

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

**DISEÑO DE PLANTA SOLAR PARA CONEXIÓN A RED DE
TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS, VALLE DE OLMOS – PETORCA**

Trabajo de Titulación para optar al
Título de Técnico Universitario en
PROYECTOS DE INGENIERÍA.

Alumna:

Emely Ann Silvia Carolina Ibaceta
Cocio.

Profesor Guía:

Ing. Carlos Antillanca Espina.

RESUMEN

KEYWORDS: DISEÑO PLANTA SOLAR, PANELES FOTOVOLTAICOS, ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.

El presente trabajo se basa en el diseño e instalación de paneles fotovoltaicos para conectarlos a la red de distribución de energía donde se logrará la disminución del alto consumo energético para la operación de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas en terreno de propiedad de la Cooperativa Agua Potable Rural (APR) Valle de Olmos - Petorca, generando ahorro y seguridad energética.

Se requieren 60 paneles solares monocristalinos a piso en un área de 255,15 m² y 18 paneles solares a techo que alimentan dos inversores on grid y los cuales tienen que generar una potencia de 35,1 kWp en corriente continua para que trabaje en su 100% y no se utilice la conexión de la red eléctrica durante el día.

El objetivo principal de las instalaciones de planta solar es disminuir el alto costo energético requerido para la operación de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas, ya que hay una mayor independencia energética, es una inversión que se recupera en aproximadamente 10 años y una planta de paneles fotovoltaicos tiene una vida útil de 25 años donde trabaja en su 100% de manera óptima, pasado esa cantidad de años trabaja un 80% y continúa bajando a medida que pasa el tiempo. Además, tiene enormes beneficios medioambientales, ya que una instalación solar evita que una gran cantidad de gases contaminantes sean enviados a la atmósfera, colaborando con el futuro del planeta.

Para el diseño e instalación de la planta fotovoltaica, se ocuparán diversos softwares inteligentes 3D y 2D como Pix4D Mapper, PVSol, SketchUp y AutoCAD, los cuales ayudarán al correcto desempeño del proyecto y también la ayuda de un dron la cual hará vuelos para poder tener una mejor orientación y dimensionar a escala el terreno donde se hará la instalación de los paneles solares.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES Y DOCUMENTACIÓN

