNE = Flujo neto de efectivo

Ahora se analizará el comportamiento del VPN y el período de recuperación con respecto a los diferentes parámetros. Para estas evaluaciones se contó con el apoyo de un programa en Excel que describe el sistema FV del ejemplo manejado en la metodología del diseño. A continuación a menos de que se diga lo contrario los cálculos se harán con una tasa de recuperación de 0% (se supone que no se

espera lucro, solo con fines de estudio) y una financiación del 0% (no se financia nada).

6.3.1 Variación respecto al precio de la energía

En este caso se tiene en cuenta una inflación anual de 5%, tasa de oportunidad de 0% (se supone que no se espera lucro), para este usuario se presenta tarifa de triple horario y está comprando su energía a nivel de tensión I-II; se supone que no se ha financiado ninguna parte de la inversión, y se supondrán un crecimiento de la energía lineal, con la inflación (5%), crecimiento anual de 10%, crecimiento anual de 15% y un crecimiento de la inflación a una tarifa 4 veces más alta que la del crecimiento por inflación.

Se va a tomar la iluminación total diaria:

Tabla 19. Inversión inicial para todo T.

| Potencia a suplir (kWh-día) | 249,5 | Días de Autonomía | 3 |
|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|--------------------|
| | Cantidad/V. Nominal | Precio unitario (M\$) | Total (M\$) |
| Paneles | 522 | 2,1 | 1096,2 |
| Baterías | 780 | 0,476 | 371,28 |
| Inversor | 25 kW | 0,4 | 10 |
| Regulador | 5,6 kA | 5 | 28 |
| Obra civil | 249,5 kWh-día | 0,1 | 24,95 |
| Otros | 249,5 kWh-día | 0,1 | 24,95 |
| Inv. inicial | | 6,233988 | 1555,38 |

Fuente [Autores]

Tabla 20. Recuperación de la inversión todo T.

| | VPN Lineal | VPN % inf | VPN 10% | VPN 15% | VPN infx4 |
|-----------------------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 5 años | -1337,48 | -1355,73 | -1328,597 | -1297,294 | -756,792 |
| 7 años | -1243,847 | -1276,18 | -1220,886 | -1152,46 | -438,592 |
| 10 años | -1100,930 | -1157,19 | -1037,855 | -873,536 | 37,390 |
| 15 años | -1231,770 | -1326,93 | -1032,309 | -544,953 | 459,997 |
| 20 años | -1007,059 | -1130,57 | -554,442 | 597,466 | 1245,446 |
| Recuperación (meses) | ----- | ----- | ----- | 212 | 117 |

Fuente [Autores]

Como se ve en las tablas, para una misma inversión es mejor que el precio de mercado se encuentre en precios altos (pues genera periodos de recuperación menores), lo que nos da indicios que esta inversión se puede encontrar más atractiva si suplimos únicamente la energía a las horas en las que se presenta la tarifa más alta, entonces veamos el mismo ejemplo pero concentrándonos únicamente en suplir la energía de la iluminación total de la franja horaria 18-21:

Tabla 21. Inversión inicial franja 18-21.

| | | | |
|-----------------------------|---------------------------|------------------------------|--------------------|
| Potencia a suplir (kWh-día) | 76,65 | Días de Autonomía | 3 |
| | Cantidad/V.Nominal | Precio unitario (M\$) | Total (M\$) |
| Paneles | 161 | 2,1 | 338,1 |
| Baterías | 240 | 0,476 | 114,24 |
| Inversor | 25 kW | 0,4 | 10 |
| Regulador | 1,8 kA | 5 | 9 |
| Obra civil | 76,65 kWh-día | 0,1 | 7,665 |
| Otros | 76,65 kWh-día | 0,1 | 7,665 |
| Inv. inicial | | 6,34925 | 486,67 |

Fuente [Autores]

Tabla 22. Recuperación de la inversión franja 18-21.

| | VPN Lineal | VPN % inf | VPN 10% | VPN 15% | VPN infx4 |
|---------------------------------|-----------------------|----------------------|--------------------|--------------------|----------------------|
| 5 años | -405,674 | -411,790 | -401,613 | -389,872 | -187,151 |
| 7 años | -371,168 | -381,954 | -361,215 | -335,554 | -67,807 |
| 10 años | -318,720 | -337,323 | -292,567 | -230,937 | 110,716 |
| 15 años | -345,372 | -376,251 | -265,749 | -82,961 | 293,957 |
| 20 años | -263,626 | -302,603 | -86,520 | 345,516 | 588,548 |
| Recuperación (meses) | ----- | ----- | ----- | 194 | 97 |

Fuente [Autores]

Como se ve en las tablas, para las mismas cargas, pero reduciendo el tiempo en el que el sistema FV funciona a la franja en que la energía es más costosa el proyecto resulta más atractivo y con periodo de recuperación menor.

6.3.2 Variación respecto al tamaño del sistema

Ya se vio antes que resulta mejor suplir las cargas en los períodos en los que la energía es más costosa, pero esto es para centros comerciales que presentan tarifa horaria, es decir, los centros comerciales medianos y grandes. Generalmente los pequeños centros comerciales no cuentan con cargas muy notables para el sistema de distribución, por lo cual se les aplica tarifa plana, además para centros comerciales pequeños, como la cantidad de elementos comprada es menor, van a tener un costo unitario de inversión más alto que en los centros comerciales medianos o grandes, que ya conseguirán sus elementos a un menor costo, pero a su vez estos centros comerciales medianos y grandes presentan un ingreso aparente menor al pagar una tarifa posiblemente más baja (esto si hablamos de cubrir la carga durante todo el tiempo), para ver este comportamiento se hacen 2 comparaciones diferentes:

- 1- Una carga durante todo el tiempo, para simular un pequeño centro comercial y una carga considerable para simular un centro comercial grande o mediano:

- a) Centro comercial pequeño: Se simula bajo una tarifa plana a nivel I-II, aquí se va a evaluar solo la carga de los sistemas de seguridad:

Tabla 23. Inversión inicial centro comercial pequeño.

| | | | |
|-----------------------------|---------------------------|------------------------------|--------------------|
| Potencia a suplir (kWh-día) | 38,4 | Días de Autonomía | 3 |
| | Cantidad/V.Nominal | Precio unitario (M\$) | Total (M\$) |
| Paneles | 81 | 2,29 | 185,49 |
| Baterías | 120 | 0,476 | 57,12 |
| Inversor | 2 kW | 0,4 | 0,8 |
| Regulador | 0,9 kA | 5 | 4,5 |
| Obra civil | 38,4 kWh-día | 0,1 | 3,84 |
| Otros | 38,4 kWh-día | 0,1 | 3,84 |
| inv. Inicial | | 6,656 | 255,59 |

Fuente [Autores]

Tabla 24. Recuperación de la inversión centro comercial pequeño.

| | VPN Lineal | VPN % inf | VPN 10% | VPN 15% | VPN infx4 |
|-----------------------------|------------|-----------|----------|----------|-----------|
| 5 años | -221,962 | -224,790 | -220,603 | -215,774 | -132,388 |
| 7 años | -207,506 | -212,517 | -203,986 | -193,431 | -83,298 |
| 10 años | -185,438 | -194,159 | -175,749 | -150,399 | -9,866 |
| 15 años | -205,427 | -220,189 | -174,736 | -99,549 | 55,489 |
| 20 años | -170,718 | -189,895 | -101,013 | 76,697 | 176,664 |
| Recuperación (meses) | ----- | ----- | ----- | 217 | 152 |

Fuente [Autores]

- b) Centro comercial mediano, con la misma tarifa, cargas de iluminación de pasillos, central y exterior (exceptuando parqueaderos) y sistemas de seguridad:

Tabla 25. Inversión inicial centro comercial mediano.

| | | | |
|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|--------------------|
| Potencia a suplir (kWh-día) | 167,15 | Días de Autonomía | 3 |
| | Cantidad/V. Nominal | Precio unitario (M\$) | Total (M\$) |
| Paneles | 350 | 2,1 | 735 |
| Baterías | 522 | 0,476 | 248,472 |
| Inversor | 14 kW | 0,4 | 5,6 |
| Regulador | 3,8 kA | 5 | 19 |
| Obra civil | 167,15 kWh-día | 0,1 | 16,715 |
| Otros | 167,15 kWh-día | 0,1 | 16,715 |
| inv. Inicial | | 6,23094 | 1041,502 |

Fuente [Autores]

Tabla 26. Recuperación de la inversión centro comercial mediano.

| | VPN Lineal | VPN % inf | VPN 10% | VPN 15% | VPN infx4 |
|-----------------------------|-------------------|------------------|----------------|----------------|------------------|
| 5 años | -895,125 | -907,432 | -889,209 | -868,188 | -505,221 |
| 7 años | -832,199 | -854,011 | -816,877 | -770,932 | -291,537 |
| 10 años | -736,140 | -774,101 | -693,965 | -583,618 | 28,103 |
| 15 años | -822,989 | -887,244 | -689,394 | -362,115 | 312,747 |
| 20 años | -671,902 | -755,380 | -368,488 | 405,062 | 840,205 |
| Recuperación (meses) | ----- | ----- | ----- | 212 | 116 |

Fuente [Autores]

Entonces si se comparan los períodos de recuperación respectivos se puede ver que el de la opción b) presenta menor periodo de recuperación, esto se debe a que en la opción b) se presenta un valor unitario de inversión más bajo.

