

Pasantía de investigación: ingeniería conceptual para evaluar la instalación de un parque solar fotovoltaico en el sitio de disposición final de residuos sólidos El Carrasco

Andrea Katherine Pérez Lozano

Proyecto de grado para optar al título de Ingeniero Civil

Director:

Álvaro Viviescas Jaimes

PhD. en Ingeniería de la Construcción

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2019

Contenido

	Pág.
Introducción	13
1. Justificación	15
2. Recurso solar en Colombia	16
3. Caso de estudio	17
4. Zonas de estudio	19
4.1 Zona de estudio 1	20
4.2 Zona de estudio 2	22
5. Estudio del potencial energético solar	25
5.1 Radiación solar sobre la superficie terrestre	25
5.2 Hora pico solar (HSP)	27
6. Tipos de instalación fotovoltaica	28
7. Componentes de la instalación fotovoltaica conectada a la red.....	29
8. Dimensionamiento de la instalación solar con sus componentes	35
8.1 Cableado entre paneles y tramo Panel-inversor.....	40
8.2 Cableado para el tramo Inversor-Tablero de distribución.	41
8.3 Ubicación de los módulos fotovoltaicos	42
8.4 Orientación e inclinación del módulo fotovoltaico.....	43
8.5 Separación entre hileras de módulos.....	44

9. Potencia pico	44
10. Energía generada por el sistema	46
11. Estructura de soporte.....	48
11.1 Cargas Permanentes	50
12. Presupuesto	56
13. Observaciones	60
14. Conclusiones	61
15. Recomendaciones	64
Referencias Bibliográficas	65
Apéndices.....	68

Lista de Figuras

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Diagrama de bloques del estudio de pre factibilidad del parque solar.	16
<i>Figura 2.</i> Croquis del Sitio de disposición de basuras “El Carrasco”.	18
<i>Figura 3.</i> Estado actual de la Zona de estudio 1.....	21
<i>Figura 4.</i> Vista satelital de la zona 1.	21
<i>Figura 5.</i> Delimitación del área aproximada de la Zona de estudio 1.....	21
<i>Figura 6.</i> Comportamiento de la temperatura en la zona de estudio 1.	21
<i>Figura 7.</i> Comportamiento de la irradiancia en la zona de estudio 1.	22
<i>Figura 8.</i> Estado actual de la Zona de estudio 2.....	23
<i>Figura 9.</i> Vista satelital de la zona de estudio 2.	23
<i>Figura 10.</i> Delimitación del área aproximada de la Zona de estudio 2. Fuente: el autor.....	23
<i>Figura 11.</i> Comportamiento de la temperatura en la zona de estudio 2.	24
<i>Figura 12.</i> Comportamiento de la irradiancia en la zona de estudio 2.	24
<i>Figura 13.</i> Irradiancia solar.	27
<i>Figura 14.</i> Radiación solar.	28
<i>Figura 15.</i> Esquema de caja de conexión.	32
<i>Figura 16.</i> Esquema del tablero de distribución.	33
<i>Figura 17.</i> Esquema del tablero de medición y control.....	34
<i>Figura 18.</i> Esquema del transformador.	34

<i>Figura 19.</i> Arreglo de un kit fotovoltaico.....	39
<i>Figura 20.</i> Esquema de conexión entre paneles y panel-inversor.	40
<i>Figura 21.</i> Diagrama de Conexión a la red.....	42
<i>Figura 22.</i> Emplazamiento de la zona de estudio.....	45
<i>Figura 23.</i> Localización del emplazamiento seleccionado.....	45
<i>Figura 24.</i> Modelo de estructura de soporte,	50
<i>Figura 25.</i> Isométrico de la estructura de soporte.	54
<i>Figura 26.</i> Vista lateral de la estructura de soporte.	55
<i>Figura 27.</i> Vista superior de la estructura de soporte.....	55
<i>Figura 28.</i> Vista posterior de la estructura de soporte.....	55

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Comparativo de las tecnologías de células solares.</i>	30
Tabla 2. <i>Matriz de decisión.</i>	31
Tabla 3. <i>Datos técnicos del generador escogido</i>	36
Tabla 4. <i>Configuración de generadores</i>	38
Tabla 5. <i>Cantidad máxima de generadores por potencia de inversor.</i>	38
Tabla 6. <i>Datos técnicos del inversor escogido</i>	38
Tabla 7. <i>Peso total de la estructura metálica</i>	50
Tabla 8. <i>Elementos de fijacion paneles-estructura</i>	51
Tabla 9. <i>Peso unitario del módulo fotovoltaico.</i>	51
Tabla 10. <i>Coeficientes del espectro elástico sísmico para la Ciudad de Bucaramanga</i>	52
Tabla 11. <i>Periodo aproximado de la estructura</i>	52
Tabla 12. <i>Presión por velocidad a una altura z.</i>	53
Tabla 13. <i>Presión neta de diseño con las respectivas combinaciones para barlovento y sotavento.</i>	53
Tabla 14. <i>Presión de diseño.</i>	54
Tabla 15. <i>Presupuesto para un kit fotovoltaico.</i>	57
Tabla 16. <i>Presupuesto del parque solar completo.</i>	57
Tabla 17. <i>Presupuesto para 12 kits o 1 tablero de distribución. Fuente: elaboración propia.</i> ..	58

Tabla 18. *Costos de operación del sistema fotovoltaico*..... 58

Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndice A. Esquema unifilar del parque fotovoltaico.....	68
Apéndice B. Diagrama de conexiones del Parque solar fotovoltaico	69
Apéndice C. Cotización electrovera.....	70
Apéndice D. Cotización Meico S.A.....	71
Apéndice E. Cotización Inter electricas Ltda.....	72

Resumen

TITULO: Pasantía de investigación: ingeniería conceptual para evaluar la instalación de un parque solar fotovoltaico en el sitio de disposición final de residuos sólidos El Carrasco *

AUTOR: Andrea Katherine Pérez Lozano **

PALABRAS CLAVE: Energía Solar; Parque solar; Sistema Fotovoltaico; Potencial energético; Viabilidad económica.

DESCRIPCIÓN:

Las fuentes de energía renovable proporcionan soluciones a las problemáticas de aumento del consumo energético, es tiempo de realizar una transición de las fuentes convencionales (carbón, gas, petróleo, etc.) las cuales tienen volúmenes limitados e implican afectaciones ambientales. Los sistemas fotovoltaicos incursionan como una de las alternativas para la generación de energía eléctrica, obteniendo su capacidad de un recurso limpio e inagotable; el Sol. Sin embargo, al ser tecnologías novedosas, la implementación de los mismos hace necesario la estimación de la energía solar disponible para establecer su viabilidad económica. En este documento se presenta un estudio del potencial solar en el sitio de disposición final de residuos sólidos El Carrasco en la ciudad de Bucaramanga (Santander), con el objetivo de evaluar el recurso energético para la construcción de un parque solar fotovoltaico. Para tal efecto se siguió una metodología que comprendió la elección del equipo de medición, una estación meteorológica, con la que se realizaron mediciones horarias, permitiendo la evaluación del recurso solar en las zonas de estudio y la posterior localización del parque solar fotovoltaico, el estudio del potencial energético solar en la zona seleccionada y la propuesta de diseño del parque solar, finalmente se desarrolló un análisis de la generación y una estimación financiera para la determinación de los costos de inversión y operación del proyecto.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Civil. Director: Álvaro Viviescas Jaimes, PhD en Ingeniería de la construcción.

Abstract

TITLE: Research internship: conceptual engineering to evaluate the installation of the photovoltaic solar park at the El Carrasco solid waste final disposal site.*

AUTHOR: Andrea Katherine Pérez Lozano **

KEY WORDS: Solar Energy; Solar Park; Photovoltaic System; Energy potential; Economic feasibility.

DESCRIPTION:

Renewable energy sources provide solutions to the problems of increasing energy consumption, it is time to make a transition from conventional sources (coal, gas, oil, etc.) which have limited volumes and imply enormous environmental effects. Photovoltaic systems appear as one of the alternatives for the generation of electricity, obtaining their capacity from a clean and inexhaustible resource; the Sun. However, these innovative technologies and their implementation, makes it necessary to estimate the available solar energy to establish its affordability. This document presents a study of the solar potential at the final disposal site of solid waste in “El Carrasco”, Bucaramanga (Santander). This, with the aim of evaluating the energy resource, to build a Photovoltaic Solar Park. For this purpose, a methodology was followed that included the choice of measuring equipment, a weather station, with which time measurements were made, allowing the evaluation of the solar resource in the study areas and the subsequent location of the photovoltaic solar park, the study of the solar energy potential in the selected area and the design proposal of the solar park, finally an analysis of the generation and a financial estimate for the determination of the investment and operation costs of the project were developed.

*Thesis

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Civil. Director: Álvaro Viviescas Jaimes, PhD en Ingeniería de la construcción.

Introducción

La energía solar es una fuente gratuita, limpia e inagotable, el sol irradia la superficie de la tierra con más energía en una hora que la que puede ser consumida por la civilización humana en un año (Energy Information Administration, 2018) con la ventaja de lograr su generación en el mismo lugar de consumo por medio de la integración de células fotovoltaicas sobre determinada estructura; consiste en el aprovechamiento de la energía de la luz radiante emitida por el sol, que es interceptada por la tierra para convertirla en corriente eléctrica. En Colombia las diferencias geográficas regionales definen una serie de factores determinantes para las características de incidencia de la radiación solar que pueden variar según la posición geográfica, la distancia al mar, el promedio de lluvias y las condiciones del suelo (Rodríguez M. H., 2009).

Santander, actualmente se encuentra bajo una crisis por el uso del suelo, esto se debe a la mala distribución y administración de este, la variable de conflicto representa las áreas de territorio que presentan usos de suelo inadecuados, muy inadecuados y subutilizados; para el 2030 se busca que disminuya de un 42,8 % a un 21,4 % a través de la ejecución de planes y esquemas de ordenamiento territorial, aplicación de regulaciones ambientales y la transformación de los sistemas productivos (Secretaría de Planeación del Departamento de Santander, Grupo de Investigación sobre Desarrollo Regional y Ordenamiento Territorial – GIDROT de la Universidad Industrial de Santander, 2011), Así mismo la demanda energética en Colombia registra crecimientos por encima de los proyectados por la Unidad de Planeación Minero Energética (UMPE) (Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) y CORPOEMA, C. E., 2010).

De esta manera, contribuir en el estudio de fuentes de energías limpias, como la solar, adoptada a estándares eficaces en función del costo; la gestión y el correcto uso del suelo, como la construcción de centros de producción bioenergéticos en los rellenos sanitarios, para el aprovechamiento de estos terrenos desvalorizados y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, promueve nuevas alternativas de obtención de energía que mitigarían parte del daño ocasionado por las industrias, parques automotores, entre otros, que a su vez apoyan el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 7, 12 y 13, energía asequible y no contaminante, producción y consumo responsables y la acción por el clima respectivamente del documento del Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES) (Consejo Nacional de Política Económica y social, Republica de Colombia, Departamento Nacional de Planeación, 2018).

Los vertederos cerrados son sitios potenciales para la ubicación de parques solares; puesto que, brindan un espacio abierto, grande, con usos ajenos al agrícola u otros productivos, poseen ubicaciones lejos de áreas ambientalmente protegidas y su transformación no afecta a los ecosistemas sensibles (Szadó, y otros, 2017). La transición hacia un modelo de sociedad más sostenible es, quizás, el desafío más importante; la implementación de sistemas alimentados con energías renovables aumenta progresivamente debido a sus múltiples ventajas, hoy por hoy existen bases de datos como el Ideam, Nasa; Swera, Meteonorm, Solargis u otros, con información de estaciones ubicadas en distintos puntos del planeta, que se han proyectado para la obtención de buenas aproximaciones de las variables meteorológicas.

En la ejecución de proyectos fotovoltaicos se necesitan instalaciones centralizadas que abarcan gran extensión de terreno y que mejor oportunidad para valorizar suelos que estén en desuso como los rellenos sanitarios, posterior a cumplir su vida útil. En este trabajo se presenta un

estudio del potencial energético solar en el sitio de disposición final de residuos sólidos El Carrasco. Para esto, se ubicó una estación meteorológica en las zonas de estudio, con el fin de obtener parámetros característicos del comportamiento de la radiación solar, seleccionar las áreas con mayor capacidad aportante y realizar un análisis técnico que permita una implementación por fases, estimando los costos de inversión y operación en la construcción de un parque solar.