1.1. ANTECEDENTES GENERALES 1

1.1.1. Objetivo general 1

1.1.2. Objetivos específicos 1

1.2. DIAGNÓSTICO 2

1.3. METODOLOGÍA 3

1.3.1. Metodología de Bruno Munari 3

1.3.2. Metodología de la Caja Negra 5

1.3.3. El diseñador como sistema auto - organizado 6

1.3.4. Metodología a trabajar 6

1.4. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS 8

1.4.1. Especificaciones técnicas generales 8

1.4.2. Especificaciones técnicas específicas 16

1.5. REGLAMENTOS Y NORMATIVAS 25

1.5.1. Diseño y ejecución de instalaciones FV conectadas a la red 25

1.5.2. Condiciones sanitarias y ambientales en lugares de trabajo 25

1.5.3. Cables eléctricos para sistemas fotovoltaicos 25

1.5.4. Norma chilena de diseño sísmico de estructuras 26

1.5.5. Diseño estructural cargas de viento 26

1.5.6. Módulos fotovoltaicos cristalinos de silicio 26

1.5.7. Instrucción técnica RGR N°02/2020 27; **Error! Marcador no definido.**

1.5.8. Instrucción técnica RGR N°01/2020 27

1.5.9. Norma chilena de diseño sísmico en edificaciones 27

CAPÍTULO 2: INGENIERÍA BÁSICA Y DETALLE 28

2. INGENIERÍA BÁSICA. Y DETALLE 29

2.1. INGENIERÍA BÁSICA 29

2.2. INGENIERÍA DE DETALLE 29

2.3. CONSUMO ELÉCTRICO 30

2.4. EQUIPOS Y MATERIALES 31

2.4.1. Paneles fotovoltaicos 31

2.4.2. Inversor fotovoltaico. 33

2.4.3. Conductores y conexiones eléctricas 34

2.4.4. Conexiones eléctricas 34

2.4.5. Canalizaciones	35
2.4.6. Tablero fotovoltaico.	35
2.4.7. Dispositivos de protección en tablero fotovoltaico	36
2.4.8. Dispositivo de protección de inversores	38
2.4.9. Sistema de tierra	38
2.4.10. Estructura de montaje a piso	39
2.4.11. Fijación de paneles a la estructura: aprietes y bornes de anclaje	39
2.4.12. Riel DIN	40
2.4.13. Plancha de acero inoxidable	41
2.4.14. Abrazadera tipo “U”	41
2.4.15. Postes	42
2.4.16. Pernera	42
2.4.17. Tablero fotovoltaico	43
2.4.18. Pieza de anclaje en "L"	43
2.4.19. Estructura de inclinación	44
2.4.20. Cerco	44
2.5. INSTALACIÓN Y PLANIMETRÍA DE PLANTA FV	45
2.5.1. Estructura de montaje paneles FV a piso	45
2.5.2. Estructura de montaje paneles FV a techo	47
2.5.3. Planimetría	48
2.5.4. Ejecución del proyecto	61
2.5.5. Instalación eléctrica	64
2.6. COSTOS Y PRESUPUESTOS	69
2.6.1. Trabajos preliminares	69
2.6.2. Módulos fotovoltaicos	70
2.6.3. Estructura soportante	70
2.6.4. Inversores	71
2.6.5. Materiales eléctricos	71
2.6.6. Obras civiles	72
2.6.7. Montaje electromecánico	73
2.6.8. Interconexión, puesta en marcha y post – venta.	74
2.6.8. Cargo actual y ahorro con planta solar.	75
2.7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	78
BIBLIOGRAFÍA	79
ANEXOS	80
ANEXO A: Boleta de luz CGE Enero de 2019.	80
ANEXO B: Ficha técnica Risen 450.	81
ANEXO C: Ficha técnica inversores:	83
ANEXO D: Reporte solar Explorador Solar	86
ANEXO E: Plano de planta	103

ANEXO F: Plano paneles a piso	103
ANEXO G: Planos paneles a techo	104
ANEXO H: Plano de canalizaciones	104
ANEXO I: Plano de inversores y tablero fotovoltaico	105
ANEXO J: Plano tablero fotovoltaico	105
ANEXO K: Plano tablero de inyección	106
ANEXO L: Plano tablero de banco condensador	106

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Panel fotovoltaico monocristalino	13
Figura 1-2. Panel FV policristalino	14
Figura 1-3. Mapa con referencia de terreno	17
Figura 1-4. Terreno Cooperativa APR, Valle de Olmos, Petorca	18
Figura 1-5. Terreno Cooperativa APR, Valle de Olmos, Petorca	18
Figura 1-6. Terreno Cooperativa APR, Valle de Olmos, Petorca	19
Figura 1-7. Terreno Cooperativa APR, Valle de Olmos, Petorca	19
Figura 1-8. Ubicación Cooperativa APR	20
Figura 1-9. Bosquejo paneles a piso	22
Figura 1-10. Bosquejo paneles a techo	23
Figura 2-1. Paneles Risen 450	33
Figura 2-2. Inversor Fronius Symo 15.0-3	34
Figura 2-3. Inversor Fronius Symo 10.0-3	34
Figura 2-4. Cable TopSolar	35
Figura 2-5. MCA hembra y macho para acoplamiento en serie	35
Figura 2-6. Mastech MS2303	39
Figura 2-7. Riel DIN	41
Figura 2-8. Plancha de acero inoxidable	42
Figura 2-9. Abrazadera tipo “U”	42
Figura 2-10. Postes	43
Figura 2-11. Pernería	43

