

Análisis de factibilidad económica de la instalación de una planta generadora de energía eléctrica de media tensión a partir de energía solar para satisfacer el 5% del consumo de la ciudad de Mar del Plata

Trabajo Final de la Carrera Ingeniería Industrial

Departamento de Ingeniería Industrial

Facultad de Ingeniería

Universidad Nacional de Mar del Plata



Autores: Salguero, Gastón Emanuel

Vicidomini, Luciano

Fecha: 24/09/2021

Mar Del Plata



RINFI se desarrolla en forma conjunta entre el INTEMA y la Biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata.

Tiene como objetivo recopilar, organizar, gestionar, difundir y preservar documentos digitales en Ingeniería, Ciencia y Tecnología de Materiales y Ciencias Afines.

A través del Acceso Abierto, se pretende aumentar la visibilidad y el impacto de los resultados de la investigación, asumiendo las políticas y cumpliendo con los protocolos y estándares internacionales para la interoperabilidad entre repositorios



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-
NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Análisis de factibilidad económica de la instalación de una planta generadora de energía eléctrica de media tensión a partir de energía solar para satisfacer el 5% del consumo de la ciudad de Mar del Plata

Trabajo Final de la Carrera Ingeniería Industrial

Departamento de Ingeniería Industrial

Facultad de Ingeniería

Universidad Nacional de Mar del Plata



Autores: Salguero, Gastón Emanuel

Vicidomini, Luciano

Fecha: 24/09/2021

Mar Del Plata

Análisis de factibilidad económica de la instalación de una planta generadora de energía eléctrica de media tensión a partir de energía solar para satisfacer el 5% del consumo de la ciudad de
Mar del Plata

Autores: Salguero, Gastón

Vicidomini, Luciano

Director: Carrizo, Guillermo A. Departamento de Ingeniería Industrial. Facultad de Ingeniería. UNMDP

Codirector: Zucal, Ricardo J. Departamento de Ingeniería Mecánica. Facultad de Ingeniería. UNMDP

Evaluadores: Musumeci, Edgardo A. Departamento de Ingeniería Industrial. Facultad de Ingeniería. UNMDP

Camino, Federico S. Departamento de Ingeniería Industrial. Facultad de Ingeniería. UNMDP

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo queremos agradecer principalmente a Guillermo A. Carrizo y a Ricardo Zucal por ser nuestros directores de trabajo, por elegirnos, acompañarnos y guiarnos en todo momento. Luego, queremos agradecer a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar Del Plata y al Estado Argentino por habernos dado la facilidad de culminar esta carrera de forma gratuita. Queremos finalmente agradecer a todas aquellas personas e instituciones que nos ayudaron a realizar este trabajo, que nos aportaron información valiosa y nos dedicaron su tiempo.

DEDICATORIA.

De forma personal, el autor Luciano Vicidomini, le dedica principalmente este trabajo de fin de grado a su familia. A sus padres Gabriela Rosana Poli y Jorge Antonio Vicidomini, a su hermano Franco Vicidomini, y a su viejo jefe Don Tuna. A ellos les debe todo, con esta dedicatoria les quiere agradecer por ayudarlo a hacer realidad su sueño, por darle esta oportunidad, por confiar siempre en él, por ser sus pilares y levantarlo en sus peores momentos, ser su luz y su fuerza. Sólo ellos saben del esfuerzo requerido para llegar hasta esta instancia. Infinitas gracias.

Se dedica este trabajo al resto de su familia que lo apoyaron siempre, principalmente a sus 4 abuelos que los ama profundamente, a Stella, Marta, Orlando y Genaro. A su novia Valentina Sánchez Breccia que le apoyó en este proceso de una forma ejemplar y admirable. A sus tíos, Juan, Claudia, Valeria, Walter, Vicente y Nancy y a sus primos Juan Cruz, Tiziano, Ainhoa, Micaela, Federico y Trinidad.

Esta dedicatoria se dirige también a todos sus amigos que le dieron una mano, consejos, le escucharon en momentos difíciles, le aconsejaron y le han regalado su tiempo en esas largas charlas, más de una en el templo.

De forma personal, el autor Gastón Emanuel Salguero, les dedica este trabajo a sus padres Adriana Azzarello y Raúl Salguero, a Hugo Sánchez y a Liliana Toledo, por haberle criado, querido, protegido, y enseñado los principios de la vida, por haber brindado su tiempo y cariño y por haberle ayudado a ser quién es hoy en día; a sus hermanos Sofía Sánchez, Nicolás Salguero y Martín Sánchez, por ser fuente de alegría en los días más amargos, aliados en los momentos más difíciles, y sobre todo por estar siempre presentes.

Les dedica también a sus amigos, quienes lo vieron estresado, triste, contento, deprimido, frustrado y finalmente exitoso a lo largo de la carrera y lo han acompañado por muchos años; y a su novia Victoria Ferrari, por ser compañera, amiga, un cable a tierra y fuente de paz y felicidad en el último plazo de su carrera.

Finalmente, y ahora si en forma conjunta, este trabajo es dedicado a nuestros compañeros y amigos que la carrera nos ha dejado. Se les agradece todos los momentos compartidos, explicaciones, apoyo, trabajo en equipo, tiempo dedicado y esfuerzo para que en este momento se esté aquí. Sin ellos está claro que el camino transitado hubiera sido extremadamente más difícil.

ÍNDICE

	Pág.
1. RESUMEN	x
2. INTRODUCCIÓN	1
2.1 Antecedentes	1
2.1.1 Acuerdo de París	2
2.2 Situación actual	4
2.2.1 Efecto invernadero	4
2.2.2 Producción de dióxido de carbono	5
2.2.3 Matriz energética actual y energías renovables	7
2.2.4 Consecuencias de la emisión de gases de efecto invernadero	7
2.3 Justificación del trabajo	8
3. MARCO TEÓRICO	10
3.1 Descripción general de las instalaciones	10
3.2 Funcionamiento de los paneles solares	11
3.3 Elementos del sistema	12
3.3.1 Módulo Fotovoltaico	12
3.3.1.1 Interconexión de módulos	13
3.3.2 El Inversor	14
3.4 Instalaciones	15
3.4.1 Sistema conectado a la red eléctrica	15
3.4.1.1 Centrales fotovoltaicas	15
3.5 Radiación solar	16
3.5.1 Disponibilidad de datos energéticos	17
3.6 Diseño de la instalación	17
3.6.1 Estudio de las necesidades a cubrir	18
3.6.2 Cálculos, y factores y aspectos más importantes	18
3.6.2.1 En referencia al sistema captador	18
3.6.2.2 En referencia al cableado de la instalación	19
3.6.2.3 En referencia al inversor	20
3.7 Vida útil de los paneles solares y mantenimiento	20
3.8 Proyecto de inversión	21
3.8.1 Evaluación económica	21
3.8.1.1 Inversión fija total	21
3.8.1.2 Inversión de capital de Trabajo (IW)	23
3.8.1.3 Costos Variables (CV)	24
3.8.1.4 Costos Fijos (CF)	25
3.8.1.5 Flujo de Caja	26
3.8.1.6 Rentabilidad	27
4. DESARROLLO	29
4.1 Consumo de energía eléctrica en la ciudad de Mar del Plata	29
4.2 Estudio de radiación en Mar del Plata	29
4.2.1 Análisis de Pérdidas de Radiación	30
4.2.1.1 Pérdidas por inclinación y orientación	30
4.2.1.2 Pérdida por sombra	31

Factibilidad Planta de Energía Fotovoltaica

4.3 Selección de equipos y elementos	32
4.3.1 Selección de paneles	32
4.3.2 Selección de inversores	39
4.3.3 Selección de cables	40
4.3.4 Selección de protecciones y sistemas de medición y control	41
4.4 Normas vigentes exigidas	42
4.5 Recursos humanos	43
4.6 Localización de la planta	45
4.7 Descripción de las instalaciones	46
4.8 Estudio económico	47
4.8.1 Inversión en capital fijo	47
4.8.1.1 Componentes directos	47
4.8.1.2 Componentes indirectos	48
4.8.2 Inversión de trabajo (Iw)	48
4.8.3 Inversión Total	49
4.8.4 Ingreso anual por ventas	49
4.8.5 Costo variable total anual	50
4.8.6 Costo fijo total anual	51
4.8.7 Costo total	53
4.8.8 Estimación de beneficio	55
4.9 Rentabilidad	55
4.9.1 Flujo de Caja (FC)	55
4.9.2 Valor presente (VP)	59
4.9.3 Tasa interna de retorno (TIR)	59
4.9.4 Punto de equilibrio	59
5. CONCLUSIÓN	61
6. BIBLIOGRAFÍA	62
ANEXO	69
Anexo I: Otros tipos de elementos de los paneles solares	69
I.1 Tipos de células fotovoltaicas	69
I.2 Tipos de Inversores	70
Anexo II: Instalaciones Aisladas de la Red Eléctrica	71
Anexo III: Estimación de Radiación	73
Anexo IV: Limpieza metódica de los paneles solares	75
Anexo V: Detalles técnicos de los elementos seleccionados	77
V.1 Panel Solar	77
V.2 Inversor	78
V.3 Terreno	79
V.4 Instalaciones	83
V.5 Vehículos	84

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Consumo Eléctrico de Mar del Plata	29
Tabla 2: Medidas de Radiación Anual de Mar del Plata	29
Tabla 3: Coeficientes de irradiación en el plano inclinado con respecto al plano horizontal (HT/H)	31
Tabla 4: Características y Precios de los Paneles considerados (a)	34
Tabla 5: Características y Precios de los Paneles considerados (b)	34
Tabla 6: Características y Precios de los Paneles considerados (c)	35
Tabla 7: Análisis Panel N°8	37
Tabla 8: Análisis Panel N°1	37
Tabla 9: Inversores Considerados	40
Tabla 10: Características de terrenos considerados	45
Tabla 11: Descripción de costos de infraestructura	46
Tabla 12: Descripción de costos de cercado perimetral	46
Tabla 13: Ingreso por ventas en cada año del ciclo de vida del proyecto	50
Tabla 14: Estructura de costos fijos	53
Tabla 15: Estructura de Costos Totales	54
Tabla 16: Cuadro de Flujos de Fondos del Proyecto (Años 0 al 10)	56
Tabla 17: Cuadro de Flujos de Fondos del Proyecto (Años 11 al 20)	57
Tabla 18: Cuadro de Flujos de Fondos del Proyecto (Años 21 al 25)	58
Tabla V.1: Características Panel Solar Jinko	77
Tabla V.2: Detalle técnico del inversor Huawei SUN2000 60KTL	78
Tabla V.3: Vehículos de Patrulla considerados	84
Tabla V.4: Cortadoras de pasto consideradas.	84

INDICE DE IMÁGENES

	Pág.
Imagen 1: Esquema del mercado energético argentino	10
Imagen 2: Balance energético de la célula fotovoltaica	12
Imagen 3: Corte Transversal de un módulo fotovoltaico.	13
Imagen 4: Comparación consumo de potencia – irradiación en Mar del Plata	30
Imagen 5: Disco de irradiación Solar	31
Imagen 6: Gráfico distancia mínima entre paneles	32
Imagen 7: Gráfico costo total – cantidad de paneles	35
Imagen 8: Vista lateral y Posterior de región de paneles	38
Imagen 9: Organigrama Propuesto	45
Imagen 10: Estructura de costos variables	51
Imagen 11: Gráfico de costos	54
Imagen V.1: Panel Solar Jinko	76
Imagen V.2: Huawei SUN2000 60KTL	77
Imagen V.3: Plano del terreno	79
Imagen V.4: Plano Satelital del Terreno	80
Imagen V.5: Imágenes satelitales de bandas espectrales	81
Imagen V.6: Cableado del SADI	81
Imagen V.7: Tendidos eléctricos del S.A.D.I	82

TABLA DE SIGLAS

BN: Beneficio Neto

BNAI: Beneficio Neto Antes de Impuestos

CAPM: Modelo de Valoración de los Activos de Capital

CEM: Condiciones Estándar de Medida

CPPC: Costo Promedio Ponderado de Capital

EEUU: Estados Unidos

ENS: Esquema Nacional de Seguridad

FOB: Libre a Bordo

GEI: Gases de Efecto Invernadero

GWP: Potencial de Calentamiento Global

HFC: Hidrofluorocarburos

IFT: Inversión Fija Total

IF: Inversión Fija

IT: Inversión Total

IW: Inversión de Capital de Trabajo

PBI: Producto Bruto Interno

PI: Proyecto de Inversión

PID: Degradación de Potencial Inducida

PP: Potencia Pico

PR: Coeficiente de Rendimiento del sistema de generación

PWM: Modulación de Ancho de Impulso

RCD: Dispositivo de Corriente Residual

SADI: Sistema Argentino de Interconexión

SCADA: Sistema de Adquisición de Datos y Monitorización

SOMRA: Sindicato de Obreros de Maestranza de la República Argentina

ST: Sistema Troncal

STAT: Sistema de Transporte de Alta Tensión

TRMA: Tasa de Retorno Mínima Aceptable

TIR: Tasa Interna de Retorno

UPSRA: Unión de Personal de Seguridad de la República Argentina

VNA: Valor Neto Actual

Factibilidad Planta de Energía Fotovoltaica

VP: Valor Presente

1. RESUMEN

En este trabajo se plantea el análisis de factibilidad económica de la instalación de una planta generadora de energía eléctrica de media tensión a partir de paneles fotovoltaicos para satisfacer el 5% del consumo de la ciudad de Mar del Plata. El proyecto consiste en una empresa privada cuyo producto a vender es energía eléctrica, con un precio de venta de 60 US\$/MWh, siendo la condición más favorable de acuerdo a registros oficiales y al plan RenovAr. La planta operará a lo largo de los 25 años de vida útil del proyecto al 100% de su capacidad de diseño con una producción en el primer año de 97.927 MWh anuales que disminuirá linealmente por la pérdida de rendimiento propia de los paneles solares hasta llegar al año 25 con una producción de 78.342 MWh anuales. Para dichos años, los correspondientes ingresos por ventas serán de 5.875.620 US\$/año y 4.700.520 US\$/año. Para llegar a la capacidad requerida se contará con 132.577 paneles con una potencia nominal (Wp) de 435 W cada uno.

Respecto a la localización de la planta, se encuentra a 12Km de la Ruta Nacional 226, cercano a las líneas de alta media tensión, un terreno de 80 hectáreas valuado en 400.000 US\$.

Con respecto al mercado, este proyecto está destinado a inyectar la energía al Sistema Argentino de Interconexión (SADI). En la actualidad se cuenta con un déficit energético a nivel nacional, y al mismo tiempo se le da prioridad a las empresas que generen energía de fuentes renovables por lo que la falta de demanda no representa un problema.

La inversión fija total es de 60.799.651 US\$. El costo total anual es de 6.402.269 US\$/año para el primer año y desciende linealmente hasta que en el último año llega a 1.941.987 US\$/año. El valor presente del proyecto es de - \$48.869.787 US\$ y la TIR es del 1,59%.

Palabras Claves: factibilidad económica, energía eléctrica, paneles solares, financiación, energías renovables.

2. INTRODUCCIÓN

2.1 Antecedentes

A medida que la cultura y la civilización han avanzado y desarrollado, nuevos procesos han tenido lugar, resultando en un cambio en la industria mundial. Con el avance de la tecnología y de la industria, la generación de energía eléctrica ha ido evolucionando y optimizando hasta llegar a lo que hoy día se conoce y resulta imprescindible para cualquier casa, comercio o industria.

Desde sus orígenes, la energía eléctrica se genera a partir de recursos no renovables, entre los cuales encontramos:

- Centrales termoeléctricas de ciclo convencional (carbón, gas oil y gas natural)
- Centrales termoeléctricas de ciclo combinado (carbón, gas oil y gas natural)
- Centrales nucleares

En los inicios del siglo XX se empieza a definir el concepto de *efecto invernadero*, pero no es hasta fines de ese siglo cuando se observa que acciones, como la combustión de carbón, aportan a incrementar dicho efecto. En los años siguientes, comienza la concientización sobre el cambio climático y las acciones que modificarán los procesos desarrollados hasta el momento (Concienciaeco, 2015).

A pesar de los estudios realizados donde se demostraba cómo aumentaba el efecto invernadero, por los procesos de combustión, entre otros, no fue hasta 1970 que se gestó una real concientización del asunto. Esto se debió a que en dicha década se sumó la protesta a la contaminación generada por el uso masivo de aerosoles que generaba un incremento en las dimensiones del agujero de ozono, lo que estaba teniendo efectos perjudiciales en la salud de los habitantes de distintas ciudades.

En 1975, el científico estadounidense Wallace Broecker definió el concepto de “calentamiento global”. Desde ese año hasta la fecha, y con mayor efusividad en estos últimos, en vista de los nuevos descubrimientos sobre el calentamiento global, se comenzaron a desarrollar proyectos para frenar e incluso para reducir las modificaciones en este fenómeno, en lo que a este proyecto concierne, dichas medidas se apuntan a modificar las tecnologías para la generación de energía eléctrica.

Se empezó a concebir el concepto de fuente de generación de energía alternativa, refiriéndose a lo que se conoce actualmente como energías renovables, entre las cuales destacamos:

- Centrales hidroeléctricas
- Parques eólicos
- Centrales solares
- Centrales mareomotrices

Las ventajas que presentan frente a las fuentes tradicionales de generación de energía, consisten en aprovechar la que entregan las fuerzas de la naturaleza, energía cinética, energía potencial y fotovoltaica principalmente, para obtener energía eléctrica. Sin embargo, la gran dificultad y desventaja con la que se enfrentó fue el bajo nivel de rendimiento que presentaban en comparación al uso de combustibles fósiles; es decir, se requería una gran inversión para generar un mínimo nivel de energía eléctrica para su consumo.

En casos como las centrales hidroeléctricas, no solo se requiere una gran inversión, sino que para construir la instalación se genera un impacto ambiental de tal calibre que se han dejado de construir en los últimos años. Los críticos más severos sostienen que los costos sociales, ambientales y económicos de estas represas sobrepasan a sus beneficios y que, por lo tanto, no se justifica la construcción de las represas en grandes escalas. Otros mencionan que, en algunos casos, los costos ambientales y sociales pueden ser evitados o reducidos a un nivel aceptable si se evalúan cuidadosamente los problemas potenciales y se implantan medidas correctivas, que son costosas (Libro de Consulta para Evaluación Ambiental (Volumen I, II y III), Trabajos Técnicos del Departamento de Medio Ambiente del Banco Mundial).

2.1.1. Acuerdo de París

En 1972, se lleva a cabo la Primera Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y se firma la Declaración de Estocolmo, mediante la cual se inicia la formación sobre el Derecho Ambiental y se proclama que existe “Una sola tierra”. Además, se declaró el 5 de junio como el Día Mundial del Medio Ambiente.

A medida que fueron avanzando los años, los estudios se abocaron a la destrucción de la capa de ozono, y, mediante un llamado a la concientización, se firmó el Protocolo de Montreal en 1987. El objetivo principal se centró en reducir y, de ser posible, eliminar la utilización de aquellas sustancias químicas que contribuyen al deterioro de la capa de ozono.

Los activistas en pos de preservar el medio ambiente realizaron protestas con el objetivo de reducir las emisiones de carbono y gases contribuyentes al calentamiento global, por lo que en 1997 se efectuó el tratado del Protocolo de Kyoto, aunque no entró en vigencia hasta febrero de 2005. Debido a que el Protocolo de Kyoto sólo alcanzaba a aquellos países que aportan un gran porcentaje de dióxido de carbono, y que su vigencia caduca en el año 2020, se efectuó en 2015 el Acuerdo de París, con un alcance más global y de mayor duración.

El Acuerdo de París establece medidas para la reducción de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero a través de la mitigación, adaptación y resiliencia de los ecosistemas a efectos del Calentamiento Global (Acuerdo de París, Artículo 2, 2015). Tiene por objetivo reforzar la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, en el contexto del desarrollo sostenible y de los esfuerzos por erradicar la pobreza, determinando tres acciones:

1. Mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de 2°C con respecto a los niveles preindustriales, y proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento de la temperatura a 1,5°C, ya que se reconoce que ello reduciría considerablemente los riesgos y los efectos del cambio climático;
2. Aumentar la capacidad de adaptación a los efectos adversos del cambio climático y promover la resiliencia al clima y un desarrollo con bajas emisiones de gases de efecto invernadero, de un modo que no comprometa la producción de alimentos;
3. Elevar las corrientes financieras a un nivel compatible con una trayectoria que conduzca a un desarrollo resiliente al clima y con bajas emisiones de gases de efecto invernadero.

Las contribuciones que cada país puede establecer para conseguir el objetivo global se determinan por todos los países individualmente y se denominan “contribuciones previstas determinadas a nivel nacional (NCDs), por lo que el acuerdo estipula que deben tener un informe cada cinco años y estar registradas.

La República Argentina firmó y ratificó el Acuerdo de París, por lo que presenta su NDC revisada compuesta de dos partes diferenciadas: en la sección 2 se presentó una nueva meta de emisiones de dióxido de carbono equivalente como resultado de medidas de mitigación planificadas para el año 2030, mientras que en la sección 3, se proporciona información adicional sobre sus diversos atributos, ahorros proyectados con medidas adicionales que pudieran ser implementadas a futuro.

Argentina no deberá exceder la emisión neta de 483 millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente en el año 2030 (Sección 2, NDC revisada, 2016). En el marco de estas acciones, en el año 2018, en el Parque Indoamericano del barrio porteño de Villa Lugano, el presidente Mauricio Macri anunció en un discurso el lanzamiento del programa RenovAr. En este plan se promueve la generación de energía a partir de fuentes renovables. Se propone el objetivo de que las energías renovables representen el 20% de la matriz energética nacional para el año 2025. De esta manera, se intenta reducir los gases de efecto invernadero. En su discurso, expresó que se está a la espera de inversiones de parte del sector privado en materia de energías renovables y que se considera que la energía solar, es una de las fuentes de energía más prósperas y abundantes en nuestro país. Este anuncio se basó en la Ley de Energías Renovables (Ley 27.191), reglamentada por el Decreto 531/16 que se aprobó en septiembre de 2015. Allí se estableció una meta de incorporación mínima de consumo de energía de fuentes renovables para el país, que se inicia con el 8% en 2017 y se incrementa hasta el 20% en 2025.

2.2 Situación actual

2.2.1 Efecto invernadero

Los gases de efecto invernadero (GEI) tienen la propiedad poder volver a reflejar sobre la tierra la radiación que naturalmente se disipará al espacio exterior. Este fenómeno tiene como consecuencia el aumento mundial de la temperatura ambiente, que se traduce a cambios climatológicos donde se ven afectadas las personas y diversas industrias.

Los principales gases que contribuyen al aumento del efecto invernadero son:

- El vapor de agua: Generado como consecuencia de la evaporación. La cantidad de vapor de agua en la atmósfera depende de la temperatura de la superficie del océano. La mayor parte se origina como resultado de la evaporación natural, en la que no se interviene la acción del hombre.
- Dióxido de carbono (CO₂): La concentración en la atmósfera se debe al uso de combustibles fósiles para procesos industriales y medios de transporte. Su emisión procede de todo tipo de procesos de combustión: petróleo, carbón, madera o bien por las erupciones volcánicas.
- Metano (CH₄): Su origen se encuentra en las fermentaciones producidas por bacterias anaerobias especializadas que se encuentran en zonas pantanosas, cultivos como el arroz y en las emisiones desde el tracto

intestinal del ganado. También se produce por los escapes de depósitos naturales y conducciones industriales.

- Óxido nitroso (N₂O): Gas de efecto invernadero que se produce principalmente a través del uso masivo de fertilizantes nitrogenados en la agricultura intensiva. También lo producen otras fuentes como las centrales térmicas, tubos de escape de automóviles y motores de aviones, quema de biomasa y fabricación de nylon y ácido nítrico.
- Los clorofluorocarbonos (CFC): Son compuestos químicos artificiales que se encuentran presentes en pequeñas concentraciones en la atmósfera pero que son extremadamente potentes en su efecto invernadero. Tienen múltiples usos industriales en sistemas de refrigeración, como componentes de aerosoles, producción de aluminio y aislantes eléctricos entre otros.
- El ozono troposférico (O₃): Originado por la quema de fuentes de energía contaminantes. (fundación Aquae)

2.2.2 Producción de dióxido de carbono

Se define el concepto de Huella de Carbono como “(...)el cálculo de la totalidad de emisiones de gases efecto invernadero (GEI) emitidos por un individuo, organización, evento o producto de forma directa o indirecta llevados a valores de dióxido de carbono para unificar los valores y facilitar los cálculos” (Inarquia, 2019). El valor que indica la cantidad de veces en relación al dióxido de carbono que una determinada sustancia contribuye al calentamiento global es conocido como GWP, que significa potencial para el calentamiento global, (por sus siglas en inglés “*Global Warming Potential*”). Los gases que contribuyen al desequilibrio del efecto invernadero son: el hexafluoruro de azufre (SF₆), con un GWP=230.500, los perfluorocarbonos (PFC-14) con un GWP= 6630, el óxido nitroso (N₂O) cuyo GWP=265, los Hidrofluorocarburos (HFC) con GWP=138 y el Metano (CH₄) con un GWP=28. El concepto de la huella de carbono abarca todo el ciclo del proceso de construcción, uso, goce y disposición final al fin de la vida útil. Desde lo ambiental, la comparación se realiza considerando el tiempo necesario para compensar las emisiones de dióxido de carbono producidas durante la fabricación de los equipos y que son ahorradas durante el uso (Our world in data, 2019).