1. Justificación

Este proyecto emerge de la necesidad de contribuir al desarrollo de las energías amigables con el medio ambiente y sus procesos de transformación en energía aprovechable para el consumo. El grupo de investigación en materiales y estructuras de construcción (INME) de la Universidad Industrial de Santander evalúa la pre factibilidad de la construcción de un parque solar en el sitio de disposición final de residuos sólidos el Carrasco, para esto tiene en marcha actualmente tres líneas investigativas, la primera, enfocada a un estudio del entorno y tecnología con el “Estado actual del aprovechamiento de rellenos sanitarios clausurados para generación de energías renovables”, las otras dos, encargadas del estudio técnico, “La caracterización geotécnica en el sitio de disposición final de residuos sólidos El Carrasco mediante el uso de ensayos geofísicos” y el presente, “La ingeniería conceptual para evaluar la instalación de un parque solar en el sitio de disposición final de residuos sólidos El Carrasco.”

Posteriormente se deberá realizar una ingeniería de detalle que culmine el estudio técnico, así mismo desarrollar los estudios de mercados, legal y ambiental que entregaran la información necesaria para realizar la evaluación financiera, económica y social.



Figura 1. Diagrama de bloques del estudio de pre factibilidad del parque solar.

2. Recurso solar en Colombia

Colombia, es un lugar privilegiado por su ubicación geográfica en lo referido a la energía solar recibida durante el año, la línea del Ecuador colinda con el país por el sur, localizándolo en la zona tórrida o intertropical; región de bajas latitudes; la incidencia de los rayos del sol penetran con verticalidad similar, lo que ocasiona que la duración de los días y las noches sea semejante y no existan estaciones, por lo que se distingue únicamente un comportamiento bimodal (invierno lluvioso y verano seco).

El mayor potencial en Colombia se encuentra en las regiones de la Costa Atlántica y Pacífica, la Orinoquía y la Región Central. Actualmente se encuentra el Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia, el cual busca mostrar e informar por medio de estaciones

meteorológicas (información radiométrica) la disponibilidad de energía solar en el territorio nacional, en cuanto a radiación solar global, insolación y brillo solar (Rodríguez & González, 1992) (MME, INEA, and HIMAT, 1993) (Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) e Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), 2005)] (IDEAM and UPME, s.f.). Una radiación diaria mayor a 3 kWh/m^2 (3 HSP), representa un potencial solar adecuado para el desarrollo de proyectos de energía solar fotovoltaica (Igrahim, S. et al., 2012). De acuerdo con el IDEAM, Colombia recibe un promedio diario de $4,5 \text{ kWh/m}^2$ de energía solar, lo que equivale a una insolación promedio anual de 1642.5 kWh/m^2 , favorable para ser utilizado en generar y suplir las necesidades de energía eléctrica por medio de sistemas solares fotovoltaicos.

3. Caso de estudio

Con el propósito de reducir las emisiones de gases, lograr el aprovechamiento de las áreas clausuradas en terrenos baldíos y depreciados como lo son los rellenos sanitarios, se pretende la conversión del “Carrasco” en un ecosistema para la generación de energías renovables. El Carrasco es un relleno sanitario que se encuentra ubicado entre los municipios de Bucaramanga y Girón, en la zona central del Distrito de Manejo Integrado (DMI), conocida como Malpaso, su entrada es por las vías de la autopista Bucaramanga-Girón y limita con el barrio El porvenir de la comuna 11 sur. Empezó a ser utilizado para este fin desde 1978 como un botadero a cielo abierto sin ningún control técnico o ambiental, posteriormente por sus condiciones topográficas y porque ya se disponían basuras en el sector, se adquirió el predio para su construcción; en él se disponen las

basuras del área metropolitana de Bucaramanga y de otros 13 municipios santandereanos. El terreno tiene una extensión de 93.2 aproximadamente, dividida en cuatro celdas o cárcavas naturales, un reciente parque contemplativo y la escombrera.



Figura 2. Croquis del Sitio de disposición de basuras “El Carrasco”.

La antigua celda uno, tiene un área de 48724,120 m² y colinda con un domo de 22000,000 m², zona ya clausurada por llegar a su capacidad máxima; la cárcava dos, corresponde al antiguo botadero, clausurado luego de ocho años de uso con un área de 9000,000 m²; la tercera celda es considerada inadecuada para la disposición de basuras con 24916,662 m² y la celda cuatro, disposición vigente del relleno, cuenta con un área de 83141,963 m², de la cual se presume poca disponibilidad para el vertimiento de desechos que conllevaría a su cierre total. Además, podemos encontrar un área de 127808,034 m² que corresponde al parque contemplativo y un sector llamado la escombrera que se encuentra en funcionamiento con 22383,756 m².

4. Zonas de estudio

Al realizarse las respectivas visitas de reconocimiento del terreno se determinaron dos zonas para la posible ubicación del parque solar, la cárcava 1 y la escombrera; esto sujeto a los permisos brindados por la empresa de recolección de desechos para la toma de muestras y al estado actual del espacio, caracterizado por ser zonas planas, libres de obstáculos, elementos cercanos, como árboles, estructuras o agentes externos que impidan a la luz solar llegar uniformemente sobre la superficie, generando sombras, evitando el impacto en la reducción de potencia de salida y la eficiencia de conversión de energía en la instalación de las futuras celdas solares.

Se realizó el posicionamiento de una estación meteorológica durante tres días, para la evaluación de dos variables importantes consideradas en nuestro estudio; la temperatura y la irradiancia solar. Esto con la finalidad de tener presente un estimado en sitio de las mismas, sabiendo que a medida que aumenta la irradiancia aumenta también la corriente producida por la celda solar, por lo que se desea asegurar que las celdas solares se mantengan la mayor cantidad de tiempo de cara al sol. El rendimiento eléctrico como la potencia de salida del módulo, dependen linealmente de la temperatura de funcionamiento del panel (Dubey, Sarvaiya, & Seshadri, 2013), este disminuye, con el aumento de su temperatura de trabajo, en el orden de $0,5 \% / ^\circ\text{C}$ (Anis & Van Overstraeten, 1985).

Los paneles solares absorben en promedio el 80% de la irradiación solar recibida una parte de esta irradiancia se convierte en electricidad y la restante se convierte en calor (Van Helden, Van Zolingen, & Zondag, 2004) (Kant, Shukla, Sharma, & and Henry, 2016). La fracción que se

convierte en calor aumenta la temperatura del módulo, formando concentraciones de portadores intrínsecos, produciendo una mayor saturación de corriente, lo que provoca una reducción en la eficiencia y deterioro en el panel fotovoltaico (Kempe, y otros, s.f.).

4.1 Zona de estudio 1

La escombrera, como es llamada por la EMAB (Empresa de Aseo De Bucaramanga), es un sitio de disposición de desechos que no están inmersos en un programa de recuperación o aprovechamiento, estos elementos son destruidos, compactados y posteriormente cubiertos por una capa de material natural o sintético durante los días de operación. Esta zona se encuentra aún en funcionamiento, razón por la cual el suelo presenta cubierta vegetal, es un horizonte relativamente despejado, alrededor de su perímetro hay presencia de flora, árboles que son fronteras notorias al barrio contiguo.

En la siguiente lista se presentan características propias de la zona uno, las figuras 3, 4 y 5 muestran el estado actual, una vista satelital y una delimitación del área aproximada, respectivamente, además en las gráficas 1 y 2 se evidencia el comportamiento de la temperatura en $^{\circ}\text{C}$ y la irradiancia en W/m^2 , cada curva representa un día de estudio durante doce horas de registro (6:00 a.m. - 6:00 p.m.).

- **Latitud:** $07^{\circ} 04' 45''$ N
- **Longitud:** $73^{\circ} 08' 15''$ N
- **Altura:** 868 m
- **Área zona de estudio 1:** $22383,756 \text{ m}^2$



Figura 3. Estado actual de la Zona de estudio 1.



Figura 4. Vista satelital de la zona 1. Nota. Tomado de: Google Earth.



Figura 5. Delimitación del área aproximada de la Zona de estudio 1.

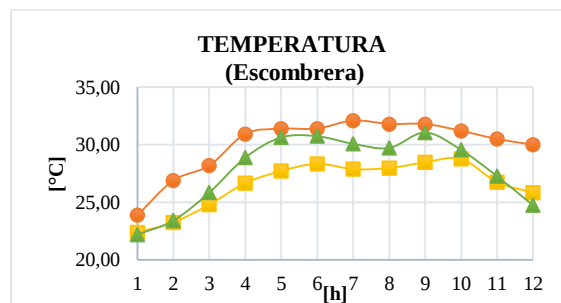


Figura 6. Comportamiento de la temperatura en la zona de estudio 1.

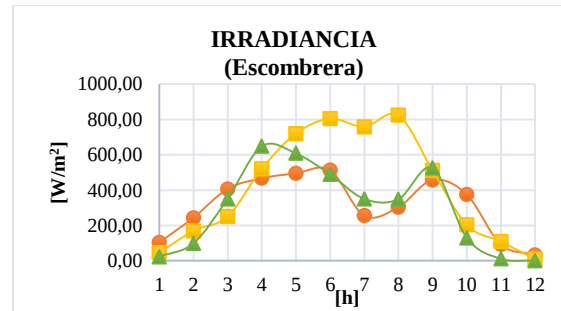


Figura 7. Comportamiento de la irradiancia en la zona de estudio 1.

4.2 Zona de estudio 2

Esta zona está comprendida por la antigua celda 1 y un domo aledaño con la cárcava, en este sector se ubica gran parte de las estructuras de ventilación que permiten la salida de gases producidos por la biodegradación de los residuos sólidos, también conocidas como chimeneas. Es un espacio aislado, mayoritariamente plano, cuenta con excelente exposición para la ubicación de los paneles fotovoltaicos, libres de obstáculos naturales o edificaciones que proyecten sombras que afecten su eficiencia.

No tiene restricciones para su orientación, lo cual maximiza la generación de electricidad. Buena accesibilidad para el traslado de equipos pesados en su etapa constructiva (nivelación del terreno, acarreo de materiales, movimiento de tierra).

En la siguiente lista se presentan características propias de la zona dos, las figuras 6, 7 y 8 muestran el estado actual, una vista satelital y una delimitación del área aproximada, respectivamente, además en las gráficas 3 y 4 se evidencia el comportamiento de la temperatura °C y la irradiancia en W/m^2 , cada curva representa un día de estudio durante doce horas de registro (6:00 a.m. - 6:00 p.m.).

- **Latitud:** 07° 04' 40" N

- **Longitud:** 73° 08' 40" N
- **Altura:** 805 m
- **Área Antigua Celda 1:** 48724,120 m²

Área Domo: 22000,000 m²

Área zona de estudio 2: 70724,120 m²



Figura 8. Estado actual de la Zona de estudio 2.



Figura 9. Vista satelital de la zona de estudio 2.



Figura 10. Delimitación del área aproximada de la Zona de estudio 2. Fuente: el autor

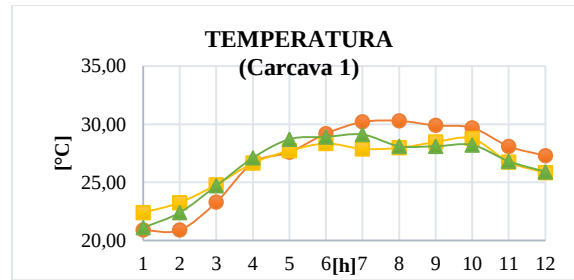


Figura 11. Comportamiento de la temperatura en la zona de estudio 2.

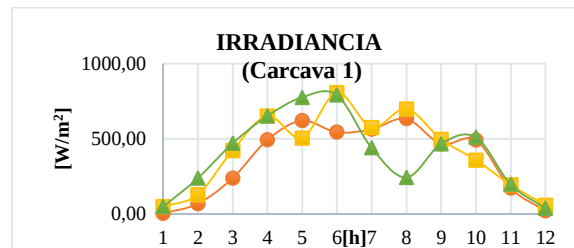


Figura 12. Comportamiento de la irradiancia en la zona de estudio 2.

Al realizar el análisis de las dos posibles zonas, con la salvedad de que la muestra tomada no alcanza a ser representativa para un diseño, pero si arroja una valoración que puede ser comparada con proyectos similares o referencias de las variables en cuestión, se concluye que ambas cuentan con un buen recurso solar; puesto que la densidad de potencia por unidad de superficie, calculada como el promedio de los datos entregados por la estación meteorológica, en la zona 1 es de $341 \text{ W}/\text{m}^2$ y en la zona 2 de $393 \text{ W}/\text{m}^2$. La temperatura es muy similar entre una y otra, para la primera $28,25 \text{ }^{\circ}\text{C}$, para la segunda $26,72 \text{ }^{\circ}\text{C}$ en promedio; es decir que las repercusiones en las celdas fotovoltaicas no podría ser un factor determinante en la elección; motivo por el cual, se opta por seleccionar el espacio con mayor área, lo cual corresponde a la zona 2, ya que permitirá la instalación de un mayor número de módulos, que representan una mayor capacidad de producción de energía eléctrica del parque solar fotovoltaico.