Figura 2-12. Tablero fotovoltaico	44
Figura 2-13. Pieza de anclaje en “L”	44
Figura 2-14. Estructura de inclinación	45
Figura 2-15. Cerco	45
Figura 2-16. Estructura de montaje a piso	46
Figura 2-17. Estructura de montaje a piso	47
Figura 2-18. Estructura de montaje a piso	47
Figura 2-19. Estructura de montaje a techo	48
Figura 2-20. Estructura de montaje a techo	49
Figura 2-21. Cooperativa APR, Valle de Olmos, Petorca	50
Figura 2-22. Cooperativa APR, Valle de Olmos, Petorca	50
Figura 2-23. Simulación 3D del terreno Pix4D Mapper	51
Figura 2-24. Simulación 3D del terreno Pix4D Mapper	51
Figura 2-25. Modelación 3D del terreno SketchUp	52
Figura 2-26. Modelación 3D del terreno SketchUp	52
Figura 2-27. Modelación 3D del terreno SketchUp	53
Figura 2-28. Modelación 3D del terreno SketchUp	53
Figura 2-29. Plano de planta AutoCAD	54
Figura 2-30. Plano estructural vista principal paneles FV a piso	55
Figura 2-31. Plano estructural vista principal paneles FV a techo	56
Figura 2-32. Plano de detalles paneles FV a techo	57
Figura 2-33. Simulación de sombra planta FV PVSol	58
Figura 2-34. Simulación de sombra planta FV PVSol	59
Figura 2-35. Simulación de sombra planta FV PVSol	59
Figura 2-36. Porcentaje de sombra anual paneles a piso PVSol	60
Figura 2-37. Porcentaje de sombra anual paneles a techo PVSol	60
Figura 2-38. Trazado para instalación de planta FV a piso	62
Figura 2-39. Imagen referencial de proyectos anteriores	62
Figura 2.40. Imagen referencial de proyectos anteriores	63
Figura 2.41. Imagen referencial de proyectos anteriores	63

Figura 2-42. Imagen referencial de proyectos anteriores	64
Figura 2-43. Estructura planta FV instalada	64
Figura 2-44. Estructura a techo	65
Figura 2-45. Plano de canalizaciones y strings de la planta FV	66
Figura 2-46. Plano de inversores, canalizaciones y tablero FV	67
Figura 2-47. Plano de tablero de inyección, canalización y tablero	67
Figura 2-48. Tablero fotovoltaico	68
Figura 2-49. Tablero general	68
Figura 2-50. Tablero de banco condensador	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Datos meteorológicos.	21
Tabla 2-1. Especificaciones paneles fotovoltaicos	33
Tabla 2-2. Especificaciones diferencial tetrapolar.	37
Tabla 2-3. Especificaciones protección tetrapolar	37
Tabla 2-4. Especificaciones protección tripolar	38
Tabla 2-5. Especificaciones borne central	40
Tabla 2-6. Especificaciones anclaje lateral	41
Tabla 2-7. Costos de ingeniería general	70
Tabla 2-8. Costos paneles fotovoltaicos	71
Tabla 2-9. Costos de estructuras para soporte de paneles	71
Tabla 2-10. Costos de inversores del proyecto	72
Tabla 2-11. Costos de materiales eléctricos	72
Tabla 2-12. Costos de preparaciones del proyecto	73
Tabla 2-13. Costos montaje electromecánico	74
Tabla 2.14. Costo mano de obra y total del proyecto	75
Tabla 2-15. Consumo eléctrico	76
Tabla 2-16. Ahorro energético monetario y porcentual	79

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-1. Temperaturas medias y precipitaciones	23
Gráficos 1-2. Cantidad de precipitación	24
Gráfico 1-3. Nubosidad, sol y precipitaciones	24
Gráfico 1-4. Temperaturas máximas	25
Gráfico 1-5. Velocidad del viento	25
Gráfico 2-1. Consumo energético mensual	31
Gráfico 2-2. Consumo monetario mensual	31

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

SIGLA

ERNC	:	Energías renovables no convencionales.
SSF	:	Sistema solar fotovoltaicos.
FV	:	Fotovoltaico.
UF	:	Unidad de Fomento
\$	:	Peso chileno
%	:	Porcentaje

SIMBOLOGÍA

<i>m</i> 2	:	Metro cuadrado.
m/s	:	Metros por segundo.
mm	:	Milímetros.
<i>mm</i> 2	:	Milímetros cuadrados.
V	:	Volts.
W	:	Watt.
kWp	:	Kilo Watt potencia.
A	:	Amper.
°C	:	Celsius.
Kg	:	kilogramo.
kW	:	Kilo Watt.
kWh	:	Kilo Watt hora.
m	:	Metros.

