

**DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA LA REDUCCIÓN EN EL
CONSUMO Y GENERACIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE EN LA EMPRESA
COMERCIALIZADORA SARODI LTDA.**

JUAN CAMILO CASTELLANOS NIÑO

SERGIO HERNAN NARANJO CASTELBLANCO

**Proyecto integral de grado para optar al título de:
INGENIERO MECANICO**

Orientador

LEONEL TERÁN

Ingeniero Mecánico

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PROGRAMA EN INGENIERÍA MECÁNICA

BOGOTÁ D.C

2022

NOTA DE ACEPTACIÓN

Ing. Eric Fabián Navarro A.

Ing. Libardo Mendoza Geney

Ing. Leonel Teran

Bogotá D.C., mayo 2022

DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García-Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretario General

Dr. José Luis Macías Rodríguez

Decano de la Facultad

Ing. Naliny Patricia Guerra Prieto

Director de Programa

Dr. María Angélica Acosta

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a todas las personas que nos acompañaron durante nuestro proceso formativo y especialmente a las que se fueron durante el camino, a pesar de las dificultades que presentamos durante la carrera siempre tuvimos en firme lograr graduarnos y gracias a Dios hoy podemos decir que estamos más cerca de lograrlo.

Para nuestros compañeros de carrera y profesores que fueron fundamentales para llegar hasta este sitio, gracias por todas las cosas buenas y malas. A la empresa que desde el primer momento nos apoyó en la realización del proyecto y estuvo atenta a todas las necesidades que tuvimos en este tiempo.

A nuestra familia que siempre estuvo en los momentos más duros durante la carrera y sobre todo la amistad que se forjó desde el primer día que entramos a la universidad que concluye con el objetivo por el que nos conocimos.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a todos los docentes que hicieron parte de nuestra formación académica durante nuestra estancia en la universidad, a pesar de dificultades como el COVID se esforzaron por enseñarnos de la mejor manera, aunque no conocimos en persona a varios es gracias a ustedes que estamos acá. Esperamos poder aplicar todas sus enseñanzas en nuestra vida práctica y las recordaremos con cariño.

A nuestras familias que nos apoyaron durante este tiempo que tuvo muchos momentos no tan buenos, pero a pesar de eso estuvieron para nosotros.

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	17
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
1.1. Antecedentes	18
1.2. Justificación	20
1.3. Hipótesis	21
1.4. Objetivo general	22
1.5. Objetivos específicos	22
2. Marco teórico	23
2.1. Fuentes de energía alternas	23
2.2. Energía solar	23
2.2.1. <i>Energía solar térmica</i>	24
2.2.2. <i>Energía solar fotovoltaica</i>	24
2.2.3. <i>Energía solar activa</i>	24
2.2.4. <i>Energía solar pasiva</i>	24
2.2.5. <i>Energía termosolar de concentración</i>	25
2.3. Efecto fotovoltaico	25
2.4. Radiación solar	26
2.4.1. <i>Radiación directa</i>	27

2.4.2. Radiación difusa	27
2.4.3. Radiación reflejada	27
2.4.4. Radiación global	27
2.5. Horas de brillo solar	29
2.6. Horas pico solares	30
2.7. El efecto fotoeléctrico	30
2.8. El efecto Peltier	30
2.9. Célula solar fotovoltaica	31
2.10. Módulo fotovoltaico	31
2.11. Colector solar	32
2.12. Inversores	32
3. Desarrollo del proyecto	36
3.1. Descripción del proyecto	36
3.2. Normatividad	37
3.3. Necesidades energéticas	38
4. Cálculos y diseño	40
4.1. Diseño energético	40
4.1.1. Evaluación del aporte solar	40
4.1.2. Temperatura de la zona	40
4.1.3. Selección de los paneles solares	41

4.1.4. <i>Definición de la potencia de un campo generador</i>	42
4.1.5. <i>Selección del inversor</i>	48
4.2. Diseño estructural	50
4.2.1. <i>Orientación e inclinación de los paneles solares</i>	50
4.2.2. <i>Ubicación de los paneles solares en la empresa</i>	53
4.3. Análisis de fuerzas	59
4.3.1 <i>Cargas utilizadas</i>	60
4.4. Refuerzo de correas	67
5. Presupuesto	68
5.1. Presupuesto general	68
5.2. Presupuesto por concepto de operación y mantenimiento	69
5.3. Cálculo del ahorro en la facturación	70
5.4. Incentivos ofrecidos por el Gobierno Nacional	73
5.4.1. <i>Exclusión del IVA en la adquisición de bienes y servicios</i>	73
5.4.2. <i>Deducción especial del impuesto sobre la renta</i>	74
5.4.3. <i>Exclusión del gravamen arancelario</i>	75
5.4.4. <i>Depreciación acelerada</i>	76
5.5. Indicadores económicos	77
5.5.1. <i>Valor presente neto</i>	77
5.5.2 <i>Tasa de interés de oportunidad (TIO)</i>	78

5.5.3 Tasa de interna de retorno (TIR) y tasa interna de retorno (TIRM)	78
5.5.4 Payback	78
6. Manual de mantenimiento	80
6.1. Plan de mantenimiento preventivo	80
6.1.1. Paneles solares fotovoltaicos	80
6.1.2. Soportes de los paneles solares	81
6.1.3. Cajas SMBC	81
6.1.4. Inversores	82
6.1.5. Sistema de monitoreo de la instalación solar	83
6.1.6. Transformador	84
6.1.7. Celdas de MT	85
6.1.8. Línea eléctrica	86
6.1.9. Protecciones de la instalación solar fotovoltaica	86
6.1.10. Ventilación	88
7. Análisis de impacto ambiental	89
7.1. Energía asequible y no contaminante	90
CONCLUSIONES	91
BIBLIOGRAFÍA	92
ANEXOS	97

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Componentes de la Radiación solar	26
Figura 2. Intensidad de la Radiación solar	28
Figura 3. Fachada de la empresa	32
Figura 4. Coordenadas del lugar	33
Figura 5. Valores informativos del transformador	35
Figura 6. Inversor Growatt SP6000 TL VL – US	47
Figura 7. Posición del sol durante el año	49
Figura 8. Diagrama de trayectoria solar en Bogotá	50
Figura 9. Plano planta 3 Comercializadora Sarodi Ltda.	52
Figura 10. Fotografía planta superior de la empresa	53
Figura 11. Plano de la empresa comercializadora Sarodi Ltda.	53
Figura 12. Detalle de la correa existente	54
Figura 13. Geometría de la correa y del perfil	55
Figura 14. Geometría del techo de la empresa	57
Figura 15. Soporte de paneles solares	58
Figura 16. Sección longitudinal	60
Figura 17. Sección transversal	61
Figura 18. Flexión en cajón PHR 220x80x20 de 3mm	62
Figura 19. Fuerza cortante en perfil PHR 220x80x20 de 3 mm	63

Figura 20. Geometría del ángulo a construir	66
Figura 21. Anclaje acunado tipo Hilti	67
Figura 22. Objetivos del desarrollo sostenible	89

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Información del punto de conexión a la red	34
Tabla 2. Datos mensuales del consumo energético de la empresa	37
Tabla 3. Irradiancia global	38
Tabla 4. Temperatura mes a mes	39
Tabla 5. Selección de paneles	40
Tabla 6. Consumo energético y potencia a instalar	44
Tabla 7. Variación de voltajes y corrientes según tipo de arreglo	46
Tabla 8. Características de los perfiles C	56
Tabla 9. Cargas distribuidas uniformes	59
Tabla 10. Configuración de peso por correa	60
Tabla 11. Reporte de flexión para cajón PHR 220x80x20 de 3mm	63
Tabla 12. Reporte de esfuerzo cortante PHR 220x80x20 de 3mm	64
Tabla 13. Reporte de deflexión perfil PHR 220x80x20 de 3mm	65
Tabla 14. Presupuesto de costos directos del proyecto	68
Tabla 15. Costos indirectos del proyecto	69
Tabla 16. Costo unitario por kWh sin descuentos ni contribución	70
Tabla 17. Perfil del usuario	71
Tabla 18. Ahorro en facturación para el primer año	72
Tabla 19. Valor deducido del proyecto por concepto del IVA	74

Tabla 20. Rangos establecidos para la deducción 75

Tabla 21. Ahorro en el pago de aranceles en la adquisición de productos 76

RESUMEN

Este proyecto presenta el diseño de una planta solar fotovoltaica para la empresa Comercializadora Sarodi Ltda, se realizó con el propósito de buscar el aprovechamiento de energías renovables e impulsar nuevas tecnologías y tiene como objetivo disminuir el costo de facturación por concepto de energía además como una solución amigable con el medio ambiente en pro de reducir los gases contaminantes producidos durante el proceso productivo que lleva la obtención, transporte, maduración y distribución de productos cárnicos. Para el desarrollo del proyecto nos apoyaremos en simulaciones en programas como PvSyst, Autocad y Excel, en los cuales se verán reflejadas simulaciones a partir de datos reales obtenidos de la empresa, así como proyecciones económicas a futuro mostrándonos la viabilidad del proyecto. Estos resultados serán mostrados a través de fichas que serán entregadas a la empresa a la espera de la adopción del proyecto.

Palabras clave: sistema solar fotovoltaico, panel solar, inversor, MPPT, PR, efecto fotovoltaico, PHR, ángulo Azimut.

INTRODUCCIÓN

“Comercializadora SARODI Ltda.” es una empresa familiar de más de 25 años en el mercado colombiano y dedicada a la comercialización de productos cárnicos crudos y frescos para restaurantes y grandes superficies. Actualmente están ubicados en la Terminal Terrestre de Carga (km 1 Autopista Bogotá – Medellín) Funza, Cundinamarca.

El planeta a través de los mayores dirigentes políticos está trabajando para un futuro sin emisiones, esto con el fin de frenar el incremento de la temperatura de la tierra y evitando consecuencias irreversibles para la humanidad. La industria ganadera es una de las más contaminantes durante todos sus procesos productivos, es por esto que la empresa Comercializadora SARODI Ltda quiere reducir su impacto medio ambiental y al mismo tiempo generar un ahorro en sus costos operativos aprovechando su ubicación estratégica y sus instalaciones.

Para esto hemos decidido diseñar un sistema solar fotovoltaico el cual sea capaz de suplir parte de la demanda energética de la empresa, un ahorro en su facturación y una reducción de gases directos e indirectos producidos por esta actividad, además aprovecharemos los beneficios que ofrece el gobierno nacional para el desarrollo de proyectos de Fuentes No Convencionales de Energía (FNCE).

Este proyecto es realizado con fines educativos y queda a la espera de que la empresa lo avale para su implementación y puesta en marcha.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

“Comercializadora SARODI Ltda.” es una empresa dedicada a la distribución de productos cárnicos crudos frescos, lo cual implica la utilización de cuartos fríos y de aire acondicionado durante todo el año, esto significa que la electricidad la cual es provista por Enel Codensa sea uno de los mayores gastos de operación en la empresa, gracias a su ubicación estratégica (Terminal Terrestre de Carga km 1 Autopista Bogotá – Medellín) quiere aprovechar todos los recursos disponibles para la disminución de sus costos operativos.

Para esto se le ha propuesto una solución innovadora la cual consiste en la instalación de un sistema de energía solar fotovoltaica de 6 kW que sea capaz de suplir la demanda energética de la empresa, aprovechando el recurso solar y que además esté en condiciones de vender los excedentes producidos por este sistema, esto con el fin de generar un ahorro en la facturación y aprovechando los beneficios que ofrece el gobierno para este tipo de proyectos de autogeneración.

1.1 Antecedentes

“Comercializadora SARODI Ltda.” es una empresa familiar de más de 25 años en el mercado colombiano y dedicada a la comercialización de productos cárnicos crudos y frescos para restaurantes y grandes superficies. Actualmente están ubicados en la Terminal Terrestre de Carga (km 1 Autopista Bogotá – Medellín) Funza, Cundinamarca.

La refrigeración solar se basa en sistemas que emplean la energía solar para la refrigeración. La aplicación más frecuente es el acondicionamiento de aire y refrigeradores solares; existen sistemas basados en energía solar fototérmica y fotovoltaica.

Cada vez más se utilizan sistemas de refrigeración fotovoltaica que consisten en una tecnología que transforma la radiación solar en electricidad. En un panel fotovoltaico que produce electricidad lo que se hace es acoplar a un refrigerador por compresión mecánica común y corriente una fuente de energía en la cual se produce electricidad que

se suministra al sistema de refrigeración y con ello se tiene un sistema de refrigeración casi solar en un sentido no estricto pero que es considerado como un sistema de refrigeración solar importante.

Hay algunos sistemas alternativos que son utilizados en escalas pequeñas como hieleras que utilizan el mismo principio de la generación con energía fotovoltaica y que producen refrigeración a través de otros sistemas como es el efecto Thomson [1].

En cuanto a sistemas de refrigeración solar más exitosos, podría decirse que en Estados Unidos y principalmente en Europa, a pesar de que no tienen grandes recursos solares, en realidad lo que se ha utilizado son sistemas híbridos; hay evidentemente sistemas que trabajan con energía solar, pero en realidad no son los más utilizados ni los más competitivos, lo que están utilizando son simplemente métodos de refrigeración solar donde durante el día aprovechan energía solar y por las noches utilizan combustibles fósiles [2].

En la actualidad se trabaja en demostrar si los sistemas solares o los sistemas híbridos pueden ser más competitivos económicamente que sólo la tecnología tradicional con compresión mecánica.

Estos procedimientos que se necesitan desarrollar un poco más, ya que son tecnologías que todavía requieren de muchos años para poder ser rentables, es decir, las tasas de recuperación de la inversión todavía son un tanto elevadas, básicamente por los mecanismos de captación que todavía son, en algunos casos, de alto valor económico, pero constantemente se están perfeccionando.

En países con grandes niveles de insolación y grandes necesidades de acondicionamiento ambiental, realmente se convertirán en opciones muy competitivas, porque no va a requerir pagar electricidad u otro combustible cuyos precios están en constante incremento [3].

En la Universidad UAM de México se está realizando proyectos de refrigeración solar el cual consiste en un sistema de refrigeración a partir de paneles eléctricos y con

posibilidad de aumentar la generación a través de energía solar, durante este proceso se pretendía perfeccionar los sistemas, pero debido a la poca inversión estos sistemas finalmente cumplían el principio de funcionamiento, pero con eficiencias muy bajas.

La investigación fue detenida ya que a los empresarios no les interesa implementar estos sistemas y las inversiones no son la prioridad en busca de modelos más desarrollados y eficientes que puedan ofrecer un mejor producto [4].

1.2 Justificación

La energía solar es la energía producida por la radiación del sol, esta energía ha sido utilizada durante cientos de años por la humanidad con diferentes propósitos, así como ha ido evolucionando con el paso del tiempo. Teniendo en cuenta que el planeta tierra necesita un cambio en el convivir de la humanidad, se vuelve indispensable una transición hacia un consumo energético sostenible que sea capaz de disminuir los impactos generados por la utilización de combustibles convencionales (Carbón, Gasolina, Diésel, entre otros) y que sea igual de eficiente en temas de rendimiento.

Ante este panorama y gracias al desarrollo tecnológico, durante la última década se ha venido sustituyendo la demanda de combustibles fósiles apostándole a la generación de energías limpias (biomasa, energía eólica, energía solar, energía geotérmica, entre otras) que pueden tener los mismos beneficios con un menor desgaste del planeta.

La mayor fuente de energía en la tierra es el sol ya que nos provee calor y luz, y es un recurso que encontramos en cualquier lugar. La energía solar fotovoltaica es la energía renovable más desarrollada y según Greenpeace la energía solar podrá generar la energía para más de dos tercios del planeta para el 2030 [5].

Colombia al estar ubicado cerca de la línea ecuatorial y poseer un clima tropical tiene un recurso solar superior en comparación al promedio mundial, lo que nos convierte en un país con un gran potencial en la generación de energía renovable aun siendo un país el cual no produce gran parte de gases contaminantes (0,4% mundial según datos del Ren21)[6], pudiendo aprovechar esto en beneficio del desarrollo del sector industrial y la

calidad de vida de poblaciones que no tienen acceso a la electricidad por factores demográficos o de difícil acceso.

Actualmente la industria de la carne de res y cerdo, especialmente la primeramente mencionada y producto emblema de la empresa están siendo fuertemente criticadas por sus altos niveles de contaminación durante todos los procesos productivos hasta el consumidor final, por eso la “Comercializadora SARODI Ltda.” Está buscando alternativas que promuevan el desarrollo del sector haciendo la empresa más sostenible y fortaleciendo soluciones a las necesidades que se tienen. Uno de los mayores consumos de esta empresa es el tema del costo de la energía ya que al ser productos cárnicos requieren una cadena de frío, para la cual es indispensable el uso de energía eléctrica durante el proceso de almacenamiento, manejo y empaque.