5. Estudio del potencial energético solar

5.1 Radiación solar sobre la superficie terrestre

La radiación solar es sometida a una combinación de procesos de reflexión, atenuación y difusión que afectan sus propiedades. Las nubes, el CO₂, el vapor de agua, el ozono, entre otros; intervienen en el proceso de atravesar la atmósfera terrestre, es por esto que se distinguen tres tipos de componentes sobre el total que incide sobre una superficie arbitraria. La radiación directa, aquella que llega sin haber sufrido cambio alguno en su dirección, se caracteriza por proyectar una sombra definida de los objetos opacos que la interceptan; la radiación difusa atraviesa la atmósfera y es reflejada por las nubes o absorbida por éstas. Esta radiación, va en todas direcciones, como consecuencia de las reflexiones y absorciones, no sólo de las nubes sino de las partículas de polvo atmosférico, montañas, árboles, edificios, el propio suelo. El albedo, es aquella radiación reflejada por la superficie terrestre, depende del coeficiente de reflexión de la superficie, en ocasiones puede ser despreciable. Las superficies horizontales no reciben ninguna radiación reflejada, porque no ven ninguna superficie terrestre y las superficies verticales son las que más radiación reflejada reciben. La radiación global, la suma de las tres anteriores.

La evaluación del recurso se ejecuta utilizando instrumentos que reciben el nombre de radiómetros y mediante modelos matemáticos de estimación que correlacionan la radiación global con el brillo solar. Los radiómetros solares como los piranómetros y los pirheliómetros, según sus características se pueden clasificar bajo diversos criterios: el tipo de variable que se pretende

medir, el campo de visión, la respuesta espectral, etc. Asimismo, se pueden consultar las bases de datos encontradas en plataformas virtuales, aunque estas informaciones están restringidas para sectores en los que no se han realizado mediciones detalladas y en últimas instancias se podría disponer del promedio proporcionado en los mapas solares para cualquier lugar del planeta.

Para el estudio del potencial energético en la zona escogida, se dispuso una estación meteorológica, equipada con un pirómetro, encargado de medir la radiación solar global. La información recolectada en los cuatro meses de medición en la zona de estudio, arrojó las siguientes condiciones atmosféricas.

- Temperatura ambiente: 25-32°C
- Humedad relativa promedio: 48,1%
- Velocidad máxima del viento: 3,1 m/s

Para la irradiancia solar, se realizaron promedios de los 73 días de información registrada en campo y se construyó una curva que representa el comportamiento durante el tiempo de exposición, comprendido desde las 6:00 a.m. hasta las 6:00 p.m.

En la gráfica 5, se representa la irradiancia solar promedio, en ella, es posible observar que la mayor potencia por unidad de superficie se da alrededor de las 11:00 a.m. con una magnitud de 641 W/m². El promedio de todos los datos tomados durante las doce horas del día es de 344 W/m².

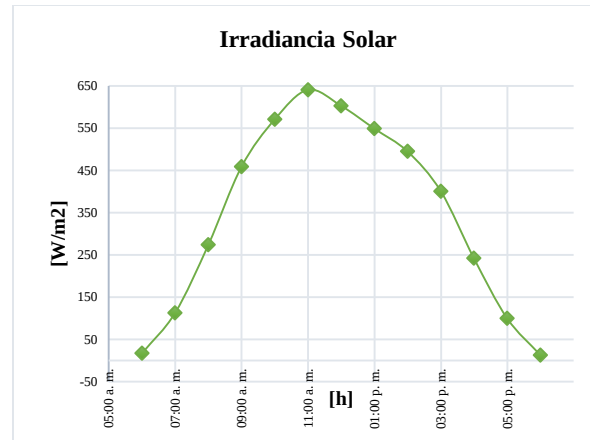


Figura 13. Irradiancia solar.

5.2 Hora pico solar (HSP)

Es una unidad que mide la irradiación solar, definida como la energía por unidad de superficie, que se recibiría con una hipotética irradiancia solar constante de 1000 W/m^2 (Daut, Irwanto, Irwan, Gomesh, & Ahmad, 2011). Entonces, 1 HSP es equivalente a 1 kWh/m^2 .

$$HSP = \frac{1}{1000} \sum_i^{24} R_i \quad (1)$$

En la ecuación (1), R_i , representa la radiación para la hora i en W/m^2 . Las horas solares pico, establecen el equivalente al número de horas al día en las que un panel solar fotovoltaico proporcionaría su potencia pico nominal. En síntesis, si se multiplica la potencia pico de una instalación por las HSP, se obtendría la energía solar proporcionada por la instalación eléctrica de paneles solares al día.

Se procesaron los datos recopilados y se calculó la radiación solar para los meses de febrero, marzo, abril y mayo. En la gráfica 6, se puede apreciar que el potencial energético solar va en crecimiento a lo largo de los meses registrados, con radiaciones que oscilan entre los 4,3 y $4,65 \text{ kWh/m}^2$.

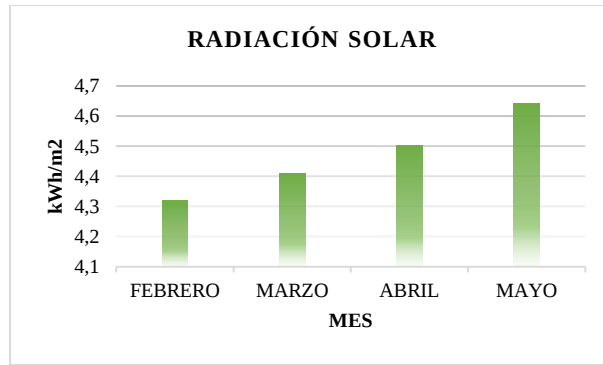


Figura 14. Radiación solar.

Para proyectar la radiación presentada en los meses en curso se utilizó estadística descriptiva, se estableció una amplitud, calculada con el rango o la diferencia entre el valor máximo y mínimo de la muestra, dividido en determinado intervalo. Con esto, fue posible observar la frecuencia de los valores, los más repetidos en este estudio se encontraban en el orden de los 4,65 y 4,92 kWh/m², el promedio de los contenidos en este margen, arrojó 4,80 kWh/m², que captados los 365 días del año representan 1752,77 kWh/m².

6. Tipos de instalación fotovoltaica

Un sistema fotovoltaico es el conjunto de equipos eléctricos y electrónicos que producen energía eléctrica a partir de la radiación solar. A grandes rasgos los sistemas fotovoltaicos pueden clasificarse en dos grandes grupos, conectados a red (grid connected) y autónomos (off-grid).

Instalación de conexión a red (Grid Tie): Son sistemas que producen energía eléctrica para ser inyectada íntegramente en la red convencional, la producción de electricidad se realiza durante el día, no existen limitantes de almacenamiento, se aprovecha toda la energía generada.

Instalación aislada (Stand Alone): Son conexiones totalmente independientes de la red de distribución, donde la producción energética es almacenada en una serie de baterías, con la finalidad de abastecer el sitio donde se ubican, su común denominador es la necesidad de satisfacer una demanda energética determinada. Por esta razón, prácticamente todos los sistemas autónomos incorporan un equipo de acumulación de energía. Son utilizadas habitualmente para suministrar bajos consumos.

Teniendo en cuenta las definiciones anteriores, se determinó realizar el diseño del parque solar fotovoltaico conectado a la red nacional, esto basado en la alta extensión de área de la zona de estudio seleccionada, la retribución económica que se obtendría con la transformación de la energía, la mayor simplicidad en la conexión por el número de elementos requeridos para su correcto funcionamiento y evitar el impacto ambiental negativo, con el uso de baterías.

7. Componentes de la instalación fotovoltaica conectada a la red

Módulos fotovoltaicos: Son la combinación de celdas solares que permiten transformar la radiación del sol en electricidad, a su vez, pueden conectarse en serie, paralelo o en arreglos de serie-paralelo, formando una cadena o matriz fotovoltaica conocida como parque solar. Para una buena selección de módulos, se deben observar los rangos de operación especificados por los

fabricantes, pues existen las Condiciones Estándar de Medida (STC) de uso universal y las Condiciones de Temperatura de Operación Nominal de la Célula (TONC), presentando características entregadas por los equipos (potencia máxima, corriente de cortocircuito, voltaje de circuito abierto y factor de forma) bajo esas condiciones (Prado Alarcón, 2015).

Es indispensable conocer el tipo de tecnología y el material utilizado para su construcción, es por ello que en la tabla 1, se detalla un comparativo entre las más habituales o utilizadas en la actualidad.

Tabla 1.

Comparativo de las tecnologías de células solares.

Tecnología/ Características	Eficiencia actual de los módulos	Precios de los módulos	Área requerida para 1 kW	Resistencia a la temperatura	Cuota de mercado actual	Garantía del rendimiento	Ventajas	Desventajas
Monocrystalino	15-22%	2400\$COP/ W	6-9 m ²	Alta.	0,9	25 años	Alta pureza. Larga vida útil	Dependencia de los precios de las materias primas.
Policristalino	13-17%	1980\$COP/ W	8-9 m ²	Buena, menos resistente que el Monocrystalino.	0,9	25 años	Se producen en forma cuadrada, sin cortes posteriores.	Mayor necesidad de espacio.
Amorfo	6-8%	2200\$COP/ W	13-20 m ²	Tolera altas temperaturas.	0,039	10-25 años	Se necesita poco material para su fabricación. Células finas, flexibles de fácil adaptación.	Baja eficiencia a largo plazo, degradación próxima.

Nota: Adaptado de “Manual básico de innovaciones tecnológicas para su mejor aprovechamiento” (Takeuchi, 2014) y “Una Apuesta de Futuro Sostenible” (Gimeno Sales, Orts Grau, & Seguí Chilet, 2014).

Para la selección del panel a utilizar se deben tener en cuenta criterios técnicos y económicos que fluctúan en el tiempo según las condiciones del mercado. Reconociendo las distintas tipologías, se establecieron cuatro aspectos cuantificables tales como eficiencia, costo, disponibilidad y garantía, para elaborar una matriz de decisión, destacando que; 1: No factible 2: Posible 3: Factible.

Tabla 2.

Matriz de decisión

CRITERIO	Eficiencia	Costo	Disponibilidad	Garantía	Total
Factor de peso [%]	0,3	0,3	0,2	0,2	1
Monocristalino	3	2	3	3	2,7
Policristalino	3	3	3	3	3
Amorfo	1	2	1	2	1,5

De acuerdo a los resultados obtenidos en la tabla 2, es posible concluir que el tipo de panel con el que se llevará a cabo el diseño será el policristalino.

Inversor: Es un dispositivo de acople, encargado de transformar la corriente continua producida por los módulos fotovoltaicos en corriente alterna para así poder llevarla a la condición requerida por la red eléctrica. Sus características principales son la tensión de entrada, la potencia máxima de salida y la eficiencia.

En la figura 9, se presenta el esquema de la caja de conexión en el que estará dispuesto el inversor con sus respectivos elementos de protección; el gabinete estará conectado al sistema fotovoltaico en su entrada y en su salida al tablero de distribución.

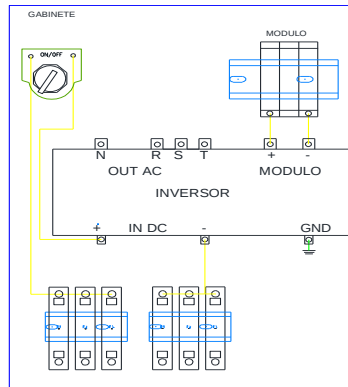


Figura 15. Esquema de caja de conexión.

Tablero de distribución: Son tableros monofásicos que contienen dispositivos de conexión, maniobra, protección, alarma y señalización. Su función principal es proteger los circuitos en los que se divide una instalación.

En la figura 10, se presenta el esquema del tablero de distribución contemplado, este se conecta a la entrada con el inversor y a la salida con el tablero de medición y control.