2- Mismo centro comercial pequeño, pero solo para la franja 18-22 y mismo centro comercial mediano o grande en la misma franja bajo tarifa horaria:

a) Centro comercial pequeño a tarifa I-II:

Tabla 27. Inversión inicial centro comercial pequeño tarifa I-II.

| | | | |
|-----------------------------|---------------------------|------------------------------|--------------------|
| Potencia a suplir (kWh-día) | 6,4 | Días de Autonomía | 3 |
| | Cantidad/V.Nominal | Precio unitario (M\$) | Total (M\$) |
| Paneles | 14 | 2,96 | 41,44 |
| Baterías | 20 | 0,6392 | 12,784 |
| Inversor | 2 kW | 0,4 | 0,8 |
| Regulador | 0,2 kA | 5 | 1 |
| Obra civil | 6,4 kWh-día | 0,1 | 0,64 |
| Otros | 6,4 kWh-día | 0,1 | 0,64 |
| inv. Inicial | | 8,95375 | 57,304 |

Fuente [Autores]

Tabla 28. Recuperación de la inversión centro comercial pequeño tarifa I-II.

| | VPN Lineal | VPN % inf | VPN 10% | VPN 15% | VPN infx4 |
|-----------------------------|------------|-----------|---------|---------|-----------|
| 5 años | -51,699 | -52,171 | -51,473 | -50,668 | -36,770 |
| 7 años | -49,290 | -50,125 | -48,703 | -46,944 | -28,589 |
| 10 años | -45,612 | -47,065 | -43,997 | -39,772 | -16,350 |
| 15 años | -52,172 | -54,632 | -47,056 | -34,525 | -8,686 |
| 20 años | -46,387 | -49,583 | -34,769 | -5,151 | 11,510 |
| Recuperación (meses) | ----- | ----- | ----- | ----- | 205 |

Fuente [Autores]

b) Centro comercial mediano a tarifa horaria triple I-III en franja 18-21:

Tabla 29. Inversión inicial centro comercial mediano a tarifa I-III franja 18-21.

| | | | |
|-----------------------------|---------------------------|------------------------------|--------------------|
| Potencia a suplir (kWh-día) | 41,05 | Días de Autonomía | 3 |
| | Cantidad/V.Nominal | Precio unitario (M\$) | Total (M\$) |
| Paneles | 86 | 2,24 | 192,64 |
| Baterías | 130 | 0,476 | 61,88 |
| Inversor | 14 kW | 0,4 | 5,6 |
| Regulador | 1 kA | 5 | 5 |
| Obra civil | 41,05 kWh-día | 0,1 | 4,105 |
| Otros | 41,05 kWh-día | 0,1 | 4,105 |
| inv. Inicial | | 6,65846 | 273,33 |

Fuente [Autores]

Tabla 30. Recuperación de la inversión centro comercial mediano a tarifa I-III franja 18-21.

| | VPN Lineal | VPN % inf | VPN 10% | VPN 15% | VPN infx4 |
|-----------------------------|------------|-----------|----------|----------|-----------|
| 5 años | -237,382 | -240,404 | -235,929 | -230,766 | -141,626 |
| 7 años | -221,928 | -227,284 | -218,165 | -206,881 | -89,148 |
| 10 años | -198,337 | -207,660 | -187,979 | -160,879 | -10,648 |
| 15 años | -220,515 | -236,295 | -187,705 | -107,330 | 58,408 |
| 20 años | -183,410 | -203,911 | -108,895 | 81,080 | 187,945 |
| Recuperación (meses) | ----- | ----- | ----- | 217 | 153 |

Fuente [Autores]

Entonces en este caso se puede ver que se conserva el patrón en el que el centro comercial mediano tiene un período de recuperación menor que el centro comercial pequeño. Pero véase que puede pasar si comparamos esta misma condición tratándola como si fuese un centro comercial un poco más grande que compra su energía a nivel de tensión II y tiene sus propios activos (con un precio de energía más barato):

Tabla 31. Recuperación de la inversión centro comercial mediano a tarifa I-III franja 18-21.

| | VPN Lineal | VPN % inf | VPN 10% | VPN 15% | VPN infx4 |
|---------------------------------|------------|--------------|------------|------------|-----------|
| 5 años | -240,836 | -243,587 | -239,544 | -234,881 | -154,357 |
| 7 años | -226,859 | -231,735 | -223,497 | -213,305 | -106,952 |
| 10 años | -205,516 | -214,008 | -196,230 | -171,750 | -36,040 |
| 15 años | -231,400 | -245,791 | -201,898 | -129,292 | 20,424 |
| 20 años | -197,810 | -216,537 | -130,706 | 40,904 | 137,440 |
| Recuperación (meses) | ----- | ----- | ----- | 228 | 169 |

Fuente [Autores]

Como se puede ver este último tiene periodos de recuperación más largos, al tener un precio de energía más barato los centros comerciales grandes encontrarán menos atractiva la idea de invertir en sistemas FV.

Entonces se puede concluir que la idea de invertir en este tipo de sistemas se hace más atractiva principalmente para centros comerciales que tienen un alto costo de la energía (generalmente cuando presentan tarifa horaria) y su tamaño es el suficiente como para encontrar un precio unitario de inversión estable.

6.3.3 Variación respecto a otros factores

Al igual que invertir en cualquier tipo de negocio, la inversión inicial se puede financiar, pero para el caso de sistemas FV, el impacto que tiene una financiación de la inversión no varía mucho con respecto a las inversiones generales. De igual forma pasa con la tasa de oportunidad, para ver este efecto se financiará la inversión inicial del último ejemplo realizado (centro comercial mediano a tarifa I-III) variando las tasas de interés del préstamo, todos los préstamos pagados a cuotas fijas a 5 años:

Tabla 32. Recuperación tasa del 1% (anual-mensual).

| | VPN Lineal | VPN % inf | VPN 10% | VPN 15% | VPN infx4 |
|-----------------------------|-------------------|------------------|----------------|----------------|------------------|
| 5 años | -211,451 | -214,201 | -210,159 | -205,495 | -124,972 |
| 7 años | -201,114 | -205,990 | -197,752 | -187,560 | -81,207 |
| 10 años | -179,771 | -188,263 | -170,485 | -146,005 | -10,295 |
| 15 años | -205,655 | -220,046 | -176,153 | -103,547 | 46,169 |
| 20 años | -172,065 | -190,792 | -104,961 | 66,649 | 163,185 |
| Recuperación (meses) | ----- | ----- | ----- | 219 | 156 |

Fuente [Autores]

Tabla 33. Recuperación tasa del 10% (anual-mensual).

| | VPN Lineal | VPN % inf | VPN 10% | VPN 15% | VPN infx4 |
|-----------------------------|-------------------|------------------|----------------|----------------|------------------|
| 5 años | -270,722 | -273,473 | -269,430 | -264,767 | -184,243 |
| 7 años | -261,270 | -266,147 | -257,909 | -247,716 | -141,363 |
| 10 años | -239,927 | -248,419 | -230,641 | -206,161 | -70,452 |
| 15 años | -265,811 | -280,202 | -236,309 | -163,703 | -13,987 |
| 20 años | -232,222 | -250,948 | -165,117 | 6,493 | 103,029 |
| Recuperación (meses) | ----- | ----- | ----- | 238 | 187 |

