

DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS

Diseño de un sistema On Grid solar fotovoltaico para la Litoteca Nacional ubicada en las instalaciones del Parque Tecnológico Guatiguará de la Universidad Industrial de Santander UIS, en la vereda Guatiguará, del municipio de Piedecuesta, Santander. DISISFOL 2022-2

Ludsving Alirio Lizarazo Rincón y Elio Andrés González Reyes

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingenieros Electricistas

Director

Magíster en Ingeniería Eléctrica. Manuel José Ortiz Rangel

Codirector

Ingeniero Electricista. Gabriel Ordoñez Plata

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de ingenierías eléctrica, electrónica y de telecomunicaciones

Ingeniería Eléctrica

Bucaramanga

2024

DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS

Dedicatoria

A Dios todopoderoso Jesucristo, por permitirme llegar hasta este punto de mi vida y haber logrado esta meta tan maravillosa. Por darme la sabiduría y la bendición para con amor haber culminado con orgullo este trabajo.

A mi padre que desde el cielo me ilumina para seguir adelante con mis proyectos.

Dedico de manera especial este trabajo a mi hija Victoria, que me dio la felicidad y la motivación para culminar esta meta, a mi madre Julia que me sirvió de guía y apoyo incondicional en los momentos más difíciles de este hermoso proceso.

Ludsving Alirio Lizarazo Rincón

DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS

Agradecimientos

A la Universidad Industrial de Santander por abrirme las puertas de esta emblemática comunidad.

A la escuela de ingenierías eléctrica, electrónica y de telecomunicaciones, casa matriz de la cual aprendí todo lo que soy como profesional.

A todos los profesores de la E3T por su apoyo y orientación en esta etapa tan maravillosa.

A mi amigo Sergio que como egresado de esta comunidad universitaria me aconsejó en los momentos más difíciles de la carrera.

Ludsving Alirio Lizarazo Rincón

DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS

Contenido

Introducción	11
Objetivos	14
Metodología	15
1. Caracterización de la instalación eléctrica	17
1.1 Carga eléctrica	18
1.2 Estimación de la demanda energética	19
1.3 Análisis general del sitio	20
1.4 Dimensión de la cubierta	20
1.5 Área disponible para instalación	21
1.6 Potencia pico del generador por superficie disponible	22
2. Condiciones ambientales de la entidad	23
2.1 Fuente 1: Atlas de radiación Solar y atlas climatológico del IDEAM	23
2.2 Fuente 2: Nasa Power Data Access Viewer	23
2.3 Temperatura	24
2.4 Velocidad del viento	25
2.5 Irradiancia Solar Global Horizontal	27
3. Dimensionamiento de la instalación	30
3.1 Generador Fotovoltaico	30
3.1.1 Disposición de paneles	30
3.1.2 Número máximo de paneles	31
3.1.3 Tipo de conexión	32
3.1.4 Panel solar fotovoltaico seleccionado	33
3.2 Inversor	35
3.2.1 Selección del inversor	35
3.3 Conductores del sistema fotovoltaico	38
3.3.1 Selección del conductor	39
3.4 Pérdidas en el cableado	41
3.5 Regulación de voltaje	42
3.5.1 Regulación de voltaje en corriente continua	42
3.5.2 Regulación de voltaje en corriente alterna	43
3.6 Medidor de energía bidireccional	44

DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS

3.6.1 Selección del medidor de energía bidireccional	46
3.7 Protecciones eléctricas	47
3.7.1 Selección de protecciones eléctricas	48
3.8 Sistema de puesta a tierra.....	49
3.9 Estructuras.....	50
3.10 Ductos y canalizaciones	51
3.11 Diagrama Unifilar	52
4. Evaluación técnica y económica.....	53
4.1 Estimación de la energía generada por el sistema fotovoltaico	53
4.2 Degradación	54
4.3 Excedentes de energía.....	56
4.4 Presupuesto	56
4.5 Análisis de retorno económico.....	58
4.6 Impuesto al alumbrado público (IAP).....	60
4.7 Vistas de la distribución de paneles en cubierta	61
5. Conclusiones	63
6. Recomendaciones	65
Referencias Bibliográficas	66

DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 <i>Hojas de datos de fabricantes de paneles</i>	34
Tabla 2 <i>Datasheets de los inversores</i>	37
Tabla 3 <i>Corrientes ajustadas por normativa</i>	39
Tabla 4 <i>Capacidades de corriente permisibles en conductores aislados</i>	40
Tabla 5 <i>Selección del conductor</i>	41
Tabla 6 <i>Porcentaje de pérdidas en el tendido eléctrico</i>	42
Tabla 7 <i>Protecciones para los tramos del sistema</i>	47
Tabla 8 <i>Porcentaje de ocupación</i>	52
Tabla 9 <i>Energía mensual generada por el sistema solar fotovoltaico</i>	54
Tabla 10 <i>Degradación</i>	55
Tabla 11 <i>Presupuesto</i>	57

DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 <i>Diagrama de flujo para el dimensionamiento de sistemas FV</i>	15
Figura 2 <i>Diagrama unifilar de la Litoteca Nacional</i>	17
Figura 3 <i>Edificio Litoteca Nacional</i>	20
Figura 4 <i>Ubicación geográfica, área disponible de la cubierta a dos aguas</i>	21
Figura 5 <i>Temperatura media anual del atlas climatológico del IDEAM</i>	24
Figura 6 <i>Temperatura media anual</i>	25
Figura 7 <i>Gráfico de la velocidad del viento</i>	26
Figura 8 <i>Mapa de la velocidad del viento</i>	26
Figura 9 <i>Irradiancia hacia abajo onda corta en toda la superficie del cielo</i>	27
Figura 10 <i>Mapa de radiación solar global</i>	28
Figura 11 <i>Mapa de brillo solar</i>	28
Figura 12 <i>Orientación óptima del panel</i>	31
Figura 13 <i>Esquema de conexión</i>	33
Figura 14 <i>Ficha técnica panel solar</i>	35
Figura 15 <i>Configuración esclavo -maestro</i>	38
Figura 16 <i>Clasificación de puntos de medición</i>	44
Figura 17 <i>Requisitos de exactitud para medidores y transformadores de medida</i>	45
Figura 18 <i>Hoja de datos medidor bidireccional</i>	46
Figura 19 <i>SH203-C50 Interruptor automático - 3P - C - 50 A</i>	48
Figura 20 <i>Breaker Industrial Fijo 250A Capacidad de Ruptura 50KA - A2C</i>	48
Figura 21 <i>Estructura anclaje a la cubierta</i>	50
Figura 22 <i>Selección de tuberías</i>	51

DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS

Figura 23 <i>Flujo de caja en la vida útil del proyecto.</i>	58
Figura 24 <i>Ganancia neta durante 25 años</i>	59
Figura 25 <i>Vista lateral de la instalación solar.</i>	61
Figura 26 <i>Vista superior de la instalación solar.</i>	62
Figura 27 <i>Vista frontal de la instalación solar</i>	62

DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS

RESUMEN

Título: Diseño de un sistema On Grid solar fotovoltaico para la Litoteca Nacional ubicada en las instalaciones del Parque Tecnológico Guatiguará de la Universidad Industrial de Santander UIS, en la vereda Guatiguará, del municipio de Piedecuesta, Santander. DISISFOL 2022-2.

Autores: Ludsving Alirio Lizarazo Rincón y Elio Andrés González Reyes

Palabras claves: Sistemas solares fotovoltaicos, transición energética, sistemas de autoconsumo, generación de energía eléctrica.

Descripción:

Este proyecto de grado comprende el diseño de un sistema solar fotovoltaico conectado a la red, con la expectativa de suplir una parte de la carga del edificio de la Litoteca Nacional, con enfoque hacia la carga del sistema de aire acondicionado del edificio. Para esto se llevará a cabo una proyección del consumo energético, el dimensionamiento de los paneles solares y los diferentes componentes que la integran. Siendo este un sistema On Grid, se debe mantener en sincronismo con la frecuencia de la red del operador para lograr la continuidad del servicio. Se diseñará el sistema con mayor eficiencia energética, además se tienen que cumplir los reglamentos y normas para el diseño, también una relación costo beneficio con respecto a los elementos que componen el sistema como son paneles, cables, e inversores.

*Trabajo de Grado

**Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones (E3T). Director: MIE. Manuel Ortíz.

DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS

ABSTRACT

Title: Design of a solar photovoltaic On Grid system for the National Lithotheque located in the facilities of the Guatiguará Technological Park of the Industrial University of Santander UIS, in the Guatiguará neighborhood, in the municipality of Piedecuesta, Santander. DISISFOL 2022-2.

Authors: Ludsving Alirio Lizarazo Rincón and Elio Andrés González Reyes

Keywords: Photovoltaic solar systems, energy transition, self-consumption systems, electricity generation.

Description:

This degree project includes the design of a solar photovoltaic system connected to the grid, with the expectation of supplying a part of the load of the National Litoteca building, with a focus on the load of the building's air conditioning system. For this, a projection of the consumption of said load, the sizing of the solar panels and the different components that make up it will be carried out. Since this is an On Grid system, it must be kept in sync with the operator's network frequency to achieve service continuity. The system will be designed with greater energy efficiency, in addition, the regulations and standards for the design must be met, as well as a cost-benefit relationship with respect to the elements that make up the system such as panels, cables, and inverters.

* Degree work

** Faculty of Physicomechanical Engineering. School of Electrical, Electronic and Telecommunications Engineering (E3T). Director: MIE. Manuel Ortíz.

DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS

Introducción

El desarrollo de la sociedad está directamente relacionado con el consumo de energía, en este sentido la humanidad a lo largo de la historia ha buscado manipular a su favor cada una de las fuentes, con el apoyo de la ciencia y su ingenio ha logrado una revolución acelerada que ha traído hasta el presente, donde los protagonistas han sido las energías provenientes de fósiles y la energía hidroeléctrica, de modo que parece descabellado imaginar un mundo sin el uso de estas energías.

En Colombia, la capacidad efectiva neta de generación para el año 2024 es de 19.919 MW (enero 2024), de los cuales 66,3% corresponden a energía hidráulica, y el 30,1% a energía térmica (según datos de Xm), esto permite afirmar que la matriz energética del país es mayoritariamente hidráulica, energía que depende de los niveles de agua almacenada. Sin embargo, el uso de esta energía se ve afectado ante fenómenos como el Niño, según la revista Cambio: “ISAGEN está experimentando aportes hídricos sensiblemente disminuidos, destacando que el agua que está ingresando a los embalses de Colombia, solo es suficiente para generar cerca de la mitad de la energía que se consume en el país cada día”.

Por eso, el gobierno colombiano en su Plan Nacional de Desarrollo 2023, contempla los lineamientos para que se puedan constituir comunidades energéticas con el fin de generar, comercializar y/o utilizar eficientemente la energía a través del uso de fuentes no convencionales de energía renovables, lo cual marca un hito en la transición energética del país.

Este proyecto de grado plantea el uso de la energía solar para la Litoteca Nacional, en atención a la evidente necesidad de gestionar alternativas de abastecimiento y disponibilidad de energía eléctrica, y garantizar el desarrollo sostenible de las instituciones.

DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS

La solución planteada contempla la generación de energía eléctrica para el autoconsumo de la institución, con la expectativa de suplir parte de la demanda de energía diaria de la institución y con la posibilidad de inyectar los excedentes de energía a la red eléctrica.

Con el fin de disminuir los costos de consumo energético debido a las cargas instaladas por la institución, es posible aprovechar el recurso solar ya que se cuenta con un espacio importante y adecuado para la instalación de sistemas fotovoltaicos en la cubierta de la edificación.

Inicialmente, se consulta a la institución por información suficiente que permita caracterizar la instalación eléctrica, a partir de los planos eléctricos existentes de la edificación, se verifica su estado y se cuantifica la demanda energética de la instalación. Posteriormente se exploran las herramientas de información que brindan los parámetros ambientales necesarios para el apropiado dimensionamiento del sistema fotovoltaico.

Se determina el número de equipos a instalar como son paneles solares, inversores, cableado en corriente continua y en alterna, equipos de sujeción, tableros de distribución y protecciones eléctricas, estableciendo de forma clara las especificaciones técnicas y tipos de conexión. Después se localizan los distintos comercializadores de productos fotovoltaicos, se comparan sus especificaciones y precios, optando por encontrar la mejor relación costo beneficio.

DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS

Para lograr la ejecución de este tipo de proyectos se requiere un análisis económico, el cual permite evaluar el tiempo de retorno de la inversión. Por lo tanto, se realiza el presupuesto general de todos los equipos, materiales, mano de obra, entre otros que hacen parte fundamental del desarrollo del proyecto y que permiten definir la inversión requerida por parte de la institución.

Para finalizar se apoya en el software BlueSol (Cadware, 2010), herramienta que permite realizar la evaluación económica y establecer el tiempo de retorno de la inversión para este tipo de sistemas. El valor del presupuesto calculado, y el diseño del sistema fotovoltaico en general son los datos de entrada para el programa, con esto se realiza la simulación obteniendo la energía generada por el sistema diseñado, la energía exportada a la red, el tiempo de retorno de la inversión, y el flujo de caja acumulado.