INTRODUCCIÓN

Desde el 2014, en Chile, las energías renovables han ganado preponderancia dentro de los mercados de generación eléctrica a nivel mundial. En el contexto nacional, esta realidad ha quedado evidenciada en la medida que nuevos actores, tecnologías y proyectos han sido objeto de evaluación ambiental, como también vista su materialización mediante la puesta en operación de centrales y parques renovables.

La energía solar fotovoltaica consiste en obtener directamente la electricidad a partir de la radiación solar. Esto se consigue gracias a la instalación de paneles solares fotovoltaicos, que cuentan con células de silicio que transforman la luz y calor del sol en electricidad. Estos paneles solares pueden instalarse tanto a nivel doméstico en edificios y casas, como en grandes instalaciones conocidas como plantas fotovoltaicas.

La presente iniciativa, que considera la implementación de eficiencia energética, se sustenta en el uso de los recursos naturales disponibles, en este caso la energía solar, cuyo uso va en directo beneficio de las personas que consumen agua potable, utilizan colectores y tratamientos en el sector, a través de la implementación de un proyecto de energía renovable no convencional (ERNC), el cual optimizará la operación de la infraestructura sanitaria.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES Y DOCUMENTACIÓN

1.1. ANTECEDENTES GENERALES

A continuación, se presenta el objetivo general y los objetivos específicos de la propuesta con la finalidad de efectuar la correcta realización del proyecto y tener una mejor metodología de trabajo en su desarrollo para lograr el objetivo que se requiere.

1.1.1. Objetivo general

Diseñar, construir y operar una planta fotovoltaica de 60 paneles solares a piso con una capacidad energética de 27 kWp, apoyando el abastecimiento de energía eléctrica a la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas de la Cooperativa de Agua Potable Rural (APR) en Valle de Olmos, Petorca.

1.1.2. Objetivos específicos

- A. Investigar referencias e información sobre plantas y paneles fotovoltaicos.
- B. Recopilar información del lugar para el correcto diseño e instalación de la planta.
- C. Especificar y seleccionar softwares de modelación 2D y 3D para el diseño de la planta y herramientas para la correcta realización de éste.
- D. Presentar propuesta de diseño de planta solar.
- E. Detallar costos del proyecto.
- F. Conocer las utilidades y beneficios de la planta instalada.

1.2. **DIAGNÓSTICO**

El mundo se encuentra en una difícil situación energética, por una parte, existe cada vez una mayor demanda de energía y, por otra, las actuales fuentes tienen en su mayoría recursos limitados y su uso representa repercusiones ambientales indeseables. El crecimiento demográfico y económico en el mundo trae consigo que consumamos más energía, y las formas tradicionales en que la generamos, en su mayoría a través de los combustibles fósiles, nos da como resultado importantes efectos globalmente negativos sobre el bienestar humano.

Las energías renovables son una gran alternativa para independizarse energética y económicamente, y así escapar de la problemática mundial de la energía convencional. Éstas se caracterizan porque en sus procesos de transformación y aprovechamiento en energía útil no se consumen ni se agotan en una escala humana. Entre estas fuentes de energías está la energía solar, la cual se obtiene directamente de la radiación solar mediante un panel fotovoltaico que a su vez la transforma en energía eléctrica.