Paralelo al incentivo para la aplicación de energías renovables, la contaminación siguió creciendo. En el año 2018 se registró en el planeta una concentración de dióxido de carbono de 408,52 ppm, la cual es ampliamente mayor a

la concentración del mismo gas en el año 1900 que era de 294,22 ppm. De hecho, es superior a la que el planeta tuvo en los últimos 800.000 años y donde se destaca que en los últimos dos siglos esta cifra creció exponencialmente.

En 2016 se registró que se generaron 15 mil millones de toneladas de dióxido de carbono a partir de la producción de energía eléctrica. Este valor representa el 30,4% de la producción de esa sustancia a nivel global mientras que la segunda fuente es el transporte, el cual genera el 15,9% del dióxido de carbono a nivel mundial (Our World in Data, 2019). Se deduce que el porcentaje de dióxido de carbono generado por la producción de energía eléctrica no sólo es el más significativo de la matriz, sino que es prácticamente el doble que la segunda actividad más significativa. He aquí la importancia de trabajar con las emisiones generadas por la producción de energía, objeto de este trabajo.

Dentro de la matriz energética, en el año 2017, las fuentes mayormente responsables de la emisión de dióxido de carbono a nivel mundial fueron el carbón, responsable del 40,30%, el petróleo, con un 34,97%, y el gas, con un 19,95%. Por la utilización de dichas fuentes, se generaron 36150 millones de toneladas de dióxido de carbono en ese año (Our World in Data, 2019).

La producción de petróleo durante la extracción inicial genera una huella de carbono (HC) de 2,7 kg de dióxido de carbono por cada litro de gasolina. En la fase de extracción con inyección de vapor, la huella aumenta un 20%.

Cuando se fabrica una central de energía solar fotovoltaica se produce una huella de 34,3 g dióxido de carbono por cada kWh, debido a que los principales componentes de los paneles solares fotovoltaicos están hechos de silicio cristalino y el procesamiento de estos componentes requiere un alto consumo energético. Por otro lado, la construcción de una central térmica de combustible fósil tiene una huella 3 veces menor. La diferencia es que mientras que la energía solar entrega electricidad directa y no produce dióxido de carbono adicional, las centrales térmicas producen más dióxido de carbono a la hora de quemar el combustible. Si dicho combustible es gas natural, se producen 436 g/kWh y con carbón 915 g/kWh. Por otro lado, la huella de carbono total utilizando paneles solares es en promedio de 72 g dióxido de carbono equivalente/kWh. Las emisiones están asociadas tanto al ciclo de vida de los paneles, como a la fabricación y el transporte de los mismos (Petrotecnica.com.ar año 2020; youtube “Macri lanzó convocatoria a la licitación para energías renovables”).

2.2.3 Matriz energética actual y energías renovables

En el siglo XXI, se ha logrado un gran desarrollo tecnológico referido a este campo, desde las maquinarias necesarias hasta la optimización de los procesos. En cuanto a las patentes registradas, referidas a la tecnología solar, hubo un gran desarrollo en el año 2012 con un crecimiento exponencial y luego volvieron a bajar bruscamente. A nivel mundial, se registra un aumento anual de inversiones, siendo en el año 2004 de 11.200 millones de dólares y en 2016 de 113.700 millones de dólares.

Entre 2015 y 2018, el uso de energías renovables se ha incrementado en promedio un 2,3%, contribuyendo a la reducción de las emisiones de carbono a medida que la economía mundial continuaba en crecimiento (Energy International Agency, 2018).

En el año 2017, el 79,7% del consumo de energía a nivel mundial se origina a partir de combustible fósil, el 18,1% de energías renovables y el 2,2% de energía nuclear. A su vez, de las energías renovables, el 7,5% se generaba con biomasa, el 3,6% con energía hidráulica, y el 7,2% restante se distribuye entre generación solar, eólica, geotérmica, entre otras (Ren21, 2019).

En el año 2018, la matriz energética a nivel mundial se componía en un 26,2% de energías renovables y nucleares, mientras que el 73,8% proviene de la combustión de gas natural, la combustión de petróleo, la combustión a partir de carbón y de la combustión de biocombustibles. Dentro de las energías renovables, a nivel mundial, la energía solar representa sólo el 8,76%, mientras que Argentina representa el 0,2% (Ren21, 2019).

En julio de 2019, la energía fotovoltaica ocupaba el 0,4% de la matriz energética total, mientras que en el año 2020 este porcentaje se duplicó, alcanzando los 107 GWh (Revista Nuevas Energías, 2020).

Dentro de la matriz energética de electricidad de Argentina, en el año 2020 el 11% corresponde a energías renovables. (Ren21, 2021)

2.2.4 Consecuencias de la emisión de gases de efecto invernadero

Si la temperatura ambiente promedio llegara a aumentar 2°C respecto a la etapa preindustrial, algunas de las consecuencias directas son el aumento del 40% de la cantidad de los huracanes en Latinoamérica; el 25% de las especies de lugares como el Amazonas se perderán; se reduciría entre un 10% y un 20% el caudal de los ríos; desaparecerán por completo los arrecifes de coral; en los veranos, los incendios

en el mediterráneo aumentarán un 62% respecto a los valores actuales; el hielo del ártico desaparecerá por completo en uno de cada diez veranos, y no en uno de cada cien como pasaría con un aumento de sólo 1,5°C; etc. (La Vanguardia, 2018).

Existen estudios que muestran la relación entre el calentamiento global y el crecimiento del PBI per cápita en cada país. Estos estudios revelan que, si la temperatura aumenta 2°C respecto al periodo previo a la primera revolución industrial, los países que se ven más perjudicados por el clima frío ubicados en el norte del planeta, aumentaría su PBI per cápita entre el 0,01% y el 1,55%, mientras que en el resto el PBI per cápita decrecería entre un 0,01% y 1,84% (Our World in Data, 2019).

Por la contaminación del aire, cada año mueren 3,41 millones de personas en el mundo según datos del 2017. En Argentina, esta cifra es de 15.931 personas, y representa el sexto factor de riesgo que más muertes se cobra por año, donde el 83,9% es de personas mayores a 70 años y un 14,81% de personas entre 50 a 69 años de edad (Our World in Data; Energía Estratégica, 2020; Solar Miron).

2.3 Justificación del trabajo

En base a la situación global respecto a la contaminación y el calentamiento global, nos hemos propuesto desarrollar un trabajo que aporte a la reducción del efecto del cambio climático.

En pos de mejorar las condiciones ambientales y el compromiso de la Argentina con el Acuerdo de París, se decidió, consecuentemente, elaborar una solución alternativa a la central de generación eléctrica a partir de combustibles fósiles, reduciendo la emisión de gases de efecto invernadero debido al reemplazo parcial del consumo de energía eléctrica en la ciudad de Mar del Plata con fuentes de energías renovables.

A raíz de las incumbencias de nuestra carrera, el objetivo general del presente proyecto final de Ingeniería Industrial es analizar si es factible la instalación de una planta generadora de energía eléctrica de media tensión a partir de energía solar para satisfacer el 5% del consumo de los hogares y pequeñas y medianas empresas de la ciudad de Mar del Plata. Dicho porcentaje se establece a partir del análisis del avance de la generación de energía fotovoltaica relativa al avance de la generación de las energías renovables. Asimismo, este trabajo considera realizar un aporte a la promoción industrial del Partido de General Pueyrredón y favorece el intercambio de conocimiento con las instituciones de la región.

Factibilidad Planta de Energía Fotovoltaica

En consonancia con el objetivo general, el proyecto propone como objetivos específicos la definición de la posible localización de la central solar dentro del Partido General Pueyrredón, la determinación de los parámetros necesarios para satisfacer el 5% de la demanda de la ciudad de Mar del Plata, la selección de la tecnología y los equipos para cumplir con el propósito de sustitución definido. En el plano económico financiero, determinar la inversión, los costos y la rentabilidad, evaluar fuentes de financiamiento para el proyecto y elaborar el documento del proyecto de inversión a los fines de su presentación a potenciales inversores o líneas de financiación.

Para el logro de los objetivos, se realiza una investigación de los aspectos pertinentes al proyecto, mediante la cual se confecciona el marco teórico y legal. Asimismo, en la sección de Desarrollo se aplican las herramientas técnicas y económicas financieras a los fines de analizar la factibilidad para un horizonte de largo plazo, 25 años; y evaluar los impactos económicos y ambientales que permitan concluir sobre la conveniencia de la realización del proyecto de inversión.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Descripción general de las instalaciones.

La generación de energía se realiza en usinas eléctricas distribuidas en todo el país, las cuales están interconectadas a la red eléctrica nacional llamada Sistema Argentino de Interconexión (SADI) que administra la energía generada.

La ciudad de Mar del Plata cuenta con una planta de generación de energía, la Central 9 de Julio, que pertenece a la empresa Centrales de la Costa Atlántica S.A. El transporte de la electricidad, a través del SADI, se realiza mediante dos subsistemas que lo componen, el Sistema de Transporte de Energía Eléctrica de Alta Tensión (STAT) operado por Transener S.A. y el Sistema Troncal (ST). El Sistema de Alta Tensión (STAT) opera a 500 kV y 220 kV, y transporta la electricidad de una región del país a otra.

El Sistema Troncal (ST) transporta la electricidad dentro de una misma región entre plantas generadoras y distribuidoras operando a 220, 132 y 66 kW, según las necesidades. A la ciudad de Mar del Plata llega la energía eléctrica desde el sistema troncal a través de tres líneas de 132 kW provenientes de Balcarce, Quequén y Miramar. CAMESSA compra energía a las generadoras a precio spot¹ y le cobra una comisión por transmisión de energía a Transener S.A. y, también, a precio estacional, a las distribuidoras. A su vez, las compañías generadoras proveen de electricidad a Transener S.A. y también la comercializan a precio spot a los grandes usuarios. Por su parte, Transener S.A. suministra electricidad a las distribuidoras quienes abastecen a los consumidores residenciales y a los grandes usuarios a precios estacionales (Mar del Plata entre todos, 2019). En el caso de Mar del Plata, la distribuidora se llama Empresa Distribuidora de Energía Atlántica S.A (EDEA). El circuito se ilustra en la Imagen 1.

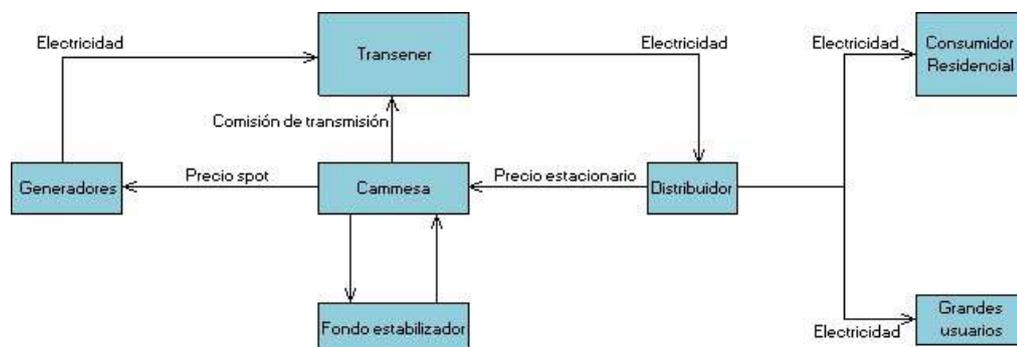


Imagen 1: Esquema del mercado energético argentino

Fuente: Mar del Plata entre todos, 2018

¹ Precio spot es el precio que es pactado para transacciones (compras o ventas) de manera inmediata

3.2 Funcionamiento de los paneles solares

Principalmente, las células fotovoltaicas se clasifican acorde al material con las que se las confecciona y a su dimensionamiento.

- Células de silicio monocristalino: son las primeras células fotovoltaicas que salieron al mercado y las más utilizadas. Su superficie, homogénea y de color azul, puede tomar forma redonda o cuadrada. Aunque su fabricación es más compleja que la del resto y su costo superior, su rendimiento es el más elevado, lo cual se traduce en una reducción de espacio. Se obtienen cortando obleas de un sólo cristal de silicio puro. El grosor de las células es del orden de 300 micras. Su rendimiento se sitúa entre el 15% y 20% en la fabricación en serie, y la duración de las células es de 25 a 30 años.

- Células de silicio policristalino: se elaboran a partir de obleas formadas por muchos cristales de silicio. Históricamente, el rendimiento de estas células se encontraba entre el 10% y el 15% en la fabricación en serie. Sin embargo, en la actualidad, el rendimiento de las células de silicio policristalino ha mejorado y se sitúa entre el 10% y el 16%. En algunos casos, el rendimiento es poco menor que el de las células monocristalinas. En general, ocupan más espacio que las monocristalinas, son de constitución cuadrada, tienen un precio inferior a las anteriores y son actualmente el tipo de célula que más se produce.

- Células bifaciales: Este tipo de células se caracteriza por poseer una doble unión, de tal forma que el dispositivo puede captar la energía frontal y la reflejada en el suelo (albedo). De esta forma, la energía conseguida puede llegar a incrementarse en un 30%, obteniendo un mejor rendimiento, pero a un costo de producción más elevado.

El rendimiento se define como la relación entre la magnitud cedida y la magnitud absorbida, es decir, el cociente entre la potencia máxima que suministra una célula fotovoltaica y la potencia luminosa que incide en su superficie.

Si se supone que un rayo de sol ilumina una célula fotovoltaica, se pierde un 23% de la energía incidente, ya que procede de fotones de baja energía que no pueden hacer pasar portadores eléctricos desde la banda de valencia a la de conducción (su energía es menor que el gap del semiconductor). Otro 33% de la energía incidente se transforma en calor no útil, a pesar de provenir de fotones de energía superior al gap del semiconductor. Un 17% se pierde en la unión de los semiconductores, quedando finalmente un 27% de la energía aprovechable, de la que hay que descontar diversas pérdidas que la limitan aproximadamente a la mitad, lo que se representa en la Imagen 2 de forma gráfica.

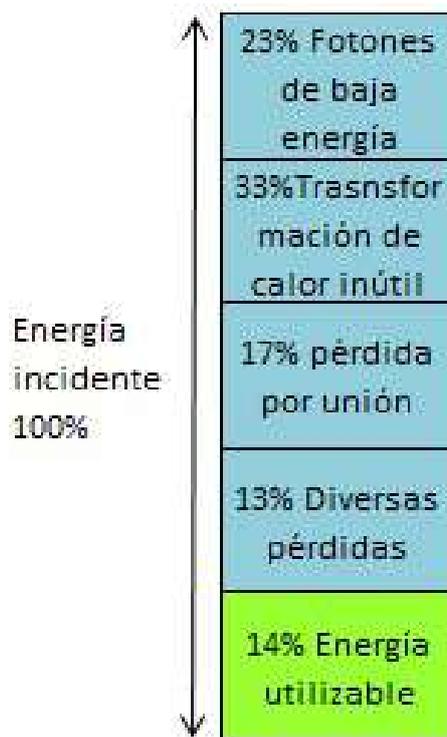


Imagen 2: Balance energético de la célula fotovoltaica

Fuente: Gómez, G. (1982)

3.3 Elementos del sistema

3.3.1 Módulo Fotovoltaico

El módulo fotovoltaico o sistema de captación está constituido por varias células de características eléctricas equivalentes, conectadas eléctricamente en serie entre sí (la conexión en paralelo ya no se utiliza) hasta lograr tensiones de 6 V, 12 V ó 24 V, útiles para su aplicación en instalaciones. Cuando se desean módulos con una mayor potencia (10, 20, 40, 50, 75, 100 W o superiores) se conectan varias ramas en paralelo.

La conexión entre las células se realiza de una manera automática, enlazando la cara frontal con la cara posterior de la célula adyacente. Una vez realizadas las conexiones de las células, y superado el control de verificación, se procede a su encapsulamiento o sellado al vacío, que consiste en caracterizar físicamente al conjunto de células, gracias a su recubrimiento con una serie de elementos que les proporcionarán protección ante las condiciones climáticas y una rigidez suficiente para sujetarse al bastidor que las debe soportar.

Todo módulo está constituido por los siguientes elementos, los cuales se muestran en la imagen 3:

- Marco o bastidor metálico
- Junta periférica

Factibilidad Planta de Energía Fotovoltaica

- Encapsulante
- Las propias células fotovoltaicas.
- Caja de terminales estanca
- Cubierta exterior de vidrio
- Cubierta posterior

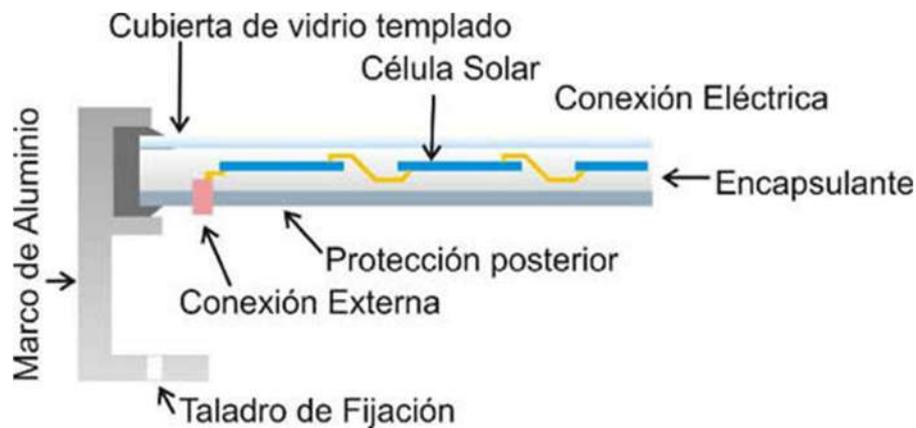


Imagen 3: Corte Transversal de un módulo fotovoltaico.

Fuente: IDEA, 2019

3.3.1.1 Interconexión de módulos

Cuando se realiza la interconexión entre los diferentes módulos, éstos deberán tener las mismas características, Intensidad de la corriente - Tensión (I-V), para evitar desequilibrios. Esto refiere a la curva relación intensidad (I-V), la cual determina las características de un módulo, y sirve de base para las especificaciones técnicas del módulo que ofrece el fabricante:

- Denominación del módulo.
- Potencia máxima ($P_{m\acute{a}x}$).
- Tensión en el punto de potencia máxima (V_{pmax}).
- Intensidad en el punto de potencia máxima (I_{pmax}).
- Corriente de cortocircuito (I_{sc}).
- Tensión en circuito abierto (V_{oc}): representa la máxima tensión que puede dar un módulo. Su valor oscila según el tipo de construcción interior de la célula; por ejemplo, en las células de silicio de tipo medio se sitúa en torno a 0,6 V, mientras que en las de arseniuro de galio en torno a 1 V. Se trata de la tensión que se mediría con un voltímetro conectado directamente entre los polos positivo y negativo.
- Número de células.

Los módulos se conectan en serie para aumentar la tensión de trabajo, en paralelo para aumentar la corriente y, por tanto, la potencia (caso más común), o

también se puede realizar una interconexión mixta (serie y paralelo). Cuando se unen diferentes módulos en serie es necesario colocar un diodo por unidad conectada, pues los primeros pueden averiarse o recibir sombras, con lo que se convierten entonces en cargas resistivas, calentándose y oponiéndose al paso de la corriente. En estas situaciones, el diodo representa un camino alternativo a la corriente que circula, por tener una resistencia menor que el panel (Zucal y Vidal, 2019).

3.3.2 El Inversor

Los inversores tienen por función convertir la corriente continua proveniente del campo de paneles o del acumulador en una corriente alterna. Por norma general, la elección del inversor se basará en función de las condiciones determinantes de cada instalación, tales como:

- La estabilidad del voltaje de salida.
- El rango de tensión de entrada.
- La potencia nominal y la potencia pico.
- La alta eficiencia de conversión (o rendimiento, que será igual a la relación $P_{\text{salida}}/P_{\text{entrada}}$).
- La forma de la onda.
- La protección electrónica contra cortocircuitos y sobrecargas.
- Rearme y desconexión automática cuando no se esté empleando ningún equipo de corriente alterna.
- El rango de temperaturas de operación.
- El consumo sin carga conectada.
- La posibilidad de conectarse en paralelo con otros equipos.
- El tipo de carga conectada.
- Admisión de demandas instantáneas de potencia mayores del 200% de su potencia máxima.

Para seleccionar el inversor, se debe tener en cuenta que la potencia se adecue a la escala de energía que quiere generar. Los inversores que hay en el mercado trabajan con el orden de watts hasta unos pocos megawatts. Si se selecciona un inversor de baja potencia, se deberán instalar muchos bloques repetidos para alcanzar la potencia que deseamos en nuestra instalación. Ello repercutirá en los costos de traslado, instalación y mantenimiento de los equipos.

Por el contrario, si se selecciona inversores de mayor potencia, se reducirían los costos anteriormente mencionados. En caso de tener muy pocos inversores, el funcionamiento de la instalación queda ligada al buen funcionamiento de dichos elementos. Por tanto lo más conveniente es instalar un número razonable de forma

que la instalación no se encarezca excesivamente, y en caso de fallo de alguno el porcentaje de instalación que se quede fuera de servicio no sea excesivo. Es decir, es un compromiso entre costes de instalación, costes de mantenimiento, y costes por posibles pérdidas de producción ante fallos.

3.4 Instalaciones

Existen dos modalidades de instalaciones: Instalaciones aisladas o conectadas a la red eléctrica. Este proyecto se refiere a las instalaciones conectadas a la red eléctrica.

3.4.1 Sistema conectado a la red eléctrica

Un sistema fotovoltaico de conexión a la red se compone por tres elementos: los módulos fotovoltaicos, el convertidor y la red eléctrica. En este contexto, se pueden tener centrales fotovoltaicas y sistemas fotovoltaicos integrados en edificios.

3.4.1.1 Centrales fotovoltaicas

El objetivo principal de una central fotovoltaica es la generación de energía eléctrica mediante un sistema limpio, evitando la emisión de contaminantes y el consumo de combustibles fósiles. Una instalación se considera como central cuando la potencia producida supera los 100 kW.

Las características principales de estas centrales son:

- La energía obtenida es inyectada a la red eléctrica.
- Normalmente se utilizan sistemas de seguimiento solar sobre un eje para aumentar el rendimiento.
- Necesitan de grandes espacios, por lo que generalmente están ubicadas en áreas rurales.
- No necesitan emplear baterías de acumulación, por lo que se reducen significativamente los costos.
- En la actualidad se utilizan como apoyo al suministro eléctrico o como mejora de la calidad de la red eléctrica en finales de línea.

Los objetivos de esta tipología de centrales se encaminan a:

1. Obtener una mejora de la calidad del servicio eléctrico, pudiéndose instalar en finales de línea para corregir las distorsiones de la forma de onda, micro cortes, caídas de tensión y valores de tensión fuera de rango. Existen instalaciones que están provistas de un sistema de acumulación que, en caso de falta de suministro de la red en horas nocturnas, por

problemas climatológicos u otro tipo de causa, se comportan como fuente suministradora.

2. Servir de complemento a otra central de generación eléctrica, caso de la hidráulica, para el suministro de energía en momentos deficitarios, tal y como ocurre en los meses de verano por la escasez de agua.
3. Debido a que la generación fotovoltaica se produce en coincidencia con puntas de consumo, las centrales pueden ayudar a aplanar la curva de demanda.
4. Al producirse, en general, la generación cerca de las zonas de consumo, se favorece la descentralización de la producción, y se evita el tendido de grandes líneas de distribución y las pérdidas asociadas en transporte y transformación.

La construcción de una central puede estar dividida en grupos de módulos conectados en serie para obtener una tensión de trabajo adecuada (hasta $400 V_{cc}$). A su vez, estos grupos se conectan en paralelo para obtener una mayor potencia (zonas). Las diferentes zonas pueden conectarse de nuevo en paralelo o ser independientes entre sí, donde se forman subcampos. Finalmente, los subcampos se conectan a los inversores DC-AC, que transforman la energía continua en alterna.

3.5 Radiación solar

La irradiación es el valor de la potencia luminosa. Los fabricantes de paneles fotovoltaicos determinan la máxima potencia eléctrica de salida usando una fuente con una potencia luminosa de 1 kW/m^2 . El valor de la irradiación varía al variar la masa de aire, la que cambia constantemente desde el amanecer al anochecer. Para simplificar el cálculo de la energía eléctrica generada diariamente por un panel fotovoltaico, se acostumbra a definir el día solar promedio (Manual de generación distribuida solar fotovoltaica, 2019).