Fuente [Autores]

Tabla 34. Recuperación tasa del 17% (anual-mensual).

| | VPN Lineal | VPN % inf | VPN 10% | VPN 15% | VPN infx4 |
|-----------------------------|-------------------|------------------|----------------|----------------|------------------|
| 5 años | -322,177 | -324,927 | -320,885 | -316,221 | -235,698 |
| 7 años | -313,492 | -318,369 | -310,131 | -299,938 | -193,585 |
| 10 años | -292,149 | -300,641 | -282,863 | -258,383 | -122,674 |
| 15 años | -318,034 | -332,424 | -288,532 | -215,926 | -66,209 |
| 20 años | -284,444 | -303,171 | -217,340 | -45,729 | 50,806 |
| Recuperación (meses) | ----- | ----- | ----- | ----- | 213 |

Fuente [Autores]

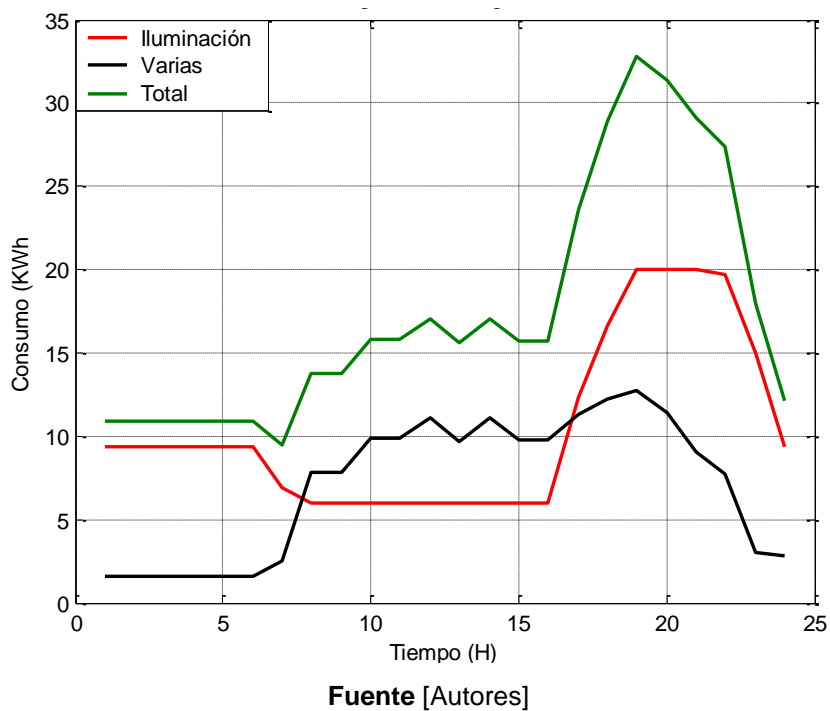
Tal y como los valores los muestran, el periodo de recuperación aumenta a medida que la tasa de interés del préstamo aumenta, y siempre es más largo en comparación a la inversión sin financiación.

Otro factor que incide bastante sobre la decisión es el marco tributario a la hora de la compra de los elementos, ya que el precio mismo de ellos depende directamente de los impuestos que se paguen por su compra, actualmente en Colombia cuando se compran dispositivos para sistemas FV que son generalmente importados, se paga el impuesto del IVA y el arancel de importación, estos impuestos pueden llegar a hacer que el costo del proyecto sea hasta un 30 a 35% más alto comparando esta inversión con los países en que se fabrican estos elementos.

7 DISEÑO PROTOTIPO

Para el diseño prototipo a presentar se ha escogido cubrir la iluminación de las zonas generales y exteriores del centro comercial en la franja horaria 18-21. El centro comercial se encuentra bajo una tarifa triple horaria. Se presenta la siguiente curva de consumo:

Figura 26. Gráfica de cargas diseño prototipo.



En donde la carga a suplir en este ejemplo es la carga de iluminación, que presenta sus cargas pico en la franja horaria ya designada.

7.1 DISEÑO DEL SISTEMA

Ahora véase la aplicación y continuación de la metodología de diseño.

7.1.1 Dimensionamiento de Equipos

Tal y como se hizo en ...la sección 5... de este documento, se dimensionarán los equipos necesarios y se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 35. Dimensionamiento de equipos diseño prototipo.

| | |
|-----------------------------|----------------------------|
| Días de Autonomía | 3 |
| Potencia a suplir (kWh-día) | 76,65 |
| Elemento del Sistema | Cantidad/V. Nominal |
| Paneles | 160 |
| Baterías | 240 |
| Inversor | 25 kW |
| Regulador | 1,8 kA |

Fuente [Autores]

7.1.2 Especificación de equipos

a) **Panel seleccionado:** El panel seleccionado presenta diodo de bloqueo.

Tabla 36. Característica del panel seleccionado.

| Característica Panel | Valor |
|------------------------------|--------------------|
| Potencia nominal | 210 Watt (+5%/-5%) |
| Tensión potencia nominal | 26,6 V |
| Corriente a potencia nominal | 7,9 A |
| Corriente de corto circuito | 8,58 A |
| Tensión de circuito abierto | 33,2 V |
| Dimensiones | 1500 x 1000 mm |

Fuente [Autores]

b) Batería seleccionada: Batería estacionaria de bajo mantenimiento de plomo ácido.

Tabla 37. Características batería seleccionada.

| Característica Batería | Valor |
|---|--------------|
| Capacidad | 150 Ah |
| Tensión a 100% de la carga | 14,5 V |
| Tensión a 30% de la carga | 11,5 V |
| Profundidad de descarga sin sufrir daño en los electrodos | 70% |
| Autodescarga mensual | 3% |
| Dimensiones (LxAxA en mm) | 512*223*225 |
| Máxima corriente de carga | 45 A |
| Máxima corriente de descarga | 2000 A |

Fuente [Autores]

c) Inversor, cargador de batería usado: Sistema Inversor-cargador hecho a medida.

Tabla 38. Características inversor – cargador.

| Característica Inversor-cargador | Valor |
|--|--------------------------------|
| Potencia nominal | 30 kVA |
| Tensión de salida modo inversor | 120/208 VAC (trifásico) |
| Tensión de salida modo cargador | 120 VAC nominal (ajustable) |
| Tensión de entrada | 130 V (+10%/-10%) |
| Corriente nominal de entrada (del grupo generador) | 140 A |
| Corriente nominal de salida modo cargador | 150 A (carga)/250 A (descarga) |
| Corriente nominal de salida modo inversor | 83,33 A |
| Dimensiones (mm) | 1000x700x1700 |

Fuente [Autores]

- Protecciones incorporadas, sobretensión en todas las salidas, sobrecorriente, temperatura, sobrecarga.
- Desconexión automática por descarga de baterías, y reconexión después de la carga, valores de tensión ajustable (115V por baja carga y 140V para reconexión), conjuntas con configuración de conexión por tiempo automática (programable y programada para activar a las 18 y desconectar a las 21) y manual.

d) Transferencia automática: Trifásica de 100 A. nominales. Que se active con la presencia de tensión en el lado del sistema FV.

- Con protección contra sobrecorriente y temperatura.

7.1.3 Esquemas de conexión

a) Paneles: los paneles fotovoltaicos se conectarán en grupos de 5 en serie y éstos a su vez conectados en paralelo para lograr una tensión DC de 130V aproximados. Cada grupo de 4 paneles tendrá su estructura de soporte metálica, estarán inclinados 10° y tendrán una orientación hacia el sur.

b) Baterías: Las baterías se conectarán en grupos de 10 baterías en serie para lograr una tensión DC de 120V nominales. Estas baterías estarán almacenadas en estructuras metálicas agrupadas en bloques de 20 baterías por estructura, para un total de 12 estructuras. Y estas estarán guardadas en un cuarto ventilado respetando los espacios de trabajo establecidos por el RETIE.

Véase ANEXO A. Planos esquemáticos de conexión.