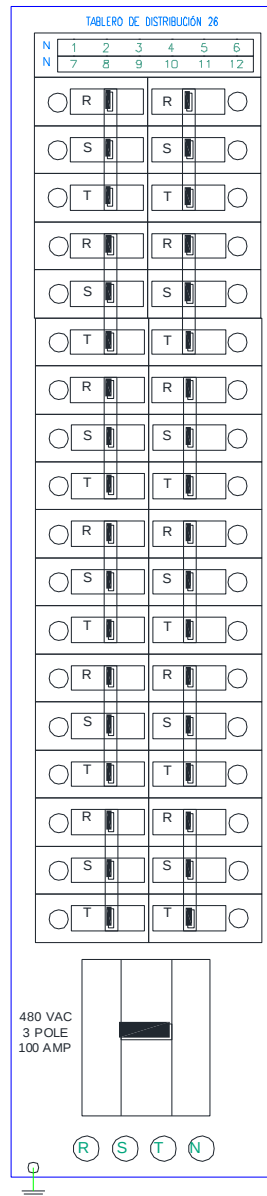


Figura 16. Esquema del tablero de distribución.

Tablero de control y medidor: son gabinetes trifásicos con un medidor integrado para totalizar la energía de producción. En la figura 11, se presenta el esquema del tablero de medición y control, que está conectado a la entrada con el tablero de distribución y a la salida con el transformador.

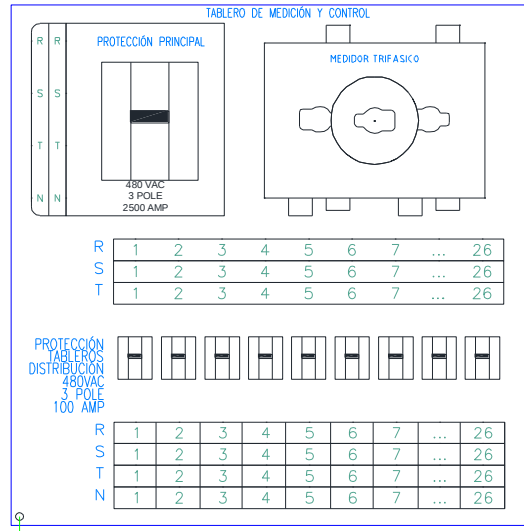


Figura 17. Esquema del tablero de medición y control.

Transformador: Es un dispositivo electromagnético que permite aumentar o disminuir la tensión y la intensidad de la corriente alterna manteniendo constante la potencia, es el encargado de entregar la energía a la red eléctrica.

En la figura 12, se presenta el esquema del transformador, el cual está conectado a la entrada con el tablero de medición y control y a la salida con la red de distribución.

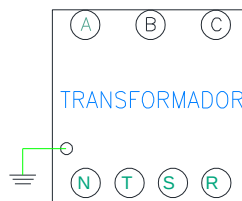


Figura 18. Esquema del transformador.

Tuberías y cables: Son las conexiones o conductos para el transporte de la energía eléctrica.

Dispositivos de protección: Se refiere a los dispositivos requeridos para proteger la instalación. Se deben incorporar aislamientos eléctricos para equipos y materiales, incluyendo elementos frente a contactos críticos, contar con las protecciones de cortocircuitos, sobrecargas, sobretensiones internas y externas.

8. Dimensionamiento de la instalación solar con sus componentes

Para el diseño del parque solar fotovoltaico se establecen una serie de parámetros que se calcularán en este apartado. Se debe conocer cuántos paneles por inversor se han de colocar, cuantos se dispondrán en serie y en paralelo, a partir de la ficha técnica del panel e inversor.

La ecuación 2, presenta la cantidad máxima de generadores por inversor, se calcula como el cociente entre las potencias de los equipos.

$$\text{Cantidad maxima de generadores} = \frac{\text{Potencia nominal inversor [W]}}{\text{Potencia máxima generador[w]}} \quad (2)$$

La ecuación 3, presenta el número máximo de módulos que se pueden asociar en serie, este, viene determinado por las tensiones características del inversor y las del módulo utilizado en la instalación.

$$\text{Generadores en serie} = \frac{\text{Tension de operación inversor [V]}}{\text{Tension máxima generador[V]}} \quad (3)$$

La ecuación 4, presenta el número máximo de ramas en paralelo, se determina a partir de la corriente del inversor y la corriente máxima del generador.

$$\text{Generadores en paralelo} = \frac{\text{Corriente de operación inversor [A]}}{\text{Corriente máxima generador[A]}} \quad (4)$$

En el procesamiento de datos, es importante tener en cuenta que los componentes vienen diseñados para una capacidad máxima, sin embargo, otros son sus rangos de operación habitual debido al porcentaje de eficiencia de los mismos. Para escoger los equipos que conforman el diseño fotovoltaico, fue necesario conocer las condiciones ambientales de la zona seleccionada en el Carrasco, se tuvo en cuenta que la ubicación de los distribuidores residiera en Colombia con la finalidad de evitar inconvenientes en la importación, ahorro en los costos de transporte y la efectividad de las garantías.

Basado en la información recopilada de la zona de diseño se eligió un generador de las siguientes características.

Tabla 3.

Datos técnicos del generador escogido

Generador	
Marca	HONEY
Línea	PD05
Referencia	TSM-275
Potencia máxima en vatios- P _{MAX} (W _p) *	275
Tolerancia de salida de potencia-P _{MAX} (W)	0 ~ +5
Voltaje máximo de potencia- V _{MPP} (V)	31,1
Corriente de potencia máxima-I _{MPP} (A)	8,84
Voltaje de circuito abierto- V _{OC} (V)	38,5

Generador	
Corriente de cortocircuito- ISC (A)	9,25
Módulo Eficiencia (%)	16,8
Dimensiones (mm)	1650 × 992 × 35
Numero de celdas	60
Peso (Kg)	18,6
NOCT (temperatura nominal de la celda de operación)	44°C (±2°C)
Coeficiente de temperatura de P _{MAX}	- 0.41%/°C
Coeficiente de temperatura de COV	- 0.32%/°C
Coeficiente de temperatura del ISC	0.05%/°C

Nota. Recuperado de “The allmax framed 60-cell module”, de Trinasolar, 2017.

Se efectuaron los cálculos para distintas configuraciones, haciendo variaciones en la potencia del inversor, con la finalidad de disponer de forma óptima los generadores, de acuerdo a las características de los dispositivos especificadas por el fabricante. Se realizaron arreglos con todas las potencias ofrecidas por la misma línea, 12kW, 15kW, 20kW, 24kW y 30kW. Los resultados obtenidos se muestran en las tablas 4 y 5.

Tabla 4.

Configuración de generadores

Max g. Serie	Max g. Paralelo	Total generadores
24	3	72

Tabla 5.

Cantidad máxima de generadores por potencia de inversor

[W]	Cantidad Maxima Generadores
12000	43
15000	54
20000	72
24000	86
30000	109

Con el propósito de formar una matriz que satisfaga la cantidad máxima de generadores sin exceder el límite a emplazar en serie y en paralelo, se evidenció que una configuración optima es utilizando una potencia de 20 kW. En la tabla 6, se presentan las especificaciones del inversor seleccionado.

Tabla 6.

Datos técnicos del inversor escogido

Inversor	
Marca	SMA
Línea	SUNNY TRIPOWER
Referencia	20000TL-US

Inversor	
Potencia máxima DC (W)	20400
Voltaje máximo DC (V)	1000
Rango de voltaje nominal MPPT	380 - 800
Máxima corriente de entrada [A]	33
Potencia nominal AC (W)	20000
Eficiencia	97,50%
Dimensiones (mm)	665/650/265
Peso (kg)	55
Rango de temperatura de funcionamiento	25°C..+60°C

Nota. Recuperado de “SUNNY TRIPOWER 12000TL-US / 15000TL-US / 20000TL-US / 24000TL-US / 30000TL-US”, de SMA.

Debido a la configuración obtenida, se propone la implementación de kits fotovoltaicos, donde su escala dependa del presupuesto a financiar y su construcción sea del tipo escalonada. Un kit estará conformado por 24 paneles en serie y 3 filas en paralelo para un total de 72 módulos fotovoltaicos de 275 W de potencia máxima, un inversor de 20.000 W de potencia nominal, conexiones, y dispositivos de protección.

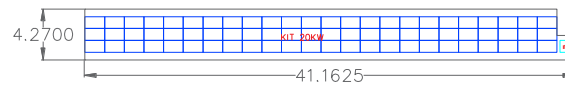


Figura 19. Arreglo de un kit fotovoltaico.

En la figura 13, se observa el arreglo para un kit fotovoltaico con sus respectivas dimensiones.

Conexiones. Los tipos de conexiones consideradas varían dependiendo de los elementos que se acoplarán, se propone utilizar cables monopolares de cobre aislado THWN para las uniones entre módulos y los tramos comprendidos del panel al inversor. Por otro lado, se utilizará cable encauchetado multipolar para la conexión del inversor al tablero de distribución y para las conexiones del tablero de distribución al tablero de control, se requiere cable trifásico tetrafilar que soporte la corriente manejada por la cantidad de kits a instalar.

8.1 Cableado entre paneles y tramo Panel-inversor

La longitud de conexión entre paneles se considera de 0,5m; para la implementación de un kit de 24 paneles en serie por 3 líneas, se necesitan 34,5m de cable por el total de conexiones entre paneles. En el tramo que comprende de los paneles al inversor se tienen seis salidas, 3 a módulos con carga positiva y 3 a módulos con carga negativa, según la disposición escogida de los elementos, existe una condición más crítica en temas de distancia para aquellas conexiones que se encuentran más alejadas del inversor, estas se estiman de 45m y las más próximas se valoran de 3,5m.

Para dos salidas, una positiva y otra negativa se necesitan 48.5m, para el total de salidas se requieren 145.5m. Según la potencia del inversor (20kW) y la corriente en el arreglo de paneles (9,18A) se determina un Cable Cu THWN calibre #12 con un total de 180m de longitud por kit.

En la figura 14, se observa un esquema de las conexiones entre paneles y del panel al inversor.

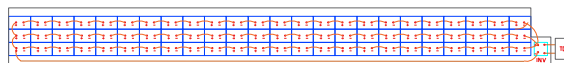


Figura 20. Esquema de conexión entre paneles y panel-inversor.

8.2 Cableado para el tramo Inversor-Tablero de distribución.

La longitud del tramo se estima de 100 m y la corriente calculada es de 33 A, se establece un conductor calibre #8 trifásico tetrafilar encauchetado 3x8+10.

Se sugiere establecer la cantidad de kits a instalar, para la selección de un tablero de distribución adecuado; que se conectará al tablero de control y medición, con la cantidad de circuitos trifásicos requeridos para el numero de kits. El tablero de control tendrá un medidor que se encargará de cuantificar la energía producida e inyectada a la red a través de un transformador.

Para la implementación del parque solar completo se recomienda adquirir tableros de distribución con capacidad para 36 circuitos, que permita conectar 12 kits trifásicos. Así mismo, se detalla que es necesario adquirir un tablero de control con espacio para medidor trifasico que tenga capacidad para 26 conexiones trifásicas con sus respectivas protecciones, que permita conectar la totalidad de los kits a instalar ($312=12*26$). Este proyecto se limita a evaluar los elementos requeridos para el diseño, pero el esquema completo de redes eléctricas se desarrollará en estudios de detalle en proyectos posteriores.

En la figura 15, se presenta el esquema unifilar de conexiones planteado para el parque solar hasta la red eléctrica, facilitando la comprensión del diseño realizado.

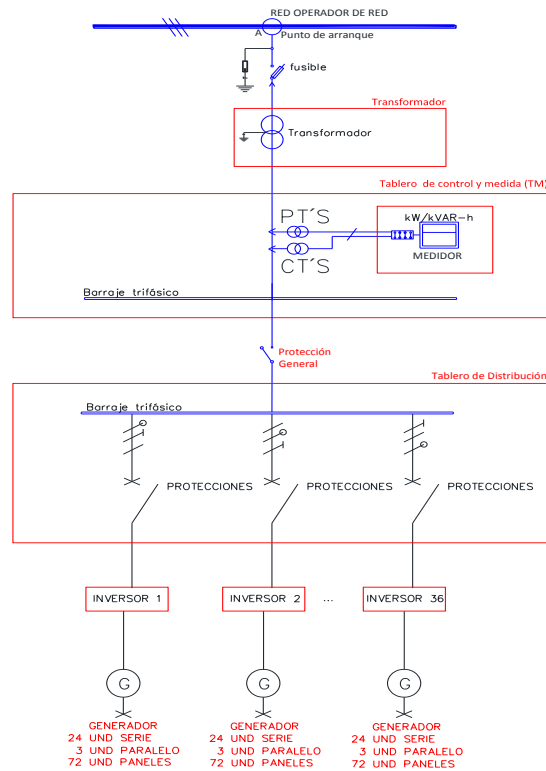


Figura 21. Diagrama de Conexión a la red.