Con los datos calculados por el programa, el sistema diseñado puede conectarse de manera exitosa a la red y servir de autoconsumo, con la ventaja de generar excedentes en los días en que la institución no labora. De esta manera, con los datos obtenidos por el software, se puede determinar si es viable ejecutar el montaje e instalación de este proyecto solar.

DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS

Objetivos

Objetivo General

Realizar el diseño de un sistema solar fotovoltaico conectado a la red, con la expectativa de suplir una parte de la carga del edificio de la Litoteca Nacional, con enfoque hacia la carga del sistema de aire acondicionado del edificio.

Objetivos Específicos

El cumplimiento del objetivo general del trabajo de grado comprende:

- Identificar la instalación existente, cuantificar la carga a suplir y la demanda energética del usuario, cuantificar el área disponible y la potencia pico del generador.
- Consultar las condiciones ambientales del sitio (potencial solar, horas solares pico, temperatura y viento).
- Detallar la cantidad de elementos a utilizar, especificaciones técnicas y esquemas de conexión de los componentes del sistema (paneles solares, inversores, cableado en corriente continua y alterna, e instalación eléctrica complementaria).
- Proponer la solución para el diseño implementando energía solar FV, dando cumplimiento a la normativa y ponderando la mejor solución.

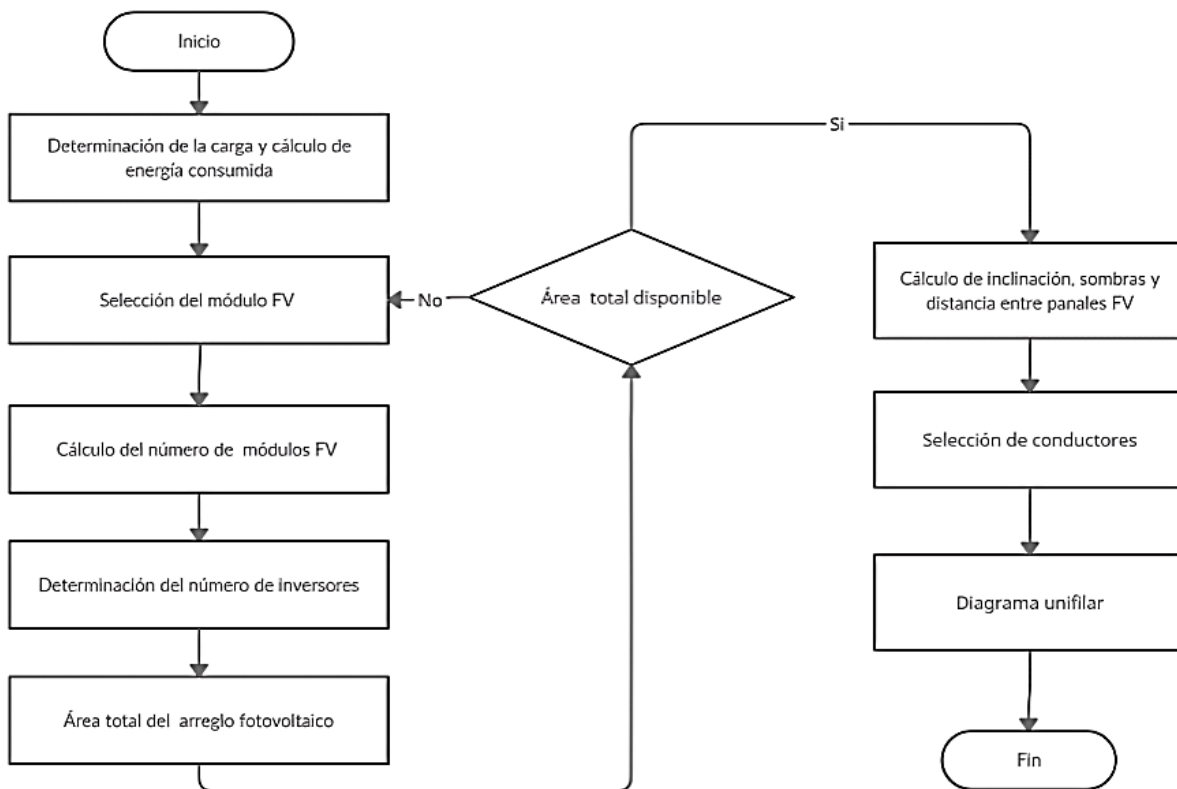
DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS

Metodología

Para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico se emplea el método de diagrama de flujo mostrado en la figura 1, por medio del cual se planifica, visualiza y describe el paso a paso permitiendo identificar las tareas necesarias para dimensionar el sistema FV (Loeza, Ramiro, & Tenorio, 2012).

Figura 1.

Diagrama de flujo para el dimensionamiento de sistemas FV.



De acuerdo con el diagrama de flujo, para lograr de manera efectiva el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, se plantean las siguientes actividades, tal que al culminar cada una, se logren avances y se dé respuesta a los objetivos propuestos para el proyecto.

DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS

Actividad 1

- Identificar las características de la instalación existente de acuerdo con los planos eléctricos.
- Determinar la carga a suplir.
- Realizar una estimación del consumo energético de la institución.
- Se identifican los parámetros del sitio: latitud, longitud.
- Caracterizar la cubierta disponible y calcular el área.

Actividad 2

- Determinar las condiciones ambientales en Piedecuesta, Santander. Con el apoyo de las diferentes herramientas como: el atlas de radiación solar del IDEAM, Nasa Power y BlueSol.

Actividad 3

- Se desarrolla el dimensionamiento del generador fotovoltaico.
- Selección adecuada de los módulos solares e inversor.
- Diagrama unifilar de la instalación eléctrica.
- Cálculo de los elementos de protección de la instalación, sección de los conductores y demás componentes de la instalación necesarios.
- Calcular la energía generada por el sistema diseñado.

Actividad 4

- Realizar una serie de cotizaciones en los diferentes comercializadores, sobre los elementos que componen el diseño.
- Se elabora un presupuesto para la ejecución del proyecto, sobre las cotizaciones realizadas.
- Se realiza una simulación con el software BlueSol que permite calcular el tiempo de retorno de la inversión realizada, considerando: costos de mantenimiento, variación del precio del kWh, degradación del panel solar.

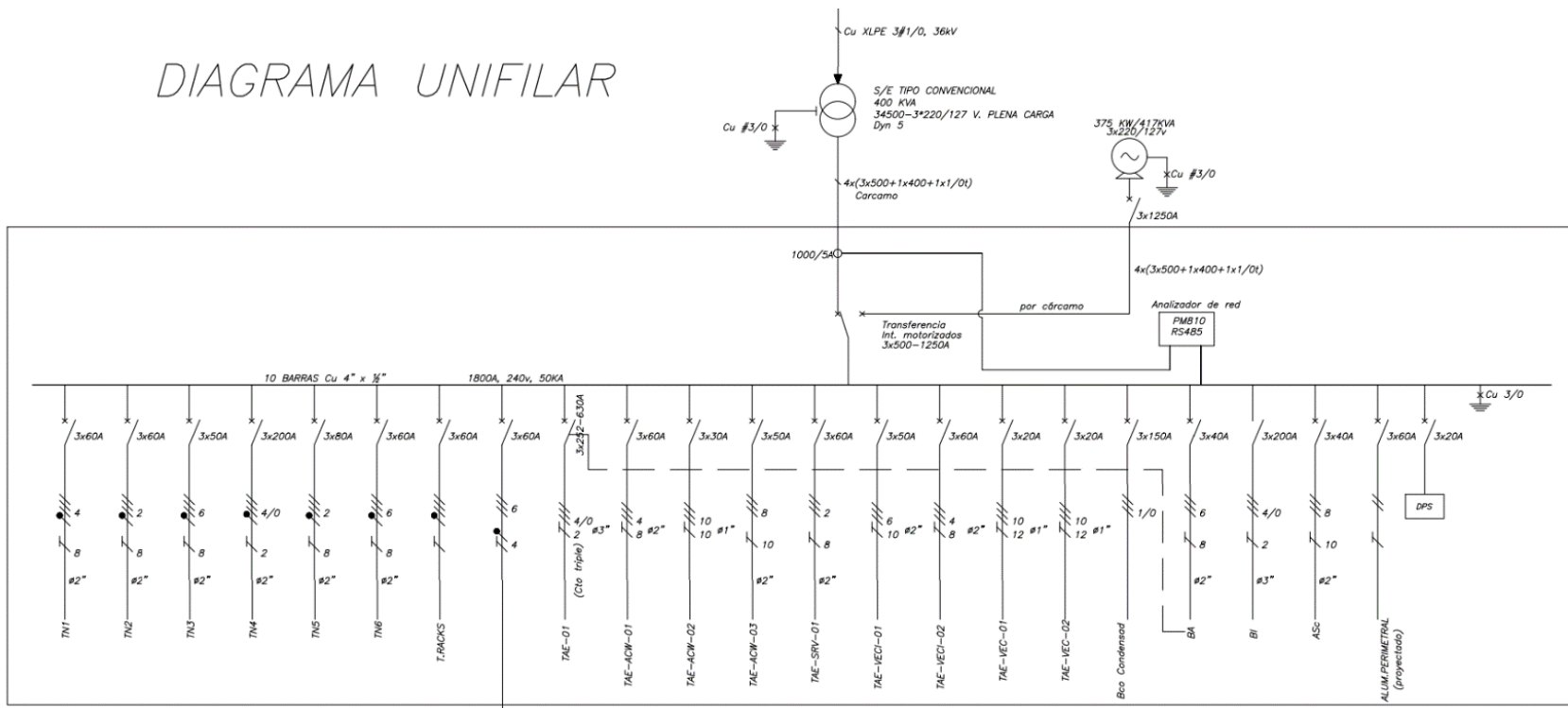
DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS

1. Caracterización de la instalación eléctrica

El edificio de la Litoteca Nacional, cuenta con un transformador de 400kVA, es un usuario de tipo institucional en el cual se ejecutan labores administrativas. El suministro de energía se deriva de un barraje de 220 [V] como se representa en la figura 2.

Figura 2.

Diagrama unifilar de la Litoteca Nacional.



Tomado de Planos ESSA V2.

DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS

1.1 Carga eléctrica

Como se muestra en el diagrama unifilar de la Litoteca Nacional se pueden extraer las siguientes características:

Se observa que en el lado de baja tensión 220 V, están instalados los siguientes conductores eléctricos:

- Para fases: 4 conductores por fase, calibre 500 KCMIL.
- Para neutro: 4 conductores, calibre 400 KCMIL.
- Para tierra: 4 conductores, calibre 1/0 AWG.

Además, la corriente de línea del sistema es utilizada para dimensionar el conductor y se calcula con la Ecuación 1:

$$I_{\text{línea}} = \frac{S}{\sqrt{3} * 220} = 1.049 [A] \quad \text{Ecuación (1)}$$

Además, como la entidad es de tipo administrativo la carga es esencialmente equipos de cómputo y sistemas de acondicionamiento, los cuales necesitan energía reactiva para su funcionamiento. Por lo tanto, se considera un factor de potencia de 0,8 y la potencia activa en el tablero general de baja tensión se representa en la Ecuación 2:

$$P = \sqrt{3} * V_L * I_L * \cos \theta = \sqrt{3} * 220 * 1.049 * 0,8 = 319,7 \text{ Kw} \quad \text{Ecuación (2)}$$

Entonces la carga a suplir tiene un valor de 319,7 kW.

DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS

1.2 Estimación de la demanda energética

Para el análisis de la demanda energética se recurre a hacer una estimación del tiempo de uso de la carga. La entidad es de tipo administrativo la cual labora y hace uso de la carga de forma permanente en los horarios de 8:00 a 12:00 a.m. y de 2:00 a 6:00 p.m., es decir se hace uso de la carga un tiempo de 8 horas al día. Con lo cual se estima una demanda como se muestra en la ecuación 3:

$$E = P * t \quad \text{Ecuación (3)}$$

Se identifican las variables de la ecuación:

- E es la energía consumida
- P es la potencia
- t es el tiempo de uso

Con lo cual reemplazando en la Ecuación 3, se obtiene la energía diaria demandada por la instalación en el lado de baja tensión en la ecuación 4:

$$E = 319,7 \text{ kW} * 8 \text{ h} = 2.557 \frac{\text{kWh}}{\text{día}} \quad \text{Ecuación (4)}$$

DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS

1.3 Análisis general del sitio

La Litoteca Nacional se encuentra ubicada dentro de las instalaciones del Parque Tecnológico de Guatiguará la UIS, es un edificio dentro que pertenece al Servicio Geológico Colombiano SGC, está exactamente en las coordenadas $6^{\circ}59'33.6''N$ (latitud), $73^{\circ}03'49.6''W$ (longitud), tal como lo muestra la figura 4, con una altitud de 960 metros sobre el nivel del mar, en el municipio de Piedecuesta, Santander.

Figura 3

Edificio Litoteca Nacional.



Tomado de Google Earth.