7.1.3.1 Selección de Conductores

Se seleccionan los conductores de los ramales y alimentadores bajo los lineamientos RETIE y se obtiene:

Tabla 39. Resumen de conductores y caída de tensión de CC.

| Tramo | Long. Efectiva (m) | Unidades cubiertas | Corriente unidad (A) | Corriente (A) | calibre (TW) | Cap. Corriente (A) | R. cont.(60 grados) (ohm/Km) | caída tensión(V) | Caída tensión (%) | Caída acumulada (%) | Diámetro Ducto |
|-------|--------------------|--------------------|----------------------|---------------|--------------|--------------------|---------------------------------|------------------|-------------------|---------------------|----------------|
| RPP | 12 | 16 | 8,58 | 137,28 | 2x#2 | 173 | 0,627 | 1,033 | 0,795 | 0,795 | 1 1/4" |
| RP1 | 11,5 | 8 | 8,58 | 68,64 | #2 | 86,5 | 0,627 | 0,990 | 0,762 | 1,556 | 1" |
| RP2 | 5,7 | 6 | 8,58 | 51,48 | #2 | 86,5 | 0,627 | 0,368 | 0,283 | 1,078 | 1" |
| RBP | 7 | 24 | 10,4 | 249,84 | #2 | 86,5 | 0,627 | 2,193 | 1,828 | 1,828 | 1" |
| RB1 | 2,4 | 12 | 10,4 | 124,92 | #2 | 86,5 | 0,627 | 0,376 | 0,313 | 2,141 | 1" |
| RB2 | 1,6 | 4 | 10,4 | 41,64 | #2 | 86,5 | 0,627 | 0,084 | 0,070 | 1,897 | 1" |
| A | 6 | 1 | 8,58 | 8,58 | #12 | 22,75 | 6,271 | 0,646 | 0,497 | 2,053 | 3/4" |
| A1 | 1 | 1 | 10,4 | 10,41 | #12 | 22,75 | 6,271 | 0,131 | 0,100 | 2,242 | 3/4" |

Fuente [Autores]

Tabla 40. Conductor y regulación en corriente alterna.

| Tramo | Long. Efectiva (m) | Carga (kVA) | Corriente (A) | calibre (TW) | Cap. Corriente (A) | Momento(kVA-m) | constante K | Regulación (%) | Diámetro |
|-------|--------------------|-------------|---------------|--------------|--------------------|-----------------|-------------|----------------|----------|
| Alim. | 70 | 30 | 83,333 | #1/0 | 113,8 | 2100 | 0,00086 | 1,814 | 2" |

Fuente [Autores]

7.1.3.2 Protecciones

Las siguientes son las protecciones que presenta cada uno de los elementos del sistema fotovoltaico.

1. **Paneles:** Cada grupo de paneles contará con un interruptor automático de 15 A. para protección contra cortocircuitos.
2. **Baterías:** Cada grupo de baterías contará con un interruptor automático de 20 A. para protección individual contra cortocircuito y sobrecarga.
3. **Inversor:** Este ya trae sus protecciones incorporadas.
4. **Transferencia:** Esta ya trae sus protecciones incorporadas.

7.1.3.3 Señalización de Fallas

Para la señalización de fallas locales en los grupos de paneles y grupos de baterías se mantendrá censada la tensión en sus terminales a través de cable UTP desde el dispositivo inversor-cargador, cada grupo tendrá Leds indicadores en el frente del inversor, de tal forma que se active cuando el elemento se encuentre fuera de los rangos de tensión de trabajo. Además de enviar alarma al sistema computarizado.

1. **Paneles:** La alarma se activará cuando el grupo de paneles se encuentre fuera del rango de tensión 25-35 V.
2. **Baterías:** La alarma se activará cuando el grupo de paneles se encuentre fuera del rango de tensión 11-15 V.

Los demás dispositivos (inversor y transferencia) ya traen sus propios indicadores.

7.2 PRESUPUESTO

El presupuesto aproximado obtenido por medio del apoyo programado nos muestra este resultado:

Tabla 41. Inversión inicial diseño prototipo.

| Potencia a suplir (kWh-día) | 76,65 | Días de Autonomía | 3 |
|-----------------------------|-------------------------------|------------------------------|--------------------|
| | Cantidad/Valor Nominal | Precio unitario (M\$) | Total (M\$) |
| Paneles | 160 | 2,1 | 336 |
| Baterías | 240 | 0,476 | 114,24 |
| Inversor | 25 kW | 0,4 | 10 |
| Regulador | 1,8 kA | 5 | 9 |
| Obra civil | 76,65 kWh-día | 0,1 | 7,665 |
| Otros | 76,65 kWh-día | 0,1 | 7,665 |
| inv. Inicial | | 6,321852577 | 484,57 |

Fuente [Autores]

7.3 EVALUACIÓN FINANCIERA

Con el presupuesto anterior se realizó la evaluación del proyecto en diferentes entornos tarifarios de energía como en las secciones anteriores de este documento, para esta evaluación se supuso que la inversión se pagó completamente por el inversor sin financiación y con una tasa de oportunidad igual a cero:

Tabla 42. Recuperación de la inversión diseño prototipo.

| | VPN Lineal | VPN % inf | VPN 10% | VPN 15% | VPN infx4 |
|-----------------------------|------------|-----------|----------|----------|-----------|
| 5 años | -403,574 | -409,690 | -399,513 | -387,772 | -185,051 |
| 7 años | -369,068 | -379,854 | -359,115 | -333,454 | -65,707 |
| 10 años | -316,620 | -335,223 | -290,467 | -228,837 | 112,816 |
| 15 años | -343,272 | -374,151 | -263,649 | -80,861 | 296,057 |
| 20 años | -261,526 | -300,503 | -84,420 | 347,616 | 590,648 |
| Recuperación (meses) | ----- | ----- | ----- | 193 | 97 |

Fuente [Autores]

En donde se hace notar que la inversión puede recuperarse al largo plazo en un entorno donde el precio de la energía crezca y se mantenga alto, de lo contrario la inversión no se recuperará en el periodo de evaluación más largo usado, de 20 años. La inversión no se considera financieramente rentable a menos que se tenga un interés diferente al de obtener ganancias económicas, tal como apoyar el uso de las energías alternativas u obtener algún reconocimiento por la implementación de este tipo de tecnología.

8 OBSERVACIONES

A lo largo de la realización de este trabajo de grado se encontraron algunas limitantes, de las cuales resaltan la obtención de datos acerca de la zona en la que se trabajó puesto que solo se encontró de forma gratuita, promedios de irradiación solar mensuales, y la falta de cotizantes de inversores de corriente y reguladores con las especificaciones requeridas, lo que lleva a tener una alta incertidumbre en el precio estimado de estos dispositivos.

Este trabajo de grado se puede tomar como un primer estudio o puntos de partida para futuras investigaciones, en donde se analice con más detalle la optimización del diseño teniendo como base datos más exactos, especialmente de la posible zona en donde se implemente la tecnología hablada.

Los sistemas fotovoltaicos son sistemas que están en constante investigación y optimización a lo largo de todo el mundo, además de que día a día su uso va en aumento, todo esto hace que el precio de los elementos que los constituyen disminuya gradualmente a lo largo del tiempo, especialmente cuando se habla de paneles, ya que estos son los que han reducido más su precio en los últimos años.

Se hizo notable que en Colombia no se cuenta con un sistema de incentivos económicos para este tipo de inversión, en comparación con otros países como España en donde se les paga a los generadores fotovoltaicos alrededor de 32 cent/kWh (Caloryfrio, 2009), es decir alrededor de 950 pesos; Colombia como tal aún está atrasada en materia de regulación, sin embargo ya hay al menos una propuesta de resolución en este ámbito (PROURE, 2009).

9 CONCLUSIONES

A lo largo de la realización de este documento se analizan los principales aspectos tanto técnicos, como financieros a tener en cuenta cuando se realiza una implementación de sistemas de generación fotovoltaica en centros comerciales, teniendo en cuenta los principales marcos como son el regulatorio, técnico y tarifario en la región de Santander; y así, mostrar los lineamientos a seguir para el dimensionamiento de los elementos que componen el sistema, además de la inversión necesaria para la implementación de los mismos en vista de una posible reducción en el costo de operación de los centros comerciales. Todo esto para culminar en un diseño ejemplo de una implementación de este tipo en un centro comercial similar a los existentes en la ciudad de Bucaramanga en conjunto con la evaluación financiera a corto mediano y largo plazo que implicaría implementar este diseño ante diferentes panoramas a futuro.