La energía solar fotovoltaica consiste en transformar directamente la luz solar o radiación solar en electricidad. Se encarga de transformar los rayos solares o fotones, en electricidad (electrones) mediante el uso de los paneles solares fotovoltaicos, para ello se emplean unos dispositivos llamados células fotovoltaicas, que son semiconductores sensibles a la luz. Funciona de tal manera que cuando los rayos solares impactan en las células se genera lo que se conoce como par electrón-hueco, que mediante el uso de un circuito externo forman un movimiento de electrones, que es de donde se obtiene la corriente eléctrica. Los sistemas fotovoltaicos permiten la conversión de una partícula con energía lumínica (el fotón) en energía electromotriz o energía voltaica.

La energía solar tiene un sinnúmero de beneficios tanto para el ser humano como para su entorno tales como: es una fuente inagotable y renovable, ya que al contrario de las fuentes tradicionales de energía como el carbón, el gas, el petróleo o la energía nuclear, cuyas reservas son finitas, la energía del sol está disponible en todo el mundo y se adapta a los ciclos naturales, por ello es un elemento esencial de un sistema energético sostenible que permita el desarrollo presente sin poner en riesgo el mañana de las futuras generaciones; está contra el cambio climático al no emitir gases de efecto invernadero, por lo que no contribuye al calentamiento global. De hecho, se muestra como una de las tecnologías renovables más eficientes en la lucha contra el cambio climático; no contamina, no emite sustancias tóxicas ni contaminantes del aire, que pueden ser muy perjudiciales para el medio ambiente y el ser humano; son crecientes competitivos, con las convencionales en un número creciente de emplazamientos. Las economías de escala y la innovación están ya consiguiendo que las energías renovables lleguen a ser la solución más sostenible, no sólo ambiental sino también económicamente, para mover el mundo.

1.3. **METODOLOGÍA**

La metodología de la investigación es una disciplina de conocimiento encargada de elaborar, definir y sistematizar el conjunto de técnicas, métodos y procedimientos que se deben seguir durante el desarrollo de un proceso de investigación para la producción de conocimiento.

Orienta la manera en que vamos a enfocar una investigación y la forma en que vamos a recolectar, analizar y clasificar los datos, con el objetivo de que nuestros resultados tengan validez y pertinencia, y cumplan con los estándares de exigencia científica.

La metodología de la investigación, en este sentido, es también la parte de un proyecto de investigación donde se exponen y describen razonadamente los criterios adoptados en la elección de la metodología, sea esta cuantitativa o cualitativa.

1.3.1. **Metodología de Bruno Munari**

La metodología de Bruno Munari para la resolución de problemas consiste en un conjunto de operaciones dispuestas de manera lógica, de acuerdo con los resultados de las experiencias previas. Adicionalmente, la misma tiene como objetivo primordial optimizar los resultados, sin la necesidad de maximizar los esfuerzos.

Por otra parte, Munari estableció que el diseño abarca varios elementos, entre los que podemos mencionar los siguientes: diseño visual, industrial, gráfico y de investigación. De igual manera, él afirmó que el mismo es un proyecto estructural que da lugar a un buen resultado, siempre y cuando se estudie con exactitud cada uno de los elementos que lo conforman.

La metodología de Bruno Munari para la resolución de problemas establece diversas fases. Al respecto, cada una de estas etapas responde a una estructura lógica y organizada del proceso del diseño.

A. Planteamiento del problema

La metodología del diseño de Bruno Munari parte de la idea de que el problema contiene por sí sólo los elementos necesarios para su solución. De tal manera que, para su resolución, es necesario conocer cada uno de estos componentes, hasta el punto de emplearlos posteriormente en el desarrollo del proceso del diseño.

Al respecto, las posibles soluciones que podemos darle a un problema particular suelen ser de diversa índole. Entre ellas podemos mencionar las siguientes: provisional, definitiva, comercial, imaginativa o aproximativa.

B. Descomposición del problema

En términos generales, la descomposición del problema de diseño da lugar al surgimiento de otros sub problemas, cada uno de los cuales puede ser resuelto de manera óptima. De esta forma, se construye un banco de posibles soluciones aceptables para el problema general del diseño.