En este proyecto se espera que la energía provista por los paneles solares sea capaz de suplir la demanda energética de la empresa en un porcentaje y que la energía sobrante sea vendida al operador de red Enel Codensa, es importante aclarar que el sistema solar fotovoltaico no generará electricidad en la noche por lo cual este debe estar conectado a la red, para que, en este caso, así como en días nublados la empresa pueda suplir su consumo y no se vea afectada.

Existe la opción de utilizar baterías para cubrir la demanda, pero queda descartada por que la inversión crecería considerablemente ya que la vida útil de las baterías oscila entre 3-4 años, y al utilizar equipos que requieren mucha potencia para iniciarse puede reducirse esta durabilidad óptima generando un gasto adicional al presupuestado.

1.3 Hipótesis

Se establecerá un desarrollo metodológico para el diseño de un sistema fotovoltaico y así poder contribuir a la disminución en el elevado consumo energético y a la vez en la generación de energía renovable en la empresa comercializadora SARODI LTDA. A partir de esto se plantea como hipótesis la siguiente: ¿Cuál sería el sistema energético apropiado que genere una disminución de costos operativos y que sea una alternativa ambientalmente óptima al implementarse?

1.4 Objetivo general

Diseñar un sistema de generación de energía eléctrica utilizando como fuente la energía solar de manera que represente a la empresa “Comercializadora SARODI Ltda.” un ahorro en su facturación por concepto de consumo energético y una fuente de energía alternativa.

1.5 Objetivos Específicos

- Identificar los parámetros y elementos a tener en cuenta para el diseño de la planta de autogeneración.
- Analizar la cantidad de energía capaz de producir el generador eléctrico a partir de cálculos teniendo en cuenta factores como el recurso disponible y la ubicación del proyecto.
- Determinar tiempos de análisis, desarrollo, implementación y puesta en operación del sistema solar fotovoltaico.
- Realizar un análisis para la ubicación y fijación de los paneles solares
- Elaborar un plan de mantenimiento acorde a las necesidades de la instalación con el fin de garantizar un óptimo funcionamiento y una preservación del sistema.
- Elaborar un análisis financiero referente al diseño de este sistema de generación de energía solar fotovoltaica.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Fuentes de energía alterna

Las energías alternativas se pueden clasificar en 6 grupos: energía solar, energía eólica, energía de la biomasa, energía hidráulica, energía de los océanos y energía geotérmica.

2.2 Energía solar

La energía solar es la principal fuente de vida en la Tierra, y dirige los ciclos biofísicos, geofísicos y químicos que sustentan la vida en el planeta, el oxígeno, el agua, el carbono y los ciclos climáticos. Es la energía del sol la que crea el movimiento del viento y el agua, y el crecimiento de las plantas, por lo que la energía solar es la fuente de la mayoría de las fuentes de energía renovables: viento, hidroelectricidad, biomasa, olas y corrientes oceánicas, así como la misma energía solar [6].

Aunque existe una diferencia en la distancia entre el Sol y la Tierra, la cantidad de energía que llega a las capas externas de la atmósfera es del orden de 1.400 vatios (W/m^2), dependiendo de la época del año, pero disminuye aún más, aproximadamente $1000(W/m^2)$ cuando pasa a través de la atmósfera hacia el cielo en un día despejado, el promedio anual es de $340(W/m^2)$. La energía transmitida a la Tierra es una pequeña parte de la enorme cantidad de radiación solar emitida por el Sol, pero la energía que recibimos es suficiente para brindar las condiciones imperantes para el material y la continuidad del planeta [6].

La energía solar es una de las fuentes de energía más simples y fáciles de producir. Su acción se basa en el Sol como fuente natural de fotones que viajan a la velocidad de la luz hacia la superficie del planeta.

La energía solar es la fuente principal de nuestros sistemas climáticos y las fuentes de energía de la Tierra. Una cantidad de radiación solar cada hora llega a la superficie del planeta para satisfacer nuestras necesidades energéticas globales durante aproximadamente un año. Tiene una propiedad inagotable, lo que lo convierte en uno de los recursos renovables más rentables. Su impacto medioambiental es mínimo, ya que

no produce residuos y no emite gases de efecto invernadero. Dependiendo de su origen y método de procesamiento, existen diferentes tipos de energía solar. Estas son: [7].

2.2.1. *Energía solar térmica*

Utiliza la luz solar para generar calor. Se puede aplicar tanto a nivel doméstico como industrial. Este tipo de energía renovable requiere instalaciones que incluyan colectores solares en la azotea o en grandes parcelas de tierra en una planta de energía solar térmica. Gracias a estos acumuladores, la energía térmica se convierte en energía mecánica, generando electricidad.

2.2.2. *Energía solar fotovoltaica*

Su producción se considera uno de los tipos más simples de energía verde. Es por ello que su uso y aplicación se ha extendido mucho, especialmente en zonas donde predomina la luz del día. Su sistema de instalación consta de paneles solares fotovoltaicos compuestos por células de silicio que convierten la luz solar en energía, enviándola directamente a la red para su uso.

2.2.3. *Energía solar activa*

Este tipo de energía renovable se utiliza para el hogar. Puede usarse para crear flujos de aire para ventilación o enfriamiento.

2.2.4. *Energía solar pasiva*

Utiliza el calor del Sol y no necesita utilizar otros mecanismos.

2.2.5. *Energía termosolar de concentración*

Su uso requiere la instalación de lentes o espejos que enfocan una gran cantidad de luz solar en un área pequeña. Este tipo de energía renovable convierte la luz en calor que impulsa los motores térmicos para generar electricidad [7].

2.3. Efecto fotovoltaico

El efecto fotovoltaico (PV) es la base del proceso mediante el cual las células fotovoltaicas convierten la luz solar en electricidad. La luz solar se compone de fotones o partículas energéticas. Estos fotones tienen diferentes energías, correspondientes a diferentes longitudes de onda del espectro solar. Cuando los fotones chocan contra una célula fotoeléctrica. Puede reflejarse o absorberse, y puede atravesarlo. Solo los fotones absorbidos generan electricidad. Cuando se absorbe un fotón, la energía del fotón se transmite a un electrón en el átomo de la célula. Con esta nueva energía, el electrón puede romper su posición normal de enlace con el átomo para formar parte de una corriente eléctrica en un circuito eléctrico [8].

Las partes más importantes de una celda solar son las capas semiconductoras, donde se genera la corriente eléctrica para los electrones. Estos semiconductores se tratan especialmente para formar dos capas diferentes dopadas para formar un campo eléctrico, positivo en una parte y negativo en la otra. Cuando la luz solar incide en la célula, los electrones liberados pueden ser capturados por el campo eléctrico, formando una corriente eléctrica. Por eso estas celdas están fabricadas con este tipo de material, es decir, un material que actúa como aislante a bajas temperaturas y como conductor cuando se aumenta la potencia. Además de los semiconductores, las células solares están hechas de una malla metálica aérea u otro tipo de contacto para capturar electrones del semiconductor y transferirlos a una carga externa y posterior conexión para completar el circuito [8].

Además, la parte superior de la celda es de vidrio u otro material de encapsulación transparente para sellar y protegerla de las condiciones ambientales, y una capa antirreflectante para aumentar la cantidad de fotones absorbidos. Las células fotovoltaicas convierten la energía luminosa en energía eléctrica. La eficiencia de conversión, es decir, la proporción de luz solar que una celda convierte en energía eléctrica, es esencial en los equipos fotovoltaicos, porque un aumento en la eficiencia hace que la energía solar fotovoltaica sea más competitiva que otras fuentes. Estas células interconectadas, encerradas y fijadas a un chasis, bastidor o marco, forman una unidad fotovoltaica.

Los módulos fotovoltaicos están diseñados para suministrar energía a un cierto voltaje. La corriente generada depende del brillo del sol. El generador o módulo fotovoltaico genera corriente continua (DC) y se puede conectar en serie o en paralelo para que se pueda generar cualquier combinación de corriente y voltaje. El módulo fotovoltaico o generador no funcionará todo el tiempo. Esto requiere un sistema fotovoltaico completo que consta de un generador fotovoltaico y otros componentes, conocidos colectivamente como "resto del sistema" o BOS (sistema de equilibrio). Estos componentes varían y dependen del tipo de aplicación o servicio que desee proporcionar. Los sistemas fotovoltaicos se pueden clasificar como autónomos o conectados a la red. En definitiva, la fotovoltaica es una fuente de energía que, además de renovable, se ve como un futuro claro para nuestro enfoque energético en los próximos años [8].

2.4. Radiación solar

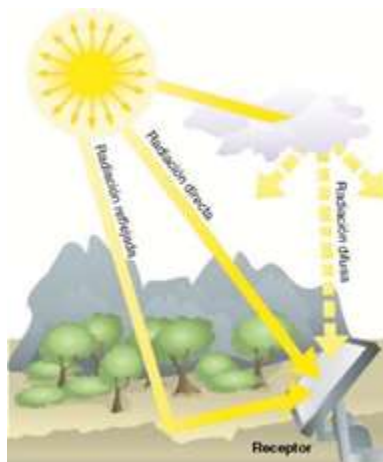
La radiación solar es un fenómeno físico resultante de la emisión de energía del sol en forma de radiación electromagnética. Esta radiación es cuantificable y se expresa en unidades de irradiación, una unidad que refleja su potencia por unidad de superficie. La característica especial de la radiación es que es una forma de energía que puede viajar en el vacío, lo que hace posible viajar a través del espacio.

La cantidad de radiación solar que llega a nuestro planeta depende de factores como la distancia entre la Tierra y el Sol, la dirección o ángulo en el que esta radiación ingresa a la atmósfera, y los movimientos con los que se mueve habitualmente la Tierra. Estas radiaciones electromagnéticas son ondas que provienen de cargas eléctricas aceleradas, una vez que llegan a la Tierra, se estima que solo la mitad de ellas llegan a la superficie terrestre, ya sea directamente o por dispersión de la atmósfera. El resto de la radiación es absorbida, dispersada o pérdida en el espacio por las partículas de la Tierra. El ozono es uno de los componentes de la atmósfera que interviene en la absorción de radiación, especialmente en el espectro ultravioleta. La parte superior de la atmósfera recibe una cantidad de energía solar equivalente a $1367 \text{ (W/m}^2\text{)}$, parámetro conocido como aislamiento térmico o constante solar [9]. El colapso solar se manifiesta

en la superficie de la Tierra de cuatro formas diferentes, como se muestra en la Figura 1.

Figura 1.

Componentes de la radiación solar.



Nota. Manifestación de la energía solar incidente en la superficie terrestre. Tomado de: L.G Fernández. G., A. Cervantes. T., *Proyecto de diseño e implementación de un sistema fotovoltaico de interconexión a la red eléctrica en la Universidad Tecnológica de Altamira.*, tesis Mast., Centro de investigación en materiales avanzados, S.C., Altamira, México, 2017. [En línea]. Disponible: <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1004/1927>

2.4.1. Radiación directa

Como su propio nombre indica, la que proviene directamente del sol.

2.4.2. Radiación difusa

Se recibe de la atmósfera dispersando algo de radiación solar en ella. Esta energía puede representar alrededor del 15% de la radiación global en los días soleados, pero en los días nublados donde la radiación directa es muy débil, la radiación difusa representa una proporción mucho mayor. En contraste, las superficies horizontales reciben la radiación

más difusa, porque "ven" toda la semiesfera celeste, mientras que las superficies verticales reciben menos porque "ven" la mitad de la semiesfera celeste.

2.4.3. Radiación reflejada

Esta radiación se refleja en la superficie de la Tierra. La cantidad de radiación depende del coeficiente de reflexión de la superficie, por el contrario, las superficies horizontales no reciben ninguna radiación reflejada porque no "ven" la superficie de la Tierra, mientras que las superficies verticales reciben la mayor parte.

2.4.4. Radiación global

De la radiación total proveniente del Sol, se recibe una parte directa (directa); Y otra derivada de la difusión y múltiples reflexiones que sufre la radiación al pasar por la capa atmosférica (difusa). La suma de estas dos radiaciones se llama radiación global: radiación directa, Q , y radiación difusa, q :

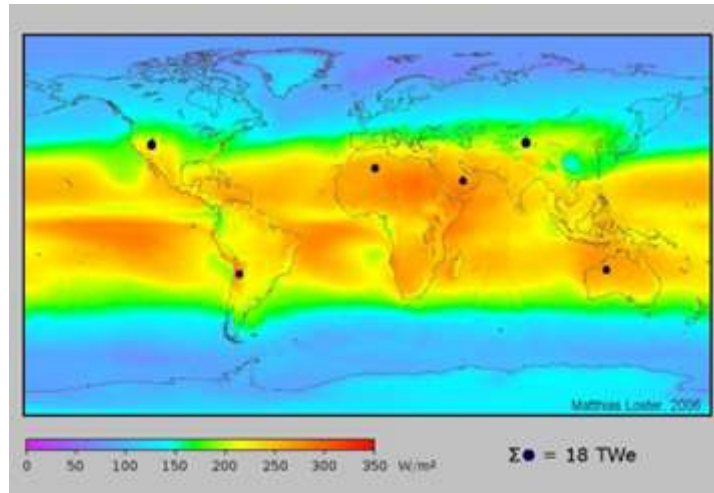
$$\text{Radiación global} = Q + q$$

Bajo un cielo despejado, la radiación se dispersa completamente por la reflexión y la dispersión causada por las partículas de aire, afectando especialmente a los tramos cortos (el cielo es azul). Cuando la atmósfera contiene muchos aerosoles o partículas de vapor de agua (como nubes), la reflexión y la dispersión son mayores, afectando toda la radiación en el espectro electromagnético visible (el cielo pierde su color azul distintivo y se vuelve ligeramente blanco) [8].

El uso de la energía solar está regulado por la intensidad de la radiación recibida en la Tierra. La radiación varía según la latitud del lugar, la hora del día, la atmósfera y las condiciones climáticas. La unidad métrica utilizada para la radiación es W / m^2 , que representa la cantidad de energía que alcanza un área de un metro cuadrado. La Figura 2 muestra la cantidad aproximada de W/m^2 irradiados en todo el mundo [10].

Figura 2.

Intensidad de la radiación solar a nivel mundial en un año.



Nota. Tomado de L.G Fernández. G., A. Cervantes. T., *Proyecto de diseño e implementación de un sistema fotovoltaico de interconexión a la red eléctrica en la Universidad Tecnológica de Altamira.*, tesis Mast., Centro de investigación en materiales avanzados, s.c., Altamira, México, 2017. [En línea]. Disponible en:<https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1004/1927>

2.5. Horas de brillo solar (HBS)

El período de salida del sol o eclipses lunares, en horas, representa el tiempo total durante el cual la luz solar directa ilumina un lugar, desde el amanecer hasta el anochecer. El brillo solar anual se calcula como la suma del brillo solar mensual total, más todos los meses del año.

El brillo solar mensual se calcula como la suma del brillo solar diario, más todos los días del mes [11].

2.6. Horas pico solares

Las HPS (Horas Pico Solares) se puede definir como el conjunto de energía solar disponible en el que los paneles pueden alimentar los sistemas de consumo incluso en presencia de luz solar difusa, pero en una cantidad menor, en comparación con cuando la energía solar era significativa [12].

2.7. Efecto fotoeléctrico

El efecto fotoeléctrico es una de las interacciones entre la radiación y la materia. Según la teoría cuántica enunciada por Einstein en 1905 sobre este efecto, cuando un fotón de energía de alto voltaje interactúa con un electrón, la primera partícula transferirá al electrón una energía igual a la energía que posee. Este enunciado se refiere a la luz como una corriente de partículas, cada una con una energía de alto voltaje. De esta forma, el fenómeno no dependerá de la intensidad de la luz. En otras palabras, independientemente de la potencia de la fuente de luz, si los fotones emitidos no tienen la energía necesaria para liberar los electrones individuales, no se observará ninguna corriente entre los electrodos [13].

2.8. Efecto Peltier

El efecto Peltier se caracteriza por la aparición de una diferencia de temperatura entre dos lados de un semiconductor cuando pasa una corriente eléctrica a través de él. Una celda Peltier consta de dos semiconductores, uno del tipo P y otro del tipo N, que producen internamente lo que se conoce como efecto Peltier termoeléctrico. Internamente, la celda Peltier contiene elementos semiconductores altamente dopados dispuestos en serie por conductores de cobre. Para aislar los conductores de cobre del radiador, se agregó una capa de cerámica entre ellos, que actúa como aislante [14]

2.9. Célula solar fotovoltaica

La célula fotovoltaica, que es el elemento encargado de convertir la energía solar en energía eléctrica (DC) a partir de un fenómeno físico denominado efecto fotoeléctrico (fotoeléctrico), que implica la generación de fuerza electromotriz como resultado del efecto del flujo luminoso sobre la superficie de dicha célula [8]. La célula fotovoltaica más

común consiste en una delgada hoja de material semiconductor principalmente de silicio de cierta pureza que, cuando se expone a la luz solar, absorbe fotones de energía suficiente para producir un "salto de electrones", moviéndose hacia la posición original de la superficie iluminada [15].