Técnicamente hablando, la implementación de un sistema de generación fotovoltaico en centros comerciales permite diseñar una instalación que estará bajo supervisión y mantenimiento, además de estar enfocada a suplir parte o totalidad de la carga de las zonas comunes del lugar que está bajo la cobertura de la administración del centro, esto debido a la independencia financiera que tienen todos los locales que están en el centro comercial a la hora de pagar por la energía que consumen y a la gran dificultad que implicaría coordinar esta inversión en conjunto.

Se encontró que en el panorama tarifario actual, la inversión en el sistema de generación fotovoltaica no es una idea que represente un beneficio económico a corto o mediano plazo, en el largo plazo puede ser rentable si se presenta un panorama en el que la energía dispare los precios. Básicamente el hecho de que

el precio de la energía aumente hace más atractiva la inversión, pues el proyecto presentará un ahorro aparente más grande. Este resultado se debe a que en Colombia el precio de la energía aun no es lo suficientemente alto como para hacer atractivo este tipo de inversión.

Aunque invertir en sistemas fotovoltaicos no es financieramente atractivo según lo visto en el estudio, trae un beneficio ecológico al aportar energía eléctrica que no proviene del sistema y que es una fuente de energía que se considera limpia e ilimitada, ante esta idea de beneficio ecológico se puede encontrar algún atractivo en hacer este tipo de inversiones.

Basándose en lo tratado a lo largo de este documento se puede decir que para los centros comerciales con tarifa horaria es mejor diseñar el sistema para suplir la energía de las horas en las que se presentan los precios más altos de energía, pero esto va ligado al tamaño del centro comercial dado que no a todos los centros comerciales se les aplica el mismo tipo de tarifa. Bajo estas condiciones los centros comerciales de tamaño medio son los que pueden encontrar la inversión del sistema fotovoltaico más atractivo que los centros comerciales grandes o pequeños ya que en los centros comerciales medianos se puede presentar con mayor frecuencia el pago de su energía a un precio relativamente alto (en las horas 18 a 21) y que se encuentre en la inversión un precio unitario más bajo (entre 6 y 7 millones de pesos por kWh-día instalado) que en los centros comerciales pequeños (entre 7 y 9 millones de pesos por kWh-día instalado).

BIBLIOGRAFÍA

(Caloryfrio, 2008). Nueva Regulación para la Energía Solar Fotovoltaica. Disponible: (<<http://www.caloryfrio.com/index.php/200810011608/energia-solar/energia-solar-fotovoltaica/nueva-regulacion-para-la-energia-solar-fotovoltaica.html>>).

Citado: noviembre 2009.

(Célula, 2009). Célula Fotoeléctrica.

Disponible: (<http://es.wikipedia.org/wiki/Célula_fotoeléctrica>).

Citado: abril 2009.

(Componentes, 2009). Componentes de una Instalación Fotovoltaica.

Disponible: (<<http://oretano.iele-ab.uclm.es/~arodenas/Solar/componentes.htm>>).

Citado: julio 2009.

(CONALUE, 2009). COMISIÓN NACIONAL PARA EL USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA. “Descripción de los Sistemas Fotovoltaicos Aislados y sus Componentes”. Internet:

(<<http://www.conae.gob.mx/programas/sfv/composfv2.doc>>).

Consultado: junio 2009.

(CREG, 1996). COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS – CREG. Resolución 084 (15, octubre, 1996). Por la cual se reglamentan las actividades del Autogenerador conectado al Sistema Interconectado Nacional (SIN). Diario Oficial. Bogotá, D.C., 1996. P. 328-330.

(Energías, 2009). Energías Alternativas.

Disponible: (<http://es.wikipedia.org/wiki/Energías_alternativas>).

Citado: abril 2009.

(Escalona, 2009). ESCALONA, Iván. “Métodos de Evaluación Financiera en Evaluación de Proyectos”. México: Instituto Politécnico Nacional (I.P.N.). Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería y Ciencias Sociales y Administrativas (U.P.I.I.C.S.A.). 2002.

(ESSA, 2009). ELECTRIFICADORA DE SANTANDER. “Qué es un cliente no regulado?”. Internet: (<http://www.essa.com.co/essa/inf_no_reg.aspx>).

Citado: septiembre 2009.

(Fotoeléctrico, 2009). Efecto Fotoeléctrico.
Disponible: (<http://es.wikipedia.org/wiki/Efecto_fotoeléctrico>).
Citado: abril 2009.

(GEA, 2009). GEA Consultores Ambientales. Componentes de un Sistema Fotovoltaico. Disponible:
(<http://www.geaconsultores.com/documentos/energiaF/FV_Capi6.pdf>)
Citado: mayo 2009.

(González, 2009). GONZÁLEZ, Francisco. Todo Sobre Baterías. Universidad de San Carlos, Facultad de Ingeniería Eléctrica. Guatemala.
Citado: Mayo 2009.

(Hulshorst, 2009). HULSHORST, Walter. “Manual Práctico Energía Fotovoltaica”. Leonardo Energy. Internet:
(<http://www.leonardo-energy.org/espanol/2008/Manual_fotovoltaica_es.pdf>).
Consultado: mayo 2009.

(ICONTEC NTC 2050). INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Código Eléctrico Colombiano. Primera Actualización. Bogotá: ICONTEC, 1998. 797p. NTC 2050.

----- . Documentación. Presentación de Tesis, Trabajos de Grado y Otros Trabajos de Investigación. Sexta Actualización. Bogotá: ICONTEC, 2008. NTC 1486.

(IDEAM – UPME, 2002). IDEAM, UPME. Atlas de Radiación Solar de Colombia. Bogotá: Diciembre, 2002, P. 1-175.

(Instalación, 2009). Instalación y Mantenimiento de Sistemas Fotovoltaicos. Disponible: (<http://www.gea.com.uy/documentos/energiaF/FV_Capi8.pdf>).
Citado: septiembre 2009.

(Inversor, 2009). Inversor.
Disponible: (<<http://es.wikipedia.org/wiki/Inversor>>).
Citado: abril 2009.

(Irradiancia, 2009). Irradiancia.
Disponible: (<<http://es.wikipedia.org/wiki/Irradiancia>>).
Consultado: abril 2009.

(Lorentz, 2009). LORENTZ. Manual de Instalación Módulos Fotovoltaicos. Disponible: (<www.lorentz.de/pdf/lorentz_sm_la-series_manual_es.pdf >).
Consultado: septiembre 2009.

(Pereda, 2005). PEREDA SOTO, Isidro Elvis. Celdas Fotovoltaicas en Generación Distribuida. Trabajo de grado Ingeniero Civil Industrial Mención Electricidad. Santiago de Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile. Escuela de Ingeniería, 2005.

(Presidencia, 2009). PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. “Las Áreas Metropolitanas”. Internet: (<<http://www.presidencia.gov.co/sne/2006/junio/21/14212006.htm>>). Citado: julio 2009.

(PROURE, 2009). Ministerio de Minas y Energía. Disponible: (<<http://www.si3ea.gov.co/Si3ea/Documentos/ciure/Documentos/Julio%2011%2005/Propuesta%20resolucion%20PROURE%20MME.pdf>>). Consultado: noviembre 2009.

(RIBOT, 1995). RIBOT I MARTIN, Jaume. Curso de Energía Solar. Barcelona: Centro de Tecnología Educativa. Segunda Edición. 1995. Tomo 7. 73 p.

(Rodríguez, 2008). RODRÍGUEZ MURCIA, Humberto. Desarrollo de la Energía Solar en Colombia y sus Perspectivas. En: Revista de Ingeniería. Universidad de los Andes. Bogotá. Noviembre, 2008. Revista no. 28, p 83-89.

(Santamarta, 2004). SANTAMARTA, José. Las Energías Renovables son el Futuro. En: La Insignia. España. 12, Noviembre, 2004, p. 10.

(SAECSA, 2009). Introducción al Sistema Fotovoltaico. Disponible: (<http://saecsaenergiasolar.com/fotovoltaico/introduccion/>). Citado: agosto 2009.

(Solorzano, 2009). Instructivo de Instalación Operación y Mantenimiento de Sistemas Fotovoltaicos. Disponible: (<http://www.solorzano.com.mx/jesus/datos/modulo_casa.pdf>). Citado: agosto 2009.

(Thermie, 1998). THERMIE B. Universal Technical Standard for Solar Home Systems. SUP995-96, EC-DGXVII, 1998.