1.4 Dimensión de la cubierta

La cubierta a dos aguas de la Litoteca Nacional se localiza en el cuarto nivel de la edificación, además en el cuarto nivel se encuentra el tablero eléctrico donde están conectadas las unidades de aire acondicionado del edificio, la cubierta en color azul es mostrada en la figura 4:

DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS

Figura 4

Ubicación geográfica, área disponible de la cubierta a dos aguas.



Tomado de Google Earth.

Se ha verificado que esta es la única cubierta óptima en el sitio para desarrollar una instalación solar ya que, está cubierta debe soportar el peso propio del sistema fotovoltaico.

Por medio del software Google Earth se calcula el área, la figura anterior detalla la medida de esta es decir 256 [m²].

1.5 Área disponible para instalación

Una de las principales restricciones del dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos es el área disponible para la instalación del generador, como vimos en el numeral 1.4 el área disponible es 256 [m²]. Sin embargo, no es posible disponer de la totalidad ya que es necesario brindar un área segura al personal técnico y de mantenimiento de la instalación.

Luego, para este diseño se considera un área disponible para la instalación del sistema solar fotovoltaico de 217,6 [m²], es decir un 85% del área total.

DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS

1.6 Potencia pico del generador por superficie disponible

“Si se dispone de una superficie, por ejemplo, un tejado o una azotea, la potencia del generador estará limitada por la cantidad máxima de dicha superficie que pueda ocupar el generador fotovoltaico” (Castejon Oliva & Santamaria Herranz, 2010, pág. 171).

Para la tecnología monocristalina elegida la superficie que ocupa es de $4,8[m^2/kW]$. De esta manera, se obtiene una potencia máxima del generador ilustrada en la Ecuación 5:

$$Pg \text{ Máx} = \frac{\text{Superficie útil [m}^2\text{]}}{\text{Superficie ocupada [m}^2\text{/kW]}} = \frac{217,6}{4,8} = 45,3 \text{ [kWp]} \quad \text{Ecuación (5)}$$

Entonces la potencia máxima del generador fotovoltaico, que se puede instalar en el área disponible calculada en el Numeral 1.5, son 45,3 kW pico, para panel de 4,8 $[m^2/kW]$ por kilovatio instalado.

Lo anterior demuestra que la restricción de área incide de manera directa en la potencia pico a instalar, en particular para este proyecto hace que no sea posible dimensionar un sistema con la expectativa de 319,7 kW (calculada en el Numeral 1.1).

Es decir, se espera suplir con este proyecto el 14,2% de la carga total de la institución.

DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS

2. Condiciones ambientales de la entidad

En este capítulo se realiza la consulta en los diferentes entes encargados de brindar los parámetros climáticos, esto es importante ya que para cada lugar varían los parámetros de viento, temperatura y recurso solar disponible.

Las fuentes que proporcionan esta información son:

2.1 Fuente 1: Atlas de radiación Solar y atlas climatológico del IDEAM

(Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM)

Material bibliográfico elaborado por el IDEAM en conjunto con la UPME (Unidad de Planeación Minero-Energética), para proveer información suficiente sobre los fenómenos climatológicos de Colombia como son: viento, temperatura, radiación y brillo solares. Proporciona una serie de mapas y gráficas tomadas por las distintas estaciones meteorológicas que miden el comportamiento del clima en el país.

2.2 Fuente 2: Nasa Power Data Access Viewer

(Prediction Of Worldwide Energy Resources)

Es un recurso online que proporciona el acceso a datos relacionados con la meteorología y la energía solar, formulados para evaluar y diseñar sistemas de energía renovable.

Se consideran estas dos fuentes de información por lo siguiente: el IDEAM ofrece información de la estación meteorológica más cercana al punto de estudio que sería la estación de la Universidad Industrial de Santander ubicada a 1018 m.s.n.m, por otra parte, el software Nasa es uno de los más empleados para obtener parámetros ambientales además que contiene una información actualizada de carácter confiable.

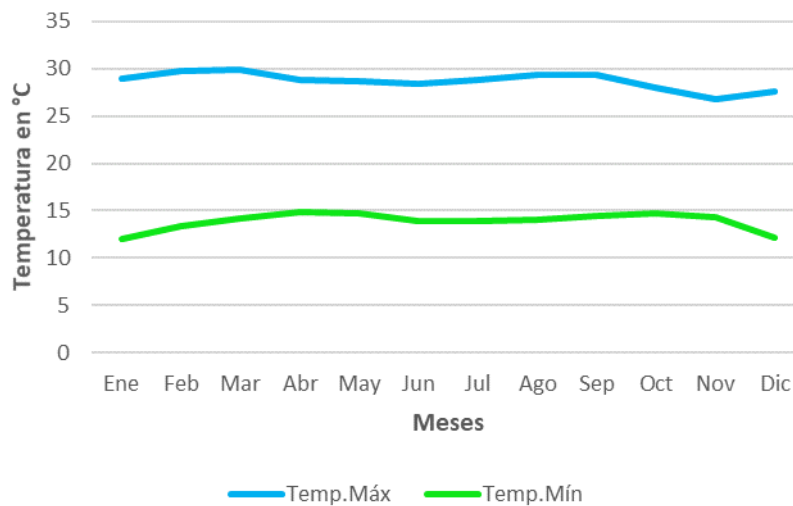
DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS

2.3 Temperatura

La temperatura de operación es un parámetro que tiene influencia en el rendimiento del módulo fotovoltaico, cuyo incremento disminuye la potencia en mayor o menor medida. Por lo que se obtienen los datos de la base virtual de Nasa Power desde el año 2012 a 2022. Se calcula el valor promedio mensual en este intervalo de tiempo para determinar la temperatura ambiente del sitio en un solo año como se muestra en la figura 5.

Figura 5

Temperatura media anual del atlas climatológico del IDEAM.



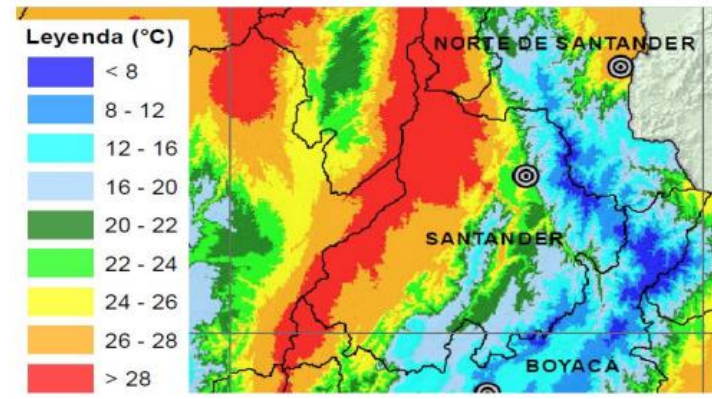
Datos tomados de Nasa Power

De la información que suministra el Atlas climatológico del IDEAM se obtiene un valor entre 18°C y 24°C de temperatura anual como lo muestra la figura 6.

DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS

Figura 6

Temperatura media anual.



Tomada del Atlas de Radiación Solar IDEAM.

De los datos obtenidos por IDEAM y Nasa Power se obtienen 24°C y 28.7°C respectivamente, entonces se procede a calcular el promedio de estas dos medidas.

2.4 Velocidad del viento

Este es un parámetro de gran importancia para determinar las estructuras de soporte de los paneles que estarán expuestos a las condiciones de velocidad del viento en ese punto. En la figura 7 se muestra esta variación a lo largo de los meses.

DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS

Figura 7

Gráfico de la velocidad del viento.

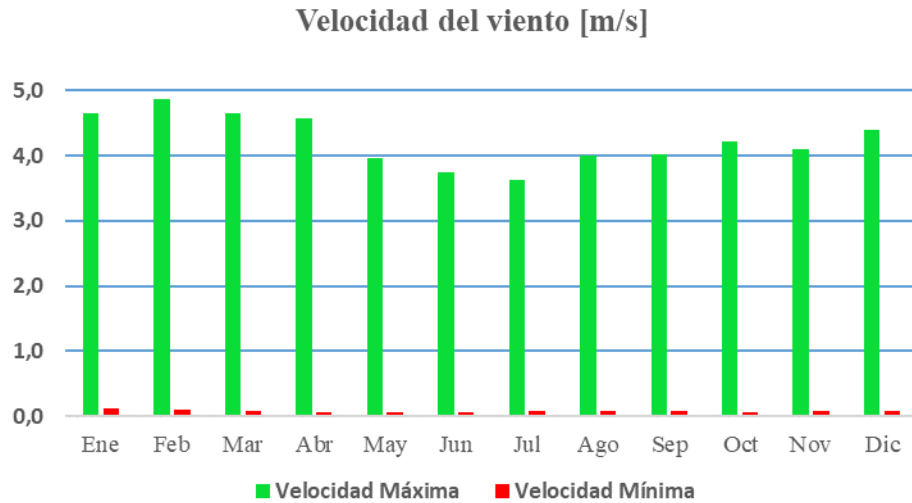
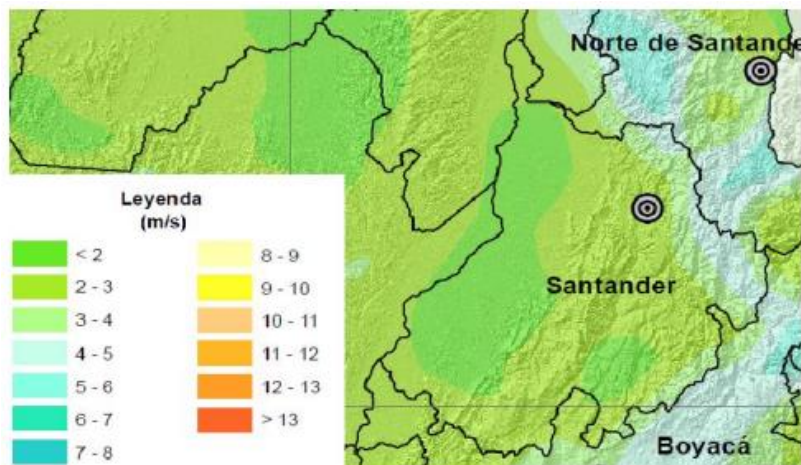


Figura de datos tomada de Nasa Power

Por otra parte, la información que nos ofrece el Atlas climatológico del IDEAM en cuanto a velocidad del viento se muestra en la figura 8:

Figura 8

Mapa de la velocidad del viento.



DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS

Como se puede apreciar del IDEAM nos arroja una velocidad de viento de 2 a 3 [m/seg] y de Nasa Power se obtiene unos valores promedios de 4.2 a 0.1 [m/seg], para este diseño se considera un valor de 2 [m/seg].

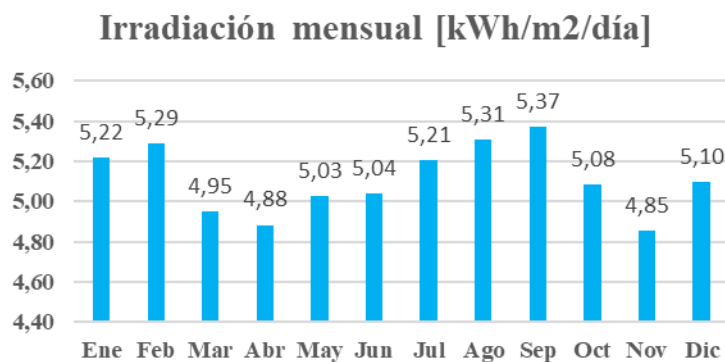
2.5 Irradiancia Solar Global Horizontal

Es la magnitud que describe la radiación o intensidad de iluminación solar que llega hasta nosotros, medida como una potencia instantánea por unidad de superficie en [W/m^2] o unidades equivalentes. Es un parámetro variable ya que depende de la longitud, latitud y condiciones ambientales del lugar.

La energía eléctrica que genera un módulo es proporcional a la energía luminosa que recibe y por ello es crucial el lugar dónde se ubican los módulos solares. Para mayor precisión se pueden calcular diagramas de irradiación locales a partir de datos anuales para cada lugar, para esto se usan los datos de la Nasa Power Data desde 2012 a 2022 y se toma el valor promedio de estos valores.

Figura 9

Irradiancia hacia abajo onda corta en toda la superficie del cielo.



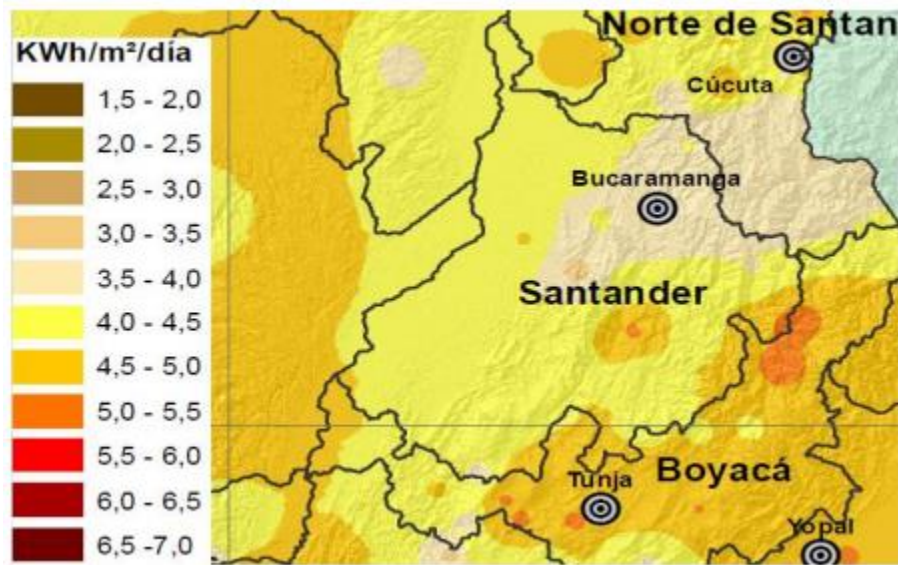
Datos tomados de Nasa Power data.

DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS

Del IDEAM se obtiene una irradiancia solar global horizontal de 4.0 a 4.5 kWh/m² por día como se muestra en la figura 10.

Figura 10

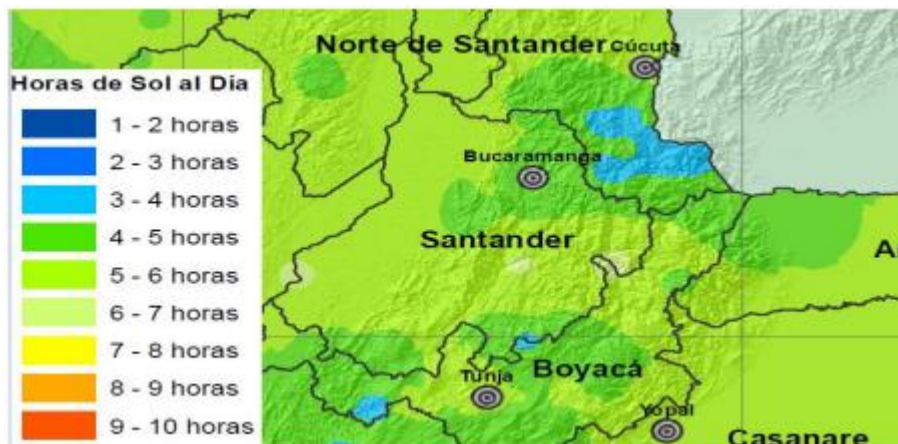
Mapa de radiación solar global.



El brillo solar se define como el número de horas en las que se puede aprovechar la radiación solar en un día, que es de 4 a 5 horas de sol al día, como se muestra en la figura 11.

Figura 11

Mapa de brillo solar.



DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS

Con los datos obtenidos del software Nasa Power, procedemos a calcular el promedio de las radiaciones mensuales para el lugar, teniendo claro que una hora solar pico equivale a una intensidad de radiación de $1.000 \text{ W}\cdot\text{h}/\text{m}^2$ que inciden sobre la superficie del módulo solar, el resultado es 5.1 HSP, es la energía que está disponible al día.

3. Dimensionamiento de la instalación

3.1 Generador Fotovoltaico

Está formado por la interconexión en serie y paralelo de un determinado número de módulos fotovoltaicos. Este número estará en función de la potencia de la instalación y de las características de sus elementos.

En este ítem se van a especificar los siguientes puntos importantes para tener en cuenta:

- **Cantidad de paneles requeridos:**

Se requiere calcular el número máximo de módulos solares que se podrían instalar en el área de la cubierta con el fin de maximizar la capacidad instalada del generador.

- **Tipo de Conexión:**

Selección de la cantidad de strings y número de módulos en paralelo y serie.

- **Distribución:**

Especifica la distribución de los módulos solares según la inclinación y el espaciado en el área seleccionada.

3.1.1 Disposición de paneles

En este apartado se indaga la orientación e inclinación de los módulos solares, es decir se investigan los parámetros de la instalación fotovoltaica en la ubicación, con la finalidad de mejorar su rendimiento.

Orientación e inclinación

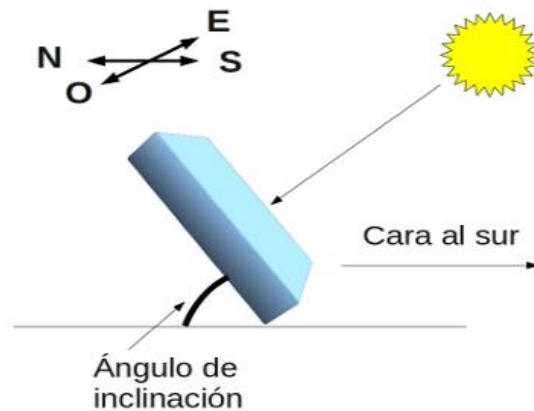
La orientación está dada por la ubicación de la instalación, la cual para este diseño se define hacia el sur ya que estamos ubicados en el hemisferio norte. La inclinación de los paneles viene dada por el ángulo formado entre la superficie horizontal y el panel FV, que por lo general coincide

DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS

con los grados de latitud del sitio que son 6°, este parámetro es importante ya que se debe evitar la acumulación de suciedad y estancamiento de agua.

Figura 12

Orientación óptima del panel.



Tomado de www.solesco.com.co

Análisis de Sombras

Para el presente proyecto se verificó que en la ubicación no hay presencia de estructuras, edificios, o vegetación que puedan llegar a generar sombras en la instalación.

3.1.2 Número máximo de paneles

Para este numeral se hizo un cálculo en base a la potencia pico del generador calculado anteriormente con la ecuación 6:

$$\text{Número de paneles} = \frac{\text{Potencia Pico}}{\text{Potencia Panel}} \quad \text{Ecuación (6)}$$

Donde:

- Potencia pico = 45,3 [kWp], es la potencia máxima del generador
- Potencia panel = 0,5 [kWp], es la potencia nominal del panel

DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS

Luego con estos datos se procede a evaluar la ecuación 6, para determinar el número de paneles con la ecuación 7:

$$\text{Número de paneles} = \frac{45,3}{0,5} = 90,6 \quad \text{Ecuación (7)}$$

Entonces para este proyecto se seleccionan 90 paneles fotovoltaicos de 500 W.

3.1.3 Tipo de conexión

Los paneles solares se pueden conectar en serie, paralelo o en configuración mixta. Para determinar el conexionado, se debe seleccionar la configuración de acuerdo con los niveles de tensión y corriente del inversor al cual se va a conectar, específicamente se tiene en cuenta la tensión de operación en corriente continua V_{cc} soportada por el inversor y la tensión de circuito abierto del panel V_{oc} , efectuando la ecuación 8:

$$\text{Número de paneles en serie} = \frac{V_{\text{inversor}}}{V_{oc \text{ panel}}} \quad \text{Ecuación (8)}$$

El voltaje de circuito abierto del panel es proporcionado por la hoja de datos del fabricante y el valor de voltaje del inversor se asume inicialmente como 800 [V], porque es un valor que usualmente soportan los inversores del mercado.

- $V_{\text{inversor}} = 800$ [V]
- $V_{oc \text{ panel}} = 49,42$ [V]

Al evaluar estos datos en la ecuación 8 se obtienen el número de paneles en serie como se muestra en la ecuación 9:

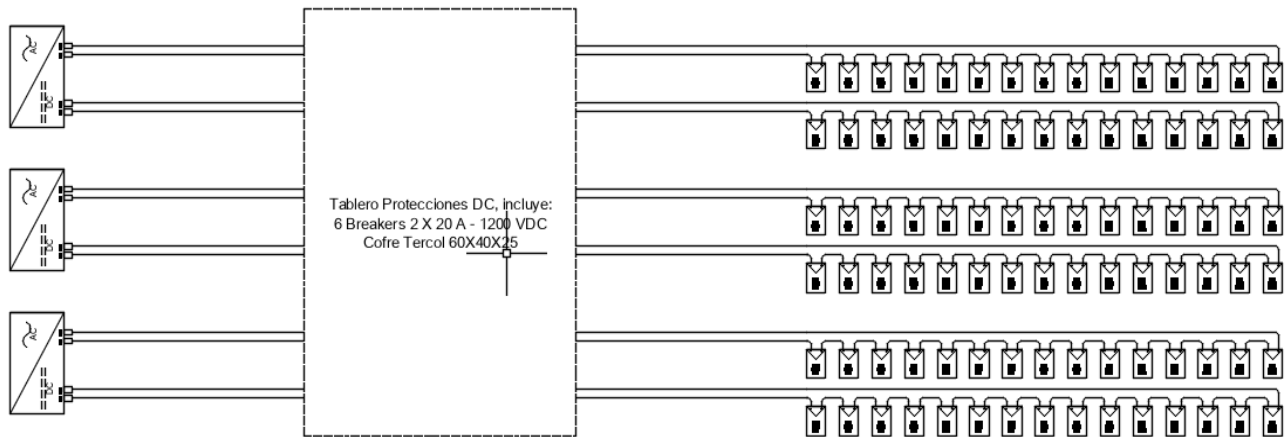
$$\text{Número de paneles en serie} = \frac{800}{49,42} = 16,18 \quad \text{Ecuación (9)}$$

DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS

Por lo tanto, el inversor debe soportar hasta 16 paneles en serie; sin embargo, para evitar sobredimensionar este equipo se seleccionan 15 paneles por cada string y se utilizan dos string por inversor como se observa en la figura 13.

Figura 13

Esquema de conexión.



3.1.4 Panel solar fotovoltaico seleccionado

Se consulta en la web los distintos comercializadores de paneles fotovoltaicos y se revisan sus características físicas, así como sus parámetros eléctricos en condiciones STC (Prueba en condiciones Estándar) es decir a 1000 W/m^2 de irradiancia, 25°C de temperatura de célula solar y masa de aire 1,5.

Para la selección de este equipo se comparan los diferentes módulos en base a los criterios:

- Tipo de módulo
- Rendimiento
- Potencia nominal
- Voltaje punto de máxima potencia
- Corriente punto de máxima potencia

DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS

- Corriente en cortocircuito I_{sc}
- Voltaje de circuito abierto V_{oc}

Se consulta en la página web de los fabricantes de paneles, los parámetros técnicos y sus precios mostrados en la tabla 1:

Tabla 1

Hojas de datos de fabricantes de paneles.

Características eléctricas (STC: 1 kW/m²) 25°C y AM 1,5)			
Fabricantes	JASolar	Eco Green	Znshine Solar
Potencia de Salida [W]	500	530	540
Eficiencia del módulo	21,1	20,51	20,85
Voltaje punto de máxima potencia	38,35	40,58	41,4
Corriente punto de máxima potencia	13,04	13,06	13,05
Voltaje en circuito abierto (V_{oc})	45,59	49,29	49,7
Corriente en cortocircuito (I_{sc})	13,93	13,64	13,78
Costo COP	\$ 851.000	\$ 1.152.000	\$ 1.085.000

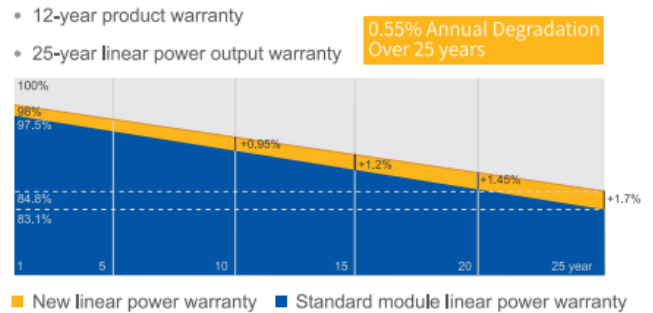
El panel escogido es la referencia JAM72S30 del fabricante JASolar del tipo monocristalino y tecnología hall celf como se muestra en la figura 14. Entre los parámetros eléctricos del panel seleccionado destacan el rendimiento más alto, la potencia de salida y el precio del equipo ya que disminuye la inversión a realizar.

DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS

Figura 14

Ficha técnica panel solar.

SPECIFICATIONS	
Cell	Mono
Weight	26.3kg
Dimensions	2093±2mm×1134±2mm×30±1mm
Cable Cross Section Size	4mm ² (IEC) , 12 AWG(UL)
No. of cells	132(6×22)
Junction Box	IP68, 3 diodes
Connector	Stäubli MC4-EVO2A/MC4-EVO2 QC Solar QC 4.10-351
Cable Length (Including Connector)	Portrait: 200mm(+)/300mm(-); Landscape: 1200mm(+)/1200mm(-)
Country of Manufacturer	China/Vietnam



3.2 Inversor

Para la selección del inversor se utiliza la potencia del panel y el número de paneles conectados en cada string. El cálculo se realiza a partir de la siguiente ecuación, para cada uno de los seis strings seleccionados ya que van a tener la misma cantidad de paneles en serie.

$$Potencia * String = N^{\circ} de paneles * Potencia panel = 15 * 500 = 7,5 kW$$

Es decir que el inversor seleccionado debe soportar como mínimo 15 kW, ya que cada inversor tiene dos strings con 15 paneles para cada uno.

3.2.1 Selección del inversor

Se selecciona de acuerdo con la potencia pico del sistema 45,3 kWp. Sin embargo, por motivos de confiabilidad en el sistema fotovoltaico se seleccionan tres inversores de potencia

DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS

15kW. Esto para evitar que el sistema deje de operar al producirse una falla en un string y que se pueda suplir la carga por los demás inversores.