La radiación solar que llega a la superficie de la Tierra está condicionada por dos fenómenos de distinta naturaleza:

- Factores astronómicos: son aquellos que dependen de la geometría Tierra-sol. Son función de la posición relativa sol-Tierra y de las coordenadas geográficas del lugar considerado, latitud y longitud. Condicionan básicamente el recorrido de la radiación a través de la atmósfera y el ángulo de incidencia de los rayos solares. Son función de la altura solar en cada instante.

- Factores climáticos: no toda la radiación máxima esperable para cada altura solar y cada localidad será siempre observable en la superficie de la Tierra. Los factores llamados climáticos atenúan la misma. Las nubes, la cantidad de vapor de agua, ozono, aerosoles, entre otros contenidos en la atmósfera, son los responsables de esta atenuación, que ocurre fundamentalmente por absorción, reflexión y difusión de la radiación.

El total de radiación procedente del sol que incide en una superficie en la Tierra está compuesto por:

- Radiación directa: la que llega a la Tierra directamente en línea con el disco solar.
- Radiación difusa: originada por los efectos de dispersión de los componentes de la atmósfera, incluidas las nubes.
- Radiación reflejada: radiación incidente en la superficie que procede de la reflejada por el suelo. Al cociente entre la radiación reflejada y la radiación incidente en la superficie de la Tierra se le llama albedo.

3.5.1 Disponibilidad de datos energéticos

Para el dimensionado de instalaciones fotovoltaicas se utilizan valores de radiación históricos. Sin embargo, en la actualidad, para muchas localidades no se dispone de datos históricos de las dos componentes de la radiación, directa y difusa, y, a veces, ni siquiera de la radiación global.

Para conocer la disponibilidad de energía solar en un lugar determinado, hace falta consultar la tabla de radiación solar, que es una extrapolación de los datos de la energía recibida en cada mes a lo largo de una serie de años. Dicha tabla depende directamente de la latitud, así como de las condiciones meteorológicas predominantes y de las particularidades climatológicas del lugar como nieblas, nevadas, lluvias, temperaturas máximas y mínimas, entre otros factores (Guía del Recurso Solar, 2019).

3.6 Diseño de la instalación

El punto de partida para diseñar una instalación fotovoltaica es determinar la potencia eléctrica necesaria y la energía disponible para satisfacer la demanda. Los factores que deben considerarse en el diseño son:

- El estudio de las necesidades a cubrir.
- Las condiciones de irradiación solar del lugar.
- El cálculo del número de módulos fotovoltaicos.
- El cálculo del inversor.
- El cálculo de la sección del cableado.

- Las estructuras de soporte y anclaje.

3.6.1 Estudio de las necesidades a cubrir

Cuando se trata de instalaciones que funcionan todo el año y el consumo es constante, el mes peor se corresponde a diciembre en el hemisferio norte. Sin embargo, si se prevén consumos muy diferentes a lo largo del año, es necesario confeccionar la tabla mensual con la energía solar incidente (R_m) y los consumos (E_t), con el fin de determinar el mes peor. El método se basa en el dimensionado y cálculo de una instalación para su correcto funcionamiento en un corto período de días sin insolación y en el que la relación consumo-radiación solar recibida es menor. Si se cumple esta condición, en el resto del año en que la radiación es superior, no debería haber, en principio, ningún problema.

Como última premisa, se deben tener en cuenta una serie de consumos de corriente eléctrica debidos, por una parte, a las pérdidas eléctricas en el cableado de la instalación y en sus conexiones, las pérdidas en el inversor, las potencias de equipos que consumen más de lo inicialmente previsto, y, por otra parte, a las pérdidas en el campo de paneles ocasionadas por un decremento de la energía producida por la acumulación de suciedad en su superficie o por su degradación a lo largo de los años de trabajo. Por todos estos motivos, y para prevenir una falta de energía por un cálculo demasiado ajustado, al hacer el dimensionado se incrementará en un tanto por ciento el consumo total de la instalación, es decir, se proporcionará un factor de seguridad (F_s), que se puede estimar en un 15%.

3.6.2 Cálculos, y factores y aspectos más importantes

3.6.2.1. En referencia al sistema captador

Factores y aspectos más importantes:

- Elaborar un estudio del entorno para evitar sombras en los módulos.
- Abstenerse de realizar taladros en el módulo.
- Emplazar los módulos hacia el Ecuador y con la inclinación adecuada.
- En lo posible, planear un acceso fácil para el montaje y su mantenimiento.
- Realizar un cableado lo más corto posible.
- Cuando sea necesario instalar varias filas de módulos, se cuidará que no proyecten sombras entre ellos.

Con el fin de calcular la distancia mínima (d_{min}) entre módulos sobre una superficie horizontal se aplica la ecuación (1). (Zucal, R., 2019)

$$d_{min} = \frac{H}{\tan\beta} \quad (1)$$

Dónde $\beta = (90^\circ - \text{latitud del lugar}) - 23,5^\circ$, y la latitud del lugar se toma en referencia de la latitud norte de la Provincia de Buenos Aires, donde el punto máximo corresponde a $23,5^\circ$. Si bien los paneles se ubican en la zona sur, la distancia no es lo suficientemente grande para que, al redondear, conlleve a un error de cálculos, por lo que decidimos proceder con la anterior ecuación.

Para el cálculo del número de paneles solares, se tienen en cuenta las horas sol anuales (HS), la energía que se desea generar (E), la potencia nominal del panel elegido (PP), y el coeficiente de rendimiento (PR, por sus siglas en inglés *Performance Ratio*²), mediante la aplicación de la ecuación (2).

$$N = \frac{E}{HS*PP*PR} \quad (2)$$

Donde, PP es un parámetro de diseño que refleja la suma de la potencia pico en Condiciones Estándar de Medida (CEM) de todos los módulos fotovoltaicos instalados en el proyecto fotovoltaico y PR es un parámetro que refleja el rendimiento de una planta fotovoltaica (Culcyt, 2016).

3.6.2.2 En referencia al cableado de la instalación

Factores y aspectos más importantes:

- Realizar un cableado lo más corto posible, procurando que las distancias entre los paneles, el regulador, las baterías y el inversor sean lo más cortas posible. Para determinar la sección de los mismos se aplica la fórmula de sección (3).

$$S = \frac{100*I*L}{E*C*V} \quad (3)$$

Donde E equivale al porcentaje de caída de tensión admisible, 1,5% para instalaciones fotovoltaicas, c representa la conductividad del cobre ($5,8*10^7$ S/m) y L la longitud en metros

- En la conexión de módulos en paralelo, se tenderán los conductores desde cada uno de los módulos hasta una caja estanca común, desde la cual partirá el cableado hacia el regulador.
- Los conductores externos han de ser aptos para la intemperie y, de ser posible, se deben instalar con manguera protectora.
- Nunca se deben utilizar secciones inferiores a las calculadas.
- Todas las conexiones se realizan por medio de terminales.

² *Performance Ratio* una magnitud que expresa la relación del rendimiento energético real con respecto al rendimiento energético teóricamente posible

- Si las distancias son grandes, es preferible aumentar la tensión de alimentación.

3.6.2.3 *En referencia al inversor*

Las características del inversor han de permitir su compatibilidad con la instalación. Se elegirá en función de:

- La tensión nominal de entrada puede ser de 12 V a 24 V, entre otros, y sirve para determinar el tipo de inversor.
- El rango de tensión de entrada: la tensión de entrada del inversor fluctúa por las variaciones de nivel del acumulador. Existe un porcentaje sobre la tensión nominal de entrada mínima (10%) y máxima (20%) entre los cuales dichas fluctuaciones no se ven reflejadas en el voltaje de salida.
- La potencia nominal: es la potencia a la que puede estar sometido el inversor ininterrumpidamente. La potencia del inversor elegido se deberá ajustar a la del número de paneles conectados al mismo tiempo. A partir de este valor se recomienda ampliar su tamaño con un factor de seguridad del 20%.
- La potencia pico: el inversor puede estar sometido a sobrecargas. Dicha sobrecarga debe ser mayor cuanto menor sea el tiempo. De esta manera, puede soportar una sobrecarga del 200% durante un minuto, pero de tan sólo un 110% durante diez minutos.
- Eficiencia: es la relación entre la potencia que entrega y la que absorbe en función de su carga.

3.7 Vida útil de los paneles solares y mantenimiento

Una vez instalados los paneles solares, estos se pueden someter a temperaturas extremas y a una gran amplitud térmica propia de las zonas desérticas, a la humedad, y lluvias, a fuertes vientos, a granizo, a las partículas de polvo o tierra propios de las zonas abiertas y a la radiación de rayos ultravioletas. Las fallas de los mismos generalmente se dan por microfisuras en las celdas, o por agrietamientos en la superficie protectora de las mismas por las que puede entrar el agua.

Respecto al mantenimiento, la mayor parte de éste se trata de la limpieza de los paneles. La limpieza debe hacerse mensualmente o luego de una nevada, tormenta de arena, o algún fenómeno que pueda haber ensuciado a los mismos, y se debe hacer en horarios en los que reciben menos calor para que no haya un shock térmico originado por el agua y el panel, la franja horaria no recomendada es entre las 11 y las 17 horas. Además, se debe propiciar un entorno amigable con el panel, donde no haya árboles u objetos que puedan golpearlos, que no interfieran con el sol, y se

debe asegurar que nada pueda caer encima de ellos (Eusjenergy, 29 de enero de 2020; Youtube, "Mantenimiento de módulos fotovoltaicos", canal: CCEEA, 29 de enero de 2016).

La vida útil de los paneles puede verse afectada por las condiciones en las que es instalado, por su mantenimiento y por los materiales y la calidad de los paneles. En promedio por fenómenos ya explicados, su rendimiento disminuye un 1% anual para zonas donde reciben altas concentraciones de rayos UV que, como vimos, acortan su vida útil. Por lo tanto, en general se garantiza que los paneles van a funcionar hasta 20 años con un rendimiento igual o superior al 80%. Se aconseja cambiar los paneles cada intervalo de 20 a 25 años.

3.8 Proyecto de inversión

Un Proyecto de Inversión (PI) es una propuesta para el uso de capital para la producción de un bien o la prestación de un servicio. Consta de un conjunto de antecedentes que permiten juzgar las ventajas y desventajas de asignar recursos a esta iniciativa. Los proyectos nacen, se evalúan y eventualmente se realizan en la medida que respondan al criterio básico de evaluación: la obtención de máximo beneficio por unidad de capital empleado en el proyecto (Sapang Chain, N., 2001; Semyraz, D.J, 2006).

3.8.1 Evaluación económica

3.8.1.1 Inversión fija total

Es la cantidad de dinero necesaria para construir totalmente una planta de proceso, con sus servicios auxiliares y ubicarla en situación de poder comenzar a producir. Se compone por componentes directos e indirectos. Los componentes que determinan la inversión fija directa son:

- Gastos de estudio e investigaciones previas del proyecto: Antes de decidir o apoyar la construcción del proyecto se deben efectuar los estudios económicos correspondientes. Estos incluyen viajes previos, encuestas de mercado, investigaciones de laboratorio y planta piloto, entre otros
- Gastos de la compra por los equipamientos principales: Se calcula el costo de los equipos puestos en la fábrica, es decir se tiene en cuenta los costos de envíos, incluso, en caso de ser importados, se debe tener en cuenta el costo de todo el proceso de logística hasta que el equipo llegue al lugar donde se hará la instalación y los aranceles aduaneros.

- Costos en la instalación de los equipos (I_e): El costo de la instalación de los equipos es en función de la complejidad del mismo y del tipo de planta donde se lo instala.
- Gastos por compra e instalación de cañerías: En general este rubro se calcula por separado al resto del equipamiento. En una estimación detallada, el cálculo del gasto de cañerías se realiza a partir de un diagrama de cañerías y planos de ubicación.
- Gastos en instrumentación y control: Este rubro incluye la adquisición, configuración, y establecimiento de parámetros del sistema de monitoreo y control.
- Gastos de instalación eléctrica: Consiste principalmente en mano de obra y materiales necesarios para suministrar potencia e iluminación a la instalación.
- Gastos por la construcción edilicia: Se incluyen los gastos de mano de obra, materiales y suministros involucrados en la construcción de todos los edificios (obras civiles para el proceso, oficinas, administración, talleres de mantenimiento y limpieza) conectados con la planta. Se incluyen los servicios para los edificios de plomería, instalación eléctrica, ventilación, aire acondicionado.
- Gastos en servicios auxiliares: Se incluyen todas las estructuras, equipos y servicios que no entran directamente en el proceso. Normalmente incluyen las instalaciones para suministrar vapor, agua, electricidad, aire comprimido y combustibles.
- Gastos de puesta en marcha: Existe un periodo entre la finalización nominal de las obras y la producción en régimen normal que se denomina puesta en marcha, y cuya duración puede variar desde unas pocas semanas hasta varios meses. Lógicamente en ese lapso se incurre en una serie de gastos, los cuales pueden ser divididos en dos grandes grupos.
 - Gastos de construcción durante la puesta en marcha (pérdidas en líneas y equipos afectados de diseño que deben solucionarse, falla de instrumentos, necesidad de equipos adicionales).
 - Gastos de operación de puesta en marcha (salarios, materias primas, productos semiterminados o terminados fuera de especificación). Se estima como el monto correspondiente a un

mes de sueldos del personal sumado a costos de equipos que deberían comprarse, cambiarse, agregarse o repararse.

- Intereses durante la construcción: En general, pueden establecerse dos casos.
 - Cuando el capital requerido para la materialización del proyecto es propio
 - Cuando se dispone parcialmente de aportes provenientes de fuentes externas, es decir, de créditos.

En este último caso, los intereses devengados desde el momento de la recepción del crédito y hasta el periodo de término de montaje, se adicionan al préstamo y este total pasa a integrar el rubro de dicha inversión.

Respecto a los componentes indirectos se estiman aplicando una modificación del método de los factores (Semyraz, D.J, 2006) destacan tres factores: Ingeniería y construcción, Factor de Tamaño y Contingencias. A cada uno se le asigna un valor de factor y se suman de acuerdo a la ecuación (4).

$$Inversión\ indirecta = (Inversión\ directa \cdot \Sigma fil) + componentes\ indirectos(4)$$

A la inversión indirecta se le suman los componentes directos y se obtiene la inversión fija. Cuando se le agrega el costo del terreno, al valor obtenido se le denomina Inversión Fija Total (IFT)

3.8.1.2 Inversión de capital de Trabajo (IW)

Comprende las disponibilidades de capital necesario para que una vez que la planta se encuentre instalada y puesta en régimen normal de operación, pueda operar a los niveles previstos en los estudios técnicos, económicos. Es el capital adicional con el que se debe contar para que comience a funcionar el proyecto, esto es financiar la producción antes de percibir ingresos por ventas. Dicho valor se obtiene mediante la ecuación 5, la cual incluye los costos de producción calculados de la forma en la que se expresa en la ecuación 6.

$$Iw = 3\ meses \cdot CPs/d(mensuales) \quad (5)$$

$$CPs/d = [CVu \cdot t/año + CF (s/d)]12\ meses/año \quad (6)$$

Donde los costos de producción son la suma de los costos fijos y variables sin incluir la depreciación.

Al sumar la IFT con el IW, se obtiene la Inversión Total (IT) que representa la cantidad de dinero necesaria para poner un proyecto en operación, ya sea de bienes industriales o servicios. Dicha inversión se puede integrar por capital propio, créditos de organismos financieros nacionales y/o internacionales, y de proveedores.

3.8.1.3 Costos Variables (CV)

Constituyen aquellos costos que dependen del volumen de producción de la industria, se componen principalmente de los siguientes:

- Costo de materia prima: Las cantidades se obtienen a través de los balances de masa detallados que hay en el proceso de producción del producto terminado donde se consideran los rendimientos en cada etapa. En este proyecto no se considera el costo de materia prima, debido a que no son requeridas en el proceso.
- Costo de envases: Es aquel que se incurre para contener el producto para su comercialización. En este proyecto no existen envases, por lo que el costo será nulo
- Costos de mano de obra directa: Incluye los sueldos de los obreros y/o empleados cuyo trabajo está directamente asociados a la fabricación del producto. Al no haber mano de obra que intervenga en el proceso, este costo se considera nulo.
- Costo de supervisión: comprende los salarios (con cargas sociales incluidas) del personal responsable de la supervisión directa de las distintas operaciones. De no saber con certeza se puede estimar como el 10-25% del costo de la mano de obra directa.
- Costo de servicios: Este componente del costo contempla los servicios que se requieren para realizar la producción del bien o servicio. Entre ellos se encuentran la energía eléctrica, gas natural, agua, vapor, aire comprimido, entre otros.
- Costo de mantenimiento: Se incluyen los costos de materiales y mano de obra (directa y de supervisión) empleados en planes de mantenimientos preventivos y en reparaciones debidas a roturas o desperfectos en el funcionamiento. En caso de no contar con información detallada de las horas hombre y el gasto en repuestos para el mantenimiento, este rubro del costo puede estimarse anualmente como un porcentaje de la inversión fija.
- Costo de suministro: Incluye los materiales usados por la planta industrial excluyendo los ítems que ya fueron considerados en los rubros correspondientes a materia prima, materiales de reparación o embalaje.
- Costo de laboratorio: Incluye el gasto de los ensayos de laboratorio para el control de las operaciones y el control de la calidad de los productos. No se considera en este proyecto.

- Costo de regalías y patentes: Cualquier licencia de producción que deba pagarse sobre la base de producción debe ser considerada como un costo de producción. En general estos valores se pagan respecto a un nivel de operación de planta predeterminado. No corresponde a este proyecto este costo.

3.8.1.4 Costos Fijos (CF)

Los costos fijos son aquellos que no dependen de la producción. Se consideran principalmente:

- Costo de depreciación: La mayoría de los bienes van perdiendo valor a medida que crece la antigüedad. Esta pérdida en valor se reconoce en prácticas de contabilidad como un gasto de operación. En lugar de cargar el precio de compra completo de un nuevo bien como un gasto de una sola vez, la forma de operar es distribuir su costo de compra durante la vida del bien en los registros contables. La depreciación puede ser física, funcional, tecnológica y/o por agotamiento de un recurso. Para realizar el cálculo se tiene en cuenta el valor residual, el cual se define como el valor final de un activo al final de su vida útil después de su depreciación y amortización, es decir, una vez que haya perdido su valor tras haber sido utilizado durante un tiempo determinado.
- Costo de impuestos: Corresponden a impuestos fijos a la propiedad. Este rubro puede variar de acuerdo con las leyes vigentes. No se incluyen aquí los impuestos sobre la ganancia. Este costo se puede estimar entre el 1-2% de la inversión fija.
- Costo de seguros: Dependen del tipo de proceso e incluyen seguros sobre la propiedad (incendio, robo parcial o total) para el personal y para las mercancías (perdidas parciales o totales), jornales caídos, entre otros. Normalmente el monto anual de este rubro se puede estimar entre el 0,5 al 1% de la inversión fija.
- Costo de financiación: El interés es una compensación pagada por el uso del capital prestado. Dado que, al solicitar un crédito, se establece una tasa de interés fija o ajustable, de acuerdo a las circunstancias económicas del país, este interés es un costo fijo que debe pagarse al solicitar un préstamo o crédito bancario para realizar la inversión o parte de ella. El proyecto se considera inicialmente con un 20% de capital propio, este costo se considera en el análisis correspondiente de financiación

- Costos de ventas y distribución: aquí se incluyen los salarios y gastos generales de oficinas de ventas, los salarios, comisiones y gastos de viaje para empleados del departamento de venta, los gastos de embarque y transporte, los gastos extras asociados con las ventas, los servicios técnicos de venta y la participación en ferias, entre otros. En este proyecto no se corresponde este costo debido a que la venta es directa a CAMESSA por un precio establecido.
- Costo de dirección y administración: se incluye todos los gastos de la administración de la empresa como por ejemplo los salarios del personal administrativo y los gastos generales, tanto de insumos como de servicios (telefonía, internet, energía eléctrica, limpieza de oficinas, seguridad, servicio de medicina laboral, transporte entre plantas o sedes (si hubiera más de una). Además, contempla los gastos de dirección de la empresa (como por ejemplo el salario de la conducción superior tales como los del presidente o gerentes), el pago a servicios de asesoramiento legal, contable y de auditoría.
- Costo de investigación y desarrollo: incluyen los salarios del personal directamente relacionado con este tipo de tarea, los gastos fijos y de operación de toda la maquinaria y equipos utilizados, el costo de materiales y suministros, gastos generales directos y costos varios. No se considera este costo en este proyecto, por lo que es nulo.

Luego, si se suman el valor del costo variable total con el valor del costo fijo total se obtiene el costo total.

3.8.1.5 Flujo de Caja

Luego de obtener el costo total, se analiza el ingreso por venta, el cual se deduce a partir del precio de venta por la cantidad de producto (energía en lo que concierne al proyecto), se le descuenta la tasa de ingresos brutos y se obtiene el valor de ingreso por venta neto.

El siguiente paso es descontar el costo total al ingreso por venta neto calculando el beneficio neto antes de impuestos (BNAI), al cual se le descuentan los impuestos para obtener el beneficio neto.

El flujo de caja se define como se muestra en la ecuación (7).

$$FC = V - C - t \cdot (V - C - d (IF - L)) \quad (7)$$

Donde FC es el flujo de caja, V es el ingreso por ventas, C es el costo total sin incluir la depreciación, t es la tasa impositiva (35% en el caso de este proyecto), d es

el coeficiente de depreciación legal –por el método de suma de dígitos anuales- y L es el valor residual.

3.8.1.6 Rentabilidad

Se define rentabilidad de un proyecto como el análisis efectuado para determinar si la inversión efectuada será retribuida y contraerá ganancias considerando el valor temporal del dinero, a partir de los flujos anuales de caja futuros (Sapag Chain,N., 2001).

Se determina aplicando los métodos dinámicos de la tasa interna de retorno (TIR) y el valor presente (VP), complementando dichos resultados con la determinación del tiempo de repago.

Se define al Valor presente del proyecto (VP) como la diferencia entre el valor presente de los flujos anuales de fondos y la inversión total inicial. El valor presente neto es un monto de dinero referido a tiempo cero calculado con la tasa de interés elegida, aplicando la ecuación (8)

$$VP = \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} - I_T \quad (8)$$

Donde F_c = flujo de caja, i es la tasa de interés preasignada, I_T es la inversión total y n es la vida útil del proyecto. Al calcular el valor presente, se debe sumar al último flujo de caja del proyecto las cantidades de capital que se recuperan al finalizar la vida económica del proyecto, es decir, el capital de trabajo, el valor del terreno y el valor residual.

Conceptualmente, el valor presente es la cantidad de dinero requerida al comienzo del proyecto, además de la inversión total, que invertida a una tasa de interés pre asignada pueda producir ingresos iguales a, y al mismo tiempo que, los flujos de caja del proyecto.

En resumen, se puede afirmar que, si el valor presente de los flujos de caja es mayor o igual que el valor de la inversión total, entonces el proyecto es rentable. La segunda herramienta constituye la Tasa interna de retorno (TIR) que define la tasa que reduce a cero la diferencia entre los flujos de caja anuales del proyecto y la inversión total inicial del mismo. Por lo tanto, en este método se especifica que la diferencia entre el valor presente de los flujos anuales de fondos y la inversión inicial total sea igual a cero. La TIR es el valor r de la fórmula (9)

$$\sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+r)^j} - I_T = 0 \quad (9)$$

Donde F_c es el flujo de caja, r corresponde a la TIR, I_T es la inversión total y n es la vida útil del proyecto, se aplica la función TIR de Excel para determinar el valor de la tasa.

La rentabilidad esperada será favorable si es superior a la tasa de rentabilidad mínima aceptable (TRMA) definida por la empresa, ésta que puede ser la tasa de oportunidad del mercado, siendo éste el mayor rendimiento que se puede obtener si se invirtiera el dinero en otro proyecto de riesgo similar disponible en ese momento. Por lo tanto, el proyecto es aceptado si $TIR > TRMA$.

Aparte de las herramientas mencionadas, se aplica el tiempo de repago definido como el mínimo período de tiempo teóricamente necesario para recuperar la inversión fija depreciable en forma de flujo de caja del proyecto, se utiliza para complementar el resultado de los métodos dinámicos de rentabilidad. Como en este proyecto el flujo de caja no es constante, no se calcula según la ecuación (10) y debe aplicarse el método gráfico.

$$n_R = \frac{I_f - L}{FC_p} \quad (10)$$

Donde I_f es la inversión fija, FC_p es el flujo de caja promedio y L es el valor residual. Luego es representado en un gráfico cuyos ejes son tiempo y dinero, donde busca el punto de intersección de la función con el eje x, donde luego se le resta la inversión de capital de trabajo y el precio del terreno y finalmente se determina el valor del tiempo que coincide con ese valor de la función, determinando el tiempo de repago.

4. DESARROLLO

4.1 Consumo de energía eléctrica en la ciudad de Mar del Plata

Al hablar del consumo de energía eléctrica de la ciudad de Mar del Plata se destacan las características que la definen. Está ubicada dentro de la provincia de Buenos Aires, sobre la costa del Océano Atlántico, en el paralelo 38°00'S (Mardelplata.com, 2019). Se mantienen de forma estable 656.456 habitantes (Municipalidad de General Pueyrredón, 2020).