ANEXOS

ANEXO A. Planos esquemáticos de conexión.

Los planos esquemáticos de conexión se encuentran en la carpeta "[ANEXOS\ANEXO A. Planos esquemáticos de conexión](#)" incluido en el CD.

ANEXO B. Herramienta Programada Utilizada en Cálculos.

El programa con el cual se realizaron los cálculos esta en el archivo "[ANEXOS\ANEXO B. Herramienta Programada Utilizada en Cálculos\ETECFINCENCO.xlsx](#)".

ANEXO C. Síntesis de la Investigación.

Para la investigación del trabajo de grado se encontró gran número de fuentes con 124 archivos, contenidos en la carpeta "[ANEXO C. Síntesis de la Investigación](#)" incluida en el CD, entre las cuales se encontraron:

- **ATLAS DE RADIACIÓN SOLAR DE COLOMBIA (15 archivos):** Compuesto por un archivo de tabla de contenido, 6 capítulos, 5 apéndices, 2 censos de sistemas solares instalados en Colombia y un mapa de recursos energéticos renovables. De este atlas el cual es un trabajo desarrollado por el IDEAM y el UPME se tomo el valor de irradiación de la ciudad de Bucaramanga observando los mapas de radiación solar.
- **CURSO DE ENERGÍA SOLAR CENTRO DE TECNOLOGÍA EDUCATIVA (9 archivos):** Este es un curso completo de energía solar el cual fue utilizado para dimensionar los componentes del sistema solar fotovoltaico, de este documento se sintetizó información para el estudio técnico basándose en el tomo 7.
- **DATASHEETS (29 archivos):** Aquí se encuentran varias hojas de características de paneles (16), baterías (6), reguladores (1), inversores (4), cables (1) y kits solares (1).
- **DOCUMENTACIÓN PARA ESTUDIO FINANCIERO (5 archivos):** De estos archivos fue de gran ayuda para la elaboración del proyecto "métodos de evaluación financiera" de Iván Escalona.
- **INSTALACIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS (3 archivos):** De estos 3 archivos se utilizo el "manual de instalación de módulos fotovoltaicos" de Lorentz.
- **LAS ENERGÍAS RENOVABLES (7 archivos):** Estos son documentos de España y México que resaltan el uso de las energías alternativas.

- **NORMAS Y RESOLUCIONES (5 archivos):** Aquí se tiene la Norma Técnica Universal para Sistemas Fotovoltaicos Domésticos, utilizada en el capítulo 4 del proyecto para los requisitos de los componentes de la instalación fotovoltaica; la Norma Técnica Colombiana NTC 1486 para presentación de tesis y trabajos de grado; la resolución 084 de 1996 para Autogeneradores; la Ley 697 de 2001, mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía y se promueve la utilización de energías alternativas, y por último una propuesta de resolución del ministerio de minas y energía para fomentar el uso racional y eficiente de energía y demás formas de energía no convencionales de energía a través del programa PROURE.
- **PERSPECTIVA DE LOS PRECIOS DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN COLOMBIA (1 archivo):** Situación actual y perspectiva de los precios de la energía eléctrica en Colombia, realizado por ACOLGEN el 2 de diciembre del año 2008.
- **PRECIOS DE LA ESSA (30 archivos):** Se utilizó los precios de la ESSA de enero de 2007 a septiembre de 2007 para estimar los precios en los próximos 20 años de la energía eléctrica.
- **PROYECTOS DE GRADO (3 archivos):** Como guía para la elaboración de este trabajo de grado se tomaron 3 proyectos de grado, entre estos se tiene “Documentación y análisis técnico, administrativo y financiero de las obras de construcción y consultoría en energía civil” de Alfonso Antonio Vega Martínez de Ingeniería Civil, UIS; “Estudio técnico económico de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Rionegro” de Hugo Lizcano y Laura Méndez, Ingeniería Química UIS y por último el proyecto de grado “Celdas fotovoltaicas en generación distribuida” de Isidro Pereda, Ingeniería Civil Industrial mención Electricidad, Pontificia Universidad Católica de Chile.
- **PUBLICACIONES (2 archivos):** Se tiene una publicación de “monitoreo del desempeño del inversor que conforma el primer sistema fotovoltaico

interconectado de Colombia, usando instrumentación virtual”, publicado en la revista Colombiana de física, VOL 38, No. 1, 2006. La segunda publicación tiene como nombre “Las Energías Renovables Son El Futuro”, de José Santamarta publicado en la revista española La Insignia el 12 de noviembre del año 2004.

- **SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS (13 archivos):** Se encontraron diferentes fuentes de sistemas solares fotovoltaicos de las cuales las usadas para la realización del proyecto fueron “Descripción de los Sistemas Fotovoltaicos Aislados y sus Componentes” de CONALUE, “componentes de un sistema fotovoltaico” de GEA consultores y “manual práctico de energía fotovoltaica” de Leonardo Energy.
- **SOLICITUD PÚBLICA DE OFERTAS PARA LICITACIÓN. PROYECTO DIESEL FOTOVOLTAICO (1 archivo):** Es una solicitud pública para ofertas de licitación del proyecto piloto de ciencia y tecnología para el diseño, suministro, construcción de la infraestructura, instalación, pruebas y puesta en servicio, operación y monitoreo de un sistema híbrido solar-diesel y remodelación de las redes de distribución en la localidad de Timatute, municipio de Unguia departamento del Chocó.
- **TESIS DE DOCTORADO (1 archivo):** Tesis de doctorado de Daniel Guash Murillo titulada Modelado y Análisis de Sistemas Fotovoltaicos de la Universidad Politécnica de Catalunya en el año 2003, Barcelona.

ANEXO D. Algunos de los Precios de Dispositivos Encontrados

1. Paneles Solares

Algunos precios en U.S.A:

| Ref. /Marca | Tipo | Wp | precio(USD) | precio(\$) | P.U.(\$/Wp) |
|--|------|-----|-------------|-------------|-------------|
| kyocera KC130TM | Poli | 130 | 426,4 | 818581,400 | 6296,780 |
| kyocera KC175GT | Poli | 175 | 609 | 1169127,750 | 6680,730 |
| kyocera KD 135Gx-LP | Poli | 135 | 402 | 771739,500 | 5716,589 |
| kyocera KD 205Gx-LP | Poli | 205 | 549,4 | 1054710,650 | 5144,930 |
| kyocera KD 210Gx-LP | Poli | 210 | 562,8 | 1080435,300 | 5144,930 |
| Evergreen ES-A 190 | Poli | 190 | 471,2 | 904586,200 | 4760,980 |
| Evergreen ES-A 195 | Poli | 195 | 522,6 | 1003261,350 | 5144,930 |
| Evergreen ES-A 200 | Poli | 200 | 536 | 1028986,000 | 5144,930 |
| Evergreen ES-A 205 | Poli | 205 | 549,4 | 1054710,650 | 5144,930 |
| Evergreen ES-A 210 | Poli | 210 | 562,8 | 1080435,300 | 5144,930 |
| Evergreen SP 160 | Poli | 160 | 428,8 | 823188,800 | 5144,930 |
| Evergreen SP 170 | Poli | 170 | 421 | 808214,750 | 4754,204 |
| Evergreen SP 180 | Poli | 180 | 446 | 856208,500 | 4756,714 |
| Evergreen SP 190 | Poli | 190 | 471 | 904202,250 | 4758,959 |
| RECSOLAR SCM 215 | Poli | 215 | 546 | 1048183,500 | 4875,272 |
| RECSOLAR SCM 220 | Poli | 220 | 558 | 1071220,500 | 4869,184 |
| RECSOLAR SCM 225 | Poli | 225 | 549 | 1053942,750 | 4684,190 |
| SOLAR WORLD SW-145 | Mono | 145 | 575 | 1103856,250 | 7612,802 |
| SOLAR WORLD SW-155 | Mono | 155 | 616 | 1182566,000 | 7629,458 |
| SOLAR WORLD SW-165 | Mono | 165 | 616 | 1182566,000 | 7167,067 |
| 1 USD = 1919,75 a octubre 5 de 2009 | | | | | |
| Fuente : http://sunelec.com/ | | | | | |