Las especificaciones técnicas que nos proporcionan datos para seleccionar adecuadamente este equipo se definen a continuación:

- Estabilidad de voltaje.
- Eficiencia razonable.
- Baja distorsión de armónicos.
- Capacidad de resistir flickers, es decir, variaciones importantes en tensión.
- Buen comportamiento frente a la variación de temperatura.
- Flexibilidad en el conexionado.
- Arranque automático.
- Señalización adecuada.
- Seguridad.

Se realiza una búsqueda por los principales proveedores de las marcas de fabricantes más conocidas y que proporcionan los parámetros de estos equipos, se elige la más apropiada de acuerdo con los parámetros mencionados anteriormente, la información se presenta en la tabla 2:

DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS

Tabla 2

Datasheets de los inversores.

Características eléctricas (STC)			
Fabricantes	Fronius	Growatt	Ecogreen
Entrada DC			
Potencia FV recomendada [kWp]	10-16	12	15
Corriente máxima de entrada (MPPT1/MPPT2) [A]	25/16.5	13.5/27	11/11
Corriente máxima total (MPPT1/MPPT2) [A]	41.5	40.5	22
Rango de voltaje MPPT [V]	350 - 800	60 - 550	160 - 850
Rango de voltaje operación [V]	200-1000	100-600	180-1000
Voltaje de entrada máximo [V]	1000	600	1000
Número de MPPT	2	2	2
Salida AC			
Potencia máxima [VA]	12495	8000	11000
Corriente máxima de salida [A]	15	38.3	15.9
Eficiencia máxima %	98.1	90.8	90.8
Protecciones	Sí	Sí	Si
Tarjeta procesadora de Datos	Sí	No	No
Costo	\$13.921.000	\$5.881.294	\$10.390.000

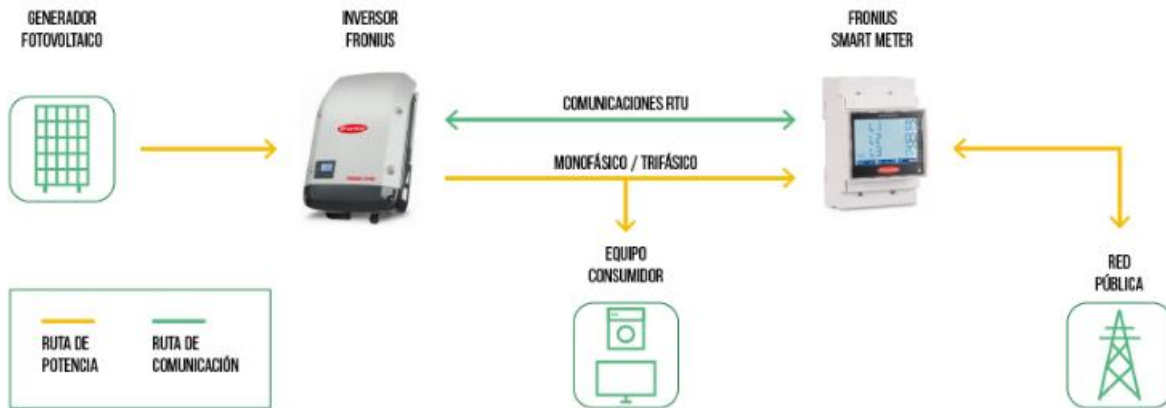
Con el fin de extraer la mayor cantidad de potencia del sistema instalado se opta por la opción que ofrece el fabricante Fronius, además se considera por el sistema de control de datos y software proporcionado por el fabricante que aporta de manera significativa a la inspección del

DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS

comportamiento del sistema y al control de la generación de energía. La mayor eficiencia la aporta la referencia Symo 12.5-3 480 del cual se muestra su configuración en la figura 15:

Figura 15

Configuración esclavo -maestro.



Tomada de Fronius página web.

3.3 Conductores del sistema fotovoltaico

Los cálculos de las secciones de los conductores varían de acuerdo con el tramo en donde la corriente del circuito sea de naturaleza continua o alterna. La corriente alterna por normativa, se tiene que sobredimensionar al 125% de la corriente nominal del circuito y se tiene que cumplir con la regulación de tensión vigente. La fórmula para hallar la corriente nominal se representa en la ecuación 9:

$$I = \frac{P}{V} [A] \text{ Ecuación (9)}$$

Donde:

- P= Potencia [W]

DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS

- V= Tensión [V]

$$I_{ajustada} = 1,25 \cdot I \quad \text{Ecuación (10)}$$

Con las ecuaciones 9 y 10 se efectúa el cálculo por tramos de la corriente, dato que sirve para elegir el conductor.

Tabla 3

Corrientes ajustadas por normativa.

Tramo	Tensión [V]	Potencia [W]	Corriente [A]	Factor de Ajuste	Corriente Ajustada [A]
Paneles FV- Inversor	45,59	500	10,97	1,25	13,71
Salida Inversor - Tablero Solar Fotovoltaico	220	15000	39,36	1,25	49,21
Tablero Solar Fotovoltaico-TGBT Acometida principal	220	45000	118,09	1,25	147,62

3.3.1 Selección del conductor

Para seleccionar el calibre nos remitimos a la norma técnica colombiana 2050, donde se especifican los calibres, seleccionando de acuerdo con la corriente ajustada.

DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS

Tabla 4

Capacidades de corriente permisibles en conductores aislados.

Calibre (AWG o kcmil)	Temperatura nominal del conductor [ver la Tabla 310.104(A).]								Sección Trans. en mm ²
	60 °C	75 °C	85 °C	90 °C	60 °C	75 °C	85 °C	90 °C	
	COBRE				ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE				
18	—	—	—	11	—	—	—	—	0,82
16	—	—	—	16	—	—	—	—	1,31
14**	18	21	24	25	—	—	—	—	2,08**
12**	21	28	30	32	18	21	24	25	3,03**
10**	28	36	41	43	21	28	30	32	5,25**
8	39	50	56	59	30	39	44	46	8,36
6	52	68	75	79	41	53	59	61	13,29
4	69	89	100	104	54	70	78	81	21,14
3	81	104	116	121	63	81	91	95	26,66
2	92	118	132	138	72	92	103	108	33,62
1	107	138	154	161	84	108	120	126	42,2
1/0	124	160	178	186	97	125	139	145	53,5
2/0	143	184	206	215	111	144	160	168	67,44
3/0	165	213	238	249	129	166	185	194	85,02
4/0	190	245	274	287	149	192	214	224	107,21
250	212	274	305	320	166	214	239	250	126,67
300	237	306	341	357	186	240	268	280	152,01
350	261	337	377	394	205	265	296	309	177,34
400	281	363	406	425	222	287	317	334	202,68
500	321	416	465	487	255	330	368	385	253,35
600	354	459	513	538	284	368	410	429	304,02
700	387	502	562	589	306	405	462	473	380,02
750	404	523	586	615	328	424	473	495	380
800	415	539	604	633	339	439	490	513	405
900	438	570	639	670	362	469	514	548	456
1 000	461	601	674	707	385	499	558	584	506,7

Tomado de Código Eléctrico Colombiano- NTC 2050

Por normativa, para corrientes menores a 100 [A] seleccionamos el calibre de acuerdo con la columna de 60° y para corrientes mayores a 100[A] seleccionamos el calibre de acuerdo con la columna de 75°, la información se presenta en la tabla 5.

DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS

Tabla 5

Selección del conductor.

Tramo	Tensión [V]	Calibre	Material
Paneles FV- Inversor	45,59	4mm ²	Cable Fotovoltaico
Salida Inversor -Tablero Solar Fotovoltaico	220	3x6+6	THHW
Tablero Solar Fotovoltaico- TGBT Acometida principal	220	3x1/0+1/0	THHW

3.4 Pérdidas en el cableado

Para reducir las pérdidas que se producen en el cableado, conviene acercar lo más posible los inversores a los módulos fotovoltaicos, de forma que las distancias que recorra la corriente continua sean cortas. Las pérdidas se calculan con la ecuación 11:

$$\%Pérdidas = \frac{I^2 \cdot R}{P} * 100 \text{ Ecuación (11)}$$

Donde:

- I=Corriente [A]
- R= Resistencia del conductor [Ohm/km], dato de las tablas del fabricante
- R=Longitud [km] *Resistencia del conductor
- P= Potencia [W]

Los resultados se presentan en la tabla 6.

DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS

Tabla 6

Porcentaje de pérdidas en el tendido eléctrico.

Tramo	Corriente [A]	Resistencia [Ω]	Potencia [kW]	%Pérdidas	Distancia [km]
Salida Inversor -Tablero Solar Fotovoltaico	49,21	0,00483	15	0,07%	0,003
Tablero Solar Fotovoltaico- TGBT Acometida principal	147,62	0,00585	45	0,28%	0,015

Las pérdidas del gabinete al tablero general de distribución, en la acometida principal son del 0.28%.

3.5 Regulación de voltaje

3.5.1 Regulación de voltaje en corriente continua

Por normativa la regulación en corriente continua no debe superar el 2% y se calcula mediante la ecuación 12:

$$\%R_{cc} = \frac{2 * d * I_{sc}}{V_{arreglo} * K_{material} * Calibre} \quad \text{Ecuación (12)}$$

Dónde

- d=Distancia tramo [m]
- I_{sc}=Corriente de corto circuito [A]
- V. Arreglo = voltaje arreglo fotovoltaico [V]
- K. material= Conductividad del material para cobre 56 [m/Ohm*mm²]

DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS

- Calibre = Calibre del conductor [mm²]

$$\%R_{cc} = \frac{2 \cdot 15 \cdot 13.93}{683.85 \cdot 56 \cdot 4} = 0.00272\% \quad \text{Ecuación (13)}$$

El conductor está por debajo del 2% por lo tanto cumple la regulación de voltaje.

3.5.2 Regulación de voltaje en corriente alterna

La regulación en corriente alterna no debe superar el 3% y el cálculo se realiza con la siguiente ecuación:

$$\Delta V = I * R * d * \sqrt{3} \quad \text{Ecuación (14)}$$

Donde:

- I=Corriente
- R=Resistencia para cables de Cobre [Ohm/km]
- d=Distancia tramo [km]

$$\Delta V = 49,21 * 2,56 * 0,003 * \sqrt{3} = 0.412[V] \quad \text{Ecuación (15)}$$

$$\%R_{ca} \text{ Inversor - Gabinete} = \frac{\Delta V}{V} * 100 = 0.18 \% \quad \text{Ecuación (16)}$$

Posteriormente la regulación de voltaje para este tramo de la instalación cumple la normativa establecida, ya que está por debajo del 3% máximo permitido.

La regulación de voltaje del tramo, gabinete al tablero general en la acometida principal se calcula mediante la ecuación 17:

$$\Delta V = 147,62 * 0,394 * 0,015 * \sqrt{3} = 1.51 [V] \quad \text{Ecuación (17)}$$

$$\%R_{ca} \text{ Gabinete - Tablero} = \frac{\Delta V}{V} * 100 = 0.69 \% \quad \text{Ecuación (18)}$$

DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS

Por lo anterior para este tramo, se concluye que cumple la regulación de voltaje máximo del 3%.

3.6 Medidor de energía bidireccional

En la selección del medidor de energía es crucial aplicar la resolución CREG 038 de 2014, es decir, el código de medida colombiano. En esta resolución se definen todos los criterios para la frontera de medida, para este proyecto en particular nos enfocaremos en obtener los parámetros y especificaciones técnicas que debe tener el medidor bidireccional para la entrega de excedentes al operador de red.

A continuación, se detallan los pasos para seleccionar de manera adecuada el medidor bidireccional:

1. Identificar el tipo de punto de medición: Se realiza con la tabla 1 de la CREG 038 de 2014 mostrada a continuación:

Figura 16

Clasificación de puntos de medición.

Tipo de puntos de medición	Consumo o transferencia de energía, C, [MWh-mes]	Capacidad Instalada, CI, [MVA]
1	$C \geq 15.000$	$CI \geq 30$
2	$15.000 > C \geq 500$	$30 > CI \geq 1$
3	$500 > C \geq 50$	$1 > CI \geq 0,1$
4	$50 > C \geq 5$	$0,1 > CI \geq 0,01$
5	$C < 5$	$CI < 0,01$

Tomado de la CREG 038 de 2014

En la tabla anterior se establecen dos criterios para definir el tipo de punto de medición:

DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS

- I. Consumo o transferencia de energía, C, [MWh*mes]: Para la instalación se procede a realizar el siguiente cálculo:

$$\text{Energía Total} = \text{Potencia}_{\text{panel}} * N^{\circ}_{\text{paneles}} * HSP * PR * N^{\circ}_{\text{días}} \quad \text{Ecuación (19)}$$

Donde

- Potencia panel= 500 [W]
- N° paneles = 90
- Horas solar pico = 5,1
- PR, rendimiento de la instalación = 76%
- Días del mes = 30

$$\text{Energía} = 500 * 90 * 5,1 * 0,76 * 30 = 5,2 \text{ [MWh*mes]} \quad \text{Ecuación (20)}$$

Con lo cual en el cálculo anterior se obtiene el punto de medida tipo 4.