La ciudad cuenta con una actividad industrial considerable a la hora de medir el consumo eléctrico total de la misma, el sector más fuerte es el pesquero, seguido del turístico. En 2019, 8.063.025 turistas visitaron la ciudad, siendo los meses de verano y durante las vacaciones de invierno los momentos en que se registraron mayores arribos.

La potencia media de cada mes, en el año 2019, que es consumida en la ciudad de Mar del Plata se refleja en la Tabla 1.

P [MW] Mar del Plata en 2019											
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
239	240	212	210	220	230	248	240	224	216	201	202

Tabla 1: Consumo eléctrico Mar del Plata

Fuente: Elaboración personal a partir de comunicación personal con EDEA, 2020

El objetivo del proyecto es alcanzar un 5% del consumo de energía de Mar del Plata, para lo cual se calcula la energía anual total, siendo esta la multiplicación de las potencias mensuales por las respectivas horas del mes, obteniéndose un total de 1.957.368 MWh. Luego, a dicho valor se le calcula el 5% correspondiente a 97.869 MWh, siendo este, la capacidad de producción de este trabajo.

4.2 Estudio de radiación en Mar del Plata

Una vez establecida la demanda de energía, se procede a determinar la radiación solar que se puede aprovechar y convertir en energía eléctrica. Para lo cual se extrajo del informe de la presidencia de la nación, redactado en el Manual de Generación Distribuida Solar Fotovoltaica (2019) y en la Guía del Recurso Solar (2019), y se expresó en la Tabla 2.

Irradiación en Mar del Plata(kWh/m ²)																
Ciudad	Lat	Long	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio	Total
Mar del Plata	38,00	57,33	6,50	5,50	4,00	3,00	2,00	1,50	1,50	2,50	3,50	5,00	6,00	6,50	3,96	47,50

Tabla 2: Medidas de Radiación Anual Mar del Plata

Fuente: Manual de Generación Distribuida Solar Fotovoltaica, 2019.

En la Imagen 4 se muestran en forma comparativa los valores mes a mes del consumo energético de la ciudad (año 2019) y los niveles de radiación que recibe la

misma.

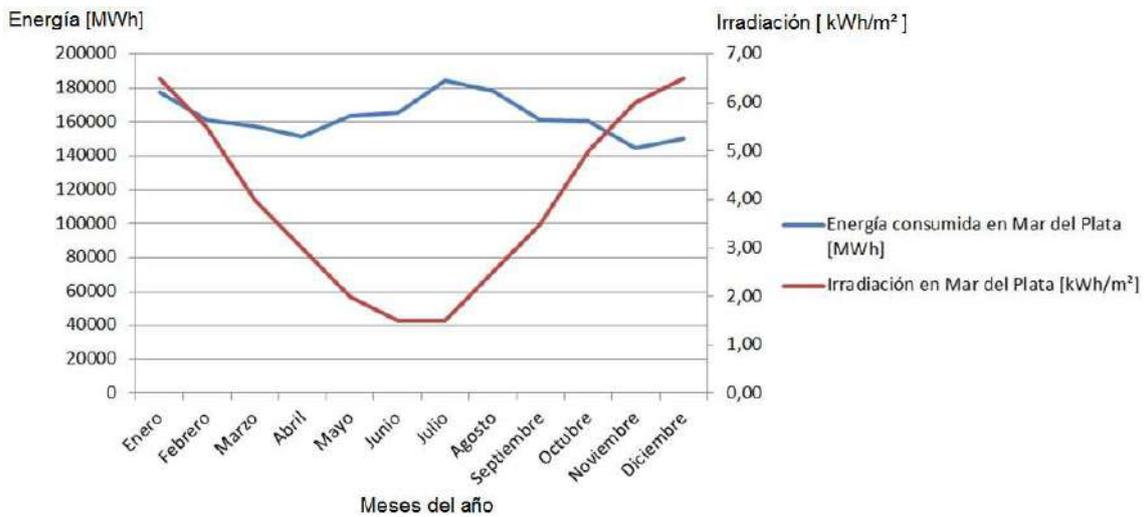


Imagen 4: Comparación consumo de energía – irradiación en Mar del Plata

Fuente: Elaboración propia

En dicho gráfico se determina que el mínimo nivel de radiación recibido en la ciudad coincide con el pico de demanda situado en julio, por lo que concluimos que es probable que ese mes la planta se encuentre por debajo de la producción deseada, sin embargo, en contrapunto, en los meses desde noviembre a enero, la radiación es mayor al promedio por lo que la planta producirá por encima del 5% analizado, por lo que, en una perspectiva anual, se compensan las variaciones energéticas.

4.2.1 Análisis de Pérdidas de Radiación

4.2.1.1 Pérdidas por inclinación y orientación

Las pérdidas anuales pueden estimarse a partir del disco de irradiación solar.

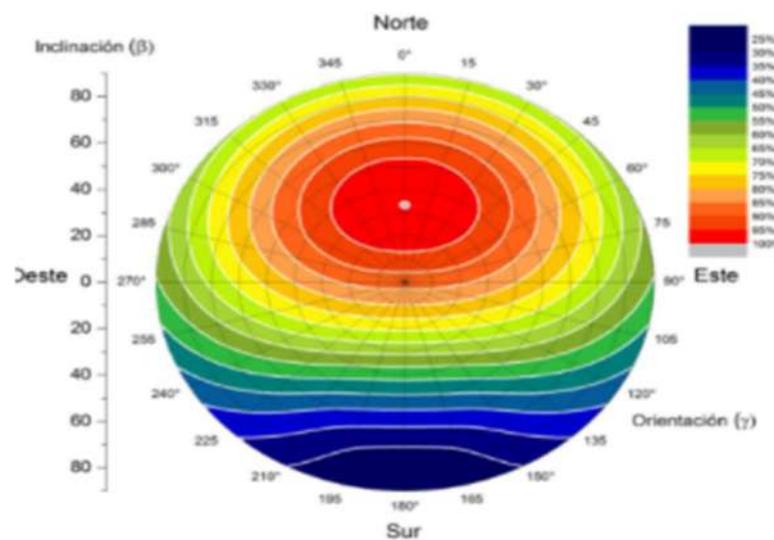


Imagen 5: Disco de irradiación Solar

Fuente: Guía del Recurso Solar, 2019

El disco de irradiación solar que se presenta en la Imagen 5, muestra el porcentaje de energía anual que se pierde, a medida que varía la inclinación y orientación del panel con respecto al máximo anual, dado por el punto gris de la imagen. El eje vertical representa la inclinación, y el circular, la orientación del panel. De esta manera, el máximo de energía anual que puede recibir un panel se obtiene para una inclinación de 23° y una orientación de 0° (Norte), referido a la latitud norte de la provincia de Buenos Aires. Adicionalmente, el círculo rojo alrededor del punto gris, marcado en la escala como 100%, indica que existe un rango de inclinaciones y orientaciones que dan prácticamente el mismo resultado que el punto gris, en nuestro proyecto se utiliza la misma inclinación, pero con orientación (o acimut) de 30° para la provincia de Buenos Aires, donde se aplica el valor de la tabla 3 respectivamente.

ht/h Para inclinacion: $\pm 45^\circ$ y acimut $\pm 30^\circ$														
Provincia	Lat	Long	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Bs. As	34,58	57,54	0,85	0,92	1,03	1,20	1,38	1,49	1,44	1,27	1,08	0,95	0,87	0,83

Tabla 3: Coeficientes de irradiación en el plano inclinado con respecto al plano horizontal (h/h)
Fuente: Manual de generación distribuida solar fotovoltaica de la Secretaría de la Nación, 2019

Se toman en cuenta, para este proyecto, los resultados obtenidos de un estudio que referencia a la zona norte de la Provincia de Buenos Aires, debido a que la distancia existente entre ambas no es lo suficientemente grande para que constate en un error de cálculos.

4.2.1.2 Pérdida por sombra

El efecto de las sombras sobre los paneles fotovoltaicos es perjudicial a los fines de la generación de energía. Adicionalmente, y dependiendo de la parte específica del panel que esté sombreado, el panel puede disminuir su generación.

La condición para establecer la separación mínima entre filas es que cada fila de paneles reciba al menos cuatro horas de radiación solar en el día del año en que el sol está en su punto más bajo, como se ilustra en la Imagen 6. Para ello es posible hacer uso de la ecuación de distancia mínima expuesta en el marco teórico, la cual se aplica en la sección contigua.



Imagen 6: Gráfico distancia mínima entre paneles

Fuente: Apuntes del curso sobre energía solar

4.3 Selección de equipos y elementos

4.3.1 Selección de paneles

Los factores que se deben considerar para seleccionar el tipo de célula fotovoltaica óptima son:

- Rendimiento de los paneles
- Terreno necesario para cubrir la demanda y su costo
- Costo de mantenimiento
- Costo de conectividad de los paneles
- Costo del soporte mecánico de los paneles
- Costo de instalación

A partir de estos factores se debe realizar un modelo matemático representativo de los costos. Este modelo se aplica a cada tipo de panel y luego se comparan los resultados entre sí para llegar al resultado óptimo.

De los tipos de células detallados en la sección 2.2, se descartan las células de arseniuro de galio ya que, si bien tienen un muy alto rendimiento, tienen un alto costo y el material del que están compuestas es escaso en la naturaleza, por lo que su aplicación se reduce a investigaciones científicas y satélites espaciales, donde los costos son justificados y su demanda es relativamente baja. También se descarta el Tándem silicio microcristalino y el silicio amorfo ya que su rendimiento es bajo y su costo de elaboración es alto debido a la gruesa capa de material cristalino que se emplea para su elaboración, la cual ronda entre los 1000 y 2000 nm contra 300 nm de espesor de otras células. Otro tipo de célula que no se tendrá en cuenta son las de sulfuro de cadmio y sulfuro de cobre ya que se degradan rápidamente con el tiempo, y su rendimiento es muy bajo, cerca del 5% contra el 10%, 15%, y hasta el 20% de otro tipo de células.

Para determinar la cantidad de paneles (N) se procede a utilizar la ecuación 2, definiendo la cantidad de energía anual (E) que corresponde al 5% del consumo anual, calculado en la sección 3.1, 97.869 MWh; el PR es 0,82, que resulta de calcular

de dividir 1 sobre el coeficiente de seguridad equivalente a 1.2 para este tipo de equipamiento. Dicho valor es similar al PR del parque solar de Jujuy, debido a las similitudes entre las instalaciones y las condiciones ambientales; y el HS es 5,67, valor que representa el porcentaje de horas de luz en el que el panel trabaja al 100% de su capacidad siendo 5.67 horas para la zona de estudio (Atlas de Energía Solar, 2007). Luego se divide el resultado por la potencia nominal respectiva del panel (W_p)

$$N = \frac{E}{W_p \cdot HS \cdot PR} = \frac{97.869 \text{ MWh}}{W_p \cdot 5,67h \cdot 365d \cdot 0,82} = \frac{57.670 \text{ kW}}{W_p}$$

Con respecto al presupuesto de los paneles se puede diferenciar entre aquéllos de producción nacional y los importados. Dentro de todos los posibles proveedores relevados, los más destacados son los ocho seleccionados, y que se presentan en las tablas 4, 5 y 6, donde uno de ellos es argentino y el resto son de China. Luego, se reemplaza, en la ecuación 11, el W_p por 0,435 kW y se obtiene un N por 132.576 paneles.

En el caso de los paneles argentinos el precio que se obtuvo se corresponde con los paneles depositados en el terreno en que se lleva a cabo el proyecto; mientras que los chinos, el precio *Free on Board* (F.O.B.) de la mercadería. Al tener que importar los paneles, se deben tener en cuenta los siguientes factores y costos, proporcionados por contacto personal con empleado de Aduana:

- Dimensiones de los paneles solares y del packaging
- Cálculo de cantidad de paneles que entran por contenedor naval, siendo este de 2,59 m de alto, 12,192 m de largo y 2,43 m de ancho.
- Cantidad de contenedores necesarios para transportar todos los paneles.
- Costos de honorarios de despachante de aduana: 250 US\$/contenedor
- Costo de flete marítimo: 2000 US\$/contenedor
- Costo de seguro (desde la puerta de la fábrica en China hasta el terreno del proyecto): 95,25 US\$/contenedor
- Costo de flete desde el Puerto de Buenos Aires hasta el terreno del proyecto: 511,18 US\$/contenedor
- Gasto de despacho: 1,5% sobre el valor CIF (FOB+Flete+Seguro)
- Gastos de puerto por contenedor: 750 US\$
- Gastos de agencia marítima por operación: 650 US\$
- Derechos aduaneros:
 - Derechos de importación: 0%
 - Estadística: 0%
 - IVA: 10,5% sobre valor cif (fob + flete + seguro)
 - IVA adicional: 10% (bien de capital no aplica)

Factibilidad Planta de Energía Fotovoltaica

- Anticipo de ganancias: 6% (bien de capital no aplica)
- li.bb: 2,5% (FOB)

Número de Panel	Modelo de Panel	Marca	Tipo de Panel	Origen	Potencia del panel (Wp) [W]	Altura [mm]	Largo [mm]	Espesor [mm]	Superficie de un panel [mm ²]
1	JKSM3-DCCA-415-435	Jinko	Mono Bifacial	China	435	2.110	998	40	2.105.780
2	Hertz72DH380-400W	Hertz PV	Mono Bifacial	China	380	1.980	990	6	1.960.200
3	JAM72D09 370-390/BP	JA Solar,	Mono Bifacial	China	385	1.998	994	6	1.986.012
4	BSM380M-72	Bluesun	Monocristalino	China	380	1.956	992	40	1.940.352
5	GSM300-60	Talesum	Monocristalino	China	300	1.640	992	40	1.626.880
6	AS6P30	Amerisolar	Policristalino	Argentina	330	1.640	992	40	1.626.880
7	YWDH-P350W	Donghui	Policristalino	China	350	1.950	992	40	1.934.400
8	JYSP-340W	joysolar	Policristalino	China	340	1.956	992	40	1.940.352

Número de Panel	Cantidad de paneles necesaria	Precio por unidad FOB [US\$]	Precio Total FOB [US\$]	Unidades por pack [mm]	Alto [mm]	Ancho [mm]	Espesor [mm]	Cantidad de paneles por contenedor	Cantidad de contenedores necesarios redondeados hacia arriba
1	132.576	82	10.957.369	27	2.165	1.125	151	540	246
2	151.764	114	17.301.110	27	2.035	1.117	245	2.687	57
3	149.793	84	12.687.480	29	2.053	1.121	245	2.842	53
4	151.764	79	12.110.777	26	2.011	1.119	1.111	520	292
5	192.235	78	14.994.295	27	1.695	1.119	1.151	540	356
6	174.759	159	27.894.981	28	1.695	1.119	1.191	560	313
7	164.772	70	11.534.073	27	2.005	1.119	1.151	540	306
8	169.619	61	10.380.666	27	2.015	1.119	1.151	540	315

Factibilidad Planta de Energía Fotovoltaica

Número de Panel	Costo Flete naviero [US\$]	Costo de Aduana por contenedor (29% de FOB) [US\$]	Costo de flete Bs. As. a MDP	Costo de seguro [US\$]	Honorarios de despachante de aduana por contenedor [US\$]	Gasto de despacho [US\$]	Gastos de puerto por contenedor [US\$]	Gastos de agencia marítima por operación [US\$]	COSTO TOTAL [US\$]
1	2.000	13.163	511	99	250	701	184.500	650	15.024.524
2	2.000	89.053	511	99	250	4.626	42.750	650	22.529.503
3	2.000	70.028	511	99	250	3.642	39.750	650	16.562.495
4	2.000	12.254	511	99	250	654	219.000	650	16.678.452
5	2.000	12.435	51.118	99	250	663	267.000	650	38.645.295
6	0	25.927	0	48	0	1.342	234.750	650	36.236.292
7	2.000	11.182	511	99	250	598	229.500	650	15.984.995
8	2.000	9.804	511	99	250	527	236.250	650	14.529.522

Tabla 4, 5, 6: Características y Precios de los Paneles considerados

Fuente: Elaboración Propia en base a información obtenida de Alibaba, MercadoLibre y comunicación personal con personal aduanero.

Según los cálculos realizados, el panel solar policristalino de la marca Joysolar, cuyo modelo es JYSP-340W (la octava propuesta de las Tablas 4, 5 y 6), es el más económico para suministrar la energía que se demanda en este proyecto, con un valor total de 14.529.522 US\$.

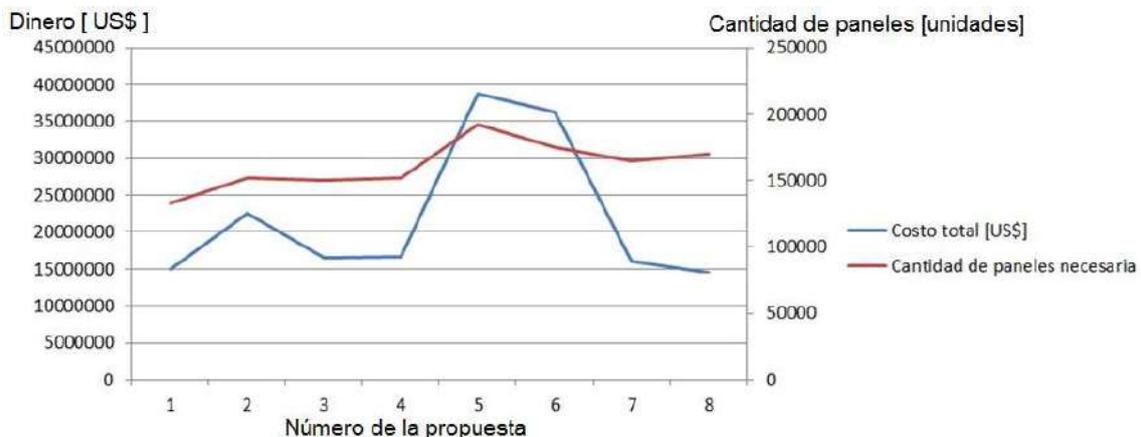


Imagen 7: Gráfico costo total – cantidad de paneles

Fuente: Elaboración Propia

El costo total calculado para la segunda opción más económica determinada por la primera propuesta de las Tablas 4, 5 y 6, corresponde a un valor de 15.024.524 US\$. Por otro lado, se hace un análisis más profundo, y tal como lo indica la imagen 7, en la primera propuesta se necesitan 37.043 paneles menos que la octava propuesta, lo que con esta última, se requiere mayor superficie de terreno, mayor cantidad de metros de cable y mayor cantidad de soportes. Por lo tanto, no se descarta, a priori, el proveedor Jinko. El resto de las opciones se descartan porque su costo es mayor y se necesitan más paneles que la primera opción.

A continuación, se procede al cálculo de terreno necesario sólo para la instalación de paneles solares. Para el mismo, se consideraron ambos paneles preseleccionados. Para las dos alternativas, se calculó el terreno necesario con filas de 1 a 3 paneles de ancho y colocándolos con el borde más largo perpendicular al suelo (vertical) o paralelo al mismo (horizontal). Los cálculos realizados fueron los siguientes:

- β = ángulo de inclinación del panel
- h = altura del panel * $\text{sen}(\beta^\circ)$ + altura de fijaciones
- D = altura de panel * $\text{cos}(\beta^\circ)$
- $c = 90^\circ - \text{latitud [grados]} - 23,5^\circ - 7^\circ$
- $d = h / \text{tg}(\alpha)$
- L : Longitud de filas = cantidad de paneles alineados por fila * ancho de paneles
- S_{ppe} : Superficie de pasillo perpendicular a las filas = $8m \cdot (D+d)$, se considera 8 metros es el ancho de dos carriles de ruta más la banquina
- T_f : Terreno por fila = $L \cdot (D+d) + S_{ppe}$
- Cantidad de filas = cantidad total de paneles / cantidad de paneles por fila
- Cantidad de pasillos paralelos a las filas = Cantidad de filas / 100
- S_{ppa} : Superficie de pasillos paralelos a las filas = $8m \cdot L$ + intersección de pasillos = $8m \cdot L + 64m$
- $T_t[m]$: Terreno total = Cantidad de filas * T_f + S_{ppa} * (cantidad de pasillos paralelos a las filas)
- $T_t [ha] = T_t[m] / 10000 [ha/m]$

En la Tabla 7 se muestra el análisis para el Panel N°8, mientras que en la Tabla 8 el correspondiente al N°1.

Factibilidad Planta de Energía Fotovoltaica

	Propuesta 8 verticales			Propuesta 8 horizontales		
	1 panel	2 paneles	3 paneles	1 panel	2 paneles	3 paneles
Inclinación del panel β [grados]	23,00	23,00	23,00	23,00	23,00	23,00
Altura del panel [m]	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96
Ancho del panel [m]	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
H (es el cateto del triángulo según el gráfico) [m]	1,01	1,78	2,54	0,64	1,03	1,41
D (es el cateto del triángulo según el gráfico) [m]	1,80	3,60	5,40	0,91	1,83	2,74
Latitud [grados]	21,50	21,50	21,50	21,50	21,50	21,50
$c= 90 - \text{latitud} - 23.5 - 7$	2,57	4,52	6,46	1,62	2,60	3,59
d [m] Distancia entre dos paneles mínima	169.618,73	169.618,73	169.618,73	169.618,73	169.618,73	169.618,73
Cantidad de paneles necesarios	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Tamaño de fila [Nro. de paneles]	99,20	99,20	99,20	195,60	195,60	195,60
Longitud de la fila (L) [m]	35,00	64,93	94,85	20,25	35,43	50,61
Superficie de pasillos perpendiculares a las filas (Sppe) [m ²]	469,04	870,05	1.271,05	515,47	901,73	1.287,99
Total, de terreno por fila (Tf) [m ²]	1.696,19	848,09	565,40	1.696,19	848,09	565,40
Número de filas	18,00	10,00	7,00	18,00	10,00	7,00
Cantidad de pasillos paralelos a las filas	857,60	857,60	857,60	1.628,80	1.628,80	1.628,80
Dimensión de cada pasillo paralelo a las filas (Sppa) [m ²]	811.018,10	746.456,61	724.650,24	903.658,30	781.039,64	739.623,81
Cantidad de terreno total [m ²] (Tt)	81,10	74,65	72,47	90,37	78,10	73,96

Tabla 7: Análisis Panel N°8

Fuente: Elaboración Propia

	Propuesta 1 verticales			Propuesta 1 horizontales		
	1 panel	2 paneles	3 paneles	1 panel	2 paneles	3 paneles
Inclinación del panel β [grados]	23,00	23,00	23,00	23,00	23,00	23,00
Altura del panel [m]	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11
Ancho del panel [m]	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
H (es el cateto del triángulo según el gráfico) [m]	1,07	1,90	2,72	0,64	1,03	1,42
D (es el cateto del triángulo según el gráfico) [m]	1,94	3,88	5,83	0,92	1,84	2,76
Latitud [grados]	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00
$c= 90 - \text{latitud} - 23.5 - 7$	21,50	21,50	21,50	21,50	21,50	21,50
d [m] Distancia entre dos paneles mínima	2,73	4,82	6,91	1,62	2,61	3,60
Cantidad de paneles necesarios	132.575,56	132.575,56	132.575,56	132.575,56	132.575,56	132.575,56
Tamaño de fila [Nro. de paneles]	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Longitud de la fila (L) [m]	99,80	99,80	99,80	211,00	211,00	211,00
Superficie de pasillos perpendiculares a las filas (Sppe) [m ²]	37,36	69,64	101,92	20,35	35,62	50,88
Total, de terreno por fila (Tf) [m ²]	503,41	938,41	1.373,41	556,98	974,96	1.392,95
Número de filas	1.325,76	662,88	441,92	1.325,76	662,88	441,92
Cantidad de pasillos paralelos a las filas	15,00	8,00	6,00	15,00	8,00	6,00
Dimensión de cada pasillo paralelo a las filas (Sppa) [m ²]	862,40	862,40	862,40	1.752,00	1.752,00	1.752,00
Cantidad de terreno total [m ²] (Tt)	680.341,08	628.952,46	612.110,39	764.694,41	660.296,38	626.081,04
Cantidad de terreno total [Hectáreas] (Tt)	68,03	62,90	61,21	76,47	66,03	62,61

Tabla 8: Análisis Panel N°1

Fuente: Elaboración Propia

Tal como se indica en las Tablas 7 y 8, dependiendo del arreglo de distribución que se haga sobre el parque, ilustrado en la imagen 8, para el caso de la primera propuesta se necesita un mínimo de 62 hectáreas mientras que para la octava propuesta se necesita un mínimo de 73 hectáreas. Por lo que hay una diferencia de 11 hectáreas.