8.3 Ubicación de los módulos fotovoltaicos

Los módulos fotovoltaicos se deben ubicar garantizando la condición más favorable, recibir la mayor intensidad de rayos del sol, de las horas en la que está disponible. El lugar determina la potencia de radiación incidente, la superficie particular según la orientación, inclinación y sombras establece el grado de aprovechamiento del potencial captado.

8.4 Orientación e inclinación del módulo fotovoltaico

El ángulo y el sentido en el que se situara el panel, está relacionado con la ubicación geográfica donde se desea instalar, si el panel está en el hemisferio sur, se debe posicionar de cara al norte, si se encuentra en el hemisferio norte, se recomienda que este dirigido al sur.

Existen diversas formas para calcular el ángulo de inclinación de una placa solar, en este informe, se calculará con la ecuación 5; fórmula que se obtuvo mediante el análisis estadístico de la radiación solar anual sobre superficies con diferentes inclinaciones situadas en lugares de distintas latitudes, por lo que proporciona una inclinación óptima en función de la latitud del lugar (Fernández, Contreras, & Bernal, 2006).

$$\beta_{opt} = 3,7 + 0,69|\Phi| \quad (5)$$

Donde:

$$\beta_{opt} = \text{Inclinación óptima}$$

$$\Phi = \text{Latitud del lugar en grados}$$

Para los 7° de latitud con los que cuenta Bucaramanga, el ángulo de inclinación óptimo es aproximadamente 9°, sin embargo, es importante considerar la inclinación mínima para permitir que se evacue el agua lluvia, es por esto que se hace uso de estándares que indican un ángulo fijo de inclinación respecto a la latitud.

Según la latitud del lugar donde se ubicará el proyecto, se determinó que el sistema tendrá una orientación óptima de 0°, totalmente al sur y una inclinación de 15° respecto a la superficie horizontal, la mínima para evitar problemas de empozamiento.

8.5 Separación entre hileras de módulos

Para evitar el sombreado entre paneles, se determina la distancia mínima entre las filas según el Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica conectadas a la Red del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).

La distancia mínima d , deberá ser superior al valor obtenido en la ecuación 6.

$$d = \frac{h}{\tan(61^\circ - \text{latitud})} \quad (6)$$

Donde h , es la altura de los paneles respecto a la horizontal, en la ecuación 7 se evidencia la manera de calcular h mediante un cálculo trigonométrico, conociendo el ángulo de inclinación de estos.

$$h = \text{Longitud panel} * \sin(\beta) \quad (7)$$

Considerando que las dimensiones del panel a utilizar son 1650×992 mm y se dispondrán 3 filas de 24 paneles en horizontal las dimensiones de la estructura abarcarán un área de $39,6 \times 2,985$ m. Con las medidas del panel seleccionado, se halla la altura con la relación del seno; teniendo una magnitud de 1,773 m se obtiene una distancia mínima entre paneles de 1,29m.

9. Potencia pico

Es la máxima potencia eléctrica que se puede generar bajo los estándares de medida, con una irradiancia de 1000 W/m^2 , a una temperatura de 25°C y una masa de aire de 1.5. Como se desconoce la cantidad de kits a instalar, se ubican estratégicamente el mayor número posible para

realizar los cálculos con la capacidad máxima, directamente relacionada con el área disponible. Sabiendo que, el número máximo de kits que se pueden instalar en toda el área es 312 y que se dispondrán 72 módulos de 275 W de potencia; la potencia pico generada por las instalaciones es de 6,17 MW.

$$P_{pico} = N_{max\ Kits} * P_{max\ gen} * N_{gen}/kit \quad (8)$$

$$P_{pico} = 312 * 275\ W * 72 = 6177600W = 6,17\ MW \quad (9)$$

En la figura 16, se muestra el emplazamiento para la zona de estudio seleccionada.

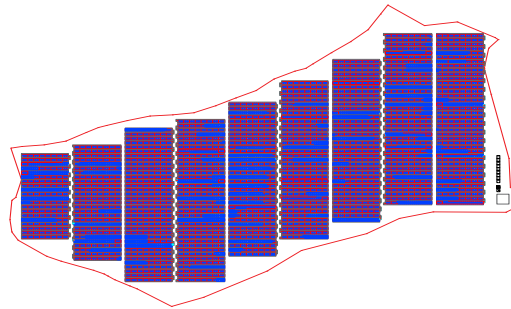


Figura 22. Emplazamiento de la zona de estudio.

En la figura 17, se muestra la localización del emplazamiento en el sitio de disposición final de residuos sólidos el Carrasco.

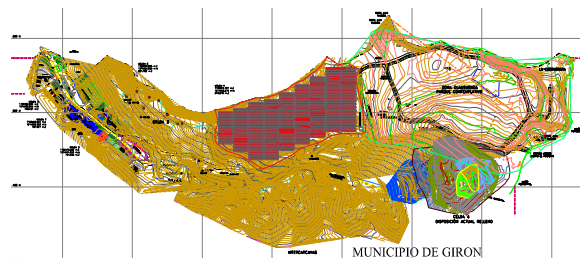


Figura 23. Localización del emplazamiento seleccionado.

10. Energía generada por el sistema

El cálculo de la energía generada por el parque fotovoltaico se obtiene multiplicando la potencia pico por las horas pico solares (HSP) y por la eficiencia del sistema. La eficiencia, hace referencia al rendimiento energético de la instalación o “Performance Ratio” Pr, en condiciones reales de trabajo.

En el PR se tiene en cuenta la dependencia de la eficiencia con la temperatura, perdidas por dispersión de parámetros y suciedad, errores en el seguimiento del punto de máxima potencia, eficiencia del cableado, eficiencia energética del inversor; entre otros. El rendimiento energético se expresa de la siguiente forma y varia en el tiempo en función de las distintas condiciones.

$$E_{generada} = P_{pico} * HSP * PR(\%) \quad (10)$$

$$PR(\%) = (100 - A - P_{temp}) * B * C * D * E * F \quad (11)$$

$$A = A1 + A2 + A3 + A4 \quad (12)$$

Donde:

A1, Pérdidas por dispersión de los parámetros entre los módulos, es el valor de tolerancia que ofrecen los fabricantes de paneles solares, para el panel seleccionado es del 2 %.

A2, Pérdidas por efecto del polvo y suciedad, este tiene un rango de 1-8%. Para esta zona se toma del 3% debido a que se encuentra a una altura menor de 10 m.

A3, Pérdidas por reflectancia angular y espectral, que se refiere al material con que está protegida la celda o la cantidad de radiación solar que estará incidiendo en la misma, del 2-6%. Se

elige el promedio, 4%, ya que los equipos utilizados son asequibles en el mercado y no elementos de materiales puros o tecnologías sofisticadas.

A4, Factor de sombras, 1-10%. Se elige del 1%, puesto que en la disposición de paneles solares se tuvieron en cuenta la distancia pertinente para evitar este fenómeno y no se espera ninguna incidencia por las condiciones despejadas del área.

$$A = 2\% + 3\% + 4\% + 1\% = 10\% \quad (13)$$

Esto indica que el generador tendrá un total de pérdidas del 10%

B, Pérdidas por cableado de la parte de corriente continua, desde los paneles solares hasta el inversor, incluyendo protecciones.

$$B = (1 - Lcab_{cc}) \quad (14)$$

$Lcab_{cc}$ indica pérdidas por cableado, se estima que la distancia más crítica es de 45 m, considerando un 5% de pérdidas en la longitud total es 2,25%, por lo tanto, $B=0,9775$.

C, Pérdidas en el cableado de la parte de corriente alterna, se refiere al circuito que está después del inversor hasta el transformador, incluyendo protecciones.

$$C = (1 - Lcab_{ca}) \quad (15)$$

$Lcab_{ca}$, tiene un rango desde 0,5% para conexiones con alta conductividad, hasta un 2% para conexiones con una conductividad promedio, por factores como gran distancia, temperaturas altas. Para el proyecto será del 2%, entonces $C=0,98$.

D, Pérdidas debido a la periodicidad que pueden tener estos eventos.

$$D = (1 - Ldisp) \quad (16)$$

Se considera del 3% $D=0,97$.

E, Pérdidas por rendimiento del inversor, este es especificado en la ficha técnica del elemento; según el inversor escogido $E=0,975$.

F, Pérdidas por el no seguimiento del punto de la máxima potencia (PMP), se considera de un 10% para generadores estáticos; $F=0,9$.

P_{temp} , son las pérdidas por temperatura y se determina con la siguiente ecuación.

$$P_{temp}(\%) = 100 - 100 * [1 - 0,0035 * (T_c - 25)] \quad (17)$$

$$T_c = T_{amb} + (T_{ONC} - 20) * \left(\frac{E}{800}\right) \quad (18)$$

T_{amb} , Temperatura ambiente, determinada en 25°C

T_{ONC} , Temperatura nominal del panel solar, 44+/-2°C

$$T_c = 25 + (44 - 20) * \left(\frac{0,975}{800}\right) = 25,03 \quad (19)$$

$$P_{temp}(\%) = 0,0105 \quad (20)$$

$$PR(\%) = (100 - 0,1 - 0,0105) * 0,9775 * 0,98 * 0,97 * 0,975 * 0,9 = 81,45\% \quad (21)$$

$$E_{generada} = 6177,6 \text{ kW} * \frac{4,8 \text{ kWh}}{1 \frac{\text{m}^2}{\text{m}^2 \text{ día}}} * 81,45\% = 24151,945 \frac{\text{kWh}}{\text{día}} \quad (22)$$

Si se calcula la energía durante los 365 días del año, se obtiene una energía total de 8,82 GWh.

11. Estructura de soporte

Las estructuras de soporte son las encargadas de soportar los módulos fotovoltaicos, son diseñadas para resistir las solicitaciones requeridas según sus condiciones. El tipo de estructura de soporte para los paneles solares, depende del área disponible para su instalación y las características propias de panel seleccionado.

Existen estructuras para soporte en techo y azoteas, o estructuras para soporte en suelo; pueden tener uno, dos, o más apoyos según su diseño. También, se distinguen por su configuración; estructuras fijas y móviles, las primeras mantienen una posición constante, y las segundas están dotadas de elementos programados para seguir la trayectoria solar. La metodología utilizada consistió en definir la configuración geométrica, estimar secciones estructurales basadas en las cargas, calcular las masas totales, revisión de la capacidad de los elementos y ajuste para su cumplimiento.

Para el diseño de la estructura, se precisó las cargas a tolerar, se tuvieron en cuenta; cargas muertas, el peso propio de los elementos y el peso de los paneles, cargas vivas, referidas al peso del personal de instalación y mantenimiento, cargas de viento y fuerzas sísmicas. Se propuso una estructura metálica multisoporte en suelo, fija, fabricada en acero fundido en caliente, de 1 [m] de altura en el punto más bajo para contacto con el suelo y una altura máxima de 1,773 [m], con orientación sur e inclinación de 15°; sobre la cual se soportarán 9 módulos fotovoltaicos para la optimización de espacios y ahorro en los costos del material.

La estructura se compone de cuatro columnas, ubicadas en los extremos con perfiles tubulares rectangulares de 70x70x3,2 SHS, una armadura sobre la que se dispondrán los paneles con perfiles tubulares rectangulares de 60x40x3,2 RHS y unas diagonales en la parte superior en ángulos de 2°X1/4°. La Fijación de los paneles a la estructura se tiene contemplada con platinas de lámina hot rolled de 50x40mm Calibre 12 soldadas lateralmente a la estructura con tornillos de 9x15 mm, espárragos de 9x80 mm, tuercas y arandelas de 9mm. En la figura 18, se muestra el modelo de la estructura de soporte.

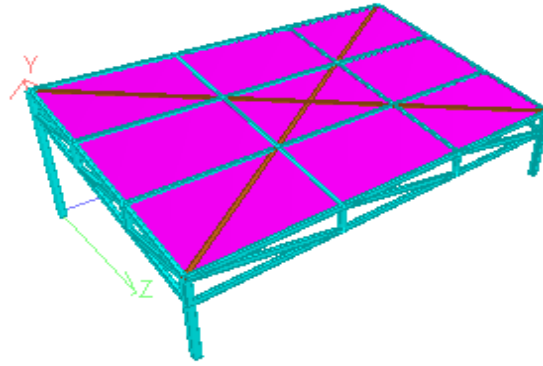


Figura 24. Modelo de estructura de soporte,

En cuanto al cálculo de cargas permanentes, temporales y accidentales; tenemos:

11.1 Cargas Permanentes

Son las cargas que actúan de manera vertical debido al peso propio de los miembros estructurales y no estructurales que se encuentran permanentemente fijos en la estructura, sin realizar variaciones en su posición respecto al tiempo.