- II. Capacidad Instalada CI [MVA]: Es la potencia pico del generador es decir 0,045[MVA], es decir por este criterio obtenemos el punto de medida tipo 4.

2. Ahora con el punto de medida definido, utilizamos la tabla 2 del código de medida:

Figura 17

Requisitos de exactitud para medidores y transformadores de medida.

Tipo de puntos de medición	Índice de clase para medidores de energía activa	Índice de clase para medidores de energía reactiva	Clase de exactitud para transformadores de corriente	Clase de exactitud para transformadores de tensión
1	0,2 S	2	0,2 S	0,2
2 y 3	0,5 S	2	0,5 S	0,5
4	1	2	0,5	0,5
5	1 ó 2	2 ó 3	--	--

DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS

Tomado de la CREG 038 de 2014

Entonces se debe seleccionar un medidor de energía bidireccional con las siguientes características:

- Índice de clase para medidores de energía activa = 1
- Índice de clase para medidores de energía reactiva = 2

Además, el sistema solar fotovoltaico tendrá una medida semidirecta con transformadores de corriente con clase de exactitud 0,5.

3.6.1 Selección del medidor de energía bidireccional

Esta selección es de gran importancia para evitar que tengamos que instalar equipos como transformadores para adaptar la tensión en el punto de conexión, además se debe considerar seleccionar equipos que cumplan la normativa y conformidad de producto.

Con los parámetros obtenidos en el numeral 3.8 seleccionamos el medidor del fabricante ISKRA EMECO, específicamente la referencia MT-174 mostrada en la figura 18.

Figura 18

Hoja de datos medidor bidireccional.

DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS

Especificaciones técnicas		MT174-D2 DIN	MT174-T1 DIN
Tensión nominal	Un	3x120/208 V	
Rango de tensión		0,8 - 1,15 Un	
Corriente	Corriente base In	5 A	1 A
	Corriente máxima Imax	120 A	6 A
Clase de Exactitud	Energía activa	Clase 1 (IEC 62053-21 NTC 4052)	
	Energía reactiva	Clase 2 (IEC 62053-23 NTC 4569)	
	Energía aparente	Clase 2	
Reloj tiempo real	Precisión	Mejor que ± 3 min/año a 23°C	
	Alimentación de respaldo	Pila Li: 5 años operac. hasta 20 años	
Rango temp. IEC 62052-11	Operación	-40°C...+60°C, extend. -40°C...+70°C	
	Almacenamiento	-40°C ... +80°C	
Protección ingreso polvo y agua		IP54	
Consumo		0.6 W / 10 VA (sin RS485) 0.8 W / 10 VA (con RS 485)	



3.7 Protecciones eléctricas

Para este numeral, se definen las protecciones eléctricas necesarias para el diseño de la instalación fotovoltaica del Edificio de la Litoteca Nacional, de tal modo que se pueda detectar y aislar la instalación ante cualquier tipo de falla hasta que se haya despejado por completo.

El criterio de selección para protecciones parte de la corriente nominal de cada uno de los tramos de conexión eléctrica del sistema como se muestra en la tabla 7.

Tabla 7

Protecciones para los tramos del sistema.

Conexión	Corriente ajustada al 125% [A]	Protección
Paneles FV- Inversor	13,71	2x20
Salida Inversor -Tablero Solar Fotovoltaico	49,21	3x50
Tablero Solar Fotovoltaico-TGBT Acometida principal	147,62	3x150

DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS

3.7.1 Selección de protecciones eléctricas

- **Tramo de paneles al inversor**

Se selecciona un tablero de protecciones en DC, que incluye: 6 breakers 2x20 A - 1200 VDC en un cofre de la marca Tercol de 60x40x25.

- **Salida Inversor -Tablero Solar Fotovoltaico**

Se selecciona un sistema de protección como el mostrado en la figura 19:

Figura 19

SH203-C50 Interruptor automático - 3P - C - 50 A.



La figura es tomada del fabricante ABB

- **Tablero Solar Fotovoltaico-TGBT Acometida principal**

Se selecciona la siguiente protección:

Figura 20

Breaker Industrial Fijo 250A Capacidad de Ruptura 50KA - A2C.

DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS



La figura es tomada del fabricante ABB

3.8 Sistema de puesta a tierra

Según el RETIE toda instalación eléctrica tiene que disponer de un Sistema de Puesta a Tierra (SPT), para evitar que personas en contacto con la misma, queden sometidas a tensiones de paso, de contacto o transferencia, que superen los umbrales de soportabilidad del ser humano cuando se presente una falla.

Luego para el presente proyecto se selecciona un conductor para tierra calibre #10 AWG que sale del inversor hacia el tablero del sistema solar fotovoltaico.

De acuerdo con la NTC 2050, se deben aterrizar las partes expuestas metálicas no portadoras de corriente de las estructuras de soporte de los paneles solares, equipo y encerramientos de conductores, independientemente del nivel de tensión.

DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS

Por lo tanto, el barraje de tierra del tablero del sistema solar fotovoltaico debe conectarse al sistema de puesta a tierra del edificio, así como las estructuras metálicas para garantizar la equipotencialidad del sistema.

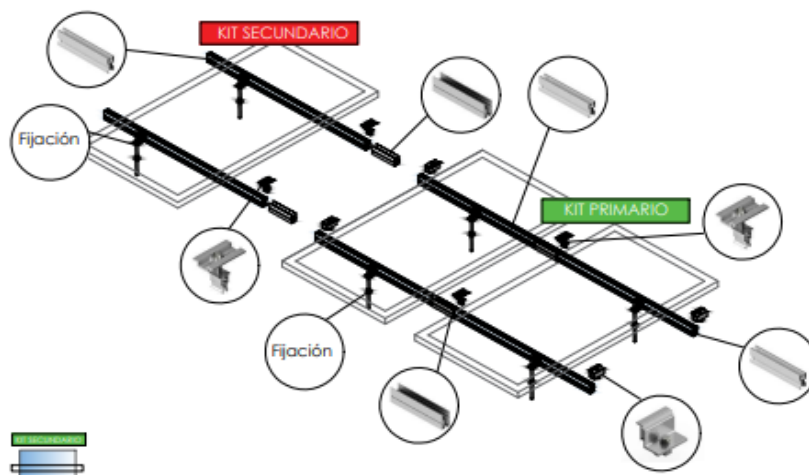
3.9 Estructuras

Se debe garantizar que las estructuras soporten el peso de los paneles en condiciones normales y también de vientos fuertes, ya que se debe evitar un mal anclaje que pueda afectar negativamente la instalación de los módulos solares.

La estructura seleccionada para el proyecto es una de tipo anclada a la cubierta existente, este tipo de estructuras permiten no tener que perforarlas en el caso de que estén sueltas, ya que incluyen un salvateja que permite anclar la estructura y poner encima los perfiles sobre los que se sujetan los paneles solares.

Figura 21

Estructura anclaje a la cubierta.



Tomado del fabricante Sunfer.

DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS

3.10 Ductos y canalizaciones

Para proteger adecuadamente el cableado eléctrico ante condiciones de intemperie, incendios y posibles roedores se hace necesario colocar estos en tuberías tal como lo define la NTC 2050.

El criterio de selección de tuberías parte del calibre seleccionado en el Numeral 3.31 selección del conductor.

Figura 22

Selección de tuberías.

Letras de tipo	Sección transversal del conductor		Tamaño comercial mm pulgadas									
	mm ²	AWG/ kcmil	16 ½	21 ¾	27 1	35 1 ¼	41 1 ½	53 2	63 2 ½	78 3	91 3 ½	103 4
RH	2,08	14	7	12	20	34	44	70	104	157	204	262
	3,30	12	6	10	16	27	35	56	84	126	164	211
RHH, RHW, RHW-2 RH, RHH, RHW, RHW-2	2,08	14	5	9	15	24	31	49	74	112	146	187
	3,30	12	4	7	12	20	26	41	61	93	121	155
	5,25	10	3	6	10	16	21	33	50	75	98	125
	8,36	8	1	3	5	8	11	17	26	39	51	65
	13,29	6	1	2	4	6	9	14	21	31	41	52
	21,14	4	1	1	3	5	7	11	16	24	32	41
	26,66	3	1	1	3	4	6	9	14	21	28	36
	33,62	2	1	1	2	4	5	8	12	18	24	31
	42,20	1	0	1	1	2	3	5	8	12	16	20
	53,50	1/0	0	1	1	2	3	5	7	10	14	18
	67,44	2/0	0	1	1	1	2	4	6	9	12	15
	85,02	3/0	0	1	1	1	1	3	5	8	10	13
	107,21	4/0	0	0	1	1	1	3	4	7	9	11
	126,67	250	0	0	1	1	1	1	3	5	7	8
	152,01	300	0	0	1	1	1	1	3	4	6	7
	177,34	350	0	0	0	1	1	1	2	4	5	7
	202,68	400	0	0	0	1	1	1	2	4	5	6
	253,35	500	0	0	0	1	1	1	1	3	4	5
	304,02	600	0	0	0	0	1	1	1	2	3	4
	354,69	700	0	0	0	0	1	1	1	2	3	4
380,02	750	0	0	0	0	1	1	1	1	3	4	
405,36	800	0	0	0	0	1	1	1	1	3	3	
456,03	900	0	0	0	0	0	1	1	1	2	3	
506,70	1000	0	0	0	0	0	1	1	1	2	3	
633,38	1250	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2	
760,05	1500	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	
886,73	1750	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	
1013,4	2000	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	

Tabla tomada de la norma técnica colombiana 2050.

DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS

El porcentaje de ocupación admitido por la norma está dado en la tabla 8.

Tabla 8

Porcentaje de ocupación.

Número de conductores	1	2	Más de 2
Todos los tipos de conductores	53%	31%	40%

Tomada de la NTC 2050

Para el proyecto se elige una tubería tipo IMC de 1 pulgada ya que brinda mayor seguridad en la protección del cableado, evita posibles rupturas de estos y cumple con la ocupación que establece la norma.

3.11 Diagrama Unifilar

Se elaboraron las representaciones gráficas del sistema así:

- Diagrama unifilar módulos e inversor.
- Diagrama unifilar del sistema solar fotovoltaico.

Las cuales se pueden encontrar como Anexo 1 y Anexo 2 en la carpeta entregables del presente proyecto.

DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS

4. Evaluación técnica y económica

En esta parte se realiza la evaluación técnica del comportamiento del sistema durante su vida útil, con el propósito de determinar y comparar la energía generada, consumida, exportada, e importada durante 25 años.

Se evalúa económicamente el proyecto, realizando un presupuesto del sistema fotovoltaico, se realiza una serie de cotizaciones de precios de los equipos y costos de servicios. Luego se realiza un análisis de retorno económico haciendo uso del software BlueSol, el cual considera como datos de entrada: el diseño del sistema, la degradación anual de los paneles, el valor del presupuesto, el valor del kWh que paga la entidad, los costos de mantenimiento y ajuste de equipos. Con los datos ingresados se obtienen las gráficas de flujo de caja acumulado y la ganancia neta durante la vida útil del sistema, las cuales permiten definir el tiempo de retorno de la inversión y a su vez la viabilidad económica del proyecto.

4.1 Estimación de la energía generada por el sistema fotovoltaico

La estimación de la energía generada se realizará de acuerdo con la ecuación 21:

$$E_{px} = H_{s.p} \cdot P_p \cdot PR \cdot N^{\circ} \text{ paneles} \cdot n_{\text{días}} \quad \text{Ecuación (21)}$$

Donde:

- E_{px} = Energía producida en el mes del cálculo
- $H.S.P$ = Horas solares pico
- P_p = Potencia panel solar
- PR = Rendimiento de la instalación
- $n_{\text{días}}$ = Número de días del mes calculado

DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS

La energía mensual suministrada por el sistema solar fotovoltaico se presenta en la tabla 9.

Tabla 9

Energía mensual generada por el sistema solar fotovoltaico.

Mes	Días	Potencia panel [kWp]	PR	N° paneles	H.S. P	Ep [kWh*mes]
Enero	31	0,5	0,76	90	5,22	5534,244
Febrero	28	0,5	0,76	90	5,29	5065,704
Marzo	31	0,5	0,76	90	4,95	5247,99
Abril	30	0,5	0,76	90	4,88	5006,88
Mayo	31	0,5	0,76	90	5,03	5332,806
Junio	30	0,5	0,76	90	5,04	5171,04
Julio	31	0,5	0,76	90	5,21	5523,642
Agosto	31	0,5	0,76	90	5,31	5629,662
Septiembre	30	0,5	0,76	90	5,37	5509,62
Octubre	31	0,5	0,76	90	5,08	5385,816
Noviembre	30	0,5	0,76	90	4,85	4976,1
Diciembre	31	0,5	0,76	90	5,1	5407,02

De acuerdo con la tabla 9, la energía anual generada por el sistema fotovoltaico es 63.790 kWh.

4.2 Degradación

Los paneles solares son equipos que tienen una degradación de 0,55% al año, lo cual implica una disminución de la capacidad de generación de energía. A continuación, se compara la energía generada, exportada, importada para el sistema.

DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS

Tabla 10

Degradación

Año	Tiempo	Energía generada [kWh]	Energía consumida [kWh]	Energía importada [kWh]
1	2024	63.663,73	63.663,30	5,94
2	2025	63.313,58	63.663,30	356,05
3	2026	62.965,35	63.663,30	704,24
4	2027	62.619,05	63.663,30	1.050,52
5	2028	62.274,64	63.663,30	1.394,89
6	2029	61.932,13	63.663,30	1.737,36
7	2030	61.591,50	63.663,30	2.077,96
8	2031	61.252,75	63.663,30	2.416,68
9	2032	60.915,86	63.663,30	2.753,53
10	2033	60.580,82	63.663,30	3.088,54
11	2034	60.247,63	63.663,30	3.421,70
12	2035	59.916,27	63.663,30	3.753,03
13	2036	59.586,73	63.663,30	4.082,53
14	2037	59.259,00	63.663,30	4.410,23
15	2038	58.933,08	63.663,30	4.736,12
16	2039	58.608,94	63.663,30	5.060,22
17	2040	58.286,59	63.663,30	5.382,53
18	2041	57.966,02	63.663,30	5.703,08
19	2042	57.647,20	63.663,30	6.021,86
20	2043	57.330,15	63.663,30	6.338,89
21	2044	57.014,83	63.663,30	6.654,17
22	2045	56.701,25	63.663,30	6.967,72
23	2046	56.389,39	63.663,30	7.279,55
24	2047	56.079,25	63.663,30	7.589,66
25	2048	55.770,81	63.663,30	7.898,06

A partir de la tabla 10 se puede ver como la energía entregada por el generador disminuye cada año y en consecuencia la energía que se debe importar de la red aumenta, además la energía exportada a la red es cero en los días en los cuales la entidad labora.

DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS

4.3 Excedentes de energía

De acuerdo con la regulación vigente, específicamente la resolución CREG 174 de 2021, permite a los auto generadores entregar los excedentes de energía que estos no consuman. Esto aplica los fines de semana, días en los cuales la entidad no trabaja, periodo de vacaciones o días en que no se consuma la energía generada. Después se aprovecha los excedentes para ser inyectados en la red.

La resolución establece la comercialización de excedentes así:

- Excedentes tipo I: Es la energía que se entrega a la red durante el día y que se “cruzara” con la energía que se consuma de la importación.
- Excedentes tipo II: Energía generada por encima del consumo que tiene el auto generador.

Al tomar de la tabla 9, la energía generada en un mes y despejar la potencia se obtiene que se generan al día 178.5 kWh/día que se inyectan a la red los días que no labora la entidad. Para el presente proyecto no se consideran excedentes tipo 2 ya que el consumo de la entidad está por encima de la energía generada por el sistema fotovoltaico.

4.4 Presupuesto

Se realiza una serie de cotizaciones en los diferentes comercializadores de equipos solares, con el fin de obtener la mejor relación costo beneficio, y establecer el costo total de los equipos a instalar, el costo del montaje y puesta en marcha del sistema.

DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS

Tabla 11

Presupuesto.

TABLA DE PRESUPUESTO						
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO EXC IVA	IVA	TOTAL IVA INC
1	Panel JA SOLAR JAM66S30-500/MR/1500V	90	UND	\$ 851.000,00	0%	\$ 76.590.000,00
2	Inversor Fronius Symo 15.0-3 208V	1	UND	\$ 13.921.000,00	0%	\$ 13.921.000,00
3	Inversor Fronius Symo 15.0-3 208V Lite	2	UND	\$ 12.208.459,00	0%	\$ 24.416.918,00
4	Sistema de monitoreo y control: Fronius Smart Meter US-240 + AccuEnergy CT	1	UND	\$ 1.710.055,52	19%	\$ 2.034.966,07
5	Cable para Modbus (RS485)	1	MTS	\$ 8.380,00	19%	\$ 9.972,20
6	Tablero SSFV, incluye: 3 Breakers de Riel Tripolar 3 X 50 A - 6 KA Breaker Industrial Fijo 150A ABB Gabinete Proelectricos 80X60X30 C/16 IP65 Platina de Cobre 1/8 X 5/8" 200A	1	UND	\$ 1.464.663,87	19%	\$ 1.742.950,00
7	Tablero Protecciones DC, incluye: 6 Breakers 2 X 20 A - 1200 VDC Cofre Tercol 60X40X25	1	UND	\$ 1.404.663,42	19%	\$ 1.671.549,47
8	Medidor Bidireccional Iskra, incluye servicio de	1	UND	\$ 1.800.000,00	19%	\$ 2.142.000,00
9	Cables solares DC 4 mm ²	227	MTS	\$ 1.171.320,00	19%	\$ 1.393.870,80
10	Conector MC4/ Set Macho-Hembra 6.0MM ²	10	UND	\$ 7.300,00	19%	\$ 8.687,00
11	Cableado AC celdas e inversores, incluye: Cableado AC Inversores al TSSFV #6 AWG Cableado AC TSSFV al TGBT #1/0 AWG Cable Desnudo de Tierra Terminales Estañados	1	GLB	\$ 3.352.134,45	19%	\$ 3.989.040,00
12	Estructura para Instalación de Paneles Solares sobre Tejado	1	GLB	\$ 13.481.546,00	19%	\$ 16.043.039,74
13	Ductos y Canalizaciones	1	GLB	\$ 1.178.420,17	19%	\$ 1.402.320,00
14	Materiales Consumibles	1	GLB	\$ 1.282.558,00	19%	\$ 1.526.244,02
TOTAL DE BIENES				\$ 53.841.500,43	19%	\$ 146.892.557,30
1	Certificación RETIE	1	GLB	\$ 1.620.000,00	19%	\$ 1.927.800,00
2	Transporte asociado al traslado de componentes al sitio de instalación	1	GLB	\$ 600.000,00	0%	\$ 600.000,00
3	Suministro, instalación y puesta en operación del sistema	1	GLB	\$ 19.008.001,68	19%	\$ 22.619.522,00
TOTAL DE SERVICIOS				\$ 100.220.488,02	19%	\$ 25.147.322,00
TOTAL DEL PROYECTO						\$ 172.039.879,30

De acuerdo con la tabla 11, el presupuesto total del proyecto es de \$172.039.879,30 COP, dentro del cual se incluye el costo total de los equipos y los servicios adicionales como mano de obra, y certificación RETIE exigida para la puesta en servicio del sistema.

DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS

4.5 Análisis de retorno económico

Se determina el ahorro de energía de la institución como los ingresos, el presupuesto del proyecto y los costos de mantenimiento como los egresos, con estos datos se obtiene el flujo de caja acumulado, lo cual permite tener una perspectiva clara de las entradas y salidas de dinero del proyecto durante 25 años.

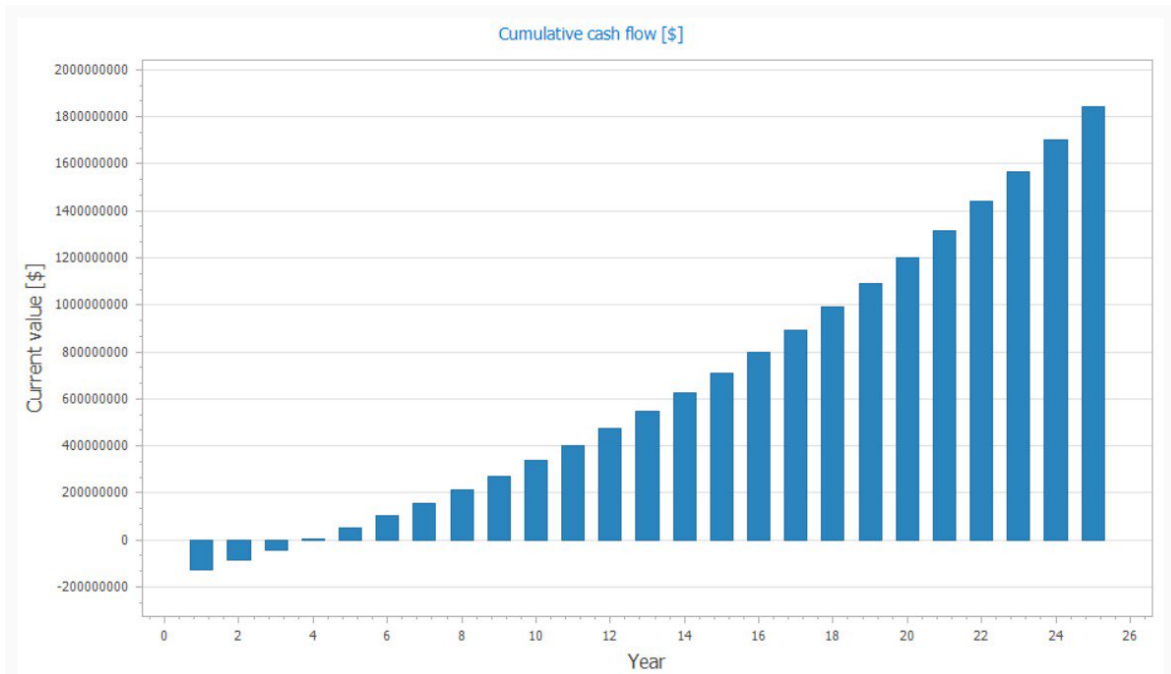
Para este proyecto no se aplican incentivos tributarios a los que refiere la Ley 1715 de 2014, ya que la Litoteca Nacional es una entidad del gobierno nacional, es decir no aplica para estos mismos. Por otro lado, se asume un valor de \$ 650 pesos el kWh ya que al estar dentro del campus universitario pagan la energía en precio de subasta al valor que la compra la UIS, se considera un porcentaje de inflación del precio de la energía al año del 6% y se considera los costos de mantenimiento del sistema en 1,5% del valor total del presupuesto.

Teniendo en cuenta estas consideraciones el tiempo de retorno de la inversión realizada para la ejecución del proyecto es de 4 años, como lo muestra la figura 23.

Figura 23

Flujo de caja en la vida útil del proyecto.

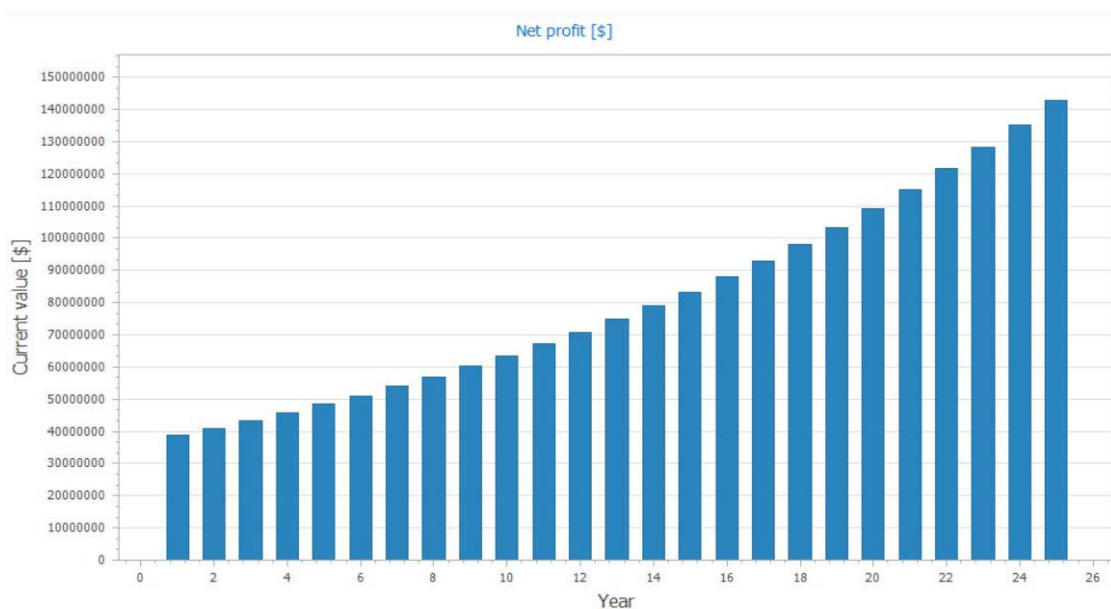
DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS



En consecuencia, después de 25 años la institución habrá ahorrado \$1.884.080.336 COP, esto debido a que después del cuarto año que se ha recuperado la inversión realizada la institución no vuelve a pagar la energía como se muestra en la figura 24.

Figura 24

Ganancia neta durante 25 años.



DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS

Por otra parte, se calcula el costo del kWh producido por el sistema, el cual es de 166,45 \$/kWh el cual se calcula por medio de la ecuación 21:

$$\text{Costo del kWh producido} = \frac{\text{Costo total del sistema}}{\sum \text{Energía producida en 25 años}} \quad \text{Ecuación (22)}$$

Lo anterior demuestra que, si bien es cierto la inversión que se tiene que realizar para la ejecución de este proyecto es gruesa, al pasar 25 años es decir la vida útil del sistema las ganancias obtenidas son exorbitantes es decir se ahorrara una suma considerable de dinero.