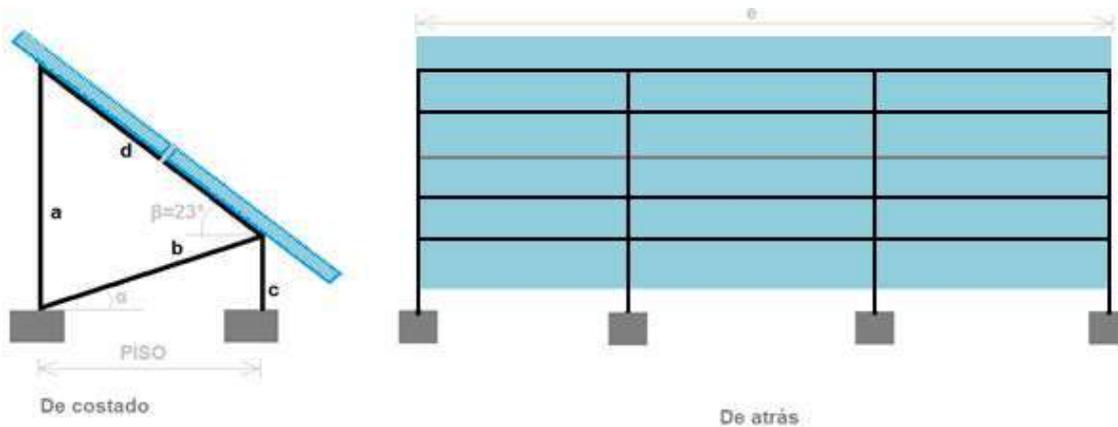


Imagen 8: Vista lateral y Posterior de región de paneles

Fuente: Elaboración Propia

Luego, debido a la diferencia que hay entre la cantidad de paneles de ambas propuestas tomadas en cuenta se debe evaluar que va a haber una considerable diferencia en el costo de las fijaciones que podría definir el modelo de panel que se selecciona. Para esto, se realiza una estructura reticulada fijada a pilotes que se encuentran enterrados. Por lo tanto, se consideran dos presupuestos.

1. Primer presupuesto: cada fijación tiene un precio de 83,36 US\$. Según la cantidad de paneles necesarios para llegar a la capacidad de producción deseada, en la primera propuesta se calcula un valor de 83,35 US\$/fijación por 132.576 fijaciones, se obtiene un valor de 11.051.535 US\$. Por otro lado, para la octava propuesta se calcula este valor de acuerdo a 83,35 US\$/fijación por 169.619 fijaciones, obteniéndose un costo de 14.139.439 US\$. Siendo la diferencia de 3.087.904 US\$, a favor de la elección de los paneles Jinko (Tienda Sustentator, 2020).

2. Segundo presupuesto: En esta segunda opción, se diseñó, junto con herreros de Metalúrgica AW y observando otros diseños, un sistema de fijaciones personalizada para los requerimientos del parque. El costo del metro de hierro en ángulo (L 50 x 50) es de 5,29US\$/metro, y el tratamiento anticorrosivo es de 20,32US\$ m², luego la mano de obra se calcula como el mismo costo que el hierro.

En el presupuesto de fijaciones se calcula un costo de las mismas de 9.975.111 US\$ para la primera propuesta y de 11.976.612 US\$ para la octava propuesta, obteniéndose una diferencia de 2.001.501 US\$ a favor de la primera propuesta.

Respecto a los pilotes se calcula una cantidad de 67.728 pilotes para la primera propuesta y 86.598 pilotes para la octava propuesta habiendo una diferencia de 18.870 pilotes menos para el primer caso. Se solicitaron dos presupuestos a dos arquitectos distintos siendo el Arquitecto Iván Mayer la opción más viable con un valor de 57,15 US\$ por pilote. Lo que implica un costo de 3.870.655 US\$ para la primera propuesta y 4.949.075 US\$, habiendo una diferencia entre ambas de 1.078.420 US\$.

Finalmente, en cuanto a términos cuantitativos, se tuvo en cuenta el costo total de los paneles puestos en el terreno y el costo de sus fijaciones. Se despreció el valor de los cables para cada caso y el valor del terreno ya que éste no se ajusta exactamente a los requerimientos y de ser poca la diferencia para ambos casos se elegiría el mismo. Si se consideran los dos factores previamente nombrados, se concluye en un costo de 13.845.766 US\$ para la primera propuesta, y 16.925.688 US\$ para la octava. Además, como se necesitan menos paneles Jinko que Joysolar, se generarán menos costos de mantenimiento, de conexiones eléctricas, y menos probabilidades de falla.

Por otro lado, se consideraron factores cualitativos tales como garantía de funcionamiento, garantía de rendimiento energético a lo largo del tiempo, servicio post venta, facilidad de instalación, facilidad de conectividad. Se obtuvo que ambas propuestas trabajan con características idénticas en cada caso, por lo que el análisis se ve reducido a los costos. En conclusión, se selecciona la primera propuesta correspondiente al panel Solar Jinko JKSM3-DCCA-415-435 producido en China detallado en el Anexo VI.

4.3.2 Selección de inversores

Para el caso de los inversores, se realiza una búsqueda de productos industriales, con elevadas potencias de conversión. De los productos encontrados se destacan:

- Inversor Huawei SUN2000 100 KTL
- Inversor Huawei SUN2000 60 KTL
- Inversor Fronius Eco 27.0-3 27kW
- Schneider XC630

Para determinar el dispositivo a usar se tienen en cuenta los mismos factores cualitativos que se consideraron para seleccionar los paneles solares, los cuales son idénticos en los cuatro modelos de inversores. Por otro lado, se consideraron los factores cuantitativos, los cuales son la capacidad, el rendimiento, la cantidad y el precio.

Número de propuesta	Modelo del inversor	Precio/ unidad [US\$]	Capacidad [kW]	Unidades necesarias	Costo total de los inversores [US\$]
1.	Huawei SUN2000 100KTL	8.700	105	549	4.776.300
2.	Huawei SUN2000 60KTL	5.400	66	874	4.719.600
3.	Fronius Eco 27,0-3 27kW	3.980	38	1.518	6.041.640
4.	Schneider XC630	28.590	630	91	2.601.690

Tabla 9: Inversores considerados

Fuente: Elaboración Propia

Como conclusión del análisis presentado en la Tabla 9, se considera adquirir 91 inversores Schneider XC630, detallado en el punto Anexo V.

4.3.3 Selección de cables

Se analizó el tipo de cables utilizados en la planta solar de la provincia de Jujuy, donde la Secretaría de Ambiente de Jujuy detalla los cables utilizados en sus instalaciones, en pos de definir las necesidades para el presente proyecto.

El cable para realizar todas las conexiones de la planta solar se selecciona de los siguientes o similares:

1. Cableado instalación AC 400V. Denominación RV-K 0,6/1kV. Las características del cableado son las siguientes.
 - Conductor de aluminio, clase 5 según IEC60228.
 - Aislamiento de XLPE, tipo DIX3 según HD603. La identificación normalizada, según HD308, es por colores.
 - Cubierta de XLPE flexible, de color negro tipo DMV 18 según HD603.
2. Cableado instalación AC 34.5kV. Denominación RHE 33kVA VOLTALENE.
 - Conductor trenzado contactado de aluminio de clase 2 según IEC60228.
 - Aislamiento de polietileno reticulado XLPE, tipo DIX3 según HD603. La identificación normalizada, según HD308, es por colores.
 - Cubierta de XLPE flexible, de color negro tipo DMV 18 según HD603.

Para realizar el análisis de los cables se utiliza la ecuación 3 de la sección 3.6.2.2. y se generan arreglos de 1457 paneles por inversor. Los mismos se constituyen de 85 filas de 15 paneles y 13 filas de 14 paneles, en pos de establecer una equitativa distribución.

Se realiza el cálculo a partir de las filas de 15 paneles por considerarse más críticas de la instalación. Se obtienen por fila, entonces, un voltaje máximo equivalente a 790,5 V y una corriente de potencia máxima de 9,87 A. Uniendo los paneles de modo que generar la menor distancia al inversor, se obtiene una longitud de 14970

mm por fila. Con los anteriores datos, aplicando la ecuación 3, se obtiene una sección de 21,23 mm².

Se calcula luego un tramo de un metro que conecta los cables de todas las filas con el inversor, el cual contemplará un voltaje de 790,5 V y una corriente de 967,26 A. Se obtiene luego una sección de 139 mm².

Finalmente, se calcula un kilómetro de cable desde cada inversor hasta la red eléctrica, siendo el voltaje de salida de 350 V y la corriente equivalente a 1040 A. Resultando en una sección de 0.34 m².

A fines económicos, el estudio se realizará con una estimación calculada por un contacto personal con un profesional en instalaciones de energía solar fotovoltaicas.

4.3.4 Selección de protecciones y sistemas de medición y control

Para que la instalación proyectada se encuentre dentro de las reglamentaciones vigentes, debe cumplir con las siguientes consideraciones técnicas:

- Interruptor manual de corte en carga como protección en la parte de alterna de la instalación. Se aloja en el cuadro de media tensión dispuesto en el cuadro del inversor a la salida alterna de cada región de paneles.
- Puesta a tierra del marco de los módulos y de la estructura mediante cable de aluminio desnudo y pica de tierra.
- Puesta a tierra de la carcasa del inversor.
- Aislamiento clase II en todos los componentes: módulos, cableado, cajas de conexión, etc.
- Fusible en cada polo del generador fotovoltaico, con función seccionadora. Las cajas de cadena supervisora llevan incorporados fusibles de 16 A por cada canal de medida, tanto en la rama positiva como en la negativa. Asimismo, se dispondrá una caja de fusibles a la entrada del inversor para proteger los polos positivos.

En la instalación se tienen en cuenta los siguientes puntos adicionales con el objeto de optimizar la eficiencia energética y garantizar la absoluta seguridad del personal:

- Todos los conductores serán de aluminio, y su sección será la suficiente para asegurar que las pérdidas de tensión en cables. Todos los cables serán adecuados para uso en intemperie, al aire o enterrado.

- La red de distribución estará formada por el conjunto de conductores agrupación de ternos, conductores de aluminio aislados tipo RVK 0,6/1 kV (tipo RZ1-K (AS) para las derivaciones individuales), de tensión nominal no inferior a 1.000 V.

En cuanto a conducciones se refiere:

- Para alturas respecto al suelo, inferiores a 2,5 m, el cableado discurrirá en tubo de acero, que será puesto a la tierra del sistema.
- Cuando discurra en zanja, lo hará dentro de tubo, y ésta tendrá una profundidad mínima de 60 cm, con aviso de 20 cm por encima del cable.
- Se realizará una única toma de tierra tanto de la estructura soporte del generador fotovoltaico, como de la puesta a tierra del inversor, con el fin de no crear diferencias de tensión peligrosas para las personas con la realización de diversas tomas de tierra. Todas las masas de la instalación fotovoltaica, tanto de la parte de corriente continua como de la parte de corriente alterna, se conectarán a tierra, siendo ésta independiente de la del neutro de la empresa distribuidora.
- La superficie de la sección del conductor de protección, será como mínimo la del conductor de fase correspondiente.

Todos los gastos referidos a cables y sistemas de protección se estiman como un 5% del costo de los equipos, debido a que en pequeñas instalaciones se utiliza este parámetro, según lo consultado mediante contacto personal a profesionales del área eléctrica, y es el máximo costo que se puede llegar a tener en dicha sección.

El objetivo principal es asegurar un flujo energético estable que genere el máximo beneficio económico. Por ello se prevé la implementación de un sistema de adquisición de datos y monitorización (SCADA) de la planta, de tal forma que ésta pueda ser operada y monitoreada de forma remota.

Los datos suministrados por dicho sistema se llevan hasta la sala de control, donde se utilizará una solución software especializada para el tratamiento de la información. Dicho software tiene un costo de adquisición de 126.984,13 US\$ (Mercadolibre.com, 2020) y el costo de seteo es de 100 US\$.

4.4 Normas vigentes exigidas

En cuanto a la normativa técnica exigible a los equipos de generación distribuida de tecnología solar fotovoltaica, la reglamentación de la ley 27.424 establece las certificaciones a cumplimentar, tanto para los paneles como para los inversores de conexión a red. Para los paneles, se requiere la certificación de la norma IEC 61730-1/2 (norma de construcción y seguridad). Luego, deberán contar con las

siguientes certificaciones de clasificación de diseño y aprobación de tipo de módulos:

Módulos de tipo Silicio Cristalino:

- IRAM 210013-17 (exceptuando el ensayo de Torsión IRAM 210013-5)
- IEC 61215-1/2:2016
- IEC 61215:2005

Por su parte, los inversores de conexión a red deberán estar certificados bajo la norma IRAM 21001321 (requisitos generales de los inversores) o, en su defecto, contar con certificación de las normas IEC62109-2 (seguridad de inversores), IEC 62116 o VDE0126-1-1 (Protección anti-isla) y cumplir con alguno de los códigos de red internacionales contenidos en las normas VDE-AR-N 4105 o RD1699 (Mar del Plata entre todos, 2019).

4.5 Recursos humanos

Se plantea en esta sección el organigrama de la empresa (Robbins y Coulter, 2005), ilustrado en la Imagen 9.

El presidente de la empresa se encarga de relacionarse con las partes interesadas al parque solar y de las relaciones exteriores a la empresa, y atender sus peticiones, implementa sistemas de gestión, tiene a cargo a los dos Ingenieros Eléctricos del parque que cumplen el rol de supervisores, toma decisiones en base a la información que le pueden suministrar los supervisores. También se encarga del correcto funcionamiento del parque, de la supervisión del cumplimiento de los aspectos legales y contables, de las tareas propias de un departamento de financiación, y las funciones referidas al área de Recursos Humanos. El sueldo del mismo es de 1.400 US\$/mes.

El Supervisor General debe ser un ingeniero eléctrico debido a que se requiere poseer un conocimiento técnico amplio para regular todas las controversias y realizar los planes de contingencia que sean necesarios a lo largo de todo el proceso. Se encarga del correcto funcionamiento del parque y de monitorear el sistema de control del mismo, es el responsable del mantenimiento y de fallas. Es el encargado de dirigir a los colaboradores de mantenimiento, definir sus horarios de trabajo, velar por su seguridad y atender las necesidades competentes con sus tareas, de controlar el stock de productos necesarios, evaluar la compra de nuevos productos y herramientas necesarias. Debe garantizar que las normativas exigidas y los aspectos legales se cumplan. Es directamente responsable de implementar los sistemas de gestión. Habrá dos personas que ocupen este puesto en turnos de 8 horas, así se garantiza la presencia de un ingeniero durante las horas en que haya radiación solar directa. Tras

promediar distintos valores de sueldos de empleos con responsabilidades similares, se estimó el sueldo neto de cada uno en 1232 US\$/mes (Glassdoor, 2020).

Los técnicos electricistas son los encargados del mantenimiento de los paneles solares. En caso de ser necesario, son los encargados de hacer las mediciones correspondientes, e informarlas al supervisor general mediante un documento escrito. Tienen a su cargo, realizar la inspección visual de las instalaciones, detectar la presencia de óxido y corrosión de las estructuras metálicas, de las fijaciones y de los pilotes. Deben limpiar todos los paneles solares una vez al mes para garantizar una alta eficiencia de producción en los mismos. Por lo tanto, considerando que se cuentan con 132.576 paneles, se estima que, entre supervisión, tiempo que se demora en llegar a los mismos y lavado, se tarda un minuto por panel lo que equivale a 2.210 horas de trabajo. Si la jornada diaria es de 8 horas y 24 días al mes en total son 192 horas mensuales. Es decir, se requieren 12 técnicos eléctricos, repartidos en dos turnos de 8 horas para tareas de mantenimiento y uno extra para reemplazar al supervisor general en el horario nocturno y resolver posibles contingencias en cuanto factor eléctrico y, de ser necesario, dar aviso a los supervisores generales, en caso que el problema lo exceda. Se hizo un promedio de sueldos de técnicos con tareas similares a las propuestas y se estima un salario neto mensual de 647 US\$/mes (Glassdoor, 2020).

El personal de maestranza es el encargado de la limpieza de las instalaciones y de colaborar con tareas auxiliares necesarias, como así también de cortar el pasto en el parque con un vehículo motorizado por lo que necesita de licencia para hacerlo. Dicho vehículo tiene una capacidad de 9.000m²/hora por lo que, al contar con un terreno de 80 ha, esta tarea llevaría 89 horas netas, sin contar recargas de combustible. Luego, las instalaciones construidas son pequeñas por lo que se necesita sólo una persona que trabaja medio turno, es decir 96 horas/mes. Se consultó al Sindicato de Obreros de Maestranza de la República Argentina (SOMRA) y el valor del sueldo, con todas las consideraciones pertinentes a las tareas a realizar, es de 267,25 US\$ por mes.

El personal de seguridad es el encargado de evitar vandalismos en el área del parque, de permitir el ingreso al terreno sólo a las personas autorizadas, de vigilar mediante un sistema de cámaras de seguridad y haciendo rondas en vehículo motorizado. En caso de que haya un problema, es el responsable de actuar en consecuencia y/o dar aviso a la policía en caso de ser necesario. Es necesario que todo el tiempo haya una persona que ocupe este puesto, por lo que se necesitan 3 personas para completar los 3 turnos de 8 horas. Se consultó a la Unión de Personal

de Seguridad de la República Argentina (UPSRA) y el sueldo correspondiente es de 575,23 US\$/mes.



Imagen 9: Organigrama Propuesto

Fuente: Elaboración Propia

4.6 Localización de la planta

Se relevaron distintos terrenos presupuestados, estén cerca de los tendidos eléctricos del S.A.D.I., señalados en el apartado Anexo VI (Imagen 7) con líneas azules, y que no se inundan para evitar desperfectos eléctricos. Se tomaron en cuenta 5 opciones brindadas por la inmobiliaria “Robles, división campos” tal como se lo indica en la Tabla 10.

Opción	Hectáreas	Valor [US\$]	Valor/Hectárea [US\$/ht]	¿Está en PGP?	Construcción	Molino	Distancia a MDP [Km]
1	59	600.000	10.169	si	no	no	42
2	80	400.000	5.000	si	si	si	42
3	44	350.000	7.955	si	no	no	11
4	20	360.000	18.000	si	si	si	22
5	30	200.000	6.667	si	no	no	30

Tabla 10: Características de terrenos considerados

Fuente: Inmobiliaria Robles, División Campos

La opción más viable es la segunda, la cual tiene casi el doble de hectáreas que la opción 3 por sólo 50.000 US\$ más. Su precio es menor debido a que no es tierra apta para cultivo, lo cual hizo que fuera considerado. Se analizaron distintas fotos infrarrojas aéreas de la totalidad del terreno, capturadas en distintas estaciones del año y dan como resultado presencia de acumulaciones de agua situadas en diferentes zonas, pero no llegan a afectar de forma relevante. Respecto al espacio requerido, se presta a la colocación de todos los paneles, inversores e infraestructura planificada.

4.7 Descripción de las instalaciones

Acorde al terreno se dimensionan y ubican las infraestructuras necesarias, detalladas en el Anexo V. El costo total de las edificaciones es de 17396 US\$ según se detalla la Tabla 11.

Descripción de la estructura	Medida [m ²]	Costo total [US\$]
Garita	6	761,90
2 Vestuarios (dos duchas, 2 inhodoros)	26	6.857,14
Sala de control	18	1.396,83
Taller de mantenimiento	15	1.142,86
Deposito	40	4.444,44
Elementos de limpieza	2	253,97
Sala directorio	3	761,90
Baño	2,25	1.777,78
Costo total [US\$]		17.396,83
Superficie total construida [m²]		112,25

Tabla 11: Descripción de costos de infraestructura

Fuente: Elaboración propia

Se establece un cercado perimetral, el cual consiste en un alambrado tejido con pilotes de cemento y alambre de púa en el borde superior. Sirve para dividir y también como medida preventiva antivandálica y para limitar el ingreso a animales que pueda haber en campos vecinos. El mismo será de alambrado tejido de 1,8 m de altura, un pilote de hormigón cada tres metros y tres filas de alambre de púa. El costo total del mismo es de 31.183 US\$ de materiales y un 50% del valor en mano de obra, llegando a 46.774 US\$ (Contacto personal con profesional en *Metalúrgica AW*) como se muestra en la tabla 12.

	Cantidad	Valor por unidad	Costo total [US\$]
Alambrado tejido	3.825 m	4,01 [US\$/m]	15.338
Pilotes	1.275 pilotes	10,79[US\$/uni]	13.757
Alambre de púa	11.475 m	0,182 [US\$/m]	2.088
Total [US\$]			31.183

Tabla 12: Descripción de costos de cercado perimetral

Fuente: Elaboración propia

Para concluir esta sección, se selecciona un vehículo de transporte, cortadora de césped y técnicos de mantenimiento, como se detalla en el anexo V, y se considera necesario un tanque de combustible de almacenamiento para el uso de la cortadora de césped y el uso de vehículos dentro del parque. Para estos fines se cree que 10.000l es el volumen correcto. El presupuesto para tal tanque es de 2.286 US\$ con traslado e instalación incluidos (Metalúrgica San Marcos, 2020).

4.8 Estudio económico

4.8.1 Inversión en capital fijo

4.8.1.1 Componentes directos

- Gastos de estudio e investigaciones previas del proyecto: Se consideró el sueldo promedio de dos ingenieros industriales juniors que trabajen por 6 meses. Tras investigar y consultar con personas que están en dicha situación, se concluyó que este gasto representa 10.203 US\$ (Glassdoor, 2020).
- Gastos de la compra por los equipamientos principales: Los equipos que se tienen en cuenta son todos los necesarios para poder hacer funcionar la instalación industrial los cuales alcanzan un valor de 17.653.172 US\$. Este valor equivale a la sumatoria del costo de los paneles, inversores, cortadora de césped, tanque de combustible y cuatriciclos.
- Costos en la instalación de los equipos (I_e): Se considera el costo de 10 técnicos trabajando durante dos meses para la instalación de los paneles y el costo de las fijaciones incluidas las estructuras metálicas y los pilotes de hormigón. Por lo tanto, la instalación de los equipos tiene un costo de 13.865.284US\$ (Glassdoor, 2020).
- Gastos por compra e instalación de cañerías: Para el presente proyecto, este gasto no es representativo, ya que en las instalaciones no se necesita más cañerías que las destinadas a los servicios para el personal, incluidas en la obra civil.
- Gastos en instrumentación y control: Este rubro incluye la adquisición y seteo del sistema de monitoreo y control SCADA, por un valor de 127.084 US\$ (Sistecap, 2020).
- Gastos de instalación eléctrica: Se calcula como el 5% del costo de los equipos debido a que es la estimación utilizada en plantas más chicas, el costo real es más acotado, pero excede nuestros conocimientos el detallarse, por lo que se decidió por el valor máximo, el cual representa 882.658US\$ (contacto personal con profesional de instalación eléctrica)
- Gastos por la construcción edilicia: Se calculó que se necesitan construir 112,25 m² con un costo de 154,98 US\$/m², adicionando el alambrado y los pilotes, se alcanza a un costo total de 48.580 US\$ (Contacto personal con arquitecto).
- Gastos en servicios auxiliares: El parque solar se autoabastece de energía eléctrica. El resto de los servicios tales como agua, gas y vapor, no son necesarios para el proceso.

Factibilidad Planta de Energía Fotovoltaica

- Gastos de puesta en marcha: Se consideró que este proceso puede llegar a demorar hasta un mes por lo que se considera el equivalente en sueldos, y un extra de hasta 5000 U\$S para cubrir gastos de traslado de equipamiento, o dispositivos que no funcionen correctamente. Este valor asciende a 16.000 US\$.
- Intereses durante la construcción: Se considera nulo debido a que el banco BICE donde se pedirá el préstamo, tiene dos años de gracia, tiempo mayor a la construcción y puesta en marcha del parque.

Para calcular la inversión directa, se suman todos los costos mencionados y resulta en un valor de 32.602.981US\$

4.8.1.2 Componentes indirectos

Se desarrollan por el método de los factores considerándose:

- Ingeniería y construcción: Es una instalación de ingeniería compleja, se otorga el factor de 0,425
- Factor de Tamaño: Las características de la planta son compatibles con una unidad comercial grande debido a que es un parque solar tradicional, ya hay mucha información sobre ellos, y en este caso, el propósito de la tesis sería hacer el estudio previo, por lo que se atribuye el correspondiente factor equivalente a 0,025
- Contingencias: Se consideran variaciones imprevistas con 0,3 siendo este los valores más altos para poder resguardarse en caso de no haberse contemplado algún valor

Luego la sumatoria de los factores indirectos es de 0,75 por lo tanto, se aplica la ecuación (6), se obtiene una inversión indirecta de 27.796.668 US\$. Finalmente, adicionando una inversión directa de 37.062.225 US\$ se obtiene la inversión fija equivalente a 60.399.650 US\$

Siendo que el terreno tiene un precio de 400.000 US\$ destacado en la sección 3.7, Tabla 10. A continuación, se calcula la inversión fija total en la ecuación (18):

$$\text{Inversión fija total} = IF + \text{terreno} = 60.399.650 \text{ US\$} + 400.000 \text{ US\$} = 60.799.650 \text{ US\$} \quad (18)$$

4.8.2 Inversión de trabajo (*I_w*)

El costo de la inversión de trabajo se considera para este proyecto como el tiempo en el que tarden en pagar la energía vendida. Considerando la inversión de caja, créditos a clientes y a proveedores los cuales, para resguardarnos, se considerarán en ambos casos de tres meses.