Algunos precios en Colombia:

| Ref. /Marca | Tipo | Wp | precio(USD) | precio(\$) | P.U.(\$/Wp) |
|--|------|-----|-------------|-------------|-------------|
| RECSOLAR SCM 205 | Poli | 205 | 989,7 | 1899976,575 | 9268,178 |
| RECSOLAR SCM 210 | Poli | 210 | 1021,9 | 1961792,525 | 9341,869 |
| RECSOLAR SCM 215 | Poli | 215 | 1046,1 | 2008250,475 | 9340,700 |
| RECSOLAR SCM 220 | Poli | 220 | 1062 | 2038774,500 | 9267,157 |
| RECSOLAR SCM 225 | Poli | 225 | 1086,3 | 2085424,425 | 9268,553 |
| RECSOLAR SCM 230 | Poli | 230 | 1118,5 | 2147240,375 | 9335,828 |
| Evergreen ES-180-RL | Poli | 180 | 1150,7 | 2209056,325 | 12272,535 |
| Evergreen ES-190-RL | Poli | 190 | 1199 | 2301780,250 | 12114,633 |
| Evergreen ES-195-RL | Poli | 195 | 1247,3 | 2394504,175 | 12279,509 |
| Evergreen ES-A 200 | Poli | 200 | 1070 | 2054132,500 | 10270,663 |
| Evergreen ES-A 205 | Poli | 205 | 1102,4 | 2116332,400 | 10323,573 |
| Evergreen ES-A 210 | Poli | 210 | 1134,6 | 2178148,350 | 10372,135 |
| 1 USD = 1919,75 a octubre 5 de 2009, precios sin IVA. | | | | | |
| Fuente : http://colombia.sensstech.com/ | | | | | |

| ANELES SOLARES | | | | | | | | |
|----------------------------|---------|-----------|-----|-----|------|-----|----|-----------|
| KC-20-20 | KYOCERA | ARGENTINA | 20 | WAT | 520 | 352 | 22 | 634,187 |
| KC-40-40 | KYOCERA | JAPON | 40 | WAT | 526 | 652 | 54 | 718,313 |
| KC-65-65 | KYOCERA | JAPON | 65 | WAT | 751 | 652 | 54 | 1,160,000 |
| KC-85-85 | KYOCERA | JAPON | 80 | WAT | 976 | 652 | 52 | 1,480,000 |
| KC-130-130 | KYOCERA | MEXICO | 130 | WAT | 1420 | 652 | 52 | 2,103,000 |
| KC-205 | KYOCERA | JAPON | 205 | WAT | | | | 3,000,000 |

Fuente: Angélica Vargas (distribuidora de COEXITO S.A en Bucaramanga)

2. Precios de baterías

Fuente: Angélica Vargas (distribuidora de COEXITO S.A en Bucaramanga),
Precios locales sin IVA

| DESCRIPCION | | | CAPACIDAD | | DIMENSIONES | | | PRECIO |
|---|---------|-------|-----------|-------|-------------|-----|------|---------|
| REFERENCIA | MARCA | PAIS | VOL | A / H | LAR | ANC | ALTO | PUBLICO |
| ABIERTAS DE BAJO MANTENIMIENTO IMPORTADSA NO RECOMBINANTES | | | | | | | | |
| COUPS 12 / 60 | COEXITO | CHINA | 12 | 60 | 382 | 167 | 215 | 325,000 |
| COUPS 12 / 100 | COEXITO | CHINA | 12 | 100 | 353 | 175 | 190 | 525,000 |
| COUPS 12 / 130 | COEXITO | CHINA | 12 | 130 | 512 | 189 | 225 | 649,494 |
| COUPS 12 / 150 | COEXITO | CHINA | 12 | 150 | 512 | 223 | 225 | 686,328 |

| ABIERTAS BAJO MANTENIMIENTO CICLO PROFUNDO NO RECOMBINANTES | | | | | | | | |
|--|------------|-------|----|-----|-----|-----|-----|-----------|
| T-105 | TROJAN | U.S.A | 6 | 225 | 264 | 181 | 284 | 672,222 |
| T-875 | TROJAN | U.S.A | 8 | 150 | 264 | 181 | 284 | 860,000 |
| SCS-150 | TROJAN | U.S.A | 12 | 100 | 286 | 171 | 248 | 752,222 |
| SCS-225 | TROJAN | U.S.A | 12 | 140 | 354 | 173 | 248 | 937,778 |
| L-16H | TROJAN | U.S.A | 6 | 395 | 295 | 178 | 446 | 1,852,222 |
| DC240-6 | FULL RIVER | CHINA | 6 | 240 | 264 | 181 | 256 | 600,000 |

| SELLADAS DE LIBRE MANTENIMIENTO | | | IMPORTADAS | RECOMBINANTES | | | | |
|---------------------------------|-----|--------|------------|---------------|-------|-----|-------|-----------|
| GP.6120.F2 | CSB | TAIWAN | 6 | 12 | 151 | 50 | 97 | 94,444 |
| HR.1221.WF2 | CSB | TAIWAN | 12 | 5 | 90 | 70 | 101 | 108,889 |
| HR1224WF2 | CSB | TAIWAN | 12 | 6 | 151 | 50 | 98 | 110,000 |
| GP.1272F2 | CSB | TAIWAN | 12 | 7.2 | 151 | 65 | 94 | 110,000 |
| HR1234WF2 | CSB | TAIWAN | 12 | 9 | 151 | 65 | 94 | 135,556 |
| GP.12120.F2 | CSB | TAIWAN | 12 | 12 | 151 | 98 | 97 | 188,889 |
| GP.12170B1 | CSB | TAIWAN | 12 | 17 | 180 | 76 | 168 | 254,444 |
| GP.12260 | CSB | TAIWAN | 12 | 26 | 166 | 175 | 125 | 432,222 |
| GP.12340 | CSB | TAIWAN | 12 | 34 | 195.6 | 130 | 166.5 | 490,556 |
| GP.12400 | CSB | TAIWAN | 12 | 40 | 197 | 165 | 170 | 621,111 |
| HRL12200WF2 | CSB | TAIWAN | 12 | 50 | 138 | 228 | 207 | 760,000 |
| GPL12520 | CSB | TAIWAN | 12 | 52 | 228 | 138 | 219 | 760,000 |
| GPL12750 | CSB | TAIWAN | 12 | 75 | 260 | 169 | 212 | 834,444 |
| HRL12280 | CSB | TAIWAN | 12 | 75 | 168 | 214 | 261 | 834,444 |
| GPL12880 | CSB | TAIWAN | 12 | 88 | 308 | 169 | 212 | 1,025,556 |
| GPL121000 | CSB | TAIWAN | 12 | 100 | 342 | 170 | 215 | 1,157,778 |
| HRL12390 | CSB | TAIWAN | 12 | 100 | 326 | 170 | 217 | 1,157,778 |
| MSJ350 | CSB | TAIWAN | 2 | 350 | | | | 400,000 |
| MSJ500 | CSB | TAIWAN | 2 | 500 | 241 | 171 | 365 | 550,000 |
| MSJ650 | CSB | TAIWAN | 2 | 650 | 307 | 171 | 365 | 800000 |

| SELLADAS DE LIBRE MANTENIMIENTO IMPORTADAS RECOMBINANTES | | | | | | | | |
|--|---------|-------|----|------|-----|-----|-----|-----------|
| UPS12-100MR | DYNASTY | U.S.A | 12 | 26 | 197 | 132 | 187 | 643,000 |
| UPS12-150MR | DYNASTY | U.S.A | 12 | 50 | 228 | 139 | 225 | 686,000 |
| UPS12-210MR | DYNASTY | U.S.A | 12 | 54.4 | 228 | 139 | 225 | 738,000 |
| UPS12-300MR | DYNASTY | U.S.A | 12 | 75 | 261 | 173 | 224 | 831,000 |
| UPS12-350MR | DYNASTY | U.S.A | 12 | 88 | 306 | 173 | 230 | 963,000 |
| UPS12-400MR | DYNASTY | U.S.A | 12 | 100 | 341 | 173 | 241 | 1,121,000 |
| UPS12-490MR | DYNASTY | U.S.A | 12 | 134 | 345 | 172 | 278 | 1,850,000 |