C. Recopilación de datos

En esta fase se recogen los datos relacionados con cada una de las formas que han sido empleadas en la resolución de los sub problemas, incluyendo los materiales y las técnicas. De esta forma, es posible que encontremos casos que han sido resueltos técnicamente y otros que comparten soluciones, los cuales constituyen una referencia para el desarrollo del proyecto.

D. Análisis de datos

El principal objetivo del análisis de datos es proporcionar una guía acerca de lo que no hay que hacer durante el proceso del diseño. Adicionalmente, nos sirve para brindar orientaciones y recomendaciones al respecto, a la vez que podemos disminuir la ocurrencia de errores en el diseño.

E. Creatividad

Se refiere al establecimiento de todas las posibles operaciones que surgen del análisis de los datos y que ayudan en la resolución de problemas. De tal manera que éstas nos permiten optar por una o varias soluciones óptimas.

F. Materiales y tecnología

En esta etapa debemos reconocer tanto los materiales como los instrumentos y las técnicas con las cuales contamos. De esta manera, podemos establecer relaciones útiles para el desarrollo del proyecto de diseño.

G. Experimentos

En este punto requerimos la realización de prueba y ensayos que nos permitan redireccionar nuestros esfuerzos en caso de ser necesario.

1.3.2. Metodología de la Caja Negra

Desde el punto de vista del diseño, la mente del diseñador funciona como una "caja negra", pues no se sabe exactamente qué sucede en su interior. Puede decirse que el diseñador es capaz de dar respuestas confiables para él y que pueden tener éxito, sin que pueda explicarse cómo se obtuvieron. Existe una repentina "iluminación", como una idea brillante, que ocurre con frecuencia cuando el individuo no la espera. Sin embargo, también puede afirmarse que esta creación repentina, generalmente no ocurre sin una buena cantidad de trabajo previo sobre el tema o problema de diseño.

Los ejemplos más comunes de métodos creativos los constituyen el método Brainstorming o Lluvia de ideas y el método denominado Sinestesia o Sinéctica.

A. Brainstorming o Lluvia de ideas

Es un método basado en la participación libre y donde la crítica está excluida. Consiste, básicamente, en una conversación entre los integrantes de un equipo donde todos participan aportando ideas u opiniones sobre el tema o problema de diseño. El propósito fundamental de la técnica es hacer desaparecer las inhibiciones o presiones sociales sobre los participantes.

B. Sinestesia o Sinéctica

Es un método de caja negra donde el énfasis está puesto en la utilización de analogías preseleccionadas por el equipo de diseño, como elementos para la transformación de puntos en contra en nuevos puntos a favor. El control inteligente sobre la manera de introducir los inputs tiende a incrementar las oportunidades de obtención de outputs adecuados al problema de diseño.

1.3.3. El diseñador como sistema auto - organizado

Se refiere a que el diseñador es capaz de organizar las actividades de diseño en función de estrategias previamente delineadas. Consiste en dividir los esfuerzos de diseño en dos partes:

- Una que lleve a cabo la investigación en busca de un diseño adecuado
- Otra que controle y evalúe los modelos de investigación (control de estrategias)

Este sistema intenta encontrar, en función de los objetivos del diseño, las estrategias o caminos alternativos para su consecución. El propósito de este modelo es la capacitación de cada miembro del equipo para la observación del grado en que las acciones de investigación producen o no un equilibrio aceptable entre el nuevo diseño, las situaciones influenciadas por el diseño y el coste del mismo. La utilidad fundamental de un método de control es la relación entre los resultados de cada una de las partes de la investigación con los objetivos principales. Para obtener una evaluación detallada, el resultado de cada sub- acción de la estrategia sea compatible con los resultados que se espera obtener con la estrategia general.

El sistema de diseño autoorganizado que comprende los métodos de control de estrategias, evalúa a estrategia total en relación a criterios externos y a los resultados parciales de la misma estrategia. El objetivo es asegurar que las estrategias funcionen de manera continua aun frente a las dificultades, pero que sean cambiadas o abandonadas cuando dejen de estar a la altura de las del contexto externo.