Las células fotovoltaicas consisten en materiales semiconductores con películas cristalinas delgadas. La mayoría de las células fotovoltaicas se basan en silicio, pero es probable que otros materiales de película delgada superen al silicio en términos de costo y rendimiento en el futuro. Los materiales fotovoltaicos se pueden clasificar en las siguientes categorías: cristalinos, delgados, amorfos, orgánicos o fotoquímicos.

Las células de silicio dominaron el mercado fotovoltaico en el pasado, pero fueron superadas por el silicio policristalino debido a su gran estabilidad y deseables componentes electrónicos, físicos y químicos [16].

2.10. Módulo fotovoltaico

Es el conjunto de células solares y su función es capturar y convertir la radiación solar en corriente eléctrica. Estos dispositivos se pueden conectar en serie o en paralelo. Cuando se conecta en serie, el voltaje total será la suma de los voltajes de cada dispositivo. La corriente de salida será igual a la corriente de un módulo. Al conectarlos en paralelo, la corriente total será la suma de las corrientes por módulo y el voltaje será el mismo para una sola unidad [17].

2.11. Colector solar

Un colector solar, también conocido como colector solar plano, paneles solares térmicos o concentrador solar, es cualquier dispositivo diseñado para capturar la energía radiante del sol y convertirla en calor. Los colectores se dividen en dos grupos principales: colectores de baja temperatura, que se utilizan principalmente en sistemas de calefacción y aire acondicionado domésticos, y colectores de alta temperatura, que consisten en espejos y se utilizan comúnmente para generar energía eléctrica [18].

2.12. Inversores

Un inversor es un dispositivo electrónico muy importante para la energía en un sistema fotovoltaico conectado a la red. Su función principal es convertir energía directa en energía de corriente alterna. Además, el inversor conecta los módulos fotovoltaicos a la red, lo que asegura el funcionamiento de los módulos en el punto de máxima potencia [19].

Tanto las grandes plantas de energía solar como las pequeñas instalaciones locales requieren electrónica de potencia que se utiliza para conectar los paneles a una carga o a la red eléctrica para que la energía se pueda consumir. Este dispositivo de procesamiento de energía se llama inversor fotovoltaico. Los paneles solares, por las propiedades del material, generan corriente continua, y el inversor es la interfaz que los conecta a las cargas o a la red, que se alimenta con corriente alterna.

Las instalaciones solares se pueden conectar a la red, y los usuarios pueden sacar la energía necesaria de la red en días nublados o de noche, o aislarlas sin estar conectados a la red en cuyo caso deben tener un almacenamiento de energía como baterías, para proporcionar la potencia necesaria para las cargas cuando la energía solar no es suficiente y por la noche. Ambas instalaciones requieren un inversor [20].

3. DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1 Descripción del proyecto

Este proyecto tiene como fin diseñar un sistema solar fotovoltaico de 6kW para la empresa Comercializadora Sarodi Ltda. (figura 3 y figura 4) buscando la disminución en el costo de la factura y la venta de excedentes en el mejor de los escenarios. Para iniciar el desarrollo de este proyecto se debe tener en cuenta los datos acerca del sitio donde se va a realizar el diseño e instalación de la planta solar fotovoltaica, para esto es necesario obtener datos geográficos reales como se muestra a continuación.

Figura 3.

Fachada de la empresa



Nota. Fachada de la empresa Comercializadora Sarodi Ltda.

Figura 4.

Coordenadas del lugar



Nota. En el recuadro rojo se observa la vista aérea de la empresa.

4°44'45.2"N 74°08'42.7"W

Según esta locación se debe ubicar el transformador que alimenta esta empresa con el fin de obtener los datos necesarios para la realización de la planta, para eso fue necesaria la factura de un mes (marzo) donde se observan los valores mostrados en la Tabla 1

Tabla 1.

Información del punto de conexión a la red

No transformador	76827TR1
Servicio	comercial
Nivel de tensión	1
G (Generación)	\$ 246.9391
T (Transmisión)	\$ 41.1802
D (Distribución)	\$ 201.1663
C (Comercialización)	\$ 55.6512
PR (Perdidas Reconocidas)	\$ 51.9668
R (Restricciones)	\$ 13.8512
CU (Costo Unitario)	\$ 610.7548
Contribucion Comercio	20%

Nota. Datos informativos tomados de la factura proporcionada por la empresa. (Anexo 1)

A partir de la **Tabla 1** procedemos a buscar en la página web del operador de red (en este caso Enel Codensa) en la cual obtuvimos la siguiente información para el transformador mostrado en la figura 5.

Figura 5.

Valores informativos del transformador

Transformador : 76827TR1	
% Capacidad	0.00 
% Energía	0.00 
Potencia Max. Exportable de AGs	0.00
Potencia Min. Estimada de AGs	3,896.00
Capacidad Instalada de AGs	0.00
Capacidad Transformador (kW)	300
Voltaje (V)	208
Código Transformador	76827
Circuito	SB23

Nota. Imagen con cada valor del transformador,
Tomado de: página web del OR (operador de red) Disponible en: <https://creg030-enelcodensa.mpsig.com/>

3.2 Normatividad

Según los datos suministrados en la **Figura 5** nos remitimos a la resolución de la CREG (Comisión de Regulación de Energía y Gas) No 030 de 2018 la cual resuelve [21].

Artículo 5 Estándares técnicos de disponibilidad del sistema en nivel de tensión 1

- a) La sumatoria de la potencia instalada de los GD (Generadores distribuidos) o AGPE (Autogeneradores a pequeña escala) que entregan energía a la red debe ser igual o menor al 15% de la capacidad nominal del circuito, transformador o subestación donde se solicita el punto de conexión. La capacidad nominal de una red está determinada por la capacidad del transformador.
- b) La cantidad de energía en una hora que pueden entregar los GD o AGPE que entregan energía a la red, cuyo sistema de producción de energía sea distinto al compuesto por fotovoltaico sin capacidad de almacenamiento, conectados al mismo

círculo o transformador del nivel de tensión 1, no debe superar el 50% de promedio anual de las horas de mínima demanda diaria de energía registradas para el año anterior al de solicitud de conexión.

- c) La cantidad de energía en una hora que pueden entregar los GD o AGPE que entregan energía a la red, cuyo sistema de producción de energía sea el compuesto por fotovoltaico sin capacidad de almacenamiento, conectados al mismo círculo o transformador del nivel de tensión 1, no debe superar el 50% de promedio anual de las horas de mínima demanda diaria de energía registradas para el año anterior al de solicitud de conexión en la franja horaria comprendida entre 6 am y 6 pm.

En caso de que en el punto de conexión deseado no se cumpla alguno de los parámetros, se deberá seguir el proceso de conexión descrito en el artículo 12.

Parágrafo. Los AGPE que no entregan energía a la red no serán sujetos de la aplicación de los límites de que trata este artículo [22].

Para el proyecto se observó en la figura 5 que la capacidad nominal del transformador son 300 kW, también que actualmente no hay ningún proyecto de autogeneración que le esté suministrando energía a la red por lo tanto se concluye que el 15 % de la capacidad puede ser utilizado, en nuestro caso particular se quiere realizar una planta entre 5-6 kW lo cual representa entre el 1,5 - 2% de la capacidad del transformador, cumpliendo con las condiciones planteadas en la norma.

3.3 Necesidades energéticas

3.3.1 Estudio de consumo

La empresa Comercializadora Sarodi Ltda, utiliza la energía eléctrica mayormente para alimentar los cuartos fríos, máquinas de empaque al vacío, una máquina de termoformado, además de esto cuenta con 3 oficinas y una sala de juntas en las que se emplea energía para la alimentación de equipos de cómputo, aire acondicionado y luminarias interiores que son la mayor parte del consumo de la empresa, según la

información recolectada el consumo mes a mes tiene el comportamiento mostrado en la Tabla 2.

Tabla 2.

Datos mensuales del consumo energético de la empresa

TABLA DE CONSUMO EN kW.h	
PERIODO	CONSUMO
ENERO	4381
FEBRERO	3391
MARZO	3849
ABRIL	3770
MAYO	4120
JUNIO	4030
JULIO	3958
AGOSTO	4268
SEPTIEMBRE	4075
OCTUBRE	4184
NOVIEMBRE	4004
DICIEMBRE	4393
PROMEDIO	4035.25

Nota. Tomados de la factura proporcionada por la empresa.

Anexo 1

4. CÁLCULOS Y DISEÑO

4.1 Diseño energético

Para diseñar un sistema solar se debe tener en cuenta factores como el consumo, la radiación solar o irradiancia global, área disponible, vida útil entre otros factores que van a ser determinantes a la hora de realizar la inversión.

4.1.1 Evaluación del aporte solar

Al ser un proyecto realizado por potencia y que únicamente va a cubrir una parte del consumo se utilizaron datos suministrados por entes encargados de realizar mediciones históricas en Colombia (para la simulación los datos tomados por el programa PvSyst pueden ser ligeramente diferentes a los obtenidos en la Tabla 3).

Tabla 3.

Irradiancia global horizontal promedio diaria (Igh)

MES	IDEAM - ENERGÍA DISPONIBLE (kWh/m ² - día)	METEONORM - ENERGÍA DISPONIBLE (kWh/m ² - día)	IRENA - ENERGÍA DISPONIBLE (kWh/m ² - día)	HBS
Enero	4,70	5,00	4,90	5,00
Febrero	4,30	4,90	4,10	4,50
Marzo	4,30	4,60	3,00	3,50
Abril	3,70	4,10	2,50	3,50
Mayo	3,50	3,90	3,00	3,50
Junio	3,60	3,90	3,30	4,00
Julio	3,90	4,10	3,40	4,50
Agosto	4,20	4,40	3,30	4,50
Septiembre	3,95	4,30	3,20	4,00
Octubre	3,95	4,40	3,00	3,50
Noviembre	4,05	4,10	3,20	3,50
Diciembre	4,30	4,60	4,20	4,50

Nota. Se cotejaron los datos de 3 fuentes diferentes para obtener la irradiancia global horizontal promedio diaria para Bogotá, tomado de: ideam <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>,
Meteonorm <https://meteonorm.com/en/meteonorm-version-8>,
Irena <https://globalatlas.irena.org/workspace>.

4.1.2 Temperatura de la zona

Para considerar las tensiones máximas, corrientes máximas y potencia máxima del sistema fotovoltaico se consideran las temperaturas promedio mensuales, según datos del IDEAM, los cuales se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4.

Temperaturas mes a mes

MES	TEMPERATURA MÍNIMA	TEMPERATURA MEDIA	TEMPERATURA MÁXIMA
Enero	6,0	13,3	19.9
Febrero	7,1	13,7	20
Marzo	7,9	13,9	19.8
Abril	9,1	14,1	19.5
Mayo	9,1	14,1	19.3
Junio	8,6	13,9	18.8
Julio	8,1	13,5	18.4
Agosto	7,9	13,6	18.7
Septiembre	7,4	13,5	19.1
Octubre	8,1	13,5	19.2
Noviembre	8,2	13,6	19.3
Diciembre	6,9	13,4	19.7
VALOR CRÍTICO	6,0		19.31

Nota. Se toman como valores críticos de temperatura, el menor promedio diario en Bogotá y la temperatura máxima registrada en la ciudad.

4.1.3 Selección de Paneles Solares

Para realizar la selección de los paneles se realizó un análisis en el cual se observan algunos datos relevantes que serán utilizados al momento de desarrollar un presupuesto, estudio de cargas y optando por la mejor relación entre precio por watio, esto es reflejado en la Tabla 5.

Tabla 5.

Selección de paneles

REFERENCIA	POTENCIA (W)	ÁREA (m2)	Vmax (V)	COSTO	\$/W
CS3W-455MS CANADIAN SOLAR	455	2,3	1500	\$790,000	1736
Q.PEAK DUO L-G8.3 425 Q-CELLS	425	2,2	1500	\$582,000	1369
LR4-72HPH-450M LONGI	450	2,2	1500	\$684,000	1520
JKM460M-7RL3-V JINKO SOLAR	460	2,3	1500	\$750,000	1630

Nota. Se evaluaron 4 paneles distintos con el fin de encontrar el panel que más se ajusta al proyecto, en este caso el Q-celis Q-Peak Duo L-G8 425; Disponible de: [sitio web] (Canadian_Solar-Datasheet- HiKu_CS3W-MS_(1000V & 1500V)_EN (canadiansolar.com), https://www.energiaestrategica.com/wp-content/uploads/2020/06/02-Q.PEAK_DUO_L-G8.3_415-430_2020-03_Rev01_ES.pdf (LR4-72HPH 425-455M_V11_AU (austraenergy.com.au) (TR JKM445-465M-7RL3-(V)-D4-EN.ai (jinkosolar.eu)

A partir de la Tabla 5 se determinó que el panel solar que más se ajusta al proyecto según el precio es el Q-Cells Q Peak Duo L-G8.3 425 y con ese se abordará el proyecto para la empresa.

4.1.4 Definición de la potencia de un campo generador

La potencia de un campo generador fotovoltaico P (kW) está dado por la siguiente fórmula

$$P = \frac{E_i * (1 + I_r)}{I_r * I_r}$$

En donde:

E_i: Es el consumo que tuvo la empresa en cada mes dados en (kWh.mes)

Yr : número de horas pico según IDEAM de radiación solar estándar promedio mensual de la localización del proyecto $\left(\frac{\square\square\square}{\square\square}\right)$

Ni: Número de días de cada mes

FS: El factor de pérdidas (FS) lo hallamos a partir de la información que nos proporciona la ficha técnica del panel.

Los valores que son utilizados para estos cálculos son suministrados por la ficha técnica del panel, en este caso las condiciones de prueba Standart Condición Temperature (STC) 25°□ y Nominal Module Operation Temperature (NMOT) 43°□ son similares a las condiciones de temperatura en Bogotá. *Tabla 4*

Para conocer la fórmula se debe tener en cuenta que el diseño se realiza a condiciones de prueba estándar o STC (por sus siglas en inglés) con esto tenemos que el FS tiene la siguiente fórmula:

$$\square\square = \Delta\square * \square$$

En la cual:

γ : Coeficiente de temperatura de potencia (Anexo 2)

$\Delta\square$: Diferencial de temperatura (Tc - Tx)

Tc: Es la temperatura de operación de la celda en Bogotá

Tx: Es la temperatura en condiciones estándar (25°□)

Para encontrar la temperatura de operación de la celda tenemos la siguiente ecuación:

$$\square\square = \square\square + \frac{\square\square\square\square - 20}{\square} * \square\square$$

Donde:

Tc: Temperatura de operación de la celda en Bogotá

Ta: Temperatura ambiente crítica en Bogotá (Tabla 4)

NMOT: Temperatura nominal de operación (por sus siglas en inglés)

G: Irradiancia nominal de operación del módulo (Anexo 2)

Gx: Irradiancia promedio estándar (Anexo 2)

Resolviendo la ecuación tenemos que:

$$T_c = 19.31^\circ C + \frac{43^\circ C - 20^\circ C}{800 \frac{W}{m^2}} * 1000 \frac{W}{m^2}$$

$$T_c = 48,06^\circ C$$

Teniendo la temperatura de la celda (Tc) podemos hallar el valor para el diferencial de temperatura, a partir de los datos encontrados.

$$\Delta T = T_c - T_a$$

$$\Delta T = 48.06^\circ C - 25^\circ C$$

$$\Delta T = 23.06^\circ C$$

A partir del valor de ΔT es posible hallar el factor de pérdida FS siguiendo la fórmula:

$$FS = \Delta T * K$$

$$FS = 23.06^\circ C * (0.35\%)$$

$$FS = 8.07 \%$$

Al encontrar el valor de FS realizamos un análisis mes a mes en el cual se determinó la potencia que debe generarse para satisfacer la demanda total de la empresa como se ve en la tabla 6, cumpliendo con la siguiente ecuación.

$$P = \frac{D_m * (1 + r)}{r * T}$$

La anterior fórmula puede ser expresada como:

$$P = \frac{D_m * (1 + r)}{\frac{I_g}{G_x} * T}$$

Comprobación de unidades para la potencia a generar.

Se realizó la comprobación de unidades y valores para el primer mes.

$$P = \frac{[W] * [h] * [kWh]}{\frac{[W] * [h]}{[kWh]} * [h]} * [kWh]$$

Al realizar el primer despeje obtuvimos la siguiente fórmula.

$$P = \frac{[W] * [h] * [kWh]}{\frac{[W] * [h]}{[kWh]} * [h]} * [kWh]$$

Cancelando las unidades semejantes obtenemos

$$P = \frac{[W] * [h]}{[h]} = [W] * [kWh]$$

Tabla 6.

Consumo energético y potencia a instalar.