Se procede al cálculo del I_w , estimado como el costo de producción sin incluir la depreciación de tres meses de trabajo (CAMESA, 2021). Aplicando la ecuación 5, sección 3.8.1.2., se obtiene una inversión de trabajo de 5.268.425 US\$.

4.8.3 Inversión Total

La inversión total resulta de la sumatoria entre la inversión fija total y la inversión de trabajo. A continuación, se expresa el resultado en la ecuación (11):

$$IT=IFT + I_w = 60.799.650 \text{ US\$} + 5.268.425 \text{ US\$} = 66.068.075 \text{ US\$} \quad (11)$$

4.8.4 Ingreso anual por ventas

Este valor se obtiene tras multiplicar el precio del bien o servicio por la cantidad que se vende anualmente como se muestra en la ecuación (12):

$$\text{Ingreso por ventas anual} = \text{Precio de venta [US\$/MW*h]} * \text{Energía anual generada [MWh]} \quad (12)$$

La energía que el parque genera es de 97.869 MWh, luego, si bien el parque seguirá operando siempre al 100% de capacidad, el rendimiento de los paneles decae un 0,8% anual llegando a producir una potencia de en el último año del ciclo de vida del proyecto de 78.295 MWh. El precio de la energía producida es de 60 US\$/MW*h, extraído por contacto personal con CAMMESA y el Programa RenovAr, este precio es el más favorable en el mercado fotovoltaico argentino por lo tanto se lo tomó para evaluar la rentabilidad del proyecto. En caso de que el proyecto no sea rentable con este precio de venta, tampoco lo será con precios menores a este. (Ministerio de Energía y Minería, Presidencia de la Nación, 2021)

Año	Ingreso por ventas [US\$]
0	0
1	5.872.104
2	5.823.170
3	5.774.236
4	5.725.301
5	5.676.367
6	5.627.433
7	5.578.499
8	5.529.565
9	5.480.630
10	5.431.696
11	5.382.762
12	5.333.828
13	5.284.894
14	5.235.959
15	5.187.025
16	5.138.091
17	5.089.157
18	5.040.223
19	4.991.288
20	4.942.354
21	4.893.420
22	4.844.486
23	4.795.552
24	4.746.617
25	4.697.683
Total	132.122.340

Tabla 13: Ingreso por ventas en cada año del ciclo de vida del proyecto

Fuente: Elaboración Propia

4.8.5 Costo variable total anual

En esta sección cabe aclarar que durante toda la vida útil del proyecto se trabajará al 100% de capacidad por lo que en este caso, los costos variables permanecen constantes año a año. Luego, la clasificación de los mismos es:

- Costo de supervisión: En este caso, los dos ingenieros eléctricos que ocupan el puesto de “supervisor general” en el organigrama son los supervisores por lo que este valor corresponde al salario de ellos calculado en: 42.864,9 US\$/año (Glassdoor, 2020).

- Costo de mantenimiento: Es el correspondiente al sueldo bruto de los 13 técnicos eléctricos, donde su valor individual corresponde a 673 US\$/año (Glassdoor, 2020) y 7.000 US\$/año, estimados para realizar reparaciones y adquirir las herramientas necesarias. Se suman ambos valores y se llega a 159.232 US\$/año
- Costo de suministro: Para satisfacer las necesidades de productos de limpieza, guantes se estima un valor de 3.000 US\$/año.

Concluyendo el costo variable total del primer año posee un valor de 205.097 US\$/año, y su estructura de costos se representa en la imagen 10.

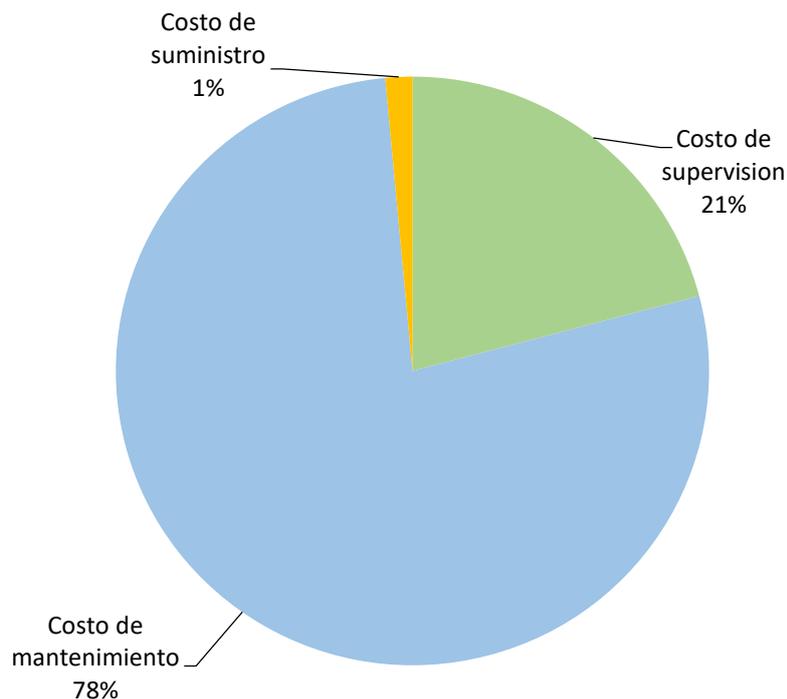


Imagen 10: Estructura de costos variables

Fuente: Elaboración Propia

4.8.6 Costo fijo total anual

- Costo de depreciación: En este caso la depreciación es física ya que radica en el desgaste debido al uso de cada día de operación disminuye gradualmente la habilidad física de un bien para llevar a cabo su función. El método que se usará para calcular la depreciación con fines impositivos será el legal para la República Argentina que es el método de “suma de dígitos anuales”, y para la depreciación interna que se selecciona es la misma debido a que la caída de rendimiento de los paneles solares es del 20% a lo largo de su vida útil de 25 años, por lo que es muy baja para que se justifique la selección de otro sistema. Respecto al valor residual (L), se considera igual a cero debido a que

el rendimiento de los paneles solares luego de los 25 años cae abruptamente, y al ser una tecnología nueva, no se encuentra información sobre su reciclaje o recuperación del costo inicial. Para el método de depreciación de línea recta se aplica la ecuación 13.

$$\text{Costo de depreciación} = \frac{\text{Suma de dígitos anuales} \times (\text{Valor original} - L)}{\text{Dígitos de suma de años}} \times \text{Años de vida restantes} \quad (13)$$

- Costo de impuestos: Se realizó este cálculo mediante el uso de factores, en el cual se seleccionó el factor más alto, detallado en la sección 2.8.1.4, debido a que Argentina es uno de los países con mayor presión impositiva en el mundo, siendo de 905.994 US\$/año.
- Costo de seguros: Se realizó este cálculo mediante el uso de factores. Se consideró el valor medio ya que si bien los paneles suelen sufrir actos vandálicos lo cual aumenta el valor de la póliza de seguro, en la empresa hay pocas personas para asegurar por lo que se reduce la misma. Finalmente, este valor asciende a 603.996 US\$/año.
- Costo de financiación: En este proyecto no se presentan costos de financiación. Se analiza con un 100% de capital propio
- Costos de ventas y distribución: Este costo es nulo debido a que Cammesa es el ente que regula la producción e inyección de energía a la red y, habiendo un déficit de generación de energía renovable, se prioriza su producción e inyección a la red.
- Costo de dirección y administración: En este tipo de costo se consideró el sueldo del personal de maestranza, del personal de seguridad, y el sueldo del presidente los cuales complementan un costo de 40.715 US\$/año (Glassdoor, 2020). Además, se debe considerar el costo de teléfono, internet y de insumo de oficinas que ascienden a 337 US\$/año por lo tanto este valor asciende a 41.053 US\$/año.

Se resume en la Tabla 13 los costos fijos y la depreciación mediante un seguimiento anual.

Año	Costo de Depreciación [US\$/año]	Costo fijo total [US\$/año]
1	4.646.127	6.197.171
2	4.460.282	6.011.326
3	4.274.437	5.825.481
4	4.088.592	5.639.636
5	3.902.747	5.453.791
6	3.716.902	5.267.946
7	3.531.057	5.082.101
8	3.345.211	4.896.256
9	3.159.366	4.710.411
10	2.973.521	4.524.566
11	2.787.676	4.338.721
12	2.601.831	4.152.875
13	2.415.986	3.967.030
14	2.230.141	3.781.185
15	2.044.296	3.595.340
16	1.858.451	3.409.495
17	1.672.606	3.223.650
18	1.486.761	3.037.805
19	1.300.916	2.851.960
20	1.115.070	2.666.115
21	929.225	2.480.270
22	743.380	2.294.425
23	557.535	2.108.580
24	371.690	1.922.735
25	185.845	1.736.889

Tabla 14: Estructura de costos fijos

Fuentes: Elaboración propia

4.8.7 Costo total

El resultado de sumar todos los costos fijos y los costos variables A continuación se mostrará en la tabla 14 y el gráfico 11 los costos fijos, variables y el costo total del proyecto.

Factibilidad Planta de Energía Fotovoltaica

Año	Costo fijo total [US\$/año]	Costo variable [US\$/año]	Costo total [US\$/año]
1	6.197.171	205.098	6.402.269
2	6.011.326	205.098	6.216.424
3	5.825.481	205.098	6.030.579
4	5.639.636	205.098	5.844.734
5	5.453.791	205.098	5.658.889
6	5.267.946	205.098	5.473.043
7	5.082.101	205.098	5.287.198
8	4.896.256	205.098	5.101.353
9	4.710.411	205.098	4.915.508
10	4.524.566	205.098	4.729.663
11	4.338.721	205.098	4.543.818
12	4.152.875	205.098	4.357.973
13	3.967.030	205.098	4.172.128
14	3.781.185	205.098	3.986.283
15	3.595.340	205.098	3.800.438
16	3.409.495	205.098	3.614.593
17	3.223.650	205.098	3.428.748
18	3.037.805	205.098	3.242.903
19	2.851.960	205.098	3.057.057
20	2.666.115	205.098	2.871.212
21	2.480.270	205.098	2.685.367
22	2.294.425	205.098	2.499.522
23	2.108.580	205.098	2.313.677
24	1.922.735	205.098	2.127.832
25	1.736.889	205.098	1.941.987

Tabla 15: Estructura de costos totales

Fuentes: Elaboración propia

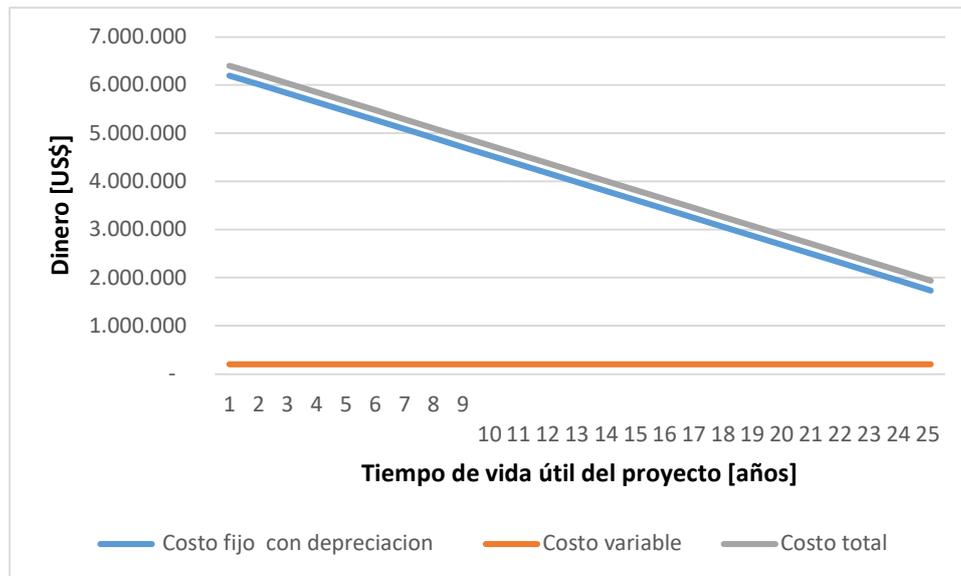


Imagen 11: Gráfico de costos

Fuente: Elaboración Propia

Se destaca, del gráfico anterior, que el costo variable es constante debido a que los componentes del mismo se mantienen constantes gracias a la automatización completa del parque y a la naturaleza del mismo. Por el contrario, el costo fijo varía debido al sistema de depreciación llamado “suma de dígitos anuales” que se emplea en la producción de energía fotovoltaica y que, al ser un método acelerado, es más alto al principio de la vida útil del proyecto que al final, por lo tanto, el costo fijo desciende con el tiempo.

4.8.8. Estimación de beneficio

Se destaca que, por la pérdida de rendimiento de los paneles a lo largo del tiempo, la producción será menor año a año por lo que los beneficios también serán menores.

4.9 Rentabilidad

4.9.1 Flujo de Caja (FC)

Aplicando la ecuación 7 se obtiene el flujo de caja (FC), el cual se calcula para cada año del proyecto, mediante el cuadro de flujos del proyecto, presentado en la Tablas 16, 17 y 18. La tasa impositiva de ingresos brutos es de 0%, este valor corresponde a la generación de energía a partir de fuentes renovables (Decreto 1.293/18 (P.B.A.), 2020). La tasa de impuestos aplicada al BNAI corresponde al 35% que es el Impuesto a las Ganancias (Contacto personal con la Contadora Cristina Nor).

Factibilidad Planta de Energía Fotovoltaica

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos											
Ingreso anual por ventas	-	5.872.104	5.823.170	5.774.236	5.725.301	5.676.367	5.627.433	5.578.499	5.529.565	5.480.630	5.431.696
Tasa de Ingreso brutos (0)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total a	-	5.872.104	5.823.170	5.774.236	5.725.301	5.676.367	5.627.433	5.578.499	5.529.565	5.480.630	5.431.696
Egresos											
Costo de producción	-	6.402.269	6.216.424	6.030.579	5.844.734	5.658.889	5.473.043	5.287.198	5.101.353	4.915.508	4.729.663
Total b	-	6.402.269	6.216.424	6.030.579	5.844.734	5.658.889	5.473.043	5.287.198	5.101.353	4.915.508	4.729.663
a-b (BNAI)	-	-(530.165)	-(393.254)	-(256.343)	-(119.432)	17.479	154.390	291.300	428.211	565.122	702.033
Impuestos (0,35)	-	-	-	-	-	6.118	54.036	101.955	149.874	197.793	245.712
Beneficio neto	-	-(530.165)	-(393.254)	-(256.343)	-(119.432)	11.361	100.353	189.345	278.337	367.329	456.321
Depreciación	-	4.646.127	4.460.282	4.274.437	4.088.592	3.902.747	3.716.902	3.531.057	3.345.211	3.159.366	2.973.521
Inversión fija total	-(60.799.651)										
Capital de trabajo	-(5.268.425)										
Flujo de caja	-(66.068.076)	4.115.962	4.067.028	4.018.094	3.969.160	3.914.108	3.817.255	3.720.402	3.623.549	3.526.696	3.429.843
Flujo de caja acumulado	-(66.068.076)	-(61.952.114)	-(57.885.086)	-(53.866.992)	-(49.897.833)	-(45.983.725)	-(42.166.470)	-(38.446.068)	-(34.822.519)	-(31.295.824)	-(27.865.981)

Tabla 16: Cuadro de Flujos de Fondos del Proyecto (Años 0 al 10)

Fuente: Elaboración Propia

Factibilidad Planta de Energía Fotovoltaica

	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Ingresos										
Ingreso anual por ventas	5.382.762	5.333.828	5.284.894	5.235.959	5.187.025	5.138.091	5.089.157	5.040.223	4.991.288	4.942.354
Tasa de Ingreso brutos (0)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total a	5.382.762	5.333.828	5.284.894	5.235.959	5.187.025	5.138.091	5.089.157	5.040.223	4.991.288	4.942.354
Egresos										
Costo de producción	4.543.818	4.357.973	4.172.128	3.986.283	3.800.438	3.614.593	3.428.748	3.242.903	3.057.057	2.871.212
Total b	4.543.818	4.357.973	4.172.128	3.986.283	3.800.438	3.614.593	3.428.748	3.242.903	3.057.057	2.871.212
a-b (BNAI)	838.944	975.855	1.112.766	1.249.677	1.386.587	1.523.498	1.660.409	1.797.320	1.934.231	2.071.142
Impuestos (0,35)	293.630	341.549	389.468	437.387	485.306	533.224	581.143	629.062	676.981	724.900
Beneficio neto	545.314	634.306	723.298	812.290	901.282	990.274	1.079.266	1.168.258	1.257.250	1.346.242
Depreciación	2.787.676	2.601.831	2.415.986	2.230.141	2.044.296	1.858.451	1.672.606	1.486.761	1.300.916	1.115.070
Inversión fija total										
Capital de trabajo										
Flujo de caja	3.332.990	3.236.137	3.139.284	3.042.431	2.945.578	2.848.725	2.751.872	2.655.019	2.558.166	2.461.313
Flujo de caja acumulado	-(24.532.991)	-(21.296.854)	-(18.157.571)	-(15.115.140)	-(12.169.562)	-(9.320.838)	-(6.568.966)	-(3.913.947)	-(1.355.782)	1.105.531

Tabla 17: Cuadro de Flujos de Fondos del Proyecto (Años 11 al 20)

Fuente: Elaboración Propia

Factibilidad Planta de Energía Fotovoltaica

	21	22	23	24	25
Ingresos					
Ingreso anual por ventas	4.893.420	4.844.486	4.795.552	4.746.617	4.697.683
Tasa de Ingreso brutos (0)	-	-	-	-	-
Total a	4.893.420	4.844.486	4.795.552	4.746.617	4.697.683
Egresos					
Costo de producción	2.685.367	2.499.522	2.313.677	2.127.832	1.941.987
Total b	2.685.367	2.499.522	2.313.677	2.127.832	1.941.987
a-b (BNAI)	2.208.053	2.344.964	2.481.874	2.618.785	2.755.696
Impuestos (0,35)	772.818	820.737	868.656	916.575	964.494
Beneficio neto	1.435.234	1.524.226	1.613.218	1.702.210	1.791.203
Depreciación	929.225	743.380	557.535	371.690	185.845
Inversión fija total					
Capital de trabajo					
Flujo de caja	2.364.460	2.267.607	2.170.754	2.073.901	2.735.186
Flujo de caja acumulado	3.469.991	5.737.597	7.908.351	9.982.252	12.717.437

Tabla 18: Cuadro de Flujos de Fondos del Proyecto (Años 21 al 25)

Fuente: Elaboración Propia

4.9.2 Valor presente (VP)

Se determina mediante la función de Excel VNA (Valor Neto actual) el Valor Presente del año 1 al 25, del cual, a este último, además se le suma el lw y el terreno, y al resultado que arroja la función VNA se le resta la inversión total. Luego la solución de dicho cálculo es - \$ 48.869.787 US\$, al ser menor que cero, no se recomienda la realización del proyecto. Para aplicar la función se considera la Tasa de Retorno Mínima Aceptable (TRMA) que se fija sumando la Tasa de interés interbancaria (TII), de un 16%, (El Economista, 2020) y una Prima de riesgo, de un 5.27% (investing.com, 2020).

Bajo las condiciones dadas, para que el valor presente de mayor a cero, el precio de venta del MWh debe ser mayor a 195,99857 US\$.

4.9.3 Tasa interna de retorno (TIR)

Para determinar si el proyecto es o no rentable se analiza la TIR con una tasa de comparación que en este proyecto es la Tasa de Retorno Mínima Aceptable (TRMA). Se usa dicho valor, porque ya se demostró en el cálculo del VP que el proyecto no es rentable. Por lo tanto, en caso de que el proyecto se realice, se debe hacer con capital propio debido a que sería imposible acceder a una financiación externa bajo estas condiciones.

En caso que la TIR sea mayor o igual a la tasa de comparación se recomienda continuar con la evaluación del proyecto, en caso contrario se recomienda su rechazo, modificación o postergación.

Se hace uso de la función TIR de Excel que corresponde a la resolución de la ecuación (9) y se obtiene que la tasa interna de retorno es de 1,59%, luego si se la compara con la TRMA, se observa que la primera es menor por lo que se concluye que el proyecto no es rentable.

4.9.4 Punto de equilibrio

En pos de determinar el mínimo porcentaje de utilización de la capacidad instalada necesaria para que no se produzcan pérdidas, se procede a calcular el punto de equilibrio del proyecto, en donde los ingresos por venta igualan a los costos totales. Luego se despeja la cantidad de energía a producir para dicha igualdad como se muestra en la ecuación 14.

Punto de Equilibrio = Costo fijo total / Precio de venta unitario - costo variable unitario (14)

Factibilidad Planta de Energía Fotovoltaica

El punto de equilibrio obtenido fue de 107.024 MWh anuales. Este valor equivale a un 9,35% más de lo que se produce el primer año (con la planta operando al 100% de capacidad tal como se propuso que sea durante todo el proyecto), siendo este el año de mayor producción y el de mayores costos. Luego si se repite el análisis para el último año del proyecto donde, por el contrario, tanto los costos como la producción de energía son los mínimos de todo el proyecto, se obtiene un punto de equilibrio de 30.270 MWh lo que equivale al 38,7% de la producción de dicho año. Esto sucede porque disminuye más el costo total debido al método de depreciación que lo que disminuye el ingreso por ventas causado por la pérdida de rendimiento propia de los paneles. Por lo explicado anteriormente es que el BNAI mostrado en las tablas 16,17 y 18 da negativo hasta el cuarto año y luego de este da positivo.

5. CONCLUSIÓN

En este trabajo se propone el estudio de la factibilidad económica para la instalación de un parque de energía solar a partir de paneles fotovoltaicos situado en el partido General Pueyrredón cuya capacidad pueda abastecer el 5% del consumo de la ciudad de Mar del Plata, equivalente a 97.869 MWh al año. En el primer año, se genera dicha cifra, sin embargo, por la naturaleza del funcionamiento de los paneles solares, el rendimiento de los mismos disminuye linealmente hasta llegar al año 25, último año del ciclo de vida del proyecto, con una capacidad de 78.294 MWh/año. Se consideró que en todo momento el parque operará al 100% de capacidad.

Respecto a la localización de la planta, se encuentra a 42 km del Partido General Pueyrredón, un terreno de 80 hectáreas valuado en 400.000 US\$. Luego, se considera que el capital de trabajo es 5.268.425 US\$ y la inversión fija total es de 60.799.651 US\$. El costo total de operación del proyecto se estima en 6.402.269 US\$/año para el primer año, y desciende linealmente hasta llegar al vigésimo quinto año con un valor de 1.941.987US\$/año

El precio de venta se ha fijado en 60 US\$/MWh, estimando el ambiente económico más favorable. El valor presente del proyecto es de -\$48.869.787 US\$, con una TIR del 1,59%. La TRMA corresponde a 21,27%, ya que se afronta la inversión con capital propio. En consecuencia, para esa tasa de corte y el mencionado valor presente, el proyecto resulta que no es rentable.

Realizando un análisis de los motivos que llevan a la conclusión de que el proyecto no sea rentable, observamos una cuestión técnica, acerca de los módulos solares poseen un elevado porcentaje de pérdidas, con un máximo de eficiencia de un 27%, generando que se deban adquirir grandes cantidades de los mismos para poder cubrir la demanda.

6. BIBLIOGRAFIA

- Alibaba (2020). Presupuestos. Extraídos en junio de 2020, de
 - <https://spanish.alibaba.com/product-detail/jinko-solar-bifacial-transparent-solar-panels-415w-solar-panel-price-420w-425w-430w-435w-china-solar-panel-double-glass-1600069489221.html?spm=a2700.galleryofferlist.0.0.707a6f4bilHZf1&s=p>
 - <https://spanish.alibaba.com/product-detail/double-glass-perc-mono-crystalline-solar-cells-380w-390w-400watt-bifacial-solar-panel-1600073928322.html?spm=a2700.galleryofferlist.0.0.707a6f4bilHZf1&s=p>
 - <https://spanish.alibaba.com/product-detail/ja-solar-double-glass-bifacial-perc-mono-solar-panel-380w-385w-390w-400w-72-cells-solar-panels-62393659849.html?spm=a2700.galleryofferlist.0.0.707a6f4bilHZf1&s=p>
 - <https://www.alibaba.com/product-detail/Bluesun-painel-solar-380w-monocristalino-photovoltaic-62563293625.html?spm=a2700.7735675.normalList.104.551b76b8lhXcK2&s=p>
 - <https://spanish.alibaba.com/product-detail/greensun-solar-all-black-solar-panels-280w-300w-320w-340w-price-sun-energy-power-solar-panel-340w-for-sale-60835914984.html?spm=a2700.galleryofferlist.0.0.392459f6X8FX9C>
 - <https://spanish.alibaba.com/product-detail/donghui-poly-solar-panel-340w-330watt-solar-72-cell-panel-340w-62345004090.html?spm=a2700.galleryofferlist.0.0.71bd73c2FRIOem>
 - <https://www.alibaba.com/product-detail/300W-320W-330W-340W-350W-polycrystalline-400204776.html?spm=a2700.galleryofferlist.0.0.7b461e562UKmYN>
- Apuntes del curso sobre energía solar dictado por los Ing. Ricardo Zucal e Isaías Vidal a través del proyecto de extensión de la F.I. U.N.M.D.P.