Tabla 7.

Peso total de la estructura metálica

TIPO	REF	Longitud [m]	Peso [Kg]
PERFIL TUBULAR	60x40x3,2RHS	65,844528	303,283
PERFIL TUBULAR	70x70x3,2	5,546	36,487
ANGULO	2"X1/4"	11,56074	55,154
TIPO	REF	Cantidad	Peso [Kg]
LAMINA HOT	50x40mm	36	1,413
ROLLED	Calibre 12		
TOTAL			396,337

Tabla 8.

Elementos de fijación paneles-estructura

TIPO	REF	Cantidad
TORNILLOS	9x15 mm	12
ESPARRAGOS	9x80 mm	12
TUERCAS	9 mm	36
ARANDELAS	9 mm	36

Tabla 9.

Peso unitario del módulo fotovoltaico

Elemento	Largo [m]	Ancho [m]	Peso [Kg]
Módulos solar	1,65	0,995	18,6

En el modelamiento de la estructura los paneles solares no se consideraron como marcos rígidos ya que son elementos livianos, no fabricados para resistir cargas sobre su superficie.

Cargas Temporales: Son las cargas relacionadas con la construcción, el uso o mantenimiento de la estructura. En nuestro caso particular, se refiere a las cargas del personal de mantenimiento y montaje. En el diseño se asumieron dos operarios apoyados en la mitad de la luz como condición crítica, con un peso de 125 [kg] cada uno.

Cargas Accidentales: Son las cargas variables con el tiempo, son repentinas e imprevistas, se relacionan a los fenómenos naturales como sismos y ráfagas de viento. Para la carga de sismo se utilizaron los parámetros del espectro de diseño establecidos en el Título A del Reglamento Colombiano de construcción Sismo resistente (NSR-10) para la ciudad de Bucaramanga.

Tabla 10.

Coefficientes del espectro elástico sísmico para la Ciudad de Bucaramanga

ESPECTRO ELÁSTICO SISMICO	
Coefficiente de Aceleración (Aa)	0,25
Coefficiente de Velocidad (Av)	0,25
Coefficiente de Amplificación periodos cortos (Fa)	1,15
Coefficiente de Amplificación periodos intermedios (Fv)	1,55
Coefficiente de importancia (I)	1

Tabla 11.

Periodo aproximado de la estructura

Cu= 1.75- 1.2AvFv	1,285	Cumple
Ct	0,072	Tabla A.4.2.1
α	0,8	Tabla A.4.2.1
h	1,773	[m]
N	1	Número de pisos
Ta = Cth ^{α}	0,113841205	[s]
Ta = 0,1N	0,1	[s]

Se analizó el sismo en sus dos sentidos traslacionales X y Z en el sistema de coordenadas trabajado.

La carga de viento, produce cargas en las estructuras debido a la presión y succión que ejerce el aire en movimiento sobre la superficie de la estructura. Esta carga varía según la zona de ubicación de la estructura y la altura del elemento sobre el que incide.

Para el cálculo de la carga de viento sobre la estructura, se utiliza el método analítico descrito en el en el Título A del Reglamento Colombiano de construcción Sismo resistente (NSR-10). Se tratará la estructura como un edificio abierto, rígido, con pendiente única, de forma regular y de poca altura. Con las ecuaciones 23 y 24, se calcula la presión por velocidad (qz) evaluada a una altura z por encima del terreno y posteriormente la presión neta de diseño (p).

$$qz = 0,613K_zK_{zt}K_dV^2I \quad (23)$$

$$p = qz * G * C_N \quad (24)$$

Tabla 12.

Presión por velocidad a una altura z

qz [N/m ²]	131,862513
K_z (Coeficiente de exposición)	1,00652567
K_{zt} (Factor topográfico)	1
K_d (Factor de dirección del viento)	0,85
V [m/s] (Velocidad de viento básica)	17
I (Factor de Importancia)	0,87

Tabla 13.

Presión neta de diseño con las respectivas combinaciones para barlovento y sotavento.

Dirección del viento (ANGULO DE 15°)			
G(Factor de efecto ráfaga)		0,85	
A	0°	180°	
pnw	-100,874823	pnw	145,708077
pnl	-145,708077	pnl	179,333018
Cnw	-0,9	Cnw	1,3
Cnl	-1,3	Cnl	1,6
B	0°	180°	
pnw	-212,957959	pnw	201,749645

Dirección del viento (ANGULO DE 15°)			
pnl	0	pnl	67,2498817
Cnw	-1,9	Cnw	1,8
Cnl	0	Cnl	0,6

Tabla 14.

Presión de diseño.

p	201,749645	N/m ²
p	0,2017496	kN/m ²

Se toma el valor máximo de presión de viento incidente, como presión de diseño de la estructura.

La estructura se modeló en un software de análisis y diseño estructural haciendo uso de todas las combinaciones de carga establecidas en el código, se supuso un apoyo restringido a desplazamientos y se comprobó su correcto funcionamiento basado en el análisis de ratios de trabajo.

En las figuras 19, 20, 21 y 22 es posible visualizar el isométrico de la estructura, con sus vistas lateral, superior y posterior

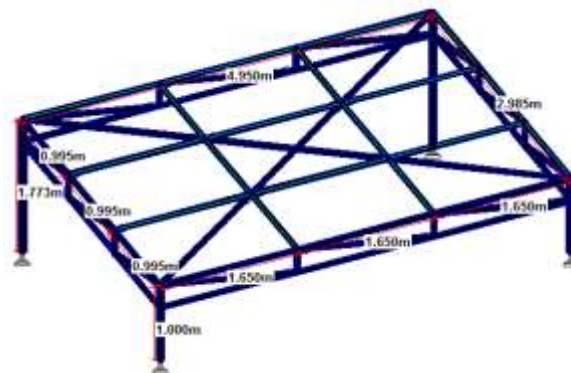


Figura 25. Isométrico de la estructura de soporte.



Figura 26. Vista lateral de la estructura de soporte.

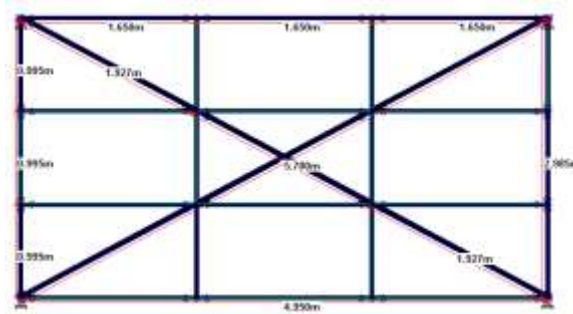


Figura 27. Vista superior de la estructura de soporte.

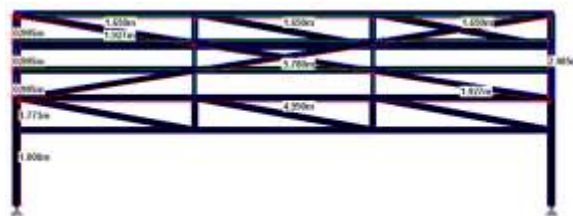


Figura 28. Vista posterior de la estructura de soporte.

En cuanto a la cimentación de este tipo de estructuras pueden ser zapatas aisladas, combinadas o corridas, de concreto armado o no, pilares de concreto, pilotes helicoidales, entre otros; en este informe no se realizan los estudios referentes ya que no está en el alcance.

12. Presupuesto

Los costos para la construcción del parque solar incluyen los precios relacionados al sistema fotovoltaico, la estructura de soporte y aquellos requeridos en la operación y mantenimiento para su correcto funcionamiento. En este trabajo se planteó la instalación de kits con determinados elementos. Para la elaboración del presupuesto, se presentan tres propuestas, si se implementa un solo kit, si se implementan la capacidad máxima de kits por el área de la zona 1 del sitio disposición final El Carrasco, y si se implementan 12 kits que ocupan la cantidad máxima de espacios del tablero de distribución seleccionado. Un Kit, requiere de la adquisición de 8 estructuras de soporte para una capacidad de 9 paneles cada una. En base a los diseños realizados anteriormente, los precios de la estructura también se dividirán en las opciones planteadas. En las tablas 15, 16 y 17, se presentan los presupuestos para cada alternativa. Los costos unitarios calculados a continuación se realizaron con base a cotizaciones de múltiples proveedores en el país para cada área específica a la fecha actual [Ver anexos 3,4 y 5], estos costos pueden variar de acuerdo a las condiciones de mercado establecidas (compras al por mayor, inflación e importación directa de los elementos).

Tabla 15.
Presupuesto para un kit fotovoltaico.

1 KIT FOTOVOLTAICO					
ITEM	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	CANT	PRECIO PARCIAL	
1	Panel Solar Policristalino Trina 275W HC 60 celdas [Und]	\$ 269.400	72	\$	19.396.800
2	Inversores STP20000TL-US-10 Sunny Tripower [Und]	\$ 8.950.419	1	\$	8.950.419
3	Modulo de Unidades de Conexión [Und]	\$ 984.254	1	\$	984.254
4	Cofre Intemp.120x80x30 [Und]	\$ 557.390	1	\$	557.390
5	Tablero trifasico 36P NTQT [Und]	\$ 383.730	1	\$	383.730
6	Base Portafusible E91/32 [Und]	\$ 10.710	6	\$	64.260
7	Selector manija 3P-2NA METAL. [Und]	\$ 51.163	1	\$	51.163
8	Breaker de riel tripolar ABB3X10A	\$ 60.880	1	\$	60.880
9	Breaker industrial ABB KA-A1B 3X100A	\$ 129.350	1	\$	129.350
10	Cable Cu THWN 12 AZ Carrete Procables [m]	\$ 1.300	180	\$	234.000
11	Cable Encauchetado 3X8+10 Procables [m]	\$ 13.100	100	\$	1.310.000
ITEM	DESCRIPCIÓN	PESO [Kg]	PRECIO [\$Kg]	CANT	TOTAL
12	Estructura de soporte	396,337	\$ 11.000	8	\$ 34.877.656
VALOR TOTAL (*INLUIDO IMPUESTOS)				\$	66.999.902

Tabla 16.
Presupuesto del parque solar completo.

PARQUE SOLAR COMPLETO					
ITEM	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	CANT	PRECIO PARCIAL	
1	Panel Solar Policristalino Trina 275W HC 60 celdas [Und]	\$ 269.400	22.464	\$	6.051.801.600
2	Inversores STP20000TL-US-10 Sunny Tripower [Und]	\$ 8.950.419	312	\$	2.792.530.728
3	Modulo de Unidades de Conexión [Und]	\$ 984.254	312	\$	307.087.248
4	Cofre Intemp.120x80x30 [Und]	\$ 557.390	312	\$	173.905.680
5	Tablero trifasico 36P NTQT [Und]	\$ 383.730	26	\$	9.976.980
6	Base Portafusible E91/32 [Und]	\$ 10.710	1.872	\$	20.049.120
7	Selector manija 3P-2NA METAL. [Und]	\$ 60.880	312	\$	18.994.560
8	Breaker de riel tripolar ABB3X10A	\$ 56.300	312	\$	17.565.600
9	Breaker industrial ABB KA-A1B 3X100A	\$ 129.350	26	\$	3.363.100
10	Cable Cu THWN 12 AZ Carrete Procables [m]	\$ 1.300	56.160	\$	73.008.000
11	Cable Encauchetado 3X8+10 Procables [m]	\$ 13.100	31.200	\$	408.720.000
12	Tablero de control y medida [Und]	\$ 15.000.000	1	\$	15.000.000
13	Transformador [Und]	\$ 45.000.000	1	\$	45.000.000
ITEM	DESCRIPCIÓN	PESO [Kg]	PRECIO [\$Kg]	CANT	TOTAL
14	Estructura de soporte	396,337	\$ 11.000	2496	\$ 10.881.828.672
VALOR TOTAL (*INLUIDO IMPUESTOS)				\$	20.818.831.288

Tabla 17.

Presupuesto para 12 kits o 1 tablero de distribución. Fuente: elaboración propia.