UNIDAD	$kWh * mes$	$\frac{kWh}{m^2 * dia}$ $\frac{1kW}{m^2}$	dia		$kW * mes$
MES	Ei	YR (lgh / Gx)	Ni	FS	P
Enero	4381	4.7	31	0.087	32.68
Febrero	3391	4.3	28	0.087	30.61
Marzo	3849	4.3	31	0.087	31.39
Abril	3770	3.7	30	0.087	36.92
Mayo	4120	3.5	31	0.087	41.28
Junio	4030	3.6	30	0.087	40.56
Julio	3958	3.9	31	0.087	35.59
Agosto	4268	4.2	31	0.087	35.63
Septiembre	4075	3.95	30	0.087	37.38
Octubre	4184	3.95	31	0.087	37.14
Noviembre	4004	4.05	30	0.087	35.82
Diciembre	4393	4.3	31	0.087	35.82
Potencia promedio (kW)					35.90

Nota. Análisis del consumo mensual para determinación de la potencia del campo generador fotovoltaico.

Según los datos obtenidos la tabla 6 la potencia Promedio a generar es de 35.69 kW al mes, según los paneles seleccionados para que la planta cumpliera con el 100% de la demanda aproximadamente debería tener aproximadamente ochenta y cuatro (84) paneles solares, e incluso en meses como abril, mayo, Junio, Septiembre y Octubre no alcanza con esta cantidad mencionada a cubrir la totalidad demandada.

La planta propuesta tiene una potencia de 5,95 kW (14 paneles) lo cual espera cubrir el 17% de la demanda de la empresa, para realizar esta estimación fue necesario utilizar el software PvSyst, el cual que permite el estudio, la simulación y análisis de datos completa de los sistemas fotovoltaicos. Para realizar esta simulación es necesario conocer el sitio

donde se va a realizar la instalación, la cantidad de paneles, el inversor, la geometría del techo (si es a una o dos aguas), el factor de pérdida.

A partir de estos datos podemos obtener la energía producida por la instalación, la energía que puede ser entregada al operador de red, el coeficiente de rendimiento, el diagrama de pérdidas, el ahorro de CO2 entre otros datos.

Teniendo en cuenta esta información se realizó la tabla 7 en la cual se hallan los valores críticos de la instalación dependiendo del arreglo que se quiere realizar (número de series y paralelos) y así conocer las características que debe tener el inversor arrojando los siguientes resultados:

Tabla 7.

Variación de voltajes y corrientes según tipo de arreglo.

STC	Datos por panel	14S 1P	7S 2P
V_{OC}	49.09	687.26	343.63
V_{MPP}	41.39	579.46	289.73
I_{SC}	10.78	10.78	21.56
NMOT	Datos por panel	14S 1P	7S 2P
V_{OC}	46.29	687.26	324.03
V_{MPP}	39.38	551.32	275.66
I_{SC}	8.69	8.69	17.38

Nota. Datos de panel suministrados por la ficha técnica del panel.

En donde:

Isc: Corriente máxima de cortocircuito (A)

Voc: Voltaje o tensión de circuito abierto (V)

Vmpp: Tensión en el punto de máxima potencia (Maximum Power Point) (V)

S: Serie

P: Paralelo

4.1.5 Selección del inversor

A partir de los datos suministrados por la Tabla 7, de la ubicación, la potencia pico de la instalación (5.95 kW según los paneles), y los valores críticos se concluye que la opción más viable es hacer una instalación que tenga 2 paralelos de 7 paneles cada uno, por lo que el inversor debe tener 2 seguidores de punto de máxima potencia (MPPT) lo que garantiza una protección y cumplir con los requerimientos de operación. Para esto el inversor escogido fue uno de la marca Growatt de referencia: SP6000 TL BL-US mostrado en la figura 6.

Figura 6.

Inversor Growatt SP6000 TL BL-US.



Nota. Inversor utilizado en el proyecto. Tomado de:
Inversor On grid 220VAC / 48VDC SPH3000 - 6000 TL
BL-US | Suneo (suneoenergy.com)

4.1.5.a. Seguidor de máxima potencia (MPPT). Los paneles solares poseen curvas características que muestran su comportamiento en diferentes condiciones de operación. La potencia en los paneles es la relación entre la tensión (V) y la corriente (I) de salida

en un instante, de todas las combinaciones posibles existe una donde el producto es el máximo, este punto es llamado como punto de máxima potencia (MPP) que es un valor que se modifica constantemente ya que depende de variables como temperatura, radiación solar, entre otras. Las técnicas de seguimiento del (MPP) se utilizan para maximizar la energía entregada por los sistemas fotovoltaicos [23].

4.1.5.b. Performance Ratio (PR). Es un indicador que expresa la relación entre el rendimiento real y el rendimiento teórico de una instalación fotovoltaica, de esta forma se conoce la cantidad de energía que realmente está disponible después de restar las pérdidas energéticas y las pérdidas de operación. Este valor entre más cercano al 100% representa que la instalación trabajará de forma más efectiva, sin embargo, este valor (100%) no es posible puesto que las instalaciones siempre producen pérdidas. Para que una instalación cumpla con los requisitos de efectividad debe tener un PR de al menos 80% [24], según la simulación en el programa PVSyst (Anexo 3) el PR de la instalación alcanzará un 87%.

4.2 Diseño estructural

Para ubicar los paneles se debe tener en cuenta factores como: la orientación, la inclinación, la infraestructura de la empresa para lograr un diseño óptimo que cumpla con los estándares normativos y de seguridad

4.2.1 Orientación e inclinación de los paneles solares

4.2.1.a. Orientación. Para determinar la orientación de los paneles se tiene que conocer la posición del Sol en cada instante con respecto a un observador (paneles), se utilizan dos coordenadas que son: la altura solar y el ángulo de Azimut

a. Altura solar

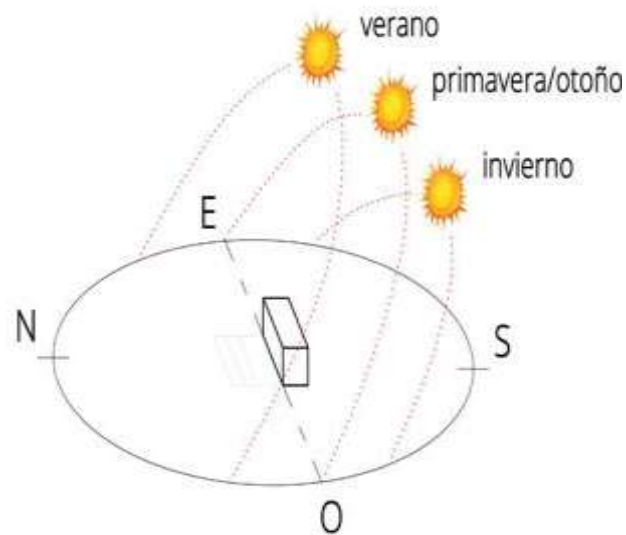
Es el ángulo que forman los rayos del sol sobre la superficie horizontal, a veces es usado el ángulo cenital que es el que forma el rayo con la vertical, es decir, el complemento de la altura como se ve en la figura 7.

b. Ángulo Azimut

Es el ángulo de giro medido sobre el plano horizontal mediante la proyección del rayo sobre dicho plano y tomando como referencia la línea ecuatorial [22]. De lo anterior concluimos que al estar ubicados en el hemisferio norte los paneles deben estar orientados hacia el **sur** [25].

Figura 7.

Posición del solar.



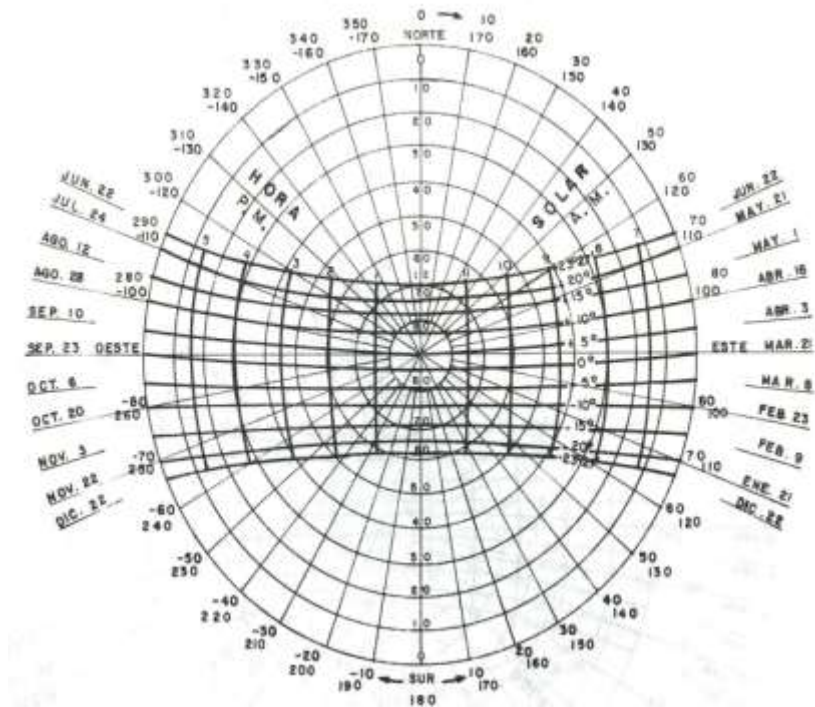
Nota. Posicionamiento del sol durante el año. Tomado de: J. Flores., D. Harillo., M. García. *Posicionamiento del sol durante todo el año*, Artículo, [sitio web], Diario Ronda, 2020. [En línea]. Disponible: <https://www.diarioronda.es/2020/06/01/cultura-y-sociedad/el-cielo-del-mes-de-junio-en-ronda-llega-el-verano/attachment/solsticio-verano/>

Es importante tener en cuenta que Colombia al estar tan cerca a la línea Ecuatorial no tiene estaciones, por lo que la altura solar va a tener un rango más pequeño significando esto una ventaja en la instalación de sistemas solares fotovoltaicos.

4.2.1.b. Inclínación de los paneles. Para determinar los grados de inclinación que deben tener los paneles, hay que valorar la variación de la radiación solar sobre la tierra, que se calcula en función de la latitud y longitud en la que nos encontremos. Para el caso particular es posible usar datos de la ciudad de Bogotá como se muestra en la figura 8

Figura 8.

Trayectoria solar en Bogotá.



Nota. Diagrama de trayectoria solar en Bogotá. Tomado de: G. Bernal. *Geometría solar y trayectoria del sol en Colombia, Bogotá*, Investigación, Instituto colombiano de hidrología, meteorología y adecuación de tierras, 1989. [En línea]. Disponible: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/013724/geometria.pdf>

A partir de la Figura 8 podemos ver que aproximadamente en Junio 22 el Sol estará en su posición más al norte, esto significa que el mayor ángulo que tendrá el sol a lo largo del año será de hasta 23.27°.

Para determinar la inclinación se tiene la siguiente fórmula

$$\beta_{\text{opt}} = 3.7 + 0.69\phi$$

Donde:

β_{opt} : Inclinación óptima de los paneles solares

ϕ : Latitud en la cual estará ubicado la planta solar

El lugar donde se quiere implementar el sistema solar tiene una latitud de 4,44° y resolviendo la ecuación anteriormente planeada obtenemos:

$$\beta_{\text{opt}} = 3.7 + 0.69(4.44^\circ)$$

$$\beta_{\text{opt}} = 3.7 + 3.06^\circ$$

$$\beta_{\text{opt}} = 6.76^\circ$$

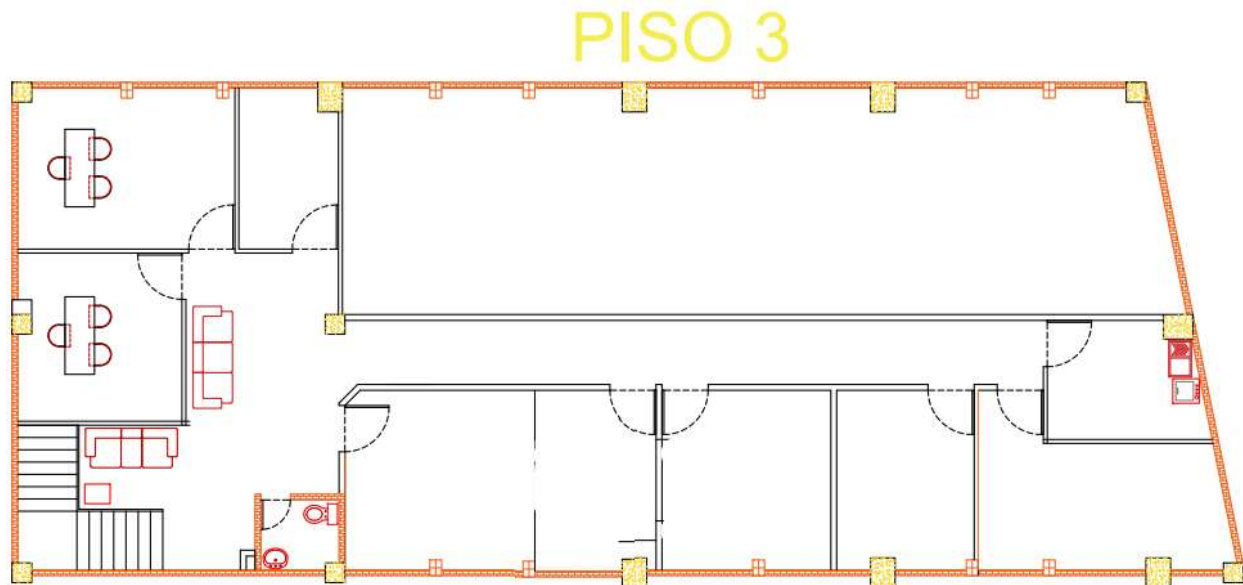
La inclinación óptima para el proyecto es de 6.76°, sin embargo, la UPME dentro de los requerimientos establece que la inclinación mínima que deben tener los paneles solares fotovoltaicos debe ser de 10°, también se ha visto que en proyectos ya implementados y por recomendación de especialistas la inclinación mínima puede ser entre 10°-15° esto con el fin de evitar que el panel al momento de recibir lluvia u objetos ajenos a la instalación tenga pérdidas relacionadas a estos factores.

4.2.2 Ubicación de los paneles solares en la empresa

4.2.2.a. Espacio disponible para la instalación. Para determinar la ubicación de los paneles, nos remitimos a los planos provistos por la empresa (Figura 9) y además de esto realizamos una reconstrucción del techo para determinar qué área es la más óptima para la instalación de los paneles solares.

Figura 9.

Plano planta 3 Comercializadora Sarodi Ltda.



Nota. Plano suministrado por la empresa.

La Figura 9 muestra la geometría de la bodega en la cual está la empresa, sin embargo, para la implementación de los paneles solares fotovoltaicos fue necesario tener en cuenta la estructura del techo, medidas y materiales reales. Para esto se realizaron tomas de la planta superior (Figura 10).

Figura 10.

Fotografía planta superior de la empresa.

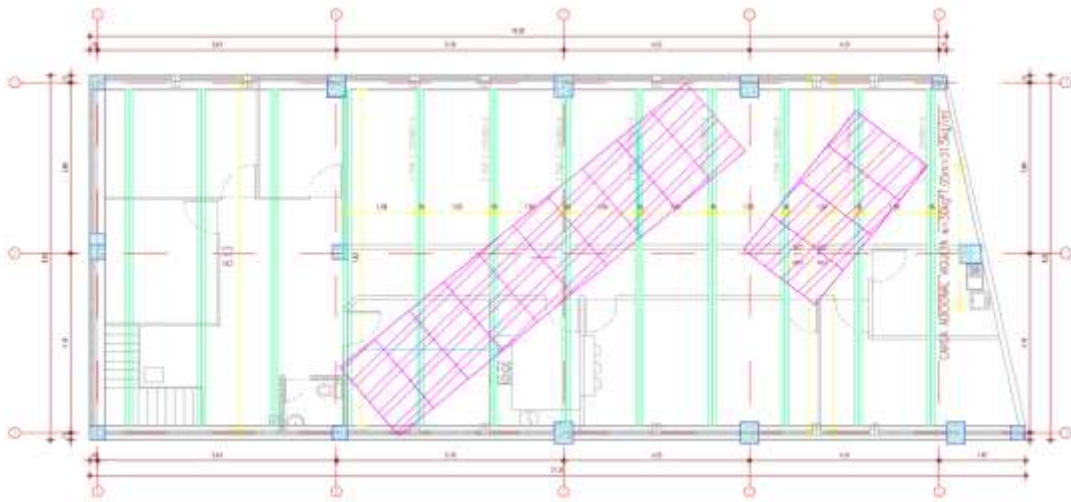


Nota. Planta superior empresa

A partir de la Figura 9 y Figura 10 se realizó un plano en el cual tuvimos en cuenta las correas existentes, ubicación ideal de paneles, apoyos existentes (Figura 11).

Figura 11.

Plano de la empresa Comercializadora Sarodi Ltda.



Nota. Dimensiones aproximadas de 8.50m de ancho y fondo variable entre 21.30m y 19.50m.

4.2.2.b. Detalles del techo a utilizar. Los perfiles encontrados en la cubierta corresponden a una pareja de perlines metálicos doblados en frío con dimensiones de 220 mm de altura y 80 mm de ancho y espesor según contratante de este estudio en 3 mm.

Figura 12.

Detalle de la correa existente.