- Apuntes maestría sobre Energías renovables dictado por la FUNIBER Fundación Universitaria Iberoamericana
- Auto Solar (2020) Presupuesto Inversor. Extraído en Junio de 2020, de <https://autosolar.es/inversores-de-red-trifasicos/inversor-red-fronius-eco-270-3-27kw>
- Baca Urbina, G. (2001) “Evaluación de proyectos”, Ed. McGraw Hill.
- Baires Broker (2020) Presupuesto Seguro Contenedor. Extraído en Julio de 2020, de <https://www.bairesbroker.com.ar/>
- Banco Nación (2020) Personas. Extraído en Agosto de 2020, de <https://www.bna.com.ar/Personas>
- Black, R. BBC News (2013). *A brief history of climate change*. Extraído en Mayo de 2020, de <https://www.bbc.co.uk/news/mobile/science-environment-15874560>
- Center of Clear Air Policy (2014). Contribuciones Previstas Determinadas a Nivel Nacional (INDC). Extraído en Mayo de 2020, de <http://ccap.org/assets/Intended-Nationally-Determined-Contributions-Fact-Sheet-Folder-ESP.pdf>.
- Coll Morales, F. (2021). “Capacidad de pago”. Extraído en Febrero de 2021, de [Capacidad de pago - Qué es, definición y concepto | 2021 | Economipedia](#)
- CULCyT (2016) Alimentación de la carga eléctrica de una vivienda utilizando energías renovables.
- El Economista (2020). “La tasa de interés interbancaria se hunde al 16% anual”. Extraído en Octubre de 2020, de [La tasa de interés interbancaria se hunde al 16% anual - eleconomistaamerica.com.ar](#)
- El Portal de Mar del Plata (2020). Información General. Extraído en Mayo de 2020, de <https://www.mardelplata.com/geografia.html#:~:text=El%20Partido%20de%20General%20Pueyrredon,33%20minutos%20de%20longitud%20oeste>
- ENDESA ENERGÍA S.A. (2020). “Cómo se genera la energía eléctrica”. Extraído en Mayo de 2020, de <https://www.endesa.com/es/conoce-la-energia/energia-y-mas/como-se-genera-electricidad>
- Energía Estratégica (2020). “Argentina inició el año 2020 cubriendo el 8% de la energía eléctrica demandada con energías renovables”. Extraído en Mayo de 2020, de <https://www.energiaestrategica.com/argentina-inicio-el->

[ano-2020-cubriendo-el-8-de-la-energia-electrica-demandada-con-energias-renovables/](#)

- Energía Limpia Para Todos (2019). “HUAWEI presente en el desarrollo del Parque Solar Cauchari en Jujuy”. Extraído en Mayo de 2020, de <https://energialimpiaparatodos.com/2019/11/08/huawei-presente-en-el-desarrollo-del-parque-solar-cauchari-en-jujuy/>
- ENF Solar (2020) Presupuesto Inversor. Extraído en Julio de 2020, de
 - <https://es.ensolar.com/pv/inverter-datasheet/10578>
 - <https://es.ensolar.com/pv/inverter-datasheet/11632>
 - <https://es.ensolar.com/pv/inverter-datasheet/10999>
- ENRE (2020). “Anexo L: Cálculo de la tasa Wacc”. Extraído en Noviembre de 2020, de [RTI-EDENOR - Anexo L.pdf \(enre.gov.ar\)](#)
- Fundación Aquae (2020), “Los gases de efecto invernadero”. Extraído en Mayo de 2020, de <https://www.fundacionaquae.org/los-gases-de-efecto-invernadero/>
- Gallegos, H.; Righini, R (2007) Atlas de Energía Solar de la República Argentina, Primera Edición.
- Glassdoor (2020) Sueldo Ingeniero Eléctrico. Extraído en Octubre de 2020, de:
 - https://www.glassdoor.com.ar/Sueldos/ingeniero-el%C3%A9ctrico-sueldo-SRCH_KO0,19.htm
 - https://www.glassdoor.com.ar/Sueldos/electricista-sueldo-SRCH_KO0,12.htm
 - https://www.glassdoor.com.ar/Sueldos/ingeniero-junior-sueldo-SRCH_KO0,16.htm
- Gobierno de la República Argentina (2020) “La contribución argentina al Acuerdo de París”. Extraído en Marzo de 2020, de <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/cambioclimatico/acuerdo-de-paris>.
- HUAWEY (2020) Presupuesto Inversor. Extraído en Julio de 2020, de <https://support.huawei.com/enterprise/en/doc/EDOC1100019841>
- Inarquía (2019). “Qué es la huella de Carbono y para qué sirve”. Extraído en Mayo de 2020, de <https://inarquia.es/que-es-la-huella-de-carbono-y-para-que-sirve>
- Institut Menorqui d’Estudis (2011). “Contexto Energético global y regional”. Capítulo 10. Extraído en Mayo de 2020, de

http://www.ime.cat/WebEditor/Pagines/file/10_Contexto%20energetico%20global%20y%20regional.pdf

- Jujuy Energía y Minería (JEMSE) (2019) “Proyecto Solar Fotovoltaico Distribuido de la Provincia de Jujuy Región del Ramal”. Extraído en Julio de 2020, de <http://jemse.gob.ar/>
- Malvica H.; Macías M. A. (2020) Presupuesto Aduanas.
- Mar del Plata entre todos (2016). “Manual de Indicadores”. Extraído en Marzo de 2020, de <https://www.mardelplataentretodos.org/>
- Mar del Plata entre todos (2016) “Primer y Segundo Informe de Monitoreo Ciudadano”. Extraído en Marzo de 2020, de <https://www.mardelplataentretodos.org/>
- Mercadolibre (2020) Presupuestos. Extraído en Julio de 2020, de:
 - https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-851864076-panel-solar-330w-calidad-a-entrega-gratis-en-gran-bs-as-JM?quantity=1#position=1&type=item&tracking_id=ecd25383-2fdc-43a9-9aa4-22eb8797cec1
 - https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-864461842-alambre-tejido-romboidal-25-200x10mts-cal-14-JM?matt_tool=26190581&matt_word=&qclid=Cj0KCQjwy8f6BRC7ARIsAPIXOji6CzCDJq7ioTAfz_VE0gbL_IQjrYb_FubNcx27XgTF1Pgg0hwjrR8aAnaBEALw_wcB
 - https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-862802448-alambre-tejido-romboidal-25-200x10mts-cal-14-JM#position=6&type=item&tracking_id=30f60705-2176-4368-9588-3659d51cb144
 - https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-818767565-alambre-tejido-romboidal-2-12-200x10mts-cal-14-JM#reco_item_pos=0&reco_backend=machinalis-seller-items-pdp&reco_backend_type=low_level&reco_client=vip-seller_items-above&reco_id=5aaacc5e-bbaa-471d-9e09-7a5fd85c803c
 - https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-737389690-postes-de-hormigon-para-alambrado-olimpico-JM?matt_tool=26190581&matt_word=&qclid=Cj0KCQjwy8f6BRC7ARIsAPIXOjjBVmxGycxl3zCjdvH29ozXxV7UN7RomLC6DmGal8igeLa_u8QulrQcaArtSEALw_wcB
 - <https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-859338834-postes-de-hormigon-para-alambrados-y-cercos-fabricacion->

- [JM#reco_item_pos=3&reco_backend=machinalis-v2p-pdp-boost-v2&reco_backend_type=low_level&reco_client=vip-v2p&reco_id=b335bcbf-179ce-487e-9327-f2a6472f183f](#)
- <https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-855937233-postes-de-hormigon-para-alambrados-y-cercos-fabricacion->
[JM#reco_item_pos=2&reco_backend=machinalis-v2p-pdp-boost-v2&reco_backend_type=low_level&reco_client=vip-v2p&reco_id=f203db59-32c2-44d0-b565-16c170b01e6c](#)
 - Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico del Gobierno de España (2020) “Principales elementos del Acuerdo de París”. Extraído en Marzo de 2020, de <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/el-proceso-internacional-de-lucha-contra-el-cambio-climatico/naciones-unidas/elmentos-acuerdo-paris.aspx>
 - Municipalidad de General Pueyrredón (2015). “Desarrollo Productivo”. Extraído en Mayo de 2020, de <https://www.mardelplata.gob.ar/Contenido/informaci%C3%B3n-estrat%C3%A9gica-proyecci%C3%B3n-de-poblaci%C3%B3n-por-sexo-2010-2020>
 - Naciones Unidas (2020), “Cambio climático”. Extraído en Junio de 2020, de <https://www.un.org/es/sections/issues-depth/climate-change/index.html>
 - Naciones Unidas (2015), *Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC), “*Adoption of the Paris Agreement*”. Extraído en Junio de 2020, de <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf>
 - Organización de las Naciones Unidas (2020). Cambio Climático. Extraído en Junio de 2020, de <https://www.un.org/es/sections/issues-depth/climate-change/index.html>
 - *Our World in Data* (2017), “*CO₂ and Greenhouse Gas Emissions*”. Extraído en Junio de 2020, de <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>.
 - *Our World in Data* (2019) “*Economic Impacts of 2°C*”. Extraído en Junio de 2020, de <https://ourworldindata.org/grapher/econimpact2c>
 - *Our World in Data* (2018), “*Green Climate Fund (GCF) signed pledges, 2018*”. Extraído en Junio de 2020, de <https://ourworldindata.org/grapher/green-climate-gcf-fund-pledges>

- *Our World in Data* (2019). “Outdoor air pollution”. Extraído en Junio de 2020, de <https://ourworldindata.org/outdoor-air-pollution>
- *Our World in Data* (2017). “Renewable energy”. Extraído en Junio de 2020, de <https://ourworldindata.org/renewable-energy>
- Puente (2021). Extraído en Febrero de 2021, de [Riesgo País - Argentina, Brasil, Panamá, Perú, Uruguay - Puente \(puentenet.com\)](http://puentenet.com)
- Revista Nuevas Energías (2020). “Argentina sigue siendo atractiva para inversiones en energías renovables”. Extraído en Mayo de 2020, de <http://revistanuevasenergias.com/2020/02/05/argentina-sigue-siendo-atractiva-para-inversiones-en-energias-renovables/>
- Revista *Ren21 Renewables Now* (2019). “Global overview”. Extraído en Junio de 2020, de https://www.ren21.net/gsr-2019/chapters/chapter_01/chapter_01/
- Revista Rodas 5 (2018). Fuentes de Energías Renovables. Extraído en Junio de 2020, de https://rodas5.us.es/file/a768a69f-cc90-ce79-22c6-adcc921cf5d1/2/tema3_ims_SCORM.zip/page_03.htm
- Robbins, S.P.; Coulter, M. (2005) “Administración”. Ed. Pearson Education.
- Romagnoli (2020) Presupuesto Flete.
- Rovira M., diario La Vanguardia, (2018). “De 2 °C a 1,5 °C, medio grado crucial”. Extraído en Junio de 2020, de <https://www.lavanguardia.com/vida/junior-report/20181210/453485814370/ipcc-calentamiento-global-cambio-climatico-temperatura-2-grados-15-grados.html>
- Sapag Chain, N (2001). “Evaluación de proyectos de inversión en la empresa”, Ed. Pearson Education S.A.
- Secretaría de Gobierno de Energía de la Nación Argentina (2019) “Guía del Recurso Solar”.
- Secretaría de Gobierno de Energía de la Nación Argentina (2019) “Manual de generación distribuida solar fotovoltaica”.
- Semyraz, D.J. (2006) “Preparación y evaluación de proyectos de inversión”, Ed. Osmar Buyatti.
- Serra V. (2016) “¿Se viene un cambio sustancial en la matriz energética Argentina?”. Extraído en Julio de 2020, de http://www.petrotecnica.com.ar/octubre16/Petro_SIN_Publicidad/Se_viene.pdf

- Sindicato de Obreros de Maestranza de la República Argentina (2020) Sueldo maestranza. Extraído en Octubre de 2020, de http://www.som.org.ar/escalas_2020/JULIO2020MEDIAJORNADANUEV.pdf
- Solar Miron, “Ley de energías renovables, soluciones integrales de energías renovables”. Extraído en Julio de 2020, de <http://www.solarmiron.com.ar/n.php?idn=4&n=LEY+DE+ENERGIAS+RENOVABLES&s=LEY+DE+ENERGIAS+RENOVABLES> Última visita: junio 2020.
- Star Shipping Argentina (2020) Presupuesto Naviera.
- Sustentator (2020) Presupuesto Estructura Soporte de Panel. Extraído en Octubre de 2020, de <https://tienda.sustentator.com/productos/estructura-de-montaje-para-1-panel-60-celdas-amerisolar/>
- Universidad de Chile (2012). Contexto Internacional. Mercados Eléctricos. Extraído en Mayo de 2020, de http://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/alumno12/costosernc/Contexto_Internacional.html
- UTHGRA (2020). Sala Directorio. Extraído en Agosto de 2020, de <http://www.uthgrasasso.com.ar/negocios-celebraciones/sala-directorio/>
- Youtube, Cronica TV (2016). “Macri lanzó convocatoria a la licitación para energías renovables”. Extraído en Marzo de 2020, de <https://www.youtube.com/watch?v=DbeuVbwtl6c> Última visita: junio 2020.
- WWF Paraguay (2018) “Un informe científico de referencia alerta sobre las consecuencias del calentamiento global por encima de 1,5°C”. Extraído en Mayo de 2020, de <https://www.wwf.org.py/?uNewsID=336250>
- Zarca S.L. (2020) Presupuesto y plano garita de seguridad. Extraído en Octubre de 2020, de <https://www.zarca.es/productos/segu22-modulo-vigilancia-25-m/>
- Ministerio de Energía y Minería, presidencia de la nación (2021), “Precios adjudicados del Programa RenovAr. Rondas 1, 1.5 y 2”. Extraído en agosto de 2021, de <https://www.minem.gob.ar/www/833/25871/precios-adjudicados-del-programa-renovar>

ANEXO

Anexo I: Otros tipos de elementos de los paneles solares

1.1 Tipos de células fotovoltaicas

Además de los principales tipos mencionados en el marco teórico, es de interés resaltar los demás tipos de células fotovoltaicas.

- Células de capa: Dentro de la tecnología del silicio en capa delgada, se destaca la del silicio amorfo. La célula se fabrica depositando átomos de silicio en un material de sustrato, que puede ser rígido o flexible. Durante la solidificación, los átomos no pueden enlazarse entre sí, por lo que quedan desordenados, sin formar una estructura cristalina. El silicio amorfo es muy distinto al cristalino. Sus cualidades de transporte eléctrico son del orden de 1.000 veces inferior a éste, sin embargo, a pesar de su baja movilidad, es más eficiente que el silicio cristalino en la absorción de la luz, por lo que el grosor de las células puede ser mucho menor (entre 150 y 300 nm), lo que hace que sus costes disminuyan de forma significativa. En su fabricación, la principal característica es que el proceso se realiza a menor temperatura, siendo esta inferior a 300 °C, lo que permite disminuir el costo de producción manteniendo la rentabilidad. Un precio de mercado orientativo (año 2006) es 3,5 euros/W.h para paneles cristalinos y 2,5 euros/W.h para paneles en capa delgada. Frente a las ventajas de fabricación y bajo costo, estas células solares presentan importantes inconvenientes. Su rendimiento varía entre el 7 y el 10%, debido a que el material amorfo no tiene una ordenación cristalina y sufre un alto envejecimiento con la exposición al sol. En cuanto a su morfología, la superficie tiene un aspecto de color marrón-negro no estructurado y sin rejilla.
- Células de sulfuro de cadmio y sulfuro de cobre: Tienen la ventaja de necesitar muy poco material activo en su proceso de fabricación, pero los rendimientos obtenidos en serie son del 5% y tienen el inconveniente de su excesiva degradación con el paso del tiempo.
- Células de arseniuro de galio: Constan de múltiples películas delgadas cada una constituida por un semiconductor diferente. Podrían ser las células más indicadas gracias a un elevado rendimiento (hasta un 39%) y alto coeficiente de absorción, de forma que con poco material se

obtendría una buena eficiencia; sin embargo, el arseniuro de galio es un material poco abundante y no puede competir con el resto de células. Son utilizadas en aplicaciones especiales como los satélites, vehículos de exploración espacial, etc., que requieren un alto rendimiento.

- **Tándem silicio microcristalino y silicio amorfo:** Estas células combinan ambas tecnologías, aprovechando las sinergias entre ellas. Permiten llegar a un rendimiento del 12%, que se incrementa progresivamente a partir de los nuevos desarrollos tales como el mejor confinamiento óptico y menor recombinación en volumen y superficie. Su inconveniente más importante es el coste económico del depósito de silicio con grosores entre 1.000 y 2.000 nm.

1.2 Tipos de Inversores

Entre los tipos de inversores se encuentran:

- **Inversor de onda cuadrada:** consiste en un generador que hace oscilar a un transformador (un conjunto de dos bobinas acopladas magnéticamente) a 50 Hz, y cuyo primario se corresponde con la tensión de la instalación, estando el secundario a una tensión de 220 V. La potencia de estos inversores no sobrepasa los 500 watt.
- **Inversor de onda senoidal modificada:** tienen un rendimiento hasta de un 95%, utilizan la técnica "Modulación de Ancho de Impulso (PWM)", que consiste en generar muchos pulsos, a frecuencias en torno a 5 kHz, modulando su ancho para aproximarse lo más posible a una senoide con bajo contenido en armónicos. Suelen estar previstos para potencias que oscilan entre los 500 a 2.400 watt.
- **Inversor de onda senoidal pura:** Están controlados por microprocesador, lo que permite obtener ondas senoidales sin límite de la carga conectada. La eficiencia de estos aparatos se sitúa alrededor del 96%. Las potencias de estos inversores suelen ser de 2.500 a 4.500 watt.

Anexo II: Instalaciones Aisladas de la Red Eléctrica

Existen las instalaciones no conectadas a la red, también conocidas como autónomas, la energía eléctrica que se genera se utiliza principalmente para cubrir la iluminación y algún que otro pequeño consumo producido en el mismo lugar de la demanda, principalmente en los sectores doméstico y agrícola. Por lo general, se recurre a este tipo de instalaciones debido a una falta de infraestructuras en la zona o bien por razones medioambientales. Según su finalidad última, se puede establecer una clasificación:

- Electrificación doméstica rural y de servicios públicos.
- Aplicaciones agrícolas y ganaderas.
- Señalización y comunicaciones.
- Otras aplicaciones específicas.

A la hora de poseer una instalación fotovoltaica todo usuario debe contemplar que la energía disponible es limitada, por tanto, no se puede derrochar; si se consume en los momentos de mayor incidencia solar, la energía consumida proviene directamente de los paneles solares, con lo que obtenemos una mayor eficacia al no tener que suministrar la energía de la batería, y a la vez, se consigue alargar su vida útil; aunque las instalaciones están proyectadas para funcionar en los períodos de menor incidencia solar, es en esta situación cuando más prudentes hay que ser a la hora de consumir; y, finalmente, producir una potencia eléctrica similar al de una vivienda urbana equivale a una instalación muy costosa.

En un sistema centralizado aislado de la red, la electricidad se produce y almacena en una ubicación concreta, y luego, se distribuye a través de líneas eléctricas a cada una de las viviendas.

Sin embargo, la instalación centralizada también tiene una serie de inconvenientes:

- Se ha demostrado que el incremento de la demanda energética por parte de los usuarios puede acarrear la desconexión de la instalación por falta de energía acumulada de acuerdo con el diseño. Por tanto, es necesario sobredimensionar la instalación, con el incremento sustancial de coste que ello representa.

Factibilidad Planta de Energía Fotovoltaica

- Para evitar los problemas de abusos por parte de algunos usuarios, la instalación debe estar centralizada de manera que cada vivienda reciba un límite de consumo.
- Cuando el suministro llega en corriente alterna, puede hacerse necesario el uso de programadores horarios para evitar las puntas de corriente. El empleo de estos programadores logra que el inversor sea de una menor potencia.
- Requiere la instalación de reguladores de fase (convertidores de frecuencia) para hacer decrecer las corrientes pico.
- Requiere la decisión de un responsable para llevar a cabo la gestión del funcionamiento y mantenimiento de la instalación, la compra de electrodomésticos, la financiación de la obra y las posibles ampliaciones futuras.

Anexo III: Estimación de Radiación

Entre los métodos de estimación de la radiación solar más utilizados podemos destacar:

- Utilizar datos de estaciones cercanas: Esta opción, únicamente es válida si se trata de un terreno llano y la distancia entre estaciones es menor a 10 km.
- Interpolación de valores a partir de medidas de la radiación solar en otras estaciones. Esta solución, es aplicable cuando la red de estaciones de radiación solar tiene una densidad considerable y dependiendo del tipo de terreno, puede precisarse una densidad de entre 50 y 20 km de distancia entre estaciones.
- Modelos de interpolación que tienen en cuenta la topografía. Estos modelos, aun teniendo en cuenta la topografía como dato de entrada, precisan una densidad de estaciones de medida en el orden de los 100 km.
- Modelos de tratamiento de imágenes de satélite. Se basa en el tratamiento de imágenes de satélite geoestacionarios. Estas imágenes son el resultado de la reflexión de los rayos solares en la superficie de la Tierra, por lo que ya han sufrido y llevan implícitas los posibles efectos de la topografía así como de los principales fenómenos atmosféricos que se producen cuando los rayos solares atraviesan la atmósfera.

Una vez que dispongamos de alguna información de radiación solar en el lugar deseado, el paso a seguir dependerá de dos cosas:

- De las características del sistema a estudiar
- De los datos que haya conseguido recopilar.

Así, dependiendo de la información disponible y de la variable precisa para el estudio concreto, se debe aplicar un determinado modelo de cálculo (de generación y/o de variables relacionadas) que se describen en este tema.

Debido a que en nuestro caso se cuenta con los valores de radiación global diarios sobre una superficie horizontal, solo mencionaremos las distintas correlaciones que permiten, en función de los datos de partida de que se disponga, obtener los valores de radiación global en sus intervalos diarios y horarios. Valor medio mensual

de radiación global diaria a partir del valor de horas de sol. Valor medio mensual de radiación global horaria a partir del valor medio mensual de radiación global diaria.

Las magnitudes meteorológicas de la radiación pueden clasificarse en dos grupos, según su origen, a saber: la radiación solar y la radiación terrestre.

- La radiación solar es la radiación electromagnética procedente del Sol. La radiación solar incidente en el límite de la atmósfera terrestre se denomina radiación solar extraterrestre; el 97 % de la misma está contenida dentro del intervalo espectral comprendido entre 0,29 μm y 3,00 μm y se denomina radiación de onda corta.
- La radiación terrestre es la radiación de onda larga emitida por la superficie de la Tierra y por los gases, los aerosoles y las nubes de la atmósfera, y es también parcialmente absorbida dentro de la atmósfera. Para una temperatura de 300 K, el 99,99 % de la energía de la radiación terrestre posee una longitud de onda superior a 3 μm , y alrededor del 99 % una longitud de onda que supera los 5 μm .

En meteorología, la suma de las dos clases de radiaciones se denomina "radiación total". La luz es la radiación que resulta visible al ojo humano. El 99 por ciento de la radiación visible está comprendido entre 400 nm y 730 nm. La radiación cuya longitud de onda es inferior a 400 nm se denomina ultravioleta, y la de longitud de onda superior a 730 nm, infrarroja. El intervalo de la radiación ultravioleta se divide a veces en tres: UV-A (315 a 400 nm); UV-B (280 a 315 nm); UV-C (100 a 280 nm).

Para las variables meteorológicas de la radiación se recomiendan las siguientes unidades:

- Magnitudes totales (integradas sobre el intervalo completo de longitudes de onda):
 - Irradiancia (potencia): vatios por metro cuadrado (W/m^2).
 - Exposición radiante (energía): julios por metro cuadrado (J/m^2).
- Magnitudes espectrales:
 - Irradiancia espectral: vatios por metro cuadrado por nanómetro ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{nm}$).
 - Exposición radiante: julios por metro cuadrado por nanómetro ($\text{J}/\text{m}^2 \cdot \text{nm}$).