12 KIT o 1 TABLERO DE DISTRIBUCIÓN					
ITEM	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	CANT	PRECIO PARCIAL	
1	Panel Solar Policristalino Trina 275W HC 60 celdas [Und]	\$ 269.400	864	\$	232.761.600
2	Inversores STP20000TL-US-10 Sunny Tripower [Und]	\$ 8.950.419	12	\$	107.405.028
3	Modulo de Unidades de Conexión [Und]	\$ 984.254	12	\$	11.811.048
4	Cofre Intemp.120x80x30 [Und]	\$ 557.390	12	\$	6.688.680
5	Tablero trifasico 36P NTQT [Und]	\$ 383.730	1	\$	383.730
6	Base Portafusible E91/32 [Und]	\$ 10.710	72	\$	771.120
7	Selector manija 3P-2NA METAL. [Und]	\$ 51.163	12	\$	613.953
8	Breaker de riel tripolar ABB3X10A	\$ 60.880	12	\$	730.560
9	Breaker industrial ABB KA-A1B 3X100A	\$ 129.350	1	\$	129.350
10	Cable Cu THWN 12 AZ Carrete Procables [m]	\$ 1.300	2.160	\$	2.808.000
11	Cable Encauchetado 3X8+10 Procables [m]	\$ 13.100	1.200	\$	15.720.000
ITEM	DESCRIPCIÓN	PESO [Kg]	PRECIO [\$ /Kg]	CANT	TOTAL
12	Estructura de soporte	396,337	\$ 11.000	288	\$ 1.255.595,616
VALOR TOTAL (*INLUIDO IMPUESTOS)					\$ 1.635.418.685

En las actividades de operación de una instalación fotovoltaica se debe contemplar principalmente el mantenimiento preventivo, limpieza general y otras labores que pueden ser realizadas por un técnico electricista en compañía de un ayudante. En la tabla 18, se presentan los costos de operación vigentes para el año actual, calculados con valor de \$44.871.584.

Tabla 18.

Costos de operación del sistema fotovoltaico

OPERACIÓN DEL PARQUE SOLAR					
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	CANT	PRECIO PARCIAL
1	Técnico electricista	Mes	\$ 2.464.000	12	\$ 29.568.000
2	Ayudante	Mes	\$ 1.275.299	12	\$ 15.303.584
VALOR TOTAL (*INCLUIDO PARAFISCALES)					\$ 44.871.584

Para realizar un análisis de costos es necesario involucrar el factor \$ en la producción de energía, según el tamaño del sistema a implementar, permitiendo comparar el precio de los elementos que conforman el parque solar con el dinero recaudado por la generación de energía e

inyección a la red. Lo ideal sería realizar un estudio de mercados, acompañado de una evaluación financiera, económica y social, para observar en un horizonte de tiempo a detalle la rentabilidad. Sin embargo, en este informe se estructura con unas variables secundarias algunos cálculos para estimar la viabilidad del proyecto. Las variables son:

Tarifa: es el precio que se paga por una unidad de consumo del servicio de energía eléctrica, medido en kilovatio-hora (kWh). Esta tarifa es calculada en base a la fórmula de los componentes del costo unitario CU y equivale a sumar los costos de: generación, transmisión, distribución, restricciones, pérdidas y comercialización.

Costos de generación: es el valor fijo mensual promedio al cual la electrificadora del municipio, en este caso la Electrificadora de Santander S.A. compra la energía a la empresa generadora; este valor varía para cada periodo (mes) dependiendo de la oferta y demanda. En promedio para 2016 fue de 179,9902, 2017 fue de 170,6981, 2018 fue de 174,3219, lo que va corrido de 2019 es de 197,6267 y particularmente en el periodo de julio de 2019 fue de 189,5535, valor que es tomado para los cálculos.

Consumo promedio anual: Es el consumo promedio de un hogar para la zona de referencia en un año, en el caso de Santander según el informe de sostenibilidad de la Electrificadora de Santander S.A. para el 2017 fue de 2317 kWh por hogar.

13. Observaciones

El presente trabajo contiene la ingeniería conceptual para la construcción de un parque solar fotovoltaico, se identifica la viabilidad técnica y económica del proyecto y marca la pauta para el desarrollo de la ingeniería de detalle, las cuales deben realizarse antes de su implementación.

Para el desarrollo de proyectos fotovoltaicos se requiere un análisis de disponibilidad del recurso solar, que permita el dimensionamiento, diseño y evaluación de costos de inversión.

La radiación solar que llega a la superficie terrestre, es el resultado de múltiples interacciones en la atmosfera, para estimarla se requiere medidas terrestres o imágenes de satélite.

La radiación solar es la sumatoria de las irradiaciones captadas en las horas de exposición solar, debido a la ubicación de Colombia y su proximidad a la línea ecuatorial, el tiempo aproximado es de 12h.

Los datos procesados en el estudio del potencial energético, corresponden a mediciones realizadas durante cuatro meses, se utilizó la estadística descriptiva para describir el comportamiento del parámetro de la irradiancia y proyectar el promedio para el total de un año.

La estructura de soporte de los módulos se debe orientar e inclinar con especificaciones del generador escogido y resistir las cargas para las que fue diseñada.

Es significativo conocer la cantidad de kits a implementar en el proyecto, que permita realizar una compra a escala de los elementos para reducir costos en los elementos y en el transporte a su lugar de instalación.

Actualmente existen iniciativas del gobierno para incentivar el uso de energías limpias, en este caso se evidencio que los elementos correspondientes a la generación están exentos de IVA.

14. Conclusiones

Es importante conocer la ubicación geográfica para el desarrollo de este tipo de proyectos, ya que de estos dependen la orientación e inclinación de los módulos fotovoltaicos, siendo factores determinantes en la eficiencia de las instalaciones.

Las dos zonas de estudio cuentan con buenas condiciones de irradiancia, es decir un buen potencial energético solar para la implementación de parques solares fotovoltaicos; la densidad de potencia por unidad de superficie promedio en la zona 1 es de 341 W/m² y en la zona 2 de 393 W/m².

Se determina que la zona 2 será la utilizada para el diseño, ya que permitirá producir una mayor capacidad de energía eléctrica comparada con la zona 1, criterio asociado a la extensión del área total disponible.

La zona de estudio seleccionada para el diseño del parque solar, tiene en promedio una radiación solar de 4,80 kWh/día/m², que representa 1752,77 kWh /m² anuales.

Se hace necesario el diseño de una estructura específica para este tipo de aplicación, teniendo en cuenta que las bases existentes comercialmente para paneles solares son para anclajes en techo con teja ondulada o plana.

La construcción del parque solar debería realizarse de manera escalonada, por medio de kits fotovoltaicos que faciliten su implementación, sustentada en el presupuesto disponible para el proyecto.

El rendimiento del sistema fotovoltaico propuesto se estimó en 81,45%.

El parque fotovoltaico tiene una capacidad máxima para la instalación de 312 kits que producirían una potencia pico de 6,17 MW y una potencia nominal de 5,03 MW.

Un kit fotovoltaico con sus respectivas estructuras de soporte tiene un costo de \$66.999.902 y producen una energía anual de 28,25 MW, capaz de abastecer 12 viviendas.

El diseño a máxima capacidad, con 312 kits tiene un costo de \$20.818.831.288 y la energía de producción anual proporcionada por el parque solar fotovoltaico es de 8,81 GW, capaz de abastecer 3804 viviendas.

La implementación de 12 kits fotovoltaicos o el máximo número de kits por tablero de distribución, incluida la estructura de soporte tiene un costo de \$1.635.418.685 y producen una energía anual de 28,25 MW, capaz de abastecer 146 viviendas.

Los ingresos que se recibirían si se implementara todo el diseño del parque solar fotovoltaico planteado sería de \$1.670.970.426 al año, monto calculado con el costo unitario de generación para el mes de julio en el año 2019 de la Electrificadora de Santander S.A.

La inversión realizada para la construcción del parque solar a máxima capacidad se recuperaría aproximadamente en 12 años, considerando que la vida útil del sistema es de 25 años, se concluye que la producción de los 13 años restantes generaría ganancias de \$20.955.429.362

El proyecto se considera viable en la medida de que recupera el capital invertido y se obtienen beneficios al finalizar el periodo de diseño, sin embargo, el retorno del dinero se da en un periodo de tiempo prolongado al igual que el lapso de empezar a recibir las utilidades.

Aunque el periodo de diseño promedio en estas instalaciones es de aproximadamente 25 años, con un óptimo mantenimiento y el reemplazo adecuado de los elementos defectuosos a lo largo del tiempo; este sistema podría generar electricidad varios años más del tiempo estimado.

15. Recomendaciones

Se debe realizar un estudio detallado de los elementos eléctricos como tablero de control, tablero de distribución, protecciones, medidor óptimo para la potencia y transformador; resultante de los kits seleccionados a instalar.

Se recomienda realizar los estudios de soporte, mercados, ambiental, legal y la ingeniería eléctrica de detalle para visualizar una perspectiva más profunda del proyecto.

Referencias Bibliográficas

- Anis, W. M., & Van Overstraeten, R. (1985). Calculation of Solar Cell Operating Temperature in a Fiat Píate PV array. *Proc. 5th E.C. Photovolt, Solar Energy. Cobnference*, 520-524.
- Consejo Nacional de Política Económica y social, Republica de Colombia, Departamento Nacional de Planeación. (2018). *Estrategia para la implementación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible en Colombia*. Bogotá.
- Daut, I., Irwanto, M., Irwan, Y. M., Gomesh, N., & Ahmad, N. S. (2011). Potential of Solar Radiation and Wind Speed for Photovoltaic and Wind Power Hybrid Generation in Perlis. *Northern Malaysia, (June)*, 6–7.
- Dubey, S., Sarvaiya, J. N., & Seshadri, B. (2013). Temperature dependent photovoltaic (PV) efficiency and its effect on PV production in the world - A review. *Energy Procedia*, vol. 33, 311–321.
- Energy Information Administration. (2018). *International energy outlook 2018*. Obtenido de <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/>
- Fernández, A. I., Contreras, J., & Bernal, J. L. (2006). Design of grid connected PV systems considering electrical, economical and environmental aspects: A practical case. . *Renewable Energy*, 31(13), , 2042–2062. doi: 10.1016/j.renene.2005.09.028.
- Gimeno Sales, J., Orts Grau, S., & Seguí Chilet, S. (2014). Módulos Fotovoltaicos . *Curso Energía Solar Fotovoltaica / Una Apuesta de Futuro Sostenible.*, 1–70.
- IDAE. (julio de 2011). *Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red (PCT-C-REV)*. Obtenido de https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_5654_FV_pliego_condiciones_tecnicas_instalaciones_conectadas_a_red_C20_Julio_2011_3498eaaf.pdf

IDEAM and UPME. (s.f.). *Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia*.

Igrahim, S. et al. (2012). *Linear Regression Model in Estimating Solar Radiation in Perlis*. *Energy Procedia*. Obtenido de , (2012) file:///C:/Users/LENOVO/Downloads/Linear_Regression_Model_in_Estimating_Solar_Radiat.pdf

Kant, K., Shukla, A., Sharma, A., & and Henry, P. (2016). Thermal response of poly-crystalline silicon photovoltaic panels : Numerical simulation and experimental study. *Sol. Energy*, vol. 134, 147–155.

Kempe, M. D., Miller, D. C., Wohlgemuth, J. H., Kurtz, S. R., Moseley, J. M., Shah, Q. A., . . . Samuels, S. L. (s.f.). “Field testing of thermoplastic encapsulants in high-temperature installations.

Ministerio de Minas y Energía. (30 de agosto de 2013). *Resolución 90708 – Anexo General – Reglamento Técnicos de Instalaciones Eléctricas (RETIE)*. . Obtenido de <https://www.aseiingenieria.com/documents/retie.pdf>

MME, INEA, and HIMAT. (1993). *Atlas de Radiación Solar de Colombia*.

Prado Alarcón, R. A. (2015). *Dimensionamiento de una Instalación Fotovoltaica de Generación Centralizada Conectada a Red para la Venta de Energía en la Provincia del Guayas y Análisis de Viabilidad Técnica y Económica*. Guayaquil: Tesis de Especialización en Electrónica y Tesis de Especialización en Electrónica y Automatización Industrial, Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación, Escuela Superior Politécnica del Litoral.

Rodríguez, H., & González, F. (1992). Manual de Radiación Solar en Colombia. *Univ. Nac. Colomb.*, vol. I, .

Rodríguez, M. H. (2009). *Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/ring/n28/n28a12.pdf>

Secretaría de Planeación del Departamento de Santander, Grupo de Investigación sobre Desarrollo Regional y Ordenamiento Territorial – GIDROT de la Universidad Industrial de Santander. (2011). *Formulación de la Visión Prospectiva de Santander 2019-2030*. . Bucaramanga.

Szadó, S. B., Kougias, I., Moner-Girina, M., Jäger-Waldau, A., Barton, G., & Szabó, L. (2017). A methodology for maximizing the benefits of solar landfills on closed sites. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volumen (76), 1291 – 1300.