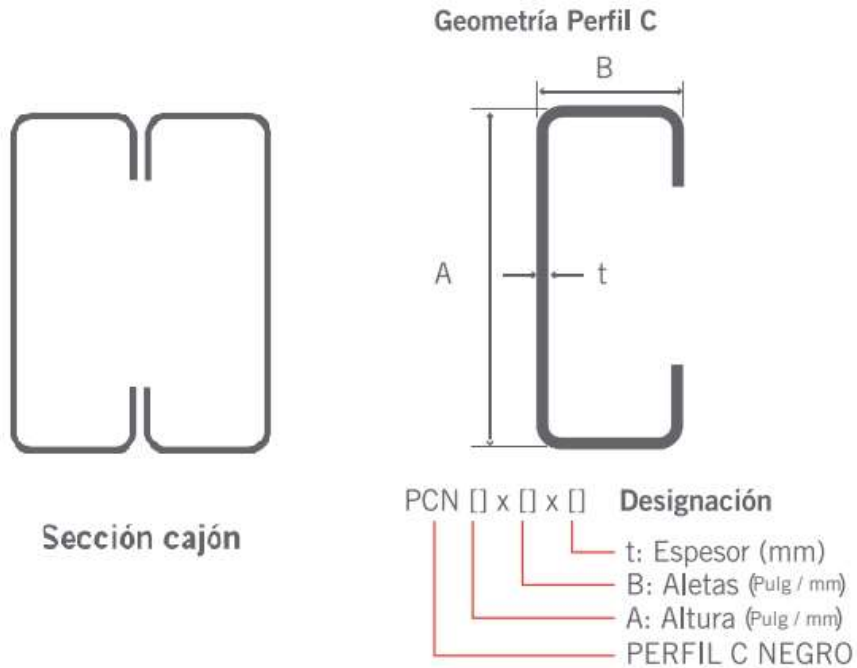


Nota. Estructura del perfil.

Según la Figura 13 observamos que las correas están compuestas por perfiles metálicos soldados, gracias una inspección visual realizada a la empresa tienen una geometría así:

Figura 13.

Geometría de la correa y del perfil.



Nota. Tomado de: <https://co.ternium.com/media/1bajaxyo/cata-logo-productos-tuberia-y-perfiles-ternium-colombia.pdf>

Para el caso en estudio tendremos en cuenta el catálogo y precios de la empresa “**Ternium**”, según las mediciones realizadas nos arrojó los siguientes valores

A: 220 mm

B: 80 mm

t: 3mm

Según el catálogo consultado esta designación tiene unas propiedades, las cuales servirán al momento de realizar los cálculos.

Tabla 8.

Características de los perfiles C.

Perfil C Negro (Referencias en Milímetros)						
Dimensiones						
Referencia	A Altura (mm)	B Aletas (mm)	t Espesor (mm)	Peso (Kg/m)	Fy (ksi)	Unidades por paquete (un)
PCN160x60x1.2 *	160	60	1,20	2,84	30	48
PCN160x60x1.5	160	60	1,50	3,53	36	48
PCN160x60x2.0	160	60	2,00	4,67	50	48
PCN160x60x2.5	160	60	2,50	5,78	50	48
PCN160x60x3.0 *	160	60	3,00	6,88	50	48
PCN220x80x1.5	220	80	1,50	4,71	36	36
PCN220x80x2.0	220	80	2,00	6,24	50	36
PCN220x80x2.5	220	80	2,50	7,75	50	36
PCN220x80x3.0	220	80	3,00	9,24	50	36
PCN305x80x1.5 *	305	80	1,50	5,71	36	24
PCN305x80x2.0	305	80	2,00	7,57	50	24
PCN305x80x2.5	305	80	2,50	9,42	50	24
PCN305x80x3.0 *	305	80	3,00	11,24	50	24

Nota. Según la Tabla 8 y las medidas tomadas el perfil a utilizar para la simulación es el que se encuentra dentro del recuadro verde y con esa referencia según Figura 14. Tomado de: <https://co.ternium.com/media/1bajaxyo/cata-logo-productos-tuberi-a-y-perfiles-ternium-colombia.pdf>

4.3 Análisis de fuerzas

Para realizar el análisis de cargas se debe tener en cuenta la geometría del techo como se ve así.

Figura 14.

Geometría del techo de la empresa.



Nota. Inclinación de sección del techo

Según la Figura 14, se observa que la pendiente de la viga coincide con la pega del ladrillo lo que evidencia que este sector no tiene pendiente y en el extremo de la esquina sólo existe cerca de 40 cm de diferencia de altura, que para los efectos de la simulación la tomaremos como 8° de inclinación.

4.3.1 Cargas utilizadas

Para calcular las cargas que estarán actuando sobre las vigas tenemos que tener en cuenta el peso que va a tener los equipos que van a ser ubicados sobre las vigas que son:

- i) Paneles solares

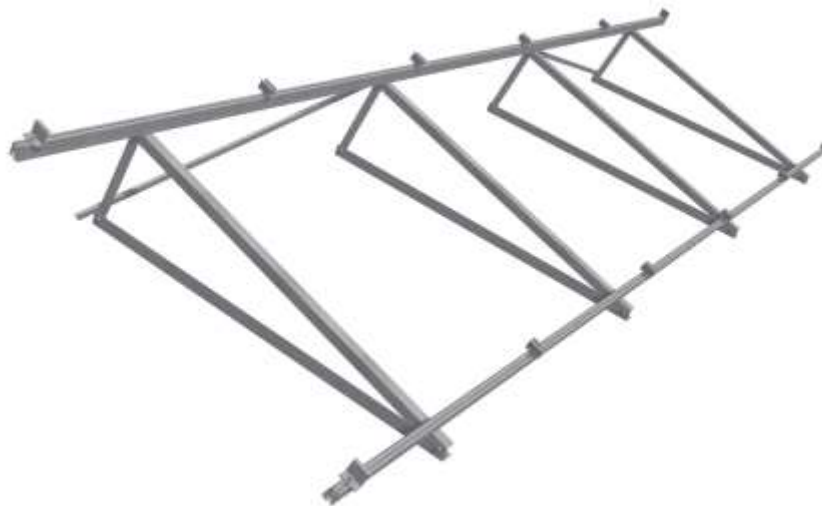
Cada panel solar tiene un peso de 24,5 kg y un área de 2,14 m², para un peso total de 343 kg

ii) Soportes paneles solares

Para la fijación de los paneles se busca el menor peso posible por lo que el modelo más apropiado para realizar la sujeción de los paneles es

Figura 15.

Soporte paneles solares.



Nota. Modelo soportes paneles solares. Tomado de :
<https://autosolar.pe/pdf/Estructura-Paneles-Solares-CVE915.pdf>

Este soporte está diseñado en aluminio y su tornillería en acero inoxidable para ofrecer la mejor resistencia con un peso bajo (50 kg) el de 10 paneles y 20 kg para el soporte de los 4 paneles.

De acuerdo a la NSR-10 (NORMA SISMO RESISTENTE 2010) las cargas a emplear son las utilizadas en la tabla 9, en las que se incluyen los pesos de los paneles, soportes y la

carga viva para cargas que soportará ocasionalmente como por ejemplo al momento de realizar la instalación y/o al momento de realizar las limpiezas y mantenimientos.

Tabla 9.

Cargas distribuidas uniformes.

CARGA	Carga muerta sobreimpuesta	Carga viva de cubierta	Carga de granizo	Carga de viento a succión	Carga de viento a compresión
DIRECCION	Gravedad	Gravedad	Gravedad	Eje 2-2 (+)	Eje 2-2 (-)
MAGNITUD (kgf/m ²)	220	50	100	40	40

Nota. Tabla de cargas empleadas en el software.

La condición más crítica de carga corresponde a la carga de granizo, la cual es de uso obligatorio teniendo en cuenta que el proyecto se encuentra ubicado por encima de los 2000 M.S.N.M.

Para realizar la simulación de la condición actual de la empresa se utilizó un software llamado “Arquimet” que es un programa de análisis y diseño estructural desarrollado por Acesco, el cual permite la modelación de proyectos con perfiles tipo C y Z, tubería estructural, sistema de entepiso Metaldeck y perfiles alma llena, de forma práctica, ágil y efectiva.

Para esta simulación también tuvimos en cuenta algunos valores adicionales

Tabla 10.

Configuración y peso por correa.

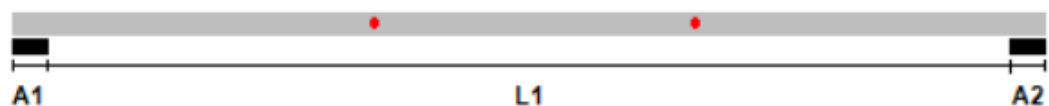
VANO	Arriostramiento del Vano	Espesor del perfil (m)	Longitud vano (m)	Longitud de correa	Peso propio (kgf/m)	Total (kgf)
1	L/3	3 E-03	8.15	8.15	19.12	77.91

Nota. Características del perfil simulado.

Se hizo una representación de la sección transversal para representar la distancia a la que van a ser sometidas las cargas

Figura 16.

Sección longitudinal.



Nota. Tomada del software de cálculo Arquimet.

En la que:

A1: 0,1 m

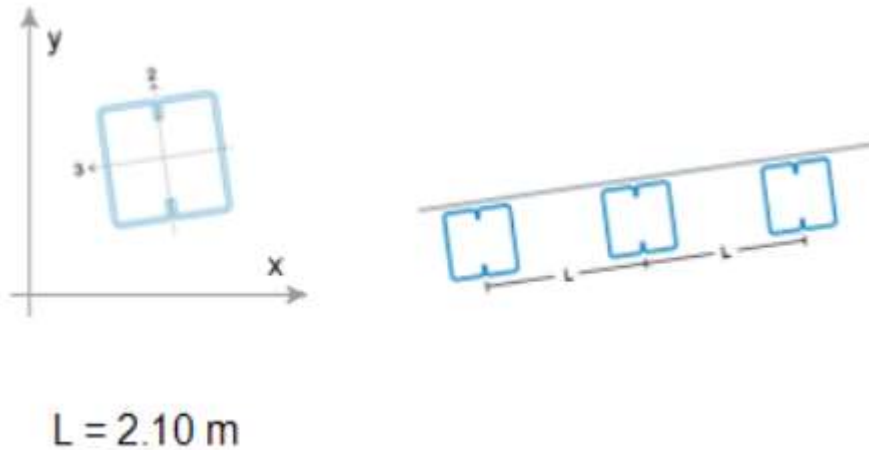
A2: 0,2 m

L1: 8,15 m

También se tiene en cuenta la separación entre perfiles, en el caso en estudio se utilizó una distancia de 2,10 m entre cada perfil para tener un rango de operación más grande representando así:

Figura 17.

Sección transversal.



Nota. Representación de la separación de perfiles.

La fuerza 3 representa la ejercida sobre el eje X, mientras la fuerza 2 representa la ejercida sobre el eje Y, también es importante tener en cuenta el arriostramiento que “Es una técnica utilizada en la construcción y es esencial para darle estabilizar y rigidez a una estructura” [22]. Para la simulación el arriostramiento es de $L/3$, este determinará qué refuerzo hay que hacerle a la estructura.

i) Reporte de flexión

Para la realización del reporte de fuerzas nos remitimos al catálogo de Acesco en el cual se encontró mayor información del cajón que se utilizó en la simulación.

PHR: Perfil negro acabado negro o pintado

Figura 18.

Flexión en cajón PHR 220x80x20 de 3mm.

REFERENCIA DE PERFIL		FLEXIÓN SOBRE EJE X		FLEXIÓN SOBRE EJE Y	
		L_u mm	ϕ_b Mnx KN.m	L_u mm	ϕ_b Mny KN.m
PHR / PAG 220 x 80 x 20	1.2 mm	34,809	12.88	61,172	5.91
	1.5 mm	34,880	21.10	61,147	10.14
	2.0 mm	35,000	30.50	61,105	15.35
	2.5 mm	35,122	40.15	61,061	21.26
	3.0 mm	35,246	49.33	61,016	27.42

Nota. Disponible en: [perfiles-c-y-z-grado-50-manual-tecnico.pdf](#) (acesco.com.ec)

Según la figura 17 la máxima resistencia a fuerza de flexión es de 49.33 KN.m para el eje X y 27,42 KN.m para el eje Y.

$$1\text{KN.m} = 101,97 \text{ kgf.m}$$

Para el eje X

$$49,33 \text{ KN.m} = 5030,18 \text{ kgf.m}$$

Para el eje Y

$$27,42 \text{ KN.m} = 2796,01 \text{ kgf.m}$$

Para realizar la simulación el valor se vió disminuido ya que hay que tener en cuenta el peso del techo, siguiente a esto arrojó los siguientes resultados

Tabla 11.

Reporte de flexión para cajón PHR 220x80x20 de 3mm.

Ejes locales	Interiores	
	3	2
Resistente (Kgf.m)	5005.7803	2805.6770
Calculado (Kgf.m)	4816.9585	55.4930

Nota. Donde (3) representa el eje X y (2) representa el eje Y.

Según los datos obtenidos en la figura 18 el perfil existente PHR220x80x20 de 3 mm cumple con la resistencia a fuerzas flectoras.

ii) Reporte de cortante

Para realizar el reporte de fuerza cortante también se utilizaron los datos entregados por el catálogo en los cuales se ven en el recuadro rojo en la figura 19

Figura 19.

Fuerza cortante en perfil PHR 220x80x20 de 3 mm.

Referencia de perfil	Cajón		
	$\Phi V_{ny} (KN)$	$\Phi V_{nx} (KN)$	
PHR / PAG 220 x 80 x 20	1.2 mm	14.39	63.53
	1.5 mm	30.41	78.99
	2.0 mm	72.45	103.75
	2.5 mm	137.87	127.73
	3.0 mm	198.53	150.91

Nota. Disponible en: [perfiles-c-y-z-grado-50-manual-tecnico.pdf](https://acesco.com.ec/perfiles-c-y-z-grado-50-manual-tecnico.pdf) (acesco.com.ec)

Para el eje X

$$150,91 \text{ KN} = 15388,29 \text{ kgf}$$

Para el eje Y

$$198,53 \text{ KN} = 20244,10 \text{ kgf}$$

Según la simulación entregada por el programa tenemos los siguientes resultados, algunos resultados pueden presentar algunas variaciones por el cambio de base de datos que maneja el software.

Tabla 12.

Reporte de esfuerzo cortante PHR 220x80x20 de 3mm.

Ejes locales	2	3
Resistente (Kgf)	20244.4766	14907.8877
Calculado (Kgf)	2270.0977	94.8943

Nota. Donde (3) representa el eje X y (2) representa el eje Y.

De acuerdo a los datos obtenidos en la simulación de la figura 20 se observa que los perfiles cumplen con la carga requerida para el proyecto.

iii) Reporte de deflexión

La simulación entregó un reporte en el que se tiene en cuenta la deflexión instantánea, esta deflexión se produce cuando una carga viva está sobre la estructura y esto puede darse cuando se hace la instalación de la planta solar y/o cuando se realicen operaciones de mantenimiento.

Tabla 13.

Reporte de deflexión perfil PHR 220x80x20 de 3mm.

Deflexiones máximas	Instantanea
Admisible (m)	0.0313
Calculado (m)	0.0193

Nota. Deflexiones encontradas a partir de la simulación

A partir de la figura 21 se determinó que el perfil cumple con la condición de deflexión aplicando las cargas por lo que el perfil cumple con las 3 condiciones para su utilización, pero según el tutor consultado debe ser sometido a un mejoramiento del apoyo entre las correas y los elementos de concreto.

4.4 Refuerzo de correas

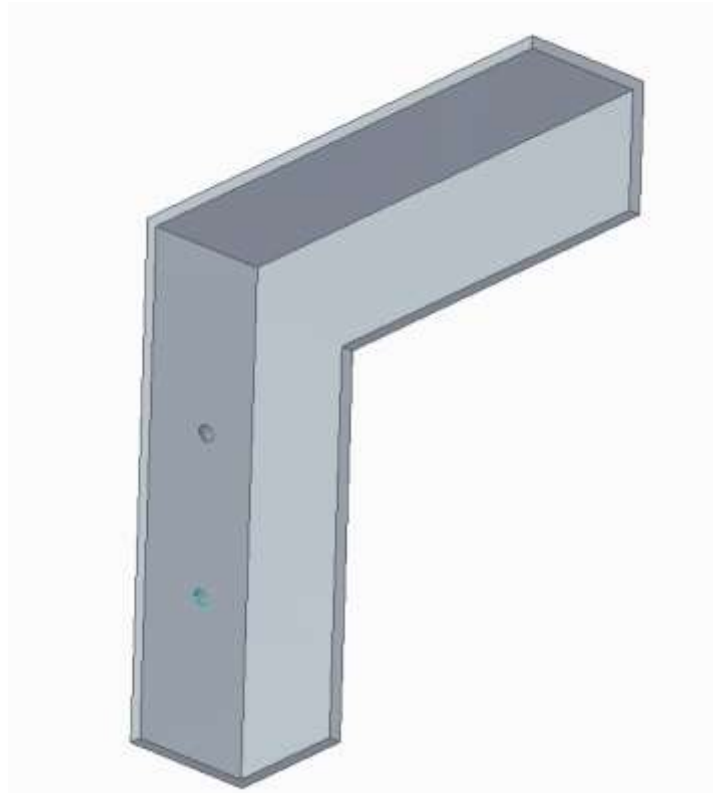
Según los datos calculados en el análisis de fuerzas concluimos que las vigas instaladas en el techo cumplen con los requerimientos técnicos mínimos exigidos por la norma NSR10, sin embargo, al momento de realizar una inspección visual se observó que las vigas no están apoyadas completamente a los soportes que en este caso es la pared estructural.