1.3.4. Metodología a trabajar

Para la ejecución del proyecto, se utilizará la metodología de Bruno Munari

A. Planteamiento del problema

Diseñar una planta fotovoltaica mediante software, que trabajará gracias a un sistema fotovoltaico conectado a la red y a un equipo generador que se encuentra en el terreno de una planta de tratamiento de aguas grises en la comuna de Petorca.

B. Descomposición del problema

Se plantean las medidas y la potencia de la planta fotovoltaica de manera en que pueda generar la cantidad de potencia mínima que se requiere según normas para que funcione la planta de tratamientos de aguas servidas. Se define la orientación en donde se instalarán para que se pueda utilizar provechosamente los rayos solares desde que sale el sol hasta que se esconda.

C. Recopilación de datos

Para el diseño de la planta solar, se realizará una visita al lugar utilizando un dron para que vuele sobre el terreno mediante coordenadas donde se instalarán los paneles y capture una serie de imágenes de manera continua que luego se ocuparán para hacer una elevación del terreno en un software llamado Pix4D Mapper y tener así las dimensiones exactas del lugar sin necesidad de medir el terreno de manera presencial.

D. Análisis de datos

Ya teniendo clara la medida de los paneles y su orientación, se comienza con el diseño de los 78 paneles requeridos a escala (1:1) con sus respectiva estructura y fundaciones, para ello se ocupará el software 3D Sketchup 2019, donde se diseñan todas sus partes e instalarlas donde corresponden.

Luego se hará un estudio de sombras con software PVSol que hace una simulación anual de pérdidas en porcentajes para conocer el óptimo funcionamiento de la instalación.

Para finalizar con el diseño, la estructura completa se exporta al software AutoCAD 2019 donde se efectúan los planos de elevación, planta y de detalle para llevarlos a revisión y comenzar con la instalación.

E. Creatividad

La realización del proyecto y los softwares que se necesitan para realizarlo tienen un margen de error de un 3% máximo en las dimensiones del lugar, lo cual solo hay una manera de realizarlo. En caso de que haya algún error, no influye en el funcionamiento de las plantas solares. El único error que podría existir sería en la instalación, donde los trabajadores no respeten las dimensiones que se exigen y se muestran en los planos, donde se tendría que desmontar la planta solar y volver a instalar. La incorrecta instalación de los paneles afecta el óptimo funcionamiento donde no se recibirán correctamente los rayos solares y habrá problemas para poner en marcha el objetivo del proyecto.

F. Materiales y tecnología

La instalación fotovoltaica del presente proyecto está constituida principalmente del sistema generador, compuestos por módulos fotovoltaicos, cableado, estructura, soporte, fundaciones, inversores de potencia, protecciones medidor de energía eléctrica y elementos de interconexión a la red.

Se realizan los costos y presupuestos del proyecto detallando días desde la preparación hasta la finalización de éste, cantidad de trabajadoras y trabajadores, materiales utilizados y su cubicación.

Los softwares a ejecutar son: Pix4D Mapper, PVSol, SketchUp y AutoCAD.

1.4. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

A continuación, se dan a conocer especificaciones técnicas para introducir y dar a conocer de qué trata el proyecto y sus conceptos.

1.4.1. Especificaciones técnicas generales

Se muestran conceptos principales para comprender la energía fotovoltaica, sus sistemas eléctricos y softwares aplicados en el proyecto.

1.4.1.1. Las energías renovables

- Son recursos limpios y casi inagotables que nos proporciona la naturaleza.
- Por su carácter autóctono contribuyen a disminuir la dependencia de nuestro país de los suministros externos.
- Favorecen el desarrollo tecnológico y la creación de empleo.

Las fuentes y tipos de energía renovable estarían formados principalmente por:

- Energía solar (sol).
- Energía hidráulica (agua).
- Energía marítima (mar).
- Energía eólica (viento).
- Biomasa (materia orgánica).

- Geotermia (bajo la superficie de la Tierra existe un gran volumen de energía en forma de calor que puede aprovecharse tanto como para producir energía eléctrica).