4.6 Impuesto al alumbrado público (IAP)

Según lo establecido, la Litoteca Nacional se encuentra dentro de las instalaciones del parque tecnológico Guatiguará la UIS. Luego se hace la consulta al ingeniero de planta física, acerca del valor que paga la universidad sobre este impuesto, el cual manifiesta que este impuesto sí aplica, y tiene un valor del 15% sobre la base del valor total pagado de energía activa.

Luego la energía activa anual que genera el sistema calculado en la tabla 9 es 63.790kWh al año, lo cual implicaría un ahorro de \$41.463.500 COP que se dejarían de pagar anualmente lo cual es un valor agregado al ahorro que tendrá la ejecución del proyecto.

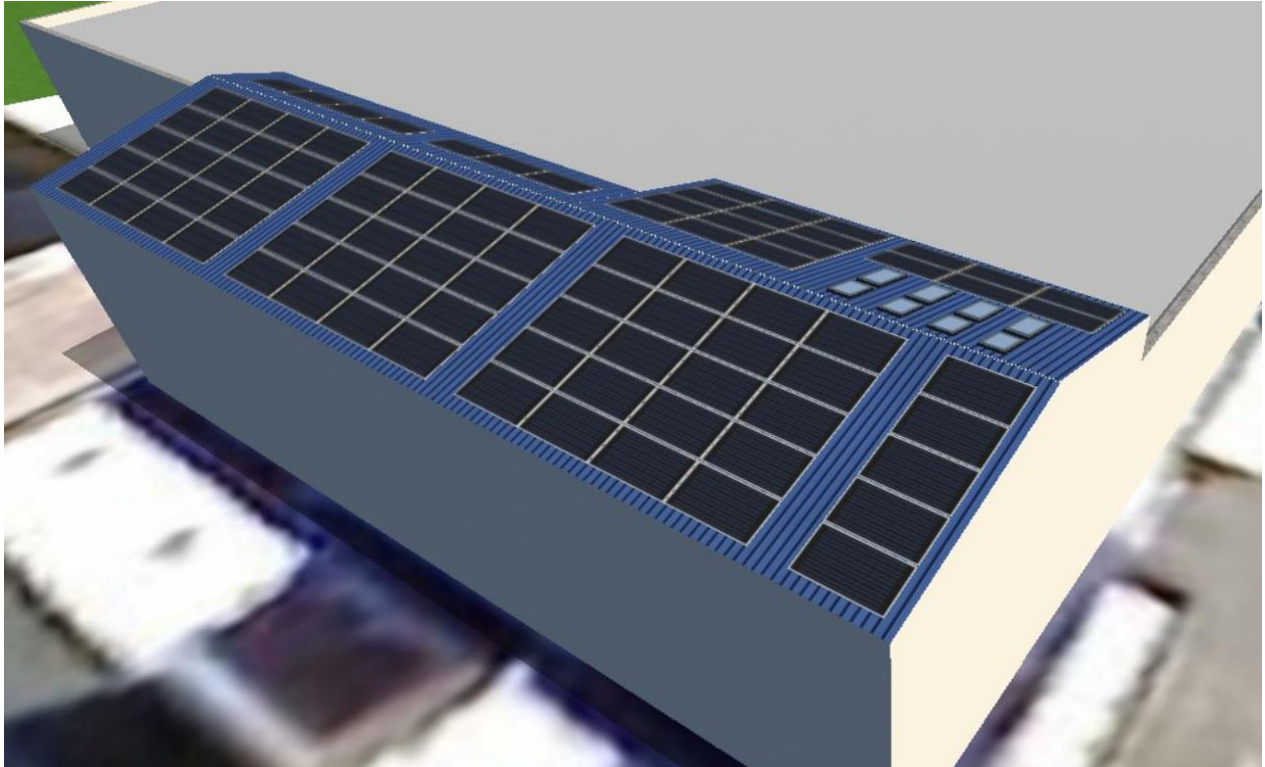
DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS

4.7 Vistas de la distribución de paneles en cubierta

Después de apoyarnos en el software de simulación PV sol, la distribución de los paneles en la cubierta del edificio se puede apreciar a continuación.

Figura 25

Vista lateral de la instalación solar.



DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS

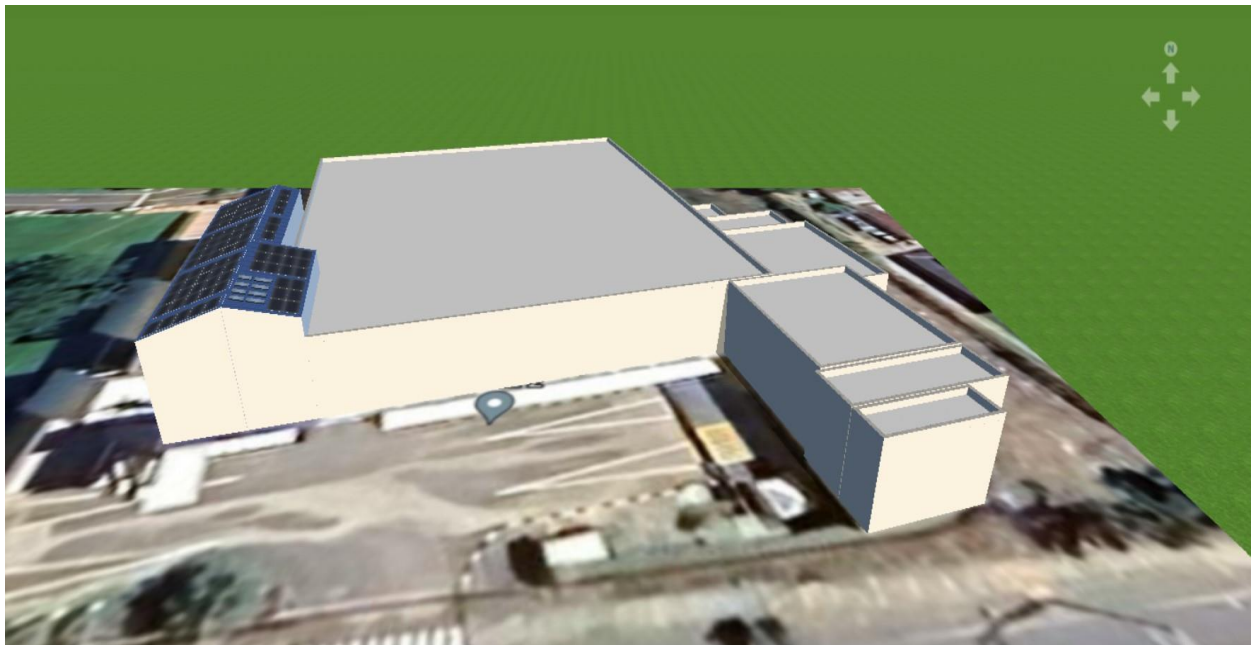
Figura 26

Vista superior de la instalación solar.



Figura 27

Vista frontal de la instalación solar.



DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS

5. Conclusiones

Como se demostró en el desarrollo del trabajo se diseñó el sistema solar fotovoltaico como un autoconsumo para el edificio de la Litoteca Nacional con la posibilidad de inyectar excedentes a la red y en función del área disponible con la cual contaba la institución. Se realizó la búsqueda de todos los parámetros más importantes para el desarrollo correcto del sistema tales como irradiancia en el sitio, horas solares pico, temperatura, entre otras.

Se tuvo en cuenta el tipo de usuario para validar la posible aplicación de incentivos tributarios como lo establece la Ley 1715 de 2014, dando como resultado que no aplicaba ya que es una institución adscrita al gobierno nacional. Se procede a realizar el dimensionamiento correspondiente de los equipos tales como paneles, inversores, cableado, estructuras y equipo complementario.

Se realiza un presupuesto del proyecto en el cual se indago listas de precios de los equipos en los principales comercializadores y las marcas más reconocidas de equipos que cumplieran el reglamento y conformidad de producto. Por último, se realiza un estudio económico con el software BlueSol, el cual al ingresar los valores del presupuesto calculado y otra serie de parámetros nos indica que el proyecto es viable ya que la inversión total se recupera en un periodo de 3 años, en el cuarto año ya se empieza a percibir las ganancias netas que obtiene la entidad al invertir en este proyecto.

Cabe resaltar que con la generación mes a mes que se calcula se verifica que el sistema aporta de manera suficiente la energía necesaria para alimentar la carga inicial objetivo de la institución, además de luminarias, equipos de cómputo y demás cargas que se encuentren en el barraje de la acometida principal.

DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS

Debido a que el proyecto contempla un auto generador a pequeña escala con la posibilidad de generar excedentes a la red, se consultan las disposiciones vigentes para la comercialización de excedentes. Para este caso, aplican los excedentes tipo I, ya que la generación suple el 14,2% de la carga total de la institución.

Por otra parte, de acuerdo con el decreto 929 de 2023, el cual modifica el artículo 4 del decreto 1073 de 2015, “*Remuneración de excedentes de energía*”, en el párrafo 2 establece: “*los usuarios que cuenten con sistemas de autogeneración a pequeña escala a partir de FNCER están exentos del cobro de energía reactiva*”. Es decir, con este decreto se estaría garantizando que no habría penalizaciones por inyección de energía reactiva a la red. Sin embargo, se deben aplicar estudios de calidad de la energía y modelamiento de la situación actual y proyectada de las instalaciones, para garantizar que no se envíen excesos de energía reactiva a la red.

DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS

6. Recomendaciones

Se espera poder tener información más clara y precisa por parte de la institución para de esta manera poder realizar un estudio más amplio y profundo de las variables y parámetros que inciden en el proyecto a nivel general.

Es de gran importancia realizar de manera correspondiente mantenimientos de tipo predictivos, preventivos y correctivos. Estos para minimizar la degradación de los paneles solares año tras año y conservar de manera general la vida útil del sistema solar fotovoltaico y de todos los equipos conectados a este. Durante los mantenimientos asegurar la línea de vida, curso en alturas, para el personal de mantenimiento que realiza estos procesos a la instalación para evitar cualquier tipo de accidente.

Se debe verificar los sistemas de puesta a tierra del sistema para evitar lesiones por descargas eléctricas o fallas en el sistema.

Con el monitoreo por parte del inversor maestro se debe verificar los parámetros del sistema fotovoltaico como corriente, tensión, y distorsión armónica que se inyecta en la red. Ya que por el uso de los inversores se pueden presentar anomalías en la instalación tales como, sobrecarga del transformador, conductores neutros en circuitos perfectamente equilibrados que se calienten de manera exagerada. Si se presentan estos casos se debe aplicar los correctivos necesarios tales como, cables con secciones superiores, cuadros con interruptores para cargas no lineales, separar los circuitos que tienen cargas no lineales como lo son equipos de cómputo y de ser necesario aplicar filtros compuestos con inductancias y capacitancias.

Se debe garantizar que el sistema trabaje a un factor de potencia entre 0.9 y 1, esto con el fin de evitar tener un déficit de reactivos e inyectar exceso de reactivos a la red respectivamente.

DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS

Referencias Bibliográficas

- BlueSol Design for PV. (s.f.). Professional tool for designing photovoltaic.
<http://www.bluesolpv.com/dnnsite/Products/BlueSolDesign.aspx>
- Decreto 929 del 7 de junio de 2023 [Departamento Administrativo de la Función Pública]. Por el cual se modifica y adiciona el Decreto 1073 de 2015.
- Departamento Nacional de Planeación Colombia. (s.f.). [DNP]. Es una unidad de carácter gubernamental. https://www.dnp.gov.co/Prensa_/Noticias/Paginas/el-plan-nacional-de-desarrollo-marca-la-ruta-de-la-transicion-energetica-del-pais.aspx
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (s.f.). Cambio climático. Ministerio de Medio Ambiente. <http://dhime.ideam.gov.co>
- Ley 1715 de 2014. Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Interconectado Nacional. 29 de enero de 2018.
- Nasa Power, Prediction Of Worldwide Energy Resources [NASA POWER]. (s.f.). Data Access Viewer. <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
- Norma Técnica Colombiana. (2020). *Código Eléctrico Colombiano (NTC 2050)*.
- PV*SOL and PV*SOL premium. (s.f.). PV*SOL – Plan and design better pv systems with profesional solar software. <https://pvsol.software/en/>
- Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas. (2013). *RETIE*.
- Revista cambio (2023). ISAGEN apuesta por los objetivos del sector, <https://cambiocolombia.com/contenido-especial/isagen-apuesta-por-los-objetivos-del-sector>

DISEÑO DEL SISTEMA FV ON GRID PARA LA LITOTECA DEL PTG DE LA UIS

Resolución 174 de 2021 [Comisión de Regulación de Energía y Gas]. Por la cual se regulan las actividades de autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida en el Sistema Interconectado Nacional. 07 de octubre de 2021.

Resolución 038 de 2014 [Comisión de Regulación de Energía y Gas]. Por la cual se modifica el Código de Medida contenido en el Anexo general del Código de Redes. 2014.

Santamaría, G., & Castejón, A. (2010). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Editex.

Tobajas Vázquez, C. (2018). *Energía solar fotovoltaica*. Editorial Técnica–Ediciones CEYSA.