Con el fin de mejorar este apoyo se consultó y se planteó una solución de fácil implementación con el asesoramiento de un especialista en estructuras, esta consiste en la instalación de cuatro (4) ángulos, dos (2) en cada extremo de las correas, en las cuales un ala se instalará contra el concreto y la otra se soldará al perfil metálico.

Los ángulos por utilizar son de 4" x 3/8" cada uno de estos con una longitud de 40 cm, este ángulo será de un Acero ASTM-36, el cual es un acero al carbono usado en construcciones de estructuras metálicas, puentes, torres de energía, y edificaciones remachadas, atornilladas o soldadas. Este acero debido a su alta soldabilidad permite ser unido con cualquier tipo de electrodo revestido de acero al carbono.

Figura 20.

Geometría del ángulo a construir.



Nota. Representación gráfica del ángulo a fabricar.

Este ángulo deberá ir soldado al perfil con un electrodo 7018 ya que son fáciles de usar y contienen un fundente grueso con alto contenido de polvo, este puede ser usado para soldar metales gruesos como acero estructural. Además, éstos producen soldaduras fuertes con altas propiedades de impacto (incluso en clima frío), y pueden usarse en metales con base de acero al carbón, alto carbón, baja aleación y acero de alta resistencia, con lo cual cumple los requisitos que estamos buscando en el proyecto.

Para la sujeción del ángulo al concreto es necesario hacerlo con un anclaje al concreto y para esto se seleccionó un anclaje acuñado tipo hilti de $\frac{1}{2}$ " x 140 mm de profundidad el cual permite cumplir con el peso que va a soportar el ángulo y está diseñado especialmente para este propósito y tiene una forma como se ve en la figura 23.

Figura 21.

Anclaje acuíñado tipo Hilti.



Nota.

Tomado

de:

https://www.hilti.com.co/c/CLS_FASTENER_7135/CLS_WEDGE_ANCHORS_7135/r8863109?CHA_GL_OBAL_ANC_SIZE=1%2F2%20in&salespackquantity=20%20un

5. PRESUPUESTO

Para la realización del presupuesto es necesario tener en cuenta una evaluación económica para verificar la viabilidad del proyecto, para esto se utilizará un presupuesto general en el cual se tiene en cuenta los costos de los equipos, estructura adicional, mano de obra, entre otros

5.1 Presupuesto general

El presupuesto general se resume como la suma de gastos por concepto de material requerido para la realización de la planta solar fotovoltaica

Tabla 14.

Presupuesto de costos directos del proyecto.

COSTO PLANTA FV				
PRODUCTO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO U	PRECIO TOTAL
Paneles	-	14	\$ 582,000	\$ 8,148,000
Inversores	-	1	\$ 9,378,380	\$ 9,378,380
Canalización	metros	50	\$ 9,245	\$ 462,250
Protecciones DC	-	4	\$ 174,290	\$ 697,160
Señalización y seguridad de planta	-	-	-	\$ 500,000
Cableado DC 12AWG	metros	38	\$ 8,950	\$ 340,100
Sistema de monitoreo WIFI		1	\$ 189,031	\$ 189,031
Conectores (MC4)	-	28	\$ 3,645	\$ 102,060
Proteccion AFCI	-	1	\$ 467,778	\$ 467,778
Herramienta electrica menor y otros	-	-	-	\$ 500,000
Soportes paneles solares + refuerzo	-	3	\$ 486,773	\$ 1,460,319
Mano de obra (4 Trabajadores)	Días	2	\$ 200,000	\$ 400,000
Transporte	kg	350	\$ 700	\$ 245,000
Valor total costos directos				\$ 22,890,078

Nota. Presupuesto planteado inicialmente para costos directos

Adicionalmente a esto debemos tener en cuenta los valores de Administración, imprevistos y utilidad.

Tabla 15.

Costos indirectos del proyecto.

Administracion	22%	\$ 5,035,817
Imprevistos	2%	\$ 457,802
Utilidad	6%	\$ 1,373,405
IVA	19%	\$ 260,947
Valor total de costos indirectos		\$ 7,127,970

Nota. Presupuesto planteado inicialmente para costos indirectos

A partir de la Tabla 14 y la Tabla 15 encontramos el costo total de la instalación solar:

- a) **Costo total de la obra \$ 30.018.048**
- b) **Costo por kW instalado \$5.003.008**

5.2. Presupuesto por concepto de operación y mantenimiento

Para conocer los costos relacionados a la operación y el mantenimiento tuvimos en cuenta la vida útil del proyecto la cual está proyectada para 20 años en la cual se implementan 4 operaciones principales las cuales son:

- a. Reposición de paneles: Esta operación consiste en la sustitución de un (1) panel en promedio que puede llegar a dañarse en el transcurso de 5 años (Este valor es de referencia y depende de condiciones climáticas y/o mantenimiento.)
- b. Reposición de inversor(es): Esta operación consiste en la sustitución del inversor cada 10 años, tiempo el cual está garantizada por el fabricante la potencia de generación.
- c. Aseo de la planta: Esta operación debe realizarse aproximadamente cada 3 meses ya que en los meses más secos los paneles pueden acumular niveles de suciedad que pueden afectar la producción de energía de la planta; además de esto pueden acumular suciedad por aves e incluso hojas de árboles aledaños.

d. Mantenimiento preventivo: Esta operación debe realizarse 2 veces al año (ideal realizarla paralelamente con aseo en la planta) y está especificada en el Capítulo 6

Para este proyecto determinamos que los gastos por operación y mantenimiento serán del 3.5% anual del costo total de la instalación, que son aproximadamente \$1.050.062. El presupuesto en detalle puede ser visto en el Anexo 4

5.3 Cálculo del ahorro en la facturación.

Para realizar el cálculo del ahorro en la factura es necesario utilizar los datos provistos por la factura que nos suministró la empresa y por los datos que nos suministro la simulación de la planta solar en el programa PvSyst, también es importante aclarar que debido a la pandemia del Covid-19 como alternativa a las empresas afectadas el Costo Unitario Calculado (CU=\$610.75) tiene un valor diferente al costo unitario facturado (CF=\$566,53). Para la simulación se utilizó el Costo Unitario Calculado como se muestra en la tabla 16

Tabla 16.

Costo Unitario por kWh sin descuentos ni contribución.

G	T	D	C	PR	R	CU
246.93	41.18	201.17	55.65	51.97	13.85	610.75
40.4%	6.7%	32.9%	9.1%	8.5%	2.3%	100.0%

Nota. Datos de la factura.

Tabla 17.

Perfil del usuario.

Características del usuario	
Demanda de energía (kWh -Año)	48,423
Nivel de tensión	I
Tasa de crecimiento anual	1.00%
Estrato / Tipo	Comercial
Subsidio / Contribución	0.2
Información CU	
Fecha referencia	Dec-20
Mercado	Codensa
CU (\$ / kWh)	610.8
Tarifa energía (\$ / kWh)	732.9
Tasa de crecimiento	2%
Componente C (\$ / kWh)	55.7
Precio promedio bolsa (\$ / kWh)	161.92
Consumo de subsistencia (kWh)	130

Nota. Información de usuario para realizar análisis económico.

Tabla 18.

Ahorro en facturación para el primer año.

Factura base	
Consumo con subsidio	0
Consumo sin subsidio	48,423
Factura sin AG	35,489,217
Autogeneración	
Factor Autoabastecimiento	17.0%
Factor degradación	0.58%
Generación bruta	8,230
Consumo y excedentes	
Exp 1 (Permuta de energía)	8,230
Exp 2 (Excedentes)	21
Consumo	40,193
Consumo con subsidio	0
Consumo sin subsidio	40,193
Pago	
Consumo energía	29,457,469
Costo del servicio permuta	0
Ingreso	
Valor excedente	3,400
Valor factura AG	29,454,069
Ahorro e ingreso	6,035,148

Nota. Simulación de ahorro para el primer año desde el momento de la instalación.

A partir de la tabla 17 y 18 se determinó un crecimiento anual en el consumo de energía del 1% esto debido a que en los planes de la empresa está contemplado una expansión en sus instalaciones, también se utilizó una tasa de crecimiento del 2% con relación al precio de la energía en el tiempo.

Al finalizar el año 0 (momento que inicia la operación de la planta hasta el año posterior) se obtuvo un ahorro de aproximadamente \$6.035.048 respecto a la factura original lo que nos muestra un camino prometedor en el futuro de la instalación.

5.4 Incentivos ofrecidos por el Gobierno Nacional

Según la Ley 1715 de 2014 tiene por objeto promover el desarrollo y la utilización de las Fuentes No Convencionales de Energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional, mediante su integración al mercado eléctrico, su participación en las Zonas No Interconectadas y en otros usos energéticos como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad del abastecimiento energético [26].

Los interesados en realizar inversiones en proyectos de Fuentes No Convencionales de Energía y Gestión Eficiente de la Energía, podrán acceder a los incentivos tributarios enunciados por la Ley, una vez se cumplan los requisitos y procedimientos establecidos por las entidades pertinentes.

El Ministerio de Minas y Energía, a través de la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) y la Agencia de Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) por medio del Programa de Energía Limpia para Colombia (CCEP), unen esfuerzos para convocar e invitar a empresarios, inversionistas y ciudadanos en general, para que le apuesten a las energías limpias [26].

5.4.1 Exclusión del IVA en la adquisición de bienes y servicios

La Ley 1715 art. 12, Decreto 2143 Artículo 2.2.3.8.3.1. nos dice *“Estarán excluidos del IVA la compra de equipos, elementos y maquinaria, nacionales o importados, o la adquisición de servicios dentro o fuera del territorio nacional que se destinen a nuevas inversiones y preinversiones para la producción y utilización de energía a partir FNCE, así como aquellos destinados a la medición y evaluación de los potenciales recursos, de conformidad con la certificación emitida por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) de equipos y servicios excluidos del impuesto, para lo cual se basará en el listado elaborado por la UPME y sus actualizaciones.”*

Esta norma también nos dice que para aplicar este beneficio se debe tener la certificación expedida por la UPME en la cual se avala el proyecto y los equipos, elementos y maquinaria utilizada, además de esto se debe tener la certificación de la ANLA de equipos y servicios excluidos del impuesto [N#].

Tabla 19.

Deducción del IVA

IVA		
Valor proyecto		30,018,048
Tasa impuesto IVA	19%	
Valo proyecto sin IVA		24,314,619
Valor IVA		5,703,429

Nota. Valor deducido del proyecto por concepto del IVA.

5.4.2 Deducción especial del impuesto sobre la renta.

La aplicación de este incentivo tiene dos consideraciones las cuales son:

i) Artículo 11 de la Ley 1715 de 2014

Los contribuyentes declarantes del impuesto sobre la renta que realicen directamente nuevas erogaciones en investigación, desarrollo e inversión para la producción y utilización de energía a partir FNCE o gestión eficiente de la energía, tendrán derecho a deducir hasta el 50% del valor de las inversiones [26].

ii) Artículo 2.2.3.8.2.1. y siguientes del Decreto 2143 de 2015 (incorporado al Decreto 1073 de 2015)

El valor a deducir anualmente no puede ser superior al 50% de la renta líquida del contribuyente.

Para la aplicación de este beneficio el gobierno establece unos límites en los cuales fija una tarifa marginal la cual es el porcentaje a deducir por el 50% de la inversión. Esta tarifa marginal está dada en UVT que es una medida utilizada por el gobierno nacional para determinar las obligaciones tributarias [26].

Tabla 20.

Rangos establecidos para la deducción.

Rangos UVT		Tarifa Marginal	Impuesto
Desde	Hasta		
>0	1090	0%	0
>1090	1700	19%	(Base Gravable en UVT menos 1090 UVT) x 19%
>1700	4100	28%	(Base Gravable en UVT menos 1700 UVT) x 28% + 116 UVT
>4100	8670	33%	(Base Gravable en UVT menos 4100 UVT) x 33% + 788 UVT
>8670	18970	35%	(Base Gravable en UVT menos 8670 UVT) x 35% + 2296 UVT
>18970	31000	37%	(Base Gravable en UVT menos 18970 UVT) x 37% + 5901 UVT
>31000	En Adelante	39%	(Base Gravable en UVT menos 31000 UVT) x 39% + 10352 UVT

Nota. Disponible en: <https://actualicese.com/uvt/>

Para el año 2021 una (1) UVT equivale a \$36.308, el proyecto tiene una inversión de \$30.018.048 lo cual equivale a 826.76 UVTs, por lo que este beneficio no será aplicado en nuestro proyecto.

5.4.3 Exclusión del gravamen arancelario

Según la Ley 1715 art. 13, Decreto 2143 de 2015 Arts. 2.2.3.8.4.1. “Las personas naturales y jurídicas titulares de nuevas inversiones en nuevos proyectos para el desarrollo de FNCE deberán obtener previamente la certificación expedida por el Ministerio de Minas y Energía, a través de la Unidad de Planeación Minero Energética,

en la cual la entidad avalará el proyecto de FNCE y la maquinaria, equipos, materiales e insumos relacionados con este y destinados exclusivamente a las etapas de preinversión e inversión. La UPME contará con un plazo de tres (3) meses para reglamentar el procedimiento relacionado con el inciso.

Las personas naturales y jurídicas titulares de nuevas inversiones, una vez expedidas las certificaciones de la UPME y la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales, deberán remitir a la Ventanilla Única de Comercio Exterior - VUCE la solicitud de licencia previa, anexando la mencionada documentación.”

En otras palabras, habrá la exención del pago de los Derechos Arancelarios de Importación de maquinaria, equipos, materiales e insumos destinados exclusivamente para labores de pre inversión y de inversión de proyectos con FNCE [26].

Tabla 21.

Deducción de aranceles

Aranceles		
Valor paneles		8,148,000
Arancel	5%	
Valor ahorro		407,400
Valor inversores		9,378,380
Arancel	5%	
Valor ahorro		468,919
Valor total ahorro		876,319

Nota. Ahorro en el pago de aranceles en la adquisición de productos.

5.4.4 Depreciación acelerada.

Según el Artículo 14 de la Ley 1715 de 2014. y el artículo 2.2.3.8.5.1. del Decreto 2143 de 2015 (incorporado al Decreto 1073 de 2015) *“Aquellos generadores de energía a partir de FNCE que realicen nuevas inversiones en maquinaria, equipos y obras civiles adquiridos y/o consumidos con posterioridad a la vigencia de la Ley 1715 de 2014, exclusivamente para las etapas de preinversión, inversión y operación de proyectos de generación a partir de FNCE, podrán aplicar el incentivo de depreciación acelerada, de acuerdo con la técnica contable, hasta una tasa anual global del veinte por ciento (20%)”* [26]

Para la aplicación de este incentivo hay un requisito especial que es la obtención de la certificación expedida por la UPME, en la cual la entidad avalará el proyecto de FNCE y los equipos, elementos y maquinaria, nacionales o importados, o la adquisición de servicios. La certificación de la deducción especial en renta, aplica para este beneficio.

Como nuestro proyecto no cuenta con deducción de renta al no llegar al valor mínimo establecido el concepto por depreciación acelerada no será aplicado.

5.5 Indicadores económicos

Para la realización de un proyecto de inversión es necesario realizar un análisis de sensibilidad con algunos indicadores para determinar la viabilidad del proyecto.

5.5.1 Valor presente neto (VPN)

Es el modelo o método de mayor aceptación, y consiste en la actualización de los flujos netos de fondos a una tasa conocida y que no es más que el costo medio ponderado de capital, determinado sobre la base de los recursos financieros programados con antelación. Esto descansa en el criterio ya esbozado en anteriores oportunidades; las decisiones de inversión deben aumentar el valor total de la empresa, como parte de una sana y productiva política administrativa. Algunos autores señalan que, en ciertos casos, es pertinente usar lo que se denomina la tasa de descuento, que no es otra cosa que la

tasa que se usa en el mercado para determinar la factibilidad financiera de los proyectos de inversión [27].

Para conocer el valor presente neto realizamos un flujo de caja (Anexo 5) en el cual se evaluó el proyecto durante 20 años en el que se tiene en cuenta la inversión, descuentos de ley, gasto por operación, mantenimiento y reposición de equipos. Según esta simulación el valor presente neto para el proyecto es de \$13,871,377

5.5.2 Tasa de interés de oportunidad (TIO)

Es la tasa de retorno mínima que se tiene si una persona natural o jurídica acepta invertir una cantidad determinada de dinero a futuro, para el proyecto se utilizará una tasa del 12% anual.