| DESCRIPCION | | | CAPACIDAD | | DIMENSIONES | | | PRECIO |
|--|---------|-------|-----------|-------|-------------|-----|------|---------|
| REFERENCIA | MARCA | PAIS | VOL | A / H | LAR | ANC | ALTO | PUBLICO |
| SELLADAS DE LIBRE MANTENIMIENTO IMPORTADAS RECOMBINANTES | | | | | | | | |
| CO-4-4 | COEXITO | CHINA | 4 | 4 | 47 | 47 | 107 | 22,222 |
| CO 4-6 | COEXITO | CHINA | 6 | 4 | 70 | 47 | 107 | 22,222 |
| CO 7-6 | COEXITO | CHINA | 6 | 7 | 151 | 34 | 101 | 29,389 |
| CO 12-6A | COEXITO | CHINA | 6 | 12 | 151 | 50 | 101 | 49,778 |
| CO 14-6 | COEXITO | CHINA | 6 | 14 | 108 | 71 | 140 | 69,000 |
| CO 1.2-12 | COEXITO | CHINA | 12 | 1.2 | 97 | 43 | 58 | 25,556 |
| CO 2-12 | COEXITO | CHINA | 12 | 2 | 179 | 35 | 67 | 37,056 |
| CO 4-12 | COEXITO | CHINA | 12 | 4 | 90 | 70 | 107 | 44,444 |
| CO 5-12 | COEXITO | CHINA | 12 | 5 | 90 | 70 | 107 | 47,222 |
| CO 7-12 | COEXITO | CHINA | 12 | 7 | 151 | 65 | 101 | 56,222 |
| CO 12-12 | COEXITO | CHINA | 12 | 12 | 151 | 99 | 101 | 100,222 |
| CO 17-12 | COEXITO | CHINA | 12 | 17 | 181 | 77 | 167 | 132,889 |
| CO 26-12A | COEXITO | CHINA | 12 | 24 | 165 | 125 | 178 | 230,000 |
| CO 34-12 | COEXITO | CHINA | 12 | 35 | 196 | 131 | 167 | 295,167 |
| CO 40-12 | COEXITO | CHINA | 12 | 40 | 198 | 166 | 174 | 310,000 |
| CO 50-12 | COEXITO | CHINA | 12 | 55 | 229 | 138 | 212 | 457,778 |
| CO 70-12B | COEXITO | CHINA | 12 | 70 | 260 | 169 | 215 | 471,500 |
| CO 90-12B | COEXITO | CHINA | 12 | 90 | 307 | 169 | 215 | 663,333 |
| CO 100-12C | COEXITO | CHINA | 12 | 100 | 332 | 175 | 220 | 766,667 |

| SELLADAS DE LIBRE MANTENIMIENTO IMPORTADAS RECOMBINANTES | | | | | | | | |
|--|------------|-------|----|-----|-----|-----|-----|-----------|
| HGL1.2-6 | FULL RIVER | CHINA | 6 | 1,2 | 97 | 24 | 58 | 30,922 |
| HGL4.4 | FULL RIVER | CHINA | 4 | 4 | 47 | 47 | 107 | 30,922 |
| HGL4.6 | FULL RIVER | CHINA | 6 | 4 | 70 | 47 | 107 | 30,556 |
| HGL7.6 | FULL RIVER | CHINA | 6 | 7 | 151 | 34 | 101 | 47,667 |
| HGL12.6 | FULL RIVER | CHINA | 6 | 12 | 151 | 50 | 101 | 65,389 |
| HGL14.6 | FULL RIVER | CHINA | 6 | 14 | 108 | 71 | 140 | 91,667 |
| HGL1.2-12 | FULL RIVER | CHINA | 12 | 1,2 | 97 | 43 | 58 | 34,222 |
| HGL2-12 | FULL RIVER | CHINA | 12 | 2 | 179 | 35 | 67 | 49,194 |
| HGL4-12 | FULL RIVER | CHINA | 12 | 4 | 90 | 70 | 107 | 58,667 |
| HGL5-12 | FULL RIVER | CHINA | 12 | 5 | 90 | 70 | 107 | 61,111 |
| HGL7-12 | FULL RIVER | CHINA | 12 | 7 | 151 | 65 | 101 | 74,556 |
| HGL12-12 | FULL RIVER | CHINA | 12 | 12 | 151 | 99 | 101 | 131,111 |
| HGL18-12 | FULL RIVER | CHINA | 12 | 17 | 181 | 77 | 167 | 174,778 |
| HGL24-12 | FULL RIVER | CHINA | 12 | 24 | 165 | 125 | 178 | 275,000 |
| HGL35-12 | FULL RIVER | CHINA | 12 | 35 | 196 | 131 | 167 | 388,667 |
| HGL40-12 | FULL RIVER | CHINA | 12 | 40 | 198 | 166 | 174 | 415,556 |
| HGL55-12 | FULL RIVER | CHINA | 12 | 55 | 229 | 138 | 212 | 547,556 |
| HGL70-12 | FULL RIVER | CHINA | 12 | 70 | 260 | 169 | 215 | 618,444 |
| HGL75-12 | FULL RIVER | CHINA | 12 | 75 | 260 | 170 | 215 | 673,444 |
| HGL90-12 | FULL RIVER | CHINA | 12 | 90 | 307 | 169 | 215 | 883,667 |
| HGL100-12 | FULL RIVER | CHINA | 12 | 100 | 332 | 175 | 220 | 1,008,333 |
| HGL120-12 | FULL RIVER | CHINA | 12 | 120 | 407 | 174 | 240 | 1,222,222 |
| HGL140-12 | FULL RIVER | CHINA | 12 | 140 | 341 | 173 | 287 | 1,500,000 |
| HGL200-12 | FULL RIVER | CHINA | 12 | 200 | | | | 1,800,000 |
| HGXL150-2 | FULL RIVER | CHINA | 2 | 150 | 172 | 110 | 365 | 235,000 |
| HGXL200-2 | FULL RIVER | CHINA | 2 | 200 | 172 | 110 | 365 | 300,000 |

3. Otros elementos

Fuente: Angélica Vargas (distribuidora de COEXITO S.A en Bucaramanga)

Precios sin iva

| ACCESORIOS PANELES SOLARES | | | | | | | | |
|----------------------------|-------|-----|-----------|--------------------|--------|--|--|---------|
| 921001W | STECA | USA | BOMBILLO | STECA 11 W | | | | 62,000 |
| PROS505 | STECA | USA | REGULADOR | STECA FOTOVOLTAICO | 5 AMP | | | 124,000 |
| SOLSUM6.6 | STECA | USA | REGULADOR | STECA FOTOVOLTAICO | 6 AMP | | | 117,000 |
| ST12/24-10 | STECA | USA | REGULADOR | STECA FOTOVOLTAICO | 10 AMP | | | 220,700 |
| ST12/24-15 | STECA | USA | REGULADOR | STECA FOTOVOLTAICO | 15 AMP | | | 240,000 |
| ST12/24-20 | STECA | USA | REGULADOR | STECA FOTOVOLTAICO | 20 AMP | | | 261,000 |
| ST12/24-30 | STECA | USA | REGULADOR | STECA FOTOVOLTAICO | 30 AMP | | | 389,000 |

| Elemento | Marca | V nominal | precio(\$) | Ofertante |
|-----------------|---------|-----------|------------|-------------|
| Inversor Monof. | TECH | 1 kW | 390000 | Casa Hermes |
| Inversor Monof. | MONSTER | 2 kW | 700000 | Casa Hermes |

| | | | | |
|-----------------------|--------|-------|---------|-------------|
| Inversor Monof. | | 400 w | 300000 | Vet. La red |
| Regulador | BP | 30 A | 800000 | Casa Hermes |
| Regulador | | 30 A | 200000 | Vet. La red |
| Transf. Autom. | LG | 30 A | 450000 | Casa Hermes |
| Transf. Autom. | LG | 50 A | 650000 | Casa Hermes |
| Transf. Autom. | Lovato | 100 A | 900000 | Casa Hermes |
| Transf. Autom.(cont.) | | 40 | 3250000 | Electrovera |
| Transf. Autom.(cont.) | | 50 | 3250000 | Electrovera |
| Transf. Autom.(cont.) | | 125 | 4013000 | Electrovera |

Algunos sitios de interés:

<http://www.sumsol.es/>

<http://www.top50-solar.de/es>

<http://ampaenergysolutionscolombia.es.tl/-EMPRESA--.htm>

<http://colombia.sensstech.com/>