Anexo IV: Limpieza metódica de los paneles solares

Un fenómeno no deseado característico de los paneles solares es la degradación de potencial inducida (PID por sus siglas en inglés, Potential Induced Degradation). La PID produce una merma de la producción y la degradación de las células del módulo fotovoltaico debido a corrientes parásitas que circulan a través de elementos del panel que no están preparados para ello. Los paneles tienen un potencial negativo con respecto a tierra, y por lo tanto respecto a su estructura de aluminio, que generalmente está conectada a tierra. Esta diferencia de potencial provoca el movimiento de cargas a través del vidrio exterior, del encapsulamiento EVA, de la cubierta posterior y del marco de aluminio. Las células más susceptibles de sufrir la degradación inducida por potencial en un panel son las periféricas, y cuando hablamos de un string que no es más que una serie formada por varios paneles conectados en serie. Los paneles que más pueden sufrir este fenómeno son los más próximos al lado negativo del string. Los factores que favorecen a que suceda la degradación de potencial inducida son:

- Las elevadas temperaturas y la humedad relativa del ambiente, debido a que contribuyen a incrementar el efecto DIP en la instalación fotovoltaica.
- La calidad de las células debido a que la capa anti reflectante puesto que, al aumentar la conductividad de esta capa, la célula solar es menos susceptible al fenómeno DIP debido a Reducción del campo eléctrico responsable de la deriva de Na^+ a través de la capa antirreflectante y además se neutraliza los iones de Na^+ que avanzan. Dichos átomos de sodio se encuentran generalmente en la capa exterior. Por eso los vidrios sódico-cálcicos son más susceptibles de presentar este tipo de degradación que los cristales de cuarzo que no tienen sodio. (Heliósfera, 2020)

Al momento de limpiar, en un primer paso se debe quitar con un cepillo o una escoba el polvo que tengan encima. Luego con agua tibia y una esponja se procede a limpiar los paneles. El agua no debe ser fría, para evitar el impacto térmico con la superficie del panel que puede estar caliente por la exposición al sol, y no debe ser suministrada a gran presión para no dañar el panel ni las juntas del mismo, además debe estar limpia ya que de poseer tierra o partículas sólidas puede rayar el panel y el agua con detergente tampoco es recomendable para estos casos. Por otro lado, la esponja debe ser lo más suave posible para evitar que el panel se raye. Una vez que se terminó de lavarlos es recomendable usar un limpia vidrios, seguido de un trapo

Factibilidad Planta de Energía Fotovoltaica

para secarlos. Es importante que no haya suciedad concentrada en distintas zonas tales como polvillo o excremento de las aves para no generar puntos calientes que puedan afectar a los paneles.

Anexo V: Detalles técnicos de los elementos seleccionados

V.1 Panel Solar

El Panel Solar Jinko JKSM3-DCCA-415-435 es de origen chino, construido a partir de silicio policristalino y de carácter bifacial. Cada panel comprende un área de 2.110*998*40mm, un peso de 24,3 kg y entrega una potencia (Wp) de 435 W como máximo.

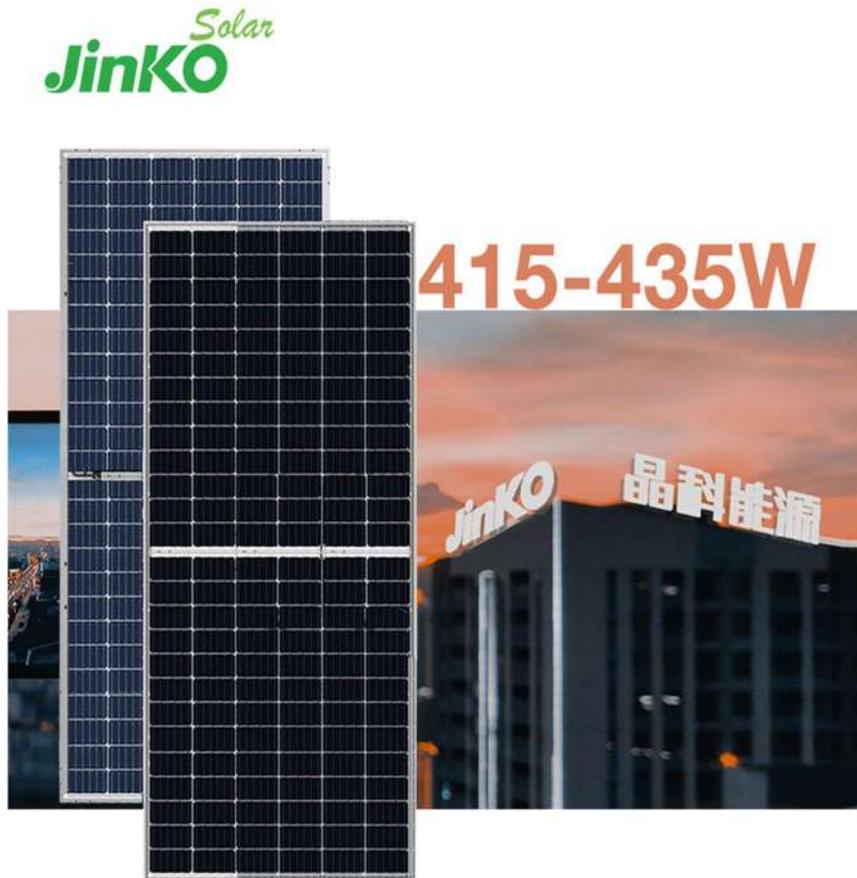


Imagen V.1: Panel Solar Jinko

Fuente: Alibaba

El panel cuenta con una garantía de 25 años, con los certificados CQC / CE / TUV / CQC, CQC / CE / TUV / CQC y una caja de conexiones IP67. Se detalla en la tabla V.1.

Factibilidad Planta de Energía Fotovoltaica

TR Bifacial 78M 415W - 435W módulo Solar de los parámetros					
Potencia (W)	415W	420W	425W	430W	435W
Voltaje de circuito abierto/mV (V)	52,3 V	52,4 V	52,5 V	52,6 V	52,7 V
Corriente de cortocircuito/lsc(A)	9.98A	10.07A	10.16A	10.25A	10.34A
Voltaje de Potencia máx./mp(V)	43,64 V	43,75 V	43,86 V	43,97 V	44,08 V
Corriente de potencia máxima/lmp(A)	9.51A	9.60A	9.69A	9.78A	9.87A
Módulo de la eficacia	19.71%	19.95%	20.18%	20.42%	20.66%

Tabla V.1: Características Panel Solar Jinko

Fuente: Jinko

V.2 Inversor



Imagen V.2: Schneider XC630

Fuente: Huawei

El Inversor Schneider XC630 que se muestra en la imagen VI.2 cuenta con un tamaño de 2085x2400x660 mm y un peso de 1495 kg, no requiere de transformador ni baterías.

Respecto a las protecciones posee Protección Anti Aislante (ENS), Protección contra sobrintensidades, Dispositivo de Corriente Residual (RCD), Protección contra Inversiones de la Polaridad, Protección contra Sobretensión y Sobrecarga.

Se presentan los detalles técnicos en la tabla V.2.

Factibilidad Planta de Energía Fotovoltaica

Device short name	XC 540	XC 630	XC 680
Electrical specifications			
Input (DC)			
Input voltage range, MPPT	440 - 800 V (at PF=1)	510 - 800 V (at PF=1)	550 - 800 V (at PF=1)
Static and dynamic MPPT accuracy	>99.9% 5% to 100% of nominal power Entire MPP (maximum power point) range; PV generator Fill Factor from 60-80%		
Input voltage range, operating	440 - 885 V	510 - 885 V	550 - 885 V
Max. input voltage, open circuit	1000 V	1000 V	1000 V
Max. input current	1280 A	1280 A	1280 A
Max. input short circuit current	2000 A	2000 A	2000 A
Output (AC)			
Nominal output power	540 kVA	630 kVA	680 kVA
Real power	540 kW (at PF=1)	630 kW (at PF=1)	680 kW (at PF=1)
Reactive power range	+ / - 540 kVAr	+ / - 630 kVAr	+ / - 680 kVAr
Output voltage	300 V	350 V	380 V
Frequency	50 / 60 Hz	50 / 60 Hz	50 / 60 Hz
Nominal output current	1040 A	1040 A	1040 A
Power factor settable range (Ppf dispatch)	0.7 to 1.0 leading and lagging	0.7 to 1.0 leading and lagging	0.7 to 1.0 leading and lagging
Power factor range (PQ dispatch)	0 to 1 leading and lagging	0 to 1 leading and lagging	0 to 1 leading and lagging
Harmonic distortion	< 3% at rated power	< 3% at rated power	< 3% at rated power
Efficiency (to IEC61683)			
Maximum (@ 50Hz)	99.0%	98.9%	98.9%
European (@ 50Hz)	98.7%	98.7%	98.7%
CEC (@ 60Hz)	98.6%	98.7%	98.7%
General specifications			
Power consumption, night time	<100 W	<100 W	<100 W
IP degree of protection	IP20	IP20	IP20
Enclosure material	Steel	Steel	Steel
Seismic	IEEE-693-2005 High performance level ¹ , ICC-ES AC156-2012 ²		
Product weight	1495kg (3296lbs)		
Product dimensions (H x W x D)	208.5 x 240.0 x 66.0 cm (82.0 x 94.5 x 26.0 in) ²		
Ambient air temperature for operation	-10°C to 55 °C ⁴		
Operating altitude	1000 m, derating for higher altitudes, maximum of 2400 m		
Relative humidity	0 to 95% non-condensing		
Noise level	85.8 dB ⁵		
Features and options			
Type of cooling	Forced convection cooling		
Display type	LCD multifunction removable display standard		
Communication interface	RS485/Modbus standard		
AC/DC disconnect	Load break rated DC disconnect and AC circuit breaker standard		
Ground fault detection/interruption	Optional isolation monitoring relay or GFDI with circuit breaker		
Sub-array combiner	Optional external combiners with various fuse quantities and trip ratings		
Regulatory approvals			
Safety	EN/IEC62109-1 and EN/IEC62109-2 (when equipped with the appropriate options), EN51078/IEC62103		
EMC	EN/IEC61000-6-2, EN/IEC61000-6-4		

Tabla V.2: Detalle técnico del inversor Schneider XC630

Fuente: Schneider Electric

V.3 Terreno

El terreno seleccionado es una fracción agrícola A 12 km de RN 226, 80 has. La fracción cuenta con luz trifásica. Posibilidad de anexar 400 has

En los datos castrales se detalla:

- Partido: 45; Circunscripción: III; Parcela: 20F; Partida: 113586; Superficie de Terreno: 60 has
- *Partido: 45; Circunscripción: III; Parcela: 20D; Partida: 113564; Superficie de Terreno: 10 has

Factibilidad Planta de Energía Fotovoltaica

- *Partido: 45; Circunscripción: III; Parcela: 20E; Partida: 113576;
Superficie de Terreno: 10 has

Está registrado en la Agencia de Recaudación de la Provincia de Buenos Aires como PARCELA RURAL BALDÍA. Asimismo, se informa que esta partida se encuentra alcanzada por los beneficios establecidos por el art. 177 inciso j. del Código Fiscal, el que establece una exención para el impuesto en lo correspondiente a la parte de mejoras u obras accesorias.

Se prohíbe realizar subdivisiones en áreas rurales que impliquen la creación de áreas urbanas con densidad bruta mayor de treinta habitantes por hectárea a menos de un kilómetro de las rutas troncales nacionales y provinciales y de trescientos metros de los accesos a centros de población, con excepción de las necesarias para asentar actividades complementarias del uso diario y las industriales que establezca la zonificación correspondiente.



Imagen V.3: Plano del terreno

Fuente: Los Robles

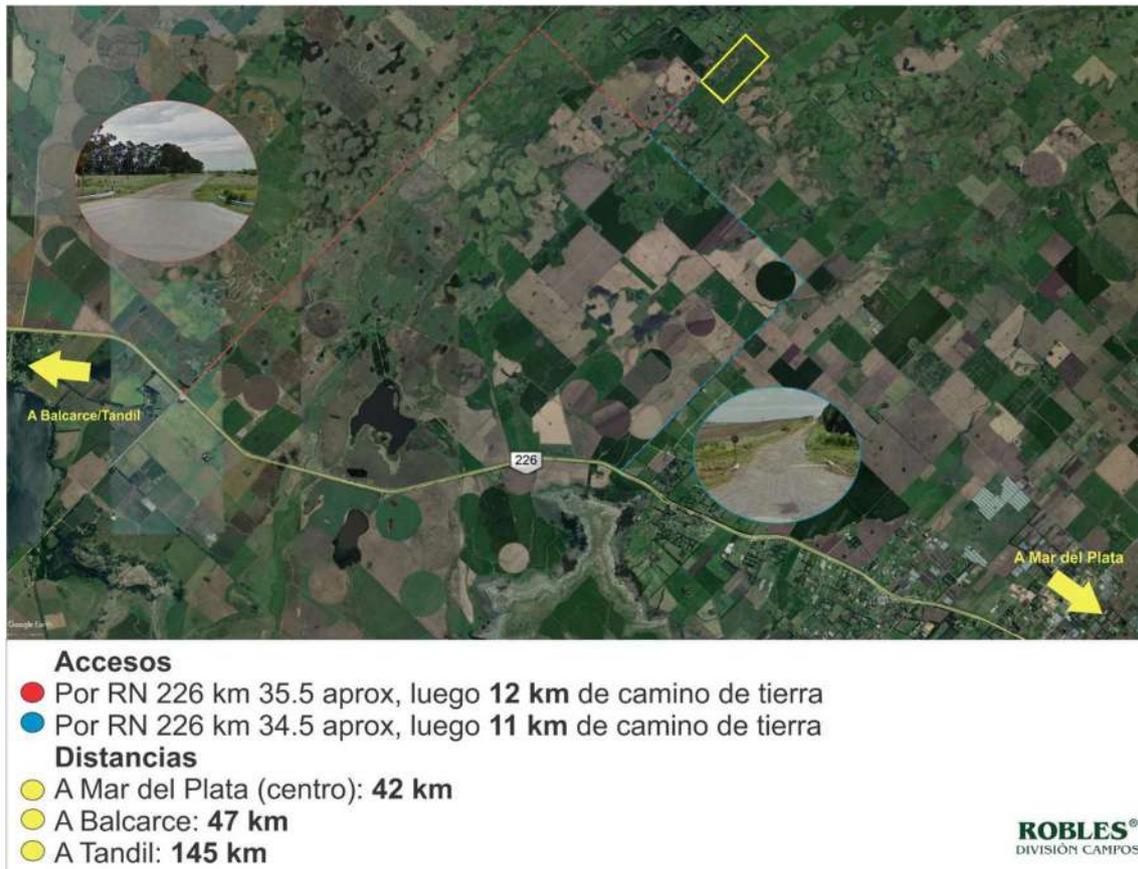


Imagen V.4: Plano Satelital del Terreno

Fuente: Los Robles

Mediante las imágenes espectrales se denota la poca acumulación de agua, justificando las bajas probabilidades de inundación significativa del terreno, lo cual fue un parámetro considerado en su elección.

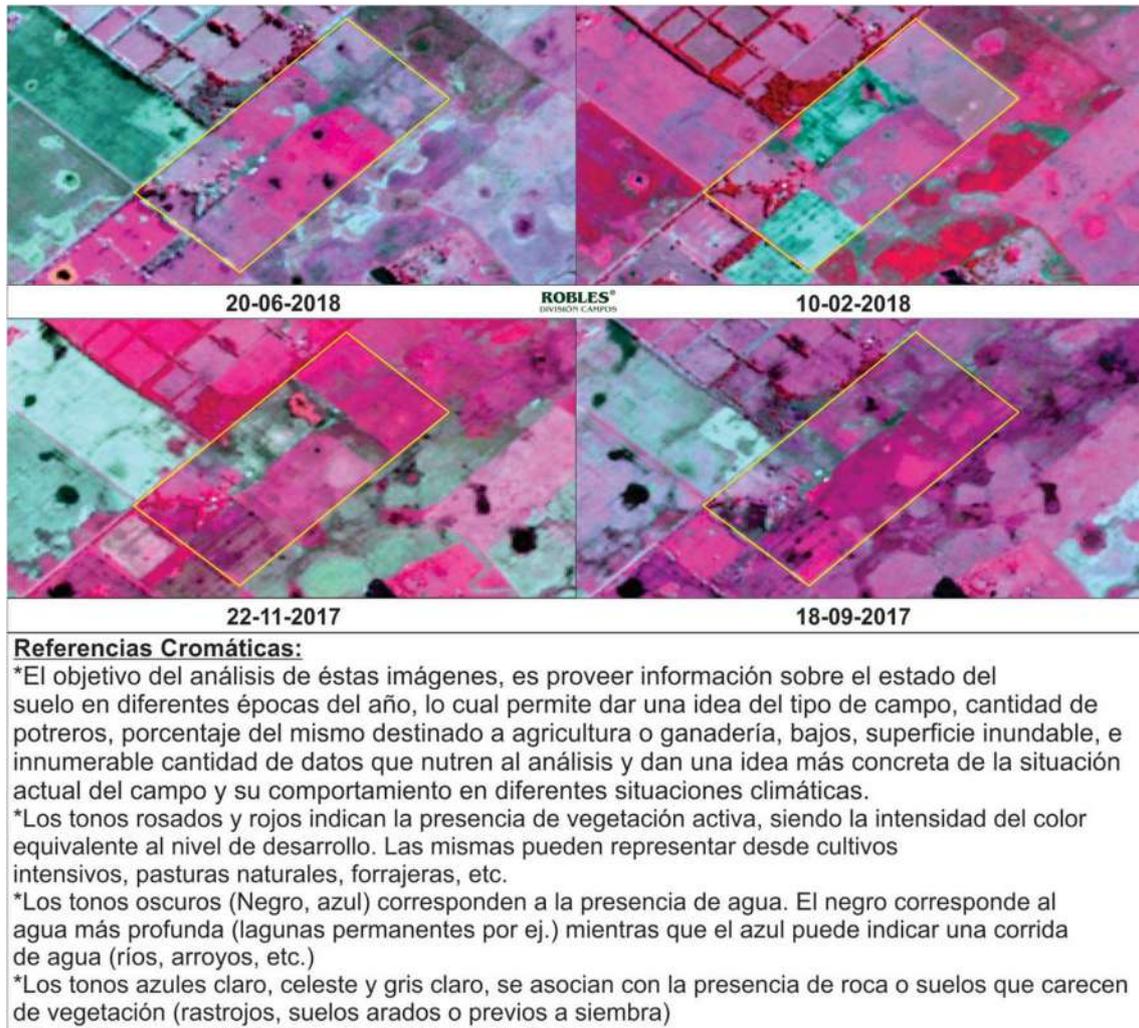


Imagen V.5: Imágenes satelitales de bandas espectrales

Fuente: Satélite Sentinel 2

Para la selección del panel también se consideró que se encuentre próximo a la zona de cableado de SADI, reduciendo así costos que implican llegar al punto de conexión. Tal como se observa en la imagen V.6, el cableado atraviesa el terreno



Imagen V.6: Cableado del SADI

Fuente: EDEA

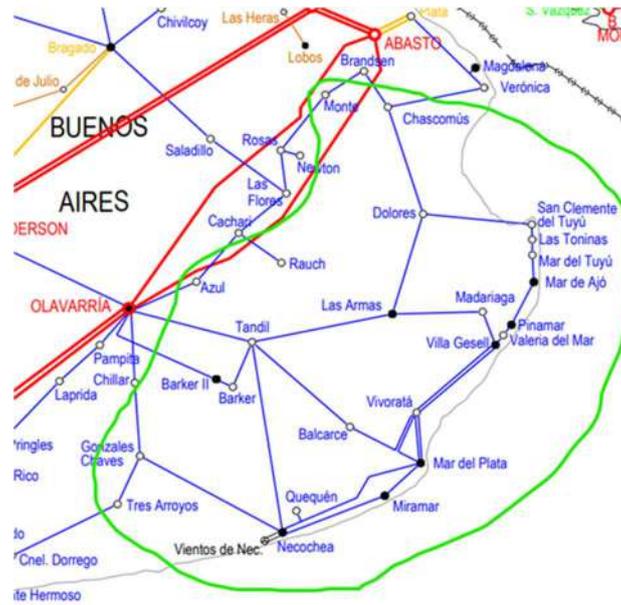


Imagen V.7: Tendidos eléctricos del S.A.D.I

Fuente: SADI

V.4 Instalaciones

Para el análisis de los baños, vestuarios y duchas se consideran dos cubículos con inodoros de 1 m² cada uno, dos duchas de 1 m² cada una y un espacio común para vestirse y piletas lavamanos de 9 m². En total la instalación cuenta con 13 m². Habrá dos vestidores, uno para cada sexo. Luego, en la oficina del directorio habrá otro baño de 1,5 m x 1,4 m donde sólo habrá lavamanos e inodoro para el caso de recibir visitas o reunirse con quien sea necesario y que no haga falta que entren al vestuario.

Respecto al estacionamiento, no es necesario un playón de estacionamiento hecho de cemento, ya que no habría inconveniente en que los autos estacionen en un sector preestablecido del terreno del parque.

La sala de directorio será de 12m x 3m, lo cual permite tener espacio con una gran mesa para ser usada en reuniones o en ocasión de recibir visitas.

En lo referente a la garita de seguridad y cámaras de vigilancia, la primera será de 2,5m x 2,4m. Allí el personal de seguridad se podrá mover libremente y disponer los elementos necesarios para que desarrolle sus tareas. Se cuenta con un sistema de vigilancia de ocho cámaras de seguridad distribuidas estratégicamente por el parque con una memoria de grabado de 2 Terabytes por 812,69 US\$ (Empresa "Troyano Reparaciones Tecnológicas"). El monitor estará ubicado en la garita de seguridad. Esto es necesario para mejorar las tareas del personal de seguridad y

disminuir la posibilidad de vandalismo y hurto que es un gran problema en este tipo de instalaciones debido al costo de los equipos.

En la sala de control se instalarán los elementos de control del parque solar, y consta de 18 m².

El Taller, donde se realizarán tareas de mantenimiento y reparaciones necesarias, tiene una superficie de 15m² y se encuentra contiguo al depósito de objetos necesarios para realizar las tareas. El depósito de objetos necesarios para el mantenimiento tendrá una superficie de 40 m², para guardar la cortadora de césped, los pilotes de cemento y el alambre tejido para el alambrado perimetral, los tornillos, las herramientas, las partes para sustituir en los marcos en caso de ser necesario, cables, entre otros elementos. Tendrá también capacidad para dos vehículos que se utilizan para patrullar el parque y realizar las tareas de mantenimiento.

El depósito de productos y elementos de limpieza cuenta con 2 m². En el mismo se guardarán diferentes elementos para limpiar las instalaciones, tales como productos químicos, escobas y trapeadores, entre otros elementos.

Finalmente, el terreno circundante, por medidas de seguridad, se considera que se necesita una franja perimetral de 50 m de ancho en cada borde del terreno (8,2ha). Dentro de la franja perimetral se pueden construir las instalaciones auxiliares previamente descritas.

V.5 Vehículos

Se consideró el vehículo para transportarse en el parque, para lo que se toma en cuenta que éste tenga una medida adecuada para que pueda circular de forma segura entre las filas de paneles solares. Además, se considera la garantía, el modelo, el consumo, la capacidad del vehículo, que tenga un contenedor detrás para llevar herramientas y otros elementos, y el costo. De todas las alternativas que se relevaron y presentan en la Tabla V.3, se eligió el modelo Utv Cfmoto Uforce 550 0km 4x4 No Polaris Arctic Cat Can Am, a un valor de 10.990 US\$ (Metalúrgica AW, 2020). Luego, se analizó la necesidad de tener dos de ellos debido a posibles fallas que tengan en un futuro, o el uso simultáneo de técnicos y personal de seguridad o de técnicos e ingeniero eléctrico, por lo que el costo asciende a 21.980 US\$.

Factibilidad Planta de Energía Fotovoltaica

Opciones	Modelo	precio [US\$]	Ancho adecuado	Garantía (años)
1	Cf Moto U Force 1000,no Canam,no Gamma,utv	24.000	si	2
2	Defender Can Am 800 (hd-8)solo En Gs Motorcycle	29.060	si	2
3	Maverick Trail 800 Std Solo En Gs Motorcycle	18.258	si	2
4	Utv Cfmoto Zforce 550 4x4 0km No Polaris Arctic Cat	10.120	si	2
5	Utv Cfmoto Uforce 550 0km 4x4 No Polaris Arctic Cat	10.990	si	2

Tabla V.3. Vehículos de Patrulla considerados

Fuente: Elaboración propia

A la hora de elegir la cortadora de césped, se tuvo en cuenta el precio, la cantidad de m² por hora de capacidad, el modelo, el año en que fue creada, que el ancho de la máquina le permite a su conductor circular de forma segura entre las filas de paneles, que sea motorizada para que el conductor no deba realizar un sobreesfuerzo y la autonomía de la misma. De las alternativas encontradas y presentadas en la Tabla V.4, se seleccionó el Tractor Cortacesped Troy- Bilt 16hp Tb 420/38 38'' Toolsgas, que tiene un precio de 2.692 US\$.

Opciones	Modelo	Precio [US\$]	Superficie de corte [m ² /h]
1	Tractor Cortadora De Césped Manejable Tramontina	5.067	9.000
2	Tractor Cortacésped Mtd 17 Hp 42 Pulgadas Corte Ym42439	2.985	6.000
3	Tractor Cortacesped Troy- Bilt 16hp Tb 420/38 38'' Toolsgas	2.692	8.896
4	Mini Tractor Cortacesped Husqvarna Yth1942 19hp 42 Husqvarna	3.773	8.988

Tabla V.4. Cortadoras de pasto consideradas.

Fuente: Elaboración propia