5.5.3 Tasa interna de retorno (TIR) y tasa interna de retorno modificada (TIRM)

i) TIR: Se define como la tasa interna de rentabilidad o de retorno para un proyecto de inversión, este indicador nos muestra qué tan atractivo (debe ser mayor que la TIO) puede ser un proyecto y se tienen en cuenta los flujos de caja durante la vida del proyecto [28], al calcularlo se obtuvo una tasa del 21%

ii) TRIM: Esta fue diseñada con el fin de resolver las posibles inconsistencias que tiene la TIR, la cual consiste en la reinversión de flujos incrementales a la tasa interna de retorno original, durante el periodo restante de vida útil del proyecto, es decir la reinversión de las ganancias después de recuperar la inversión inicial con un interés más bajo (TIO), para el proyecto se obtuvo una tasa del 14% [29].

5.5.4 Payback

Se define como el tiempo en el cual un inversionista recupera su capital y empieza a generar un flujo positivo, para el proyecto se obtuvo un tiempo de 5.2 años, esto nos indica que el proyecto tiene casi 15 años de ganancias, se tiene previsto que para el año 20 el flujo será de \$80.386.624 esto incluyendo la operación y mantenimiento, reposición

de paneles e inversor, degradación de paneles, aumento de costo de la energía con el tiempo, entre otros.

6. MANUAL DE MANTENIMIENTO

En el siguiente manual de mantenimiento se establecerán una serie de procedimientos específicos para asegurar el máximo rendimiento de una instalación solar fotovoltaica, del mismo modo que se ha desarrollado para reducir los tiempos de inactividad, cortes y averías.

El mantenimiento de las instalaciones fotovoltaicas es tanto correctivo como preventivo, ya que no involucra partes móviles sujetas a desgaste y no requiere ningún tipo de lubricación o cambios parciales [30].

6.1 Plan de mantenimiento preventivo

6.1.1 Paneles solares fotovoltaicos

Los paneles solares fotovoltaicos no requieren mucho mantenimiento, por lo que el control de calidad por parte de los fabricantes es general y no suele dar ningún problema.

Hay dos puntos importantes a tener en cuenta al realizar el mantenimiento de los paneles, por un lado, asegurarse de que no haya obstáculos que proyecten sombra sobre la unidad y, por otro lado, mantener limpia la parte que estará expuesta a la luz solar directa.

El mantenimiento consiste en:

Limpieza del panel

El panel se limpia mensualmente o cuando llueva desmedidamente, ya que ensucia notablemente.

Esta limpieza se realizará con agua, además, se realizará fuera de las horas centrales del día con el fin de evitar cambios extremos de temperatura en el panel.

Inspección visual (trimestralmente)

Se comprobará que ningún módulo se encuentre en mal estado (cristal roto o deformaciones)

Control de temperatura (trimestralmente)

Se debe comprobar, mediante termografía infrarroja, que no haya ningún punto en el panel de control fuera del rango de temperatura permitido por el fabricante.

Control de características eléctricas del panel (semestralmente)

Se revisará:

Estado de las conexiones

Ausencia de sulfatación en contactos

Ausencia de oxidación en los circuitos, esto ocasionado por la humedad

Comprobación de adherencia y estado de los cables a terminales de los paneles [30].

6.1.2 Soportes de los paneles solares

Esta inspección se realizará anualmente y se tendrán en cuenta las siguientes indicaciones:

Comprobar el estado de fijación de la estructura (Tornillería)

Comprobar posibles deformaciones, degradaciones o grietas.

6.1.3. Cajas SMBC

Las cajas Sunny Main Box Cabinet (SMBC) son resistentes a la intemperie y además a los rayos UV.

La parte de mantenimiento para estas cajas SMBC será muy similar a la de las cajas SSM (Sunny string monitor) y se realizarán las siguientes operaciones (Anualmente):

- Comprobar el adecuado anclaje de la caja a la estructura soporte.
(Tornillería y fijación)
- Comprobar si la conexión roscada de compensación presenta daños o suciedad, si es necesario se debe sustituir.
- Comprobar el anclaje adecuado de la caja a la pared
- Verificar que la carcasa no presente daños
- Comprobar que el cableado se encuentre fijamente atornillado
- Verificar que no se haya acumulado agua de condensación en el equipo
- Verificar que se encuentre visibles las etiquetas de advertencias
- Realizar inspección visual de fusibles y muelles tensores
- Comprobar la temperatura de conexión mediante la termografía infrarroja

6.1.4. Inversores

Debido a que los inversores son uno de los equipos más delicados de la instalación, requieren un mantenimiento más detallado; este se realizará mensualmente, semestralmente y anualmente.

Las operaciones de mantenimiento serán las siguiente:

Mensualmente:

- Lectura y análisis de la memoria de fallos y de los datos archivados

Semestralmente:

- Limpieza o cambio si es requerido para las esferas de los filtros y para las rejillas protectoras

Anualmente

- Inspección visual para comprobar polvo, humedad, suciedad y filtraciones de agua en el interior
- Limpieza del disipador de calor
- Comprobar funcionamiento de bloqueos
- Revisar fijación de conexiones del cableado eléctrico
- Comprobar temperatura de conexiones mediante la termografía infrarroja
- Verificar que se encuentren las etiquetas de advertencias
- Revisión visual de seccionadores y fusibles
- Comprobar el correcto funcionamiento de la calefacción
- Revisión de funcionamiento de los interruptores (automáticos, de protección y de potencia)
- Verificar el correcto funcionamiento del sistema de parada de emergencia.

6.1.5. Sistema de monitoreo de la instalación solar

Se centra en todos los elementos del sistema de control compuesto por caja SSM y convertidor de frecuencia. Estos elementos son muy importantes para el funcionamiento de las instalaciones solares. El mantenimiento incluirá las siguientes operaciones (Mensualmente y Anualmente):

Mensualmente

- Monitoreo de equipos a través de sistema informático para controlar parámetros de producción, voltaje, corriente, capacitancia, registro de alarmas, etc.

- Comprobar el sistema de alarmas.

Anualmente

- Revisión de conexiones de cada uno de los elementos, sensores, router, PC, tarjetas, etc.
- Comprobación de sensores, verificando su buen estado y que no presenten ningún tipo de deterioro o desgaste [30].

6.1.6. Transformador

Esta es una parte esencial de la instalación, porque si falla, se perderá toda la producción.

Para el mantenimiento de transformadores se tendrán en cuenta las siguientes operaciones:

Mensualmente

- Quitar el polvo del transformador mediante aspiración y terminando la limpieza de este soplando con aire comprimido.

Semestralmente

- Limpieza de rejillas protectora en las entradas y salidas de aire
- Cambio o limpieza de esferas de los filtros de entrada de aire

Anualmente

- Verificar apriete de las conexiones y las barras de las tomas de regulación
- Comprobar aislamientos
- Verificar estado o alteraciones en los bornes

- Verificar estado de las conexiones y cada uno de los elementos de la misma
- Revisar estado de las etiquetas de advertencias
- Comprobar estado y funcionamiento de los ventiladores

6.1.7. Celdas de MT

Las celdas de media tensión (MT) se entienden como el conjunto de secciones verticales en las que se encuentran ubicados los equipos a maniobrar.

El mantenimiento para las celdas consistirá en:

Mensualmente

- Limpieza de las celdas con un pasando un trapo seco o también, mediante aspiración

Anualmente

- Comprobar el estado de las protecciones, seccionadores, fusibles, etc.; y sustituir los elementos que presenten algún tipo de desgaste.
- Controlar apriete de conexiones
- Comprobar estado de las conexiones y los bornes
- Revisar estado de las etiquetas de advertencia
- Verificar estado de los elementos de conexión

6.1.8. Línea eléctrica

El adecuado mantenimiento y la buena conservación de la línea eléctrica en la instalación solar fotovoltaica mantendrá el buen funcionamiento de esta.

Para el mantenimiento de la línea eléctrica se realizarán las siguientes operaciones:

Semestralmente

- Comprobar el aislamiento de los cables y el estado de la cubierta
- Verificar el buen estado de las protecciones mecánicas de los cables, si presenta deterioro se debe sustituir el tramo completo

Anualmente

- Comprobar el estado de los bornes de abroche de la línea de alimentación en la caja general de protección (CGP), mediante inspección visual.
- Verificar estado de empalmes y conexiones

6.1.9. Protecciones de la instalación solar fotovoltaica

Estas protecciones deben estar siempre en perfecto estado ya que de ellas dependen todas las condiciones de seguridad para el dispositivo y el usuario.

Las operaciones de mantenimiento a realizar son:

Por el usuario

Semestralmente

- Inspección visual de elementos interiores para detección de anomalías

Anualmente

- Comprobar el buen funcionamiento de interruptores diferenciales siguiendo este procedimiento: - Acción manual sobre el botón de prueba – Desconexión automática del paso de corriente – Acción manual sobre el mismo mando para dejarlo en su posición de conexión y recuperar el suministro eléctrico
- Comprobar el correcto funcionamiento de los interruptores magnetotérmicos para evitar sobreintensidad o cortocircuito.

Cada 2 años

- Limpieza de mecanismos con trapo seco y preferiblemente sin tener conexión a la corriente eléctrica
- Limpieza de clavijas y receptores eléctricos con un trapo seco y sin tener conexión a la corriente eléctrica

Por el personal calificado

Semestralmente

- Comprobar el funcionamiento de los interruptores del cuadro de mando y protección

Anualmente

- Comprobar estado de mandos alejados y conexiones
- Inspección visual del estado del interruptor de corte y fusibles de protección
- Comprobar el estado de las cubiertas aislantes de los interruptores.
- Revisión de la rigidez dieléctrica entre los conductores
- Comprobar y evaluar los dispositivos de protección contra cortocircuitos, intensidades nominales y contactos directos e indirectos [30].

6.1.10. Ventilación de la instalación.

Para verificar el correcto funcionamiento del sistema de ventilación de la instalación se tendrán en cuenta las siguientes operaciones de mantenimiento:

Anualmente

- Inspección visual de las rejillas y además limpieza de las mismas.

- Verificación del estado del ventilador.

- Limpieza de filtros

- Limpieza del ventilador [30].

7. ANÁLISIS DE IMPACTO AMBIENTAL

Figura 22.

Objetivos del desarrollo sostenible.



Producido en colaboración con TROLLBÄCK & COMPANY | TheGlobalGoalNetwork.com | +1 212 688 1810
Para cualquier duda sobre la utilización, por favor contacte con: info@theglobalgoalnetwork.org

Nota. 17 objetivos de desarrollo sostenible adjudicados por la ONU Tomado de: United Nations [sitio web], La asamblea general adopta la agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible.

Según la Figura 19 el proyecto se evaluará según el impacto ambiental teniendo como referencia los objetivos del desarrollo sostenible promulgados por la Organización de Naciones Unidas (ONU). A partir de esto se consideraron importantes los objetivos 7 y 13.

7.1 Energía asequible y no contaminante

Si bien el proyecto hasta el momento de la realización era de carácter didáctico, según las metas de este objetivo es aumentar las fuentes de energía renovable, fortalecer la infraestructura, mejorar la eficiencia energética y disminuir la contaminación.

CONCLUSIONES

El impacto ambiental producido generado por los productos cárnicos puede ser mitigado en una pequeña parte mediante la generación de energía limpia aplicada a la producción y distribución en los procesos productivos de esta industria.

Para la realización del proyecto inicialmente se pensó en realizarlo para 4 kW pero gracias a la maximización de recursos se pudo aumentar en un 50% la capacidad instalada llegando a 5,9 kW lo que le representará a la empresa un ahorro del 17% en su facturación.

Aunque la perfilería cumple con los requisitos estructurales, si la empresa quiere aumentar su capacidad instalada deberá realizar nuevos estudios de cargas, esto debido a que la infraestructura de la bodega en la cual está localizada la empresa presenta deficiencias en los apoyos propios de la construcción inicial.

Los softwares utilizados durante las simulaciones (energética y estructural) fueron de gran apoyo al momento de realizar este proyecto ya que pudimos comprobar los datos obtenidos mediante las fórmulas y nos arrojó un panorama más realista en el desarrollo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Patterson, G., & Sobral, M. (2007). Efecto Peltier. *Departamento de Física FCEyN, Universidad de Buenos Aires. Dic.*
- [2] Monné, C., Alonso, S., & Palacín, F. (2011). Evaluación de una instalación de refrigeración por absorción con energía solar. *Información tecnológica*, 22(3), 39-44.
- [3] Mundo hvac&r [sitio web], México. La Refrigeración solar [Consultado en: 03 de julio de 2021]. Disponible en: <https://www.mundohvacr.com.mx/2007/10/la-refrigeracion-solar/>
- [4] Autosolar [sitio web], España. Refrigeración en paneles solares para aumentar la producción [Consultado en: 03 de julio de 2021]. Disponible en: <https://autosolar.es/blog/placas-fotovoltaicas/refrigeracion-en-paneles-solares-para-aumentar-la-produccion>
- [5] Cpcol "compañía petrolera colombiana ltda" [sitio web], Colombia. Energía Solar [Consultado en: 03 de julio de 2021]. Disponible en: <http://www.cpcol.com.co/servicios/energias-renovables/energia-solar/>
- [6] Sawin, J. L., Sverrisson, F., Rutovitz, J., Dwyer, S., Teske, S., Murdock, H. E., ... & Arris, L. (2018). Renewables 2018-Global status report. A comprehensive annual overview of the state of renewable energy. Advancing the global renewable energy transition-Highlights of the REN21 Renewables 2018 Global Status Report in perspective.
- [7] Aquae fundación [sitio web], España. ¿Qué es la energía solar? [Consultado en: 03 de julio de 2021]. Disponible en: https://www.fundacionaquae.org/que-es-energia-solar/?gclid=CjwKCAjwz_WGBhA1EiwAUAXlcfp0342X65UoSKATt9zxf886sOpOp-2trD0SHt2of0REygpfSXJR6RoC2OsQAvD_BwE

- [8] D. Barberá.S. (2018). *introducción a la energía fotovoltaica*. [En línea]. Disponible: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70271/fichero/02+INTRODUCCI%C3%93N+A+LA+ENERG%C3%8DA+FOTOVOLTAIA%252Fintroducci%C3%B3n+a+la+Energ%C3ADa+Ftovoltaica.pdf>)
- [9] Felicísimo, A. M., & Cepedal, G. (1984). *estimación de la radiación solar incidente sobre superficies con pendiente y orientación variable*. *studia oecologica*, 5, 267-284.
- [10] L. G Fernandez. G., A. Cervantes. T., *proyecto de diseño e implementación de un sistema fotovoltaico de interconexión a la red eléctrica en la universidad tecnológica de altamira.*, tesis Mast., Centro de investigación en materiales avanzados, s.c., Altamira, México, 2017. [En línea]. Disponible: <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1004/1927>
- [11] Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible [sitio web], Colombia. Brillo solar. [Consultado en: 03 de julio de 2021]. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/24155/123679/16-90+HM+Brillo+solar+3+Fl.pdf/612e0afe-928d-417c-99ed-49e5fd792f38#:~:text=La%20duraci%C3%B3n%20del%20brillo%20solar,todos%20los%20meses%20del%20a%C3%B1o>.
- [12] H. Ramos. L., R. Luna. P., *diseño de un sistema fotovoltaico integrado a la red para el área de estacionamiento de la universidad tecnológica de salamanca.*, tesis Mast., centro de investigación en materiales avanzados, S.C., Chihuahua, México, 2014. [En línea]. Disponible: <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/521/1/Tesis%20Rafael%20Luna%20Puente%20C%20Humberto%20Ramos%20L%C3%B3pez.pdf>

- [13] D. Hofman., A. E. García. R., Departamento de física, *laboratorio 5 efecto fotoeléctrico.*, facultad de ciencias Exactas y Naturales., Universidad de buenos aires., Buenos Aires, Argentina, 2002. [En línea]. Disponible: http://users.df.uba.ar/sgil/labo5_uba/inform/info/pautadas/fotoelectrico_2k2a.pdf
- [14] S. González. B., N. E. Miranda. R., J. C. Hernández. R., M. A. Bizarro. R., L. Martínez. R., *trabajo de investigación, efecto peltier.*, Área de ciencias fisicomatemáticas., Cuernavaca-Morelos, México, 2014. [En línea]. Disponible: <http://www.acmor.org.mx/sites/default/files/107.%20Efecto%20Peltier.pdf>
- [15] G. G. Gonzales. P., J. C. Zambrano. M., E. F. Estrada. P., *Estudio, diseño e implementación de un sistema de energía solar en la comuna puerto roma de la isla mondragón del golfo de guayaquil, provincia del guayas.*, tesis Pre., Universidad politecnica salesiana., Facultad de ingenierías, Guayaquil, Ecuador, 2014. [En línea]. Disponible: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6553/1/UPS-GT000602.pdf>
- [16] G. E. Maltez. R., *Diseño de un sistema fotovoltaico para alimentar la red eléctrica instalada en área comercial.*, tesis Pre., Universidad de san Carlos de Guatemala., Facultad de ingenierías, san Carlos, Guatemala, 2012. [En línea]. Disponible: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0813_EA.pdf
- [17] G. Arencibia. C, “La importancia del uso de paneles solares en la generación de energía eléctrica”, *REDVET*, vol. 17, núm. 9, pp. 1-4, Sept, 2016, [En línea] <https://www.redalyc.org/pdf/636/63647456002.pdf>. [Acceso jul. 3, 2021]
- [18] G. Dzimano., *Modeling of photovoltaic systems comercial.*, thesis Mast., The ohio state university., Ohio State, EE. UU, 2008. [En línea]. Disponible: https://etd.ohiolink.edu/apexprod/rws_etd/send_file/send?accession=osu1228307443&disposition=inline