Entre las ventajas de los tipos de energía renovable se destaca que: no contaminan y son respetuosas con el medio ambiente, por lo que también se denominan energías limpias; son más seguras para la salud de las personas ya que no generan residuos y son fáciles de dismantelar; y tienen un potencial prácticamente ilimitado para producir energía ya que se generan a partir de fuentes inagotables como el sol, el viento, el movimiento del agua, etc.

1.4.1.2. Las energías no renovables

Son aquellas cuyas reservas son limitadas y, por tanto, disminuyen a medida que se consumen. A medida que las reservas son menores, es más difícil su extracción y aumenta su coste.

Se consideran energías de origen no renovable:

- El petróleo.
- El gas natural.
- El carbón.
- La energía nuclear.

Sin embargo, preocupa que se trata de tipos de energía basado en recursos finitos, que terminarán por agotarse, lo que hace que sea necesario buscar alternativa para cubrir la demanda energética futura de la sociedad. Por otro lado, el empleo de energías no renovables también genera residuos y emisiones de gases contaminantes a la atmósfera, por lo que, a gran escala, representan un gran riesgo para la salud de las personas.

1.4.1.3. Energía solar

La energía solar es aquella generada por el Sol y que viaja a través de radiaciones para llegar a la Tierra. Es una energía renovable la cual el ser humano tiene intención de obtenerla de manera eficiente para su uso y aprovechamiento mediante diferentes tecnologías que han ido evolucionando con el paso del tiempo.

Este tipo de energía es inagotable y muy abundante y por ello además de ser una fuente renovable, es una energía limpia y supone una alternativa a otros tipos de energía no renovables como la energía fósil o la energía nuclear.

A grandes rasgos, una vez llegada a la superficie terrestre, la energía solar necesita una instalación fotovoltaica para convertirse en electricidad. La instalación capta la radiación mediante celdas fotovoltaicas y la transforma en corriente. Este es el uso más común de la misma.

La energía solar se puede aprovechar en forma de energía térmica o energía fotoeléctrica, para su consumo posterior allá donde se necesite. Cuando se trata de energía térmica obtenemos calor para calentar un fluido.

El elemento encargado de captar la radiación solar y transformarla en energía útil es el panel solar. Los paneles solares pueden ser de distintos tipos dependiendo del mecanismo escogido para el aprovechamiento de la energía solar.

La energía solar térmica consiste principalmente en aprovechar la energía que genera el Sol hacia un medio que sea portador de calor, que generalmente suele ser agua o aire en estos casos. Este tipo de energía solar es menor en cuanto a su aprovechamiento y también en su producción que la energía fotovoltaica pero se está avanzando mucho en los últimos años y se espera que tenga un gran impacto a corto plazo a nivel mundial, a nivel ecológico y económico.

1.4.1.4. Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica transforma la radiación solar en electricidad. A veces, se la denomina energía fotovoltaica o energía fotoeléctrica.

Esta transformación se realiza en los paneles solares. Los módulos solares están compuestos de unas fotocélulas con unos materiales semiconductores. Los materiales más habituales son compuestos de silicio.

Las principales ventajas son:

- No genera contaminación ni emisiones de gases de efecto invernadero. No contribuye al cambio climático.
- No requiere combustible. Únicamente la radiación del Sol.
- Su dimensionamiento es escalable. Es fácil añadir o quitar módulos según la demanda energética.
- La producción de energía puede ser a gran escala como una planta fotovoltaica, y para el consumo en general o a pequeña escala como para una vivienda.

Para transformar la radiación solar en electricidad se utilizan los paneles fotovoltaicos, los paneles están compuestos de células fotovoltaicas, las células están formadas por un material con electrones sensibles a la radiación solar y cuando un fotón choca contra un átomo de silicio salta un electrón generando una corriente eléctrica.

Las instalaciones fotovoltaicas pueden ser montadas en el suelo, en el techado o en la pared. El soporte puede ser fijo o usar un seguidor solar para estar siempre orientados al sol.

1.4.1.5. Paneles fotovoltaicos