Takeuchi, N. (2014). II Fuentes de energía renovables: energía solar. *Energía y medio ambiente: manual básico de innovaciones tecnológicas para su mejor aprovechamiento*, M. Á. Porrúa, Ed. México D.F., 33–58.

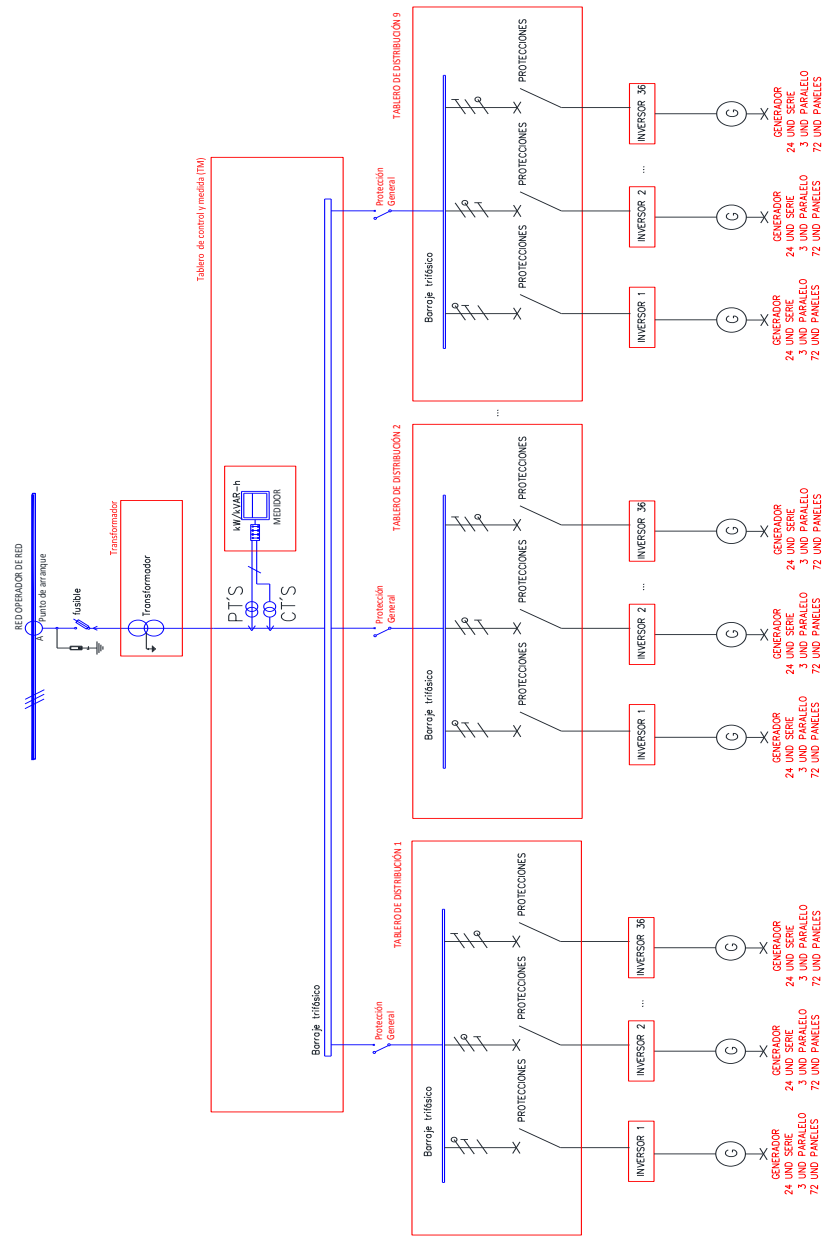
Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) e Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2005). *Mapas de radiación solar global sobre una superficie plana*. Obtenido de http://www.upme.gov.co/Docs/Atlas_Radiacion_Solar/2-Mapas_Radiacion_Solar.pdf

Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) y CORPOEMA, C. E. (diciembre de 2010). *Formulación de un plan de desarrollo para las fuentes no convencionales de energía en Colombia*. ,Vol. 2. Obtenido de <https://bdigital.upme.gov.co/bitstream/001/994/2/Vol%202%20Diagnostico%20FNCE.pdf>

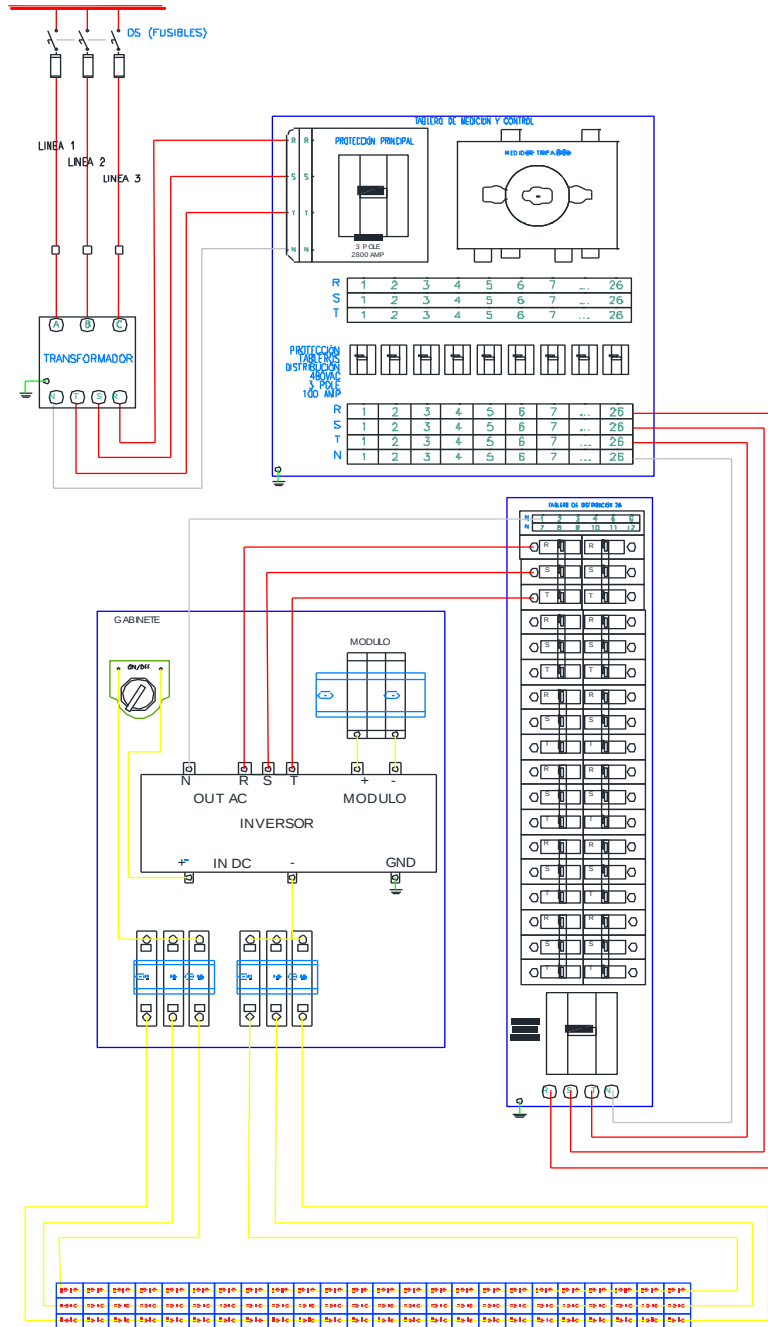
Van Helden, W. G., Van Zolingen, R. J., & Zondag, H. A. (2004). “PV Thermal systems: PV panels supplying renewable electricity and heat. *Prog. Photovoltaics Res. Appl.*, vol. 12, no. 6, 415– 426.

Apéndices

Apéndice A. Esquema unifilar del parque fotovoltaico



Apéndice B. Diagrama de conexiones del Parque solar fotovoltaico



Apéndice C. Cotización electrovera

Materiales Eléctricos
Somos Distribuidores

NIT 804011015-4
PBX: 6335868 FAX: 6335868 ext 125-12
AVENIDA LA ROSITA N° 18-61
www.electrovera.com



SEÑORES: DISTRIBUCIONES ORIENTALES S.A.S
Nit: 901049592
Dirección: ECOPARQUE NATURA TORRE 1 OFC-211
Ciudad: FLORIDABLANCA
Teléfono: -6385937-6385937
Requisición:

COTIZACION No: COT19071876
Fecha: 30/07/2019

Atn:

ITEM	CANT	MARCA	REF	DESCRIPCION	TIEMPO ENTREGA	PRECIO	Total
1	180	PROCABLES	31353082004C	CABLE CU THWN 12 AZ CARRETE PROCABLES	INMEDIATO	1.099,22	197.859,60
2	100	NEXANS	10025915	CABLE ENCAUCHETADO 2" 8 NEXANS	INMEDIATO	7.565,02	756.502,00
3	1	INDELPA	12090	COFRE INTEMP.120*80*30	INMEDIATO	468.394,18	468.394,18
4	1	SCHNEIDER-RETAIL	ZA000611108	TABLERO.TRIFASICO.36P NTQT	INMEDIATO	322.468,41	322.468,41
5	36	SCHNEIDER-RETAIL	HOM130	CCTO ENCHUF.1030	INMEDIATO	6.878,13	247.612,68
6	1	ABB	1SDA-066560R1	TOTALIZ. 320A 85KA FORMULA	INMEDIATO	548.433,73	548.433,73
7	6	ABB	2CSM-200923R1801	BASE PORTAFUSIBLE E91/32	INMEDIATO	9.000,00	54.000,00
8	1	SCHNEIDER-INDUST	XB4BD33	SELECTOR MANIJA 3P-2NA METAL.	INMEDIATO	51.162,76	51.162,76

FORMA DE PAGO 0 Dias
VALIDEZ DE LA OFERTA 0 Dias
OBSERVACIONES:

LUGAR DE ENTREGA:
CIUDAD DE DESPACHO

SUBTOTAL	2.646.433,36
19%	502.821,00
TOTAL:	3.149.254,36

Apéndice D. Cotización Meico S.A



MEICO S.A. Calle 67 No. 7Bogotá –90 Oficina 1004 Edificio Colfondos. COTIZACION #NÚMERO DE CLIENTE 3732
Colombia
Tel: +57 (1) 2357544

FECHA martes, 30 de julio de 2019 15
VALIDEZ OFERTA DÍAS

CLIENTE: DISTRIBUCIONES ORIENTALES SAS
CONTACTO: ANDREA PEREZ LOZANO
E-MAIL: disorientalessas@gmail.com
TEL: 3052477168
DIRECCIÓN: Florida Blanca Santander

CONTACTO DE COMPRAS
María Alejandra Urrea Cel.
320 5440059
murreea@meico.com.co

TÉRMINOS DE PAGO CONTADO SITIO DE ENTREGA A acordar con el cliente. Si la dirección de entrega es diferente a la registrada se debe informar previamente.

CÓD MEICO	REF	CANT.	DESCRIPCIÓN	PRECIO POR VATIO	PRECIO UNITARIO	TOTAL
100773	TSM-PE15H	72	Panel Solar Policristalino Trina 275W HC 60 celdas	\$0,979	\$269,400	\$19,396,800
24214	STP20000TL-US-10	1	Inversores STP20000TL-US-10 Sunny Tripower	\$448	\$8,950,419	\$8,950,419
24217	CU1000-US-10 DC	1	Unidades de Conexión CU1000-US-10 DC Connection		\$984,254	\$984,254
TOTAL NETO						\$29,331,473
SUBTOTAL						\$29,331,473
IVA 19%						\$0
RTE						\$733,287
TOTAL A PAGAR						\$28,598,186

Apéndice E. Cotización Inter electricas Ltda



INTER ELECTRICAS LTDA Comercialización

NIT: 830113629-9(Compra, almacenamiento y distribución) de Productos Eléctricos

Carrera 12 # 13-46 BOGOTA-COLOMBIA

PBX: 3360755 - FAX: 3412439



Cotización Rápida

Estimados señor(es) En Atención a su solicitud de cotización nos permitimos ofrecerles los siguientes productos distribuidos por nuestra compañía.

Descripción	Valor Unit.	Valor	Cantidad
	Incluido IVA		
1) Breaker de Riel Tripolar ABB 3 x 10A - 10KA	\$ 56,300	\$ 56,300	1
2) Breaker Industrial ABB Formula 100A Capacidad de Ruptura 25 KA - A1B	\$ 129,350	\$ 129,350	1
3) Cable Acometida Trebol 3x8+10 (Trifasico) (METRO)	\$ 13,100	\$ 1,310,000	100
Total antes de Iva:		\$	1,256,849
IVA:		\$	238,801
Total:		\$	1,495,650