- [19] H. B. Massawe., *Grid connected photovoltaic systems with smartgrid functionality.*, Thesis Mast., Department of Engineering., Norwegian University of Science and Technology., Trondheim, Noruega, 2013. [En línea]. Disponible: <https://core.ac.uk/download/pdf/52105821.pdf>
- [20] M. A. González. G., V. M. Cárdenas. G., R. Álvarez. Salas., “Inversores inteligentes en sistemas de energía solar fotovoltaica”, Rev. Div. Ctfc, vol, 1, no. 238, pp. 14-19, Agosto, 2019, [En línea] <http://www.uaslp.mx/Comunicacion-Social/Documents/Divulgacion/Revista/Dieciseis/universitarios%20potosinos%20238.pdf#page=26>. [Acceso oct. 12, 2021]
- [21] Creg [sitio web], Colombia. Actividades de autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida en el sistema interconectado Nacional [Consultado en: 03 de agosto de 2021]. Disponible en: <http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/83b41035c2c4474f05258243005a1191>
- [22] Creg [sitio web], Colombia. Actividades de autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida en el sistema interconectado Nacional [Consultado en: 03 de agosto de 2021]. Disponible en: <http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/83b41035c2c4474f05258243005a1191>
- [23] S. Cuestas., L. Lebus., *Diseño de un seguidor de punto maximo de potencia.*, Laboratorio de energías alternativas., Universidad tecnológica nacional facultad regional Paraná., Paraná, Argentina, 2015. [En línea]. Disponible: [897-1588-1-DR \(mendoza-conicet.gob.ar\)](http://897-1588-1-DR(mendoza-conicet.gob.ar))
- [24] Dierauf, T., Growitz, A., Kurtz, S., Cruz, J. L. B., Riley, E., & Hansen, C. (2013). *Weather-corrected performance ratio* (No. NREL/TP-5200-57991). National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States).

- [25] M. C. Fernández., *Planta solar fotovoltaica de 500 kw sobre la cubierta de una nave industrial en la ciudad de sevilla.*, tesis Pre., Escuela técnica superior de ingeniería., Facultad de ingenierías, Sevilla, España, 2012. [En línea]. Disponible: <http://biling.us.es/proyectos/abreproy/5074>
- [26] Invierta y Gane Con Energía. República de Colombia [sitio web], Colombia. Guía Práctica Para La Aplicación de Los Incentivos Tributarios de La Ley 1715 de 2014 [Consultado en: 04 de agosto de 2021]. Disponible en: https://www1.upme.gov.co/Documents/Cartilla_IGE_Incentivos_Tributarios_Ley1715.pdf
- [27] Altuve, J. G., “ El uso del valor actual neto y la tasa interna de retorno para la valoración de las decisiones de inversión”, *Actualidad contable FACES*, vol. 7, núm. 9, pp. 7-17, Jul-Dic, 2004, [En línea] <https://www.redalyc.org/pdf/257/25700902.pdf>
- [28] Castillo, G. C., & Martínez, J. M. D. (2011). ¿Qué es la TIR de un proyecto de inversión? *eXtoikos*, (2), 129-130.
- [29] Athanasopoulos Peter J., Anote on the modified internal rate of return and investment criterion, *The Engineering Economist*, 1978
- [30] M. B. Gonzales “Diseño de un sistema de seguimiento solar de un eje para el aprovechamiento de la energía solar en sistemas fotovoltaicos. Disponible en: <http://www.revistas.unjbg.edu.pe/index.php/cyd/article/view/196/189>.

ANEXOS

ANEXO 1

FACTURA DE CONSUMO



**PARA PAGO Y CONSULTAS
TU NÚMERO DE CLIENTE ES:**

2736986-9

No. 630675458-9

COGENSA S.A. ESP
RIT. 030-0233949-0-134 No. 03-08

CLIENTE
PROMOTORA CALEDONIA
 REPUBLICA AUTONOMA DEL INK I COSTADO SURACIO I BG 4
 ELIMINAR EL RE-SHO CARGA FUNZA-FUNZA

TOTAL A PAGAR
\$ 2.563.000

CONTRIBUCION
\$ 427.166

PAGO OPORTUNO
08 ABR/2021

FECHA SUSPENSIÓN
12 ABR/2021

-EVOLUCION DEL CONSUMO-



PERIODO FACTURADO:
01 MAR/2021 A 31 MAR/2021

TIPO LIQUIDACION: Mensual

TIPO DE LECTURA: Real

ANOMALIA: Normal

CONSUMO PROMEDIO ULTIMOS 6 MESES: 3989

PROXIMA LECTURA: 30 ABR/2021

-INFORMACION DEL CONSUMO-

TIPO MEDIDA	LEC. ACTUAL	LEC. ANTERIOR	DIFERENCIA	FACTOR	ENERGIA CONS.	ENERGIA FACT.
LFIP	180231	116281	63950	1	63950	63950

FECHA DE EXPEDICIÓN: 05 ABR/2021

TOTAL CONSUMO: 63950 kWh

-CALIDAD DEL SERVICIO-



INFORMACION DE INTERES

ESTIMADO CLIENTE:
La tarifa final es de \$566.5330 kWh

G: 240.9191 **T:** 41.1802 **D:** 201.1663
CV: 55.4512 **PR:** 51.9668 **R:** 13.8512
CU: 6.10.7548 **CF:** 0

TARIFA MES: MAR/2021 **VALOR kWh Prom:** 5566.533

-INFORMACION TECNICA-

NÚM. LECTURA:	500072470470981	NIVEL DE TENSION:	1
NÚM. REPARTO:	500072470470158	COD. FACTURACION:	704
ESTRATO:	0	GRUPO:	704
CIRCUITO TRAFIO:	BL54 / 6827781	MEDIDOR No:	47371
CARGA (KW):	0	MEDIDOR No:	
SERVICIO:	Comercial		

-DETALLE DE CUENTA-

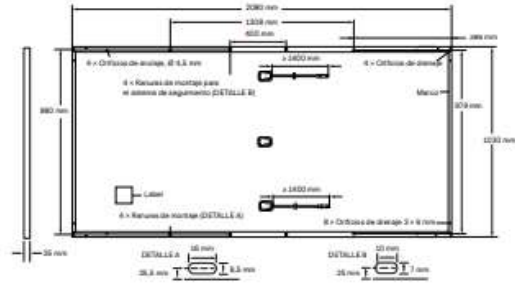
CONCEPTO:	SUBTOTAL
CONSUMO DE ENERGIA	
566.53 (Valor kWh) x 3770 (Consumo en kWh)	\$ 2.135.829
CONTRIBUCION COMERCIAL SIEMPRE ACTIVA (20%)	\$ 427.166
SUBTOTAL VALOR CONSUMO	\$ 2.562.995
AJUSTE A LA RED (DEBITO)	\$ 5
ESTÉ MES LA ENERGIA QUE DISFRUTASTE,	
TE COSTÓ \$ 85.433 DIARIOS	
SUBTOTAL VALOR OTROS	\$ 5
SUBTOTAL VALOR DESCUENTOS	\$ 0
SUBTOTAL CONCEPTOS ENERGIA	\$ 2.563.000
CONCEPTO:	SUBTOTAL
PORTAFOLIO DE PRODUCTOS Y BENEFICIOS	
SUBTOTAL PORTAFOLIO	\$ 0

ANEXO 2

FICHA TÉCNICA DEL PANEL

ESPECIFICACIONES MECÁNICAS

Formato	2080mm × 1030mm × 35mm (marco incluido)
Peso	24,5kg
Cubierta frontal	3,2mm de vidrio templado con tecnología anti-reflexión
Cubierta posterior	Película compuesta
Marco	Aluminio anodizado
Tipo de célula	6 × 24 medio de células monocristalinas Q.ANTUM
Caja de conexiones	53-101 mm × 32-60 mm × 15-18 mm Clase de protección IP67, con diodos bypass
Cable	Cable solar de 4mm ² ; (+) ≥1400mm, (-) ≥1400mm
Conector	Stäubli MC4-Evo2, Hanwha Q CELLS HQC4, Amphenol UTX, Renhe 05-8, JMTHY JM601A, Tongling Cable01S-F; IP68 or Friends PV2e; IP67

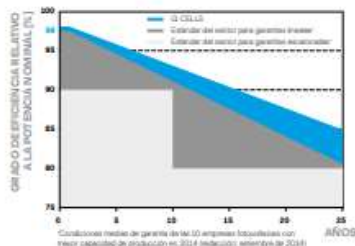


PARÁMETROS ELÉCTRICOS

CLASES DE POTENCIA		415	420	425	430	
POTENCIA MÍNIMA EN CONDICIONES ESTÁNDAR DE PRUEBA, STC ¹ (TOLERANCIA DE POTENCIA +5 W / -0 W)						
Mínimo	Potencia en MPP ²	P_{MPP} [W]	415	420	425	430
	Corriente de cortocircuito ¹	I_{SC} [A]	10,69	10,74	10,78	10,83
	Tensión a circuito abierto ²	V_{OC} [V]	48,59	48,84	49,09	49,33
	Corriente en MPP	I_{MPP} [A]	10,18	10,22	10,27	10,31
	Tensión en MPP	V_{MPP} [V]	40,77	41,08	41,39	41,70
	Eficiencia ²	η [%]	≥19,4	≥19,6	≥19,8	≥20,1
POTENCIA MÍNIMA EN CONDICIONES NORMALES DE FUNCIONAMIENTO, NMOT ²						
Mínimo	Potencia en MPP	P_{MPP} [W]	310,8	314,5	318,3	322,0
	Corriente de cortocircuito	I_{SC} [A]	8,61	8,65	8,69	8,72
	Tensión a circuito abierto	V_{OC} [V]	45,82	46,05	46,29	46,52
	Corriente en MPP	I_{MPP} [A]	8,01	8,05	8,08	8,12
	Tensión en MPP	V_{MPP} [V]	38,79	39,09	39,38	39,67

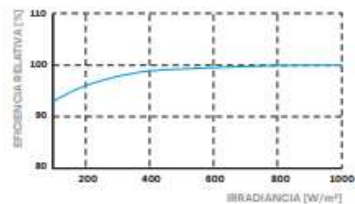
¹Tolerancia de medición $P_{MPP} \pm 3\%$; I_{SC} ; $V_{OC} \pm 5\%$ at STC; 1000 W/m², 25 ± 2°C, AM 1,5 de acuerdo a IEC 60904-3 • 7800 W/m², NMOT, espectro AM 1,5

GARANTÍA DE POTENCIA Q CELLS



Un mínimo del 98% de la potencia nominal en el primer año. Después, un máximo del 0,54% de degradación anual. Un mínimo del 93,1% de la potencia nominal tras 10 años. Un mínimo del 85% de la potencia nominal tras 25 años. Todos los datos se encuentran dentro de las tolerancias de medición. Garantías de acuerdo con los términos de garantía de la organización de ventas de Q CELLS del respectivo país.

COMPORTAMIENTO A BAJA IRRADIANCIA



Típica potencia del módulo en condiciones de irradiancia bajas en comparación con las condiciones STC (25°C, 1000 W/m²).

COEFICIENTES DE TEMPERATURA

Coefficiente de temperatura de I_{SC}	α [%/K]	+0,04	Coefficiente de temperatura de V_{OC}	β [%/K]	-0,27
Coefficiente de temperatura de P_{MPP}	γ [%/K]	-0,35	Nominal Module Operating Temperature	NMOT [°C]	43±3

PARÁMETROS DE CONEXIÓN A LA RED

Tensión máxima del sistema	V_{SYS} [V]	1500	Clasificación del módulo fotovoltaico	Clase II
Máxima corriente inversa	I_R [A]	20	Clase de resistencia al fuego de acuerdo con la norma ANSI / UL 1703	C / TYPE 1
Carga máx. permitida compresión / tracción	[Pa]	3600/1600	Temperatura de módulo admisible en funcionamiento continuo	-40°C - +85°C
Carga máx. de pruebas compresión / tracción	[Pa]	5400/2400		

ANEXO 3.

SIMULACIÓN

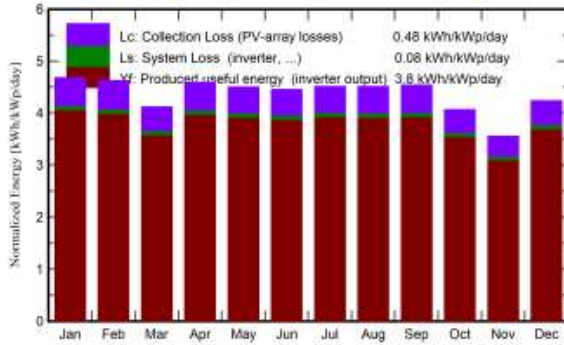
Main results

System Production

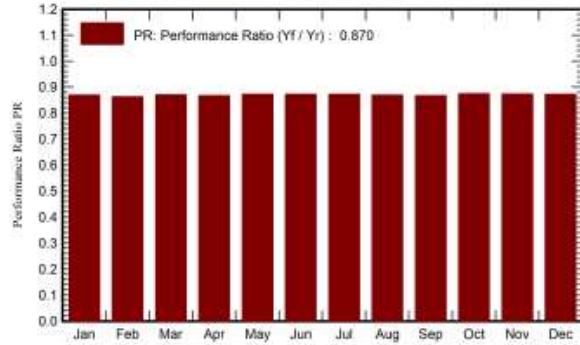
Produced Energy 8.25 MWh/year
Used Energy 48.42 MWh/year

Specific production 1387 kWh/kWp/year
Performance Ratio PR 87.03 %
Solar Fraction SF 17.00 %

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



Balances and main results

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_User	E_Solar	E_Grid	EFrGrid
	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh
January	134.5	73.59	13.18	145.0	141.5	0.766	4.381	0.749	0.001	3.632
February	123.7	53.81	13.49	129.6	126.8	0.680	3.391	0.655	0.010	2.736
March	128.0	68.83	13.74	127.7	124.4	0.677	3.849	0.658	0.003	3.191
April	145.4	65.39	13.77	137.7	133.5	0.726	3.770	0.707	0.003	3.063
May	154.0	71.79	13.94	139.6	134.8	0.740	4.120	0.724	0.000	3.396
June	150.6	69.31	13.48	133.6	128.8	0.709	4.030	0.694	0.000	3.336
July	157.0	71.56	13.58	140.0	134.6	0.742	3.958	0.726	0.000	3.232
August	149.4	70.49	13.51	139.9	135.4	0.739	4.268	0.723	0.000	3.545
September	138.8	69.41	13.16	136.3	132.7	0.719	4.075	0.701	0.001	3.374
October	123.1	68.05	13.43	126.1	122.8	0.671	4.184	0.655	0.001	3.529
November	102.2	64.11	13.38	106.6	103.7	0.568	4.004	0.552	0.002	3.452
December	122.1	68.77	13.35	131.5	128.3	0.698	4.393	0.683	0.000	3.710
Year	1628.9	815.12	13.50	1593.4	1547.4	8.435	48.423	8.230	0.021	40.193

Legends

GlobHor	Global horizontal irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
DiffHor	Horizontal diffuse irradiation	E_User	Energy supplied to the user
T_Amb	Ambient Temperature	E_Solar	Energy from the sun
GlobInc	Global incident in coll. plane	E_Grid	Energy injected into grid
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	EFrGrid	Energy from the grid

ANEXO 4.

FLUJO DE CAJA

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Capitalización del negocio	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000
Operación	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000
Financiamiento	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000
Total	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000
Saldo inicial	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000
Saldo final	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000

ANEXO 5

RECOMENDACIONES

Se debe realizar un taller de sensibilización en el cual se le muestre a la comunidad los cuidados y recomendaciones para el buen funcionamiento de la planta y sean capaces de realizar monitoreos visuales básicos.

Se recomienda realizar un nuevo ducto de aire para evitar la acumulación de calor excesivo para los equipos interiores como inversor y prolongar su vida útil.

Se deben cumplir requerimientos de seguridad en las áreas de trabajo, como instalar línea de vida, señalización de áreas de trabajo, instalar una platina provisional para realizar trabajos de limpieza y mantenimiento de la instalación.

Se deben cumplir con los requerimientos exigidos por la interventoría delimitando zonas y poniendo equipos según el tipo de acceso que tengan a personas que entren en contacto con la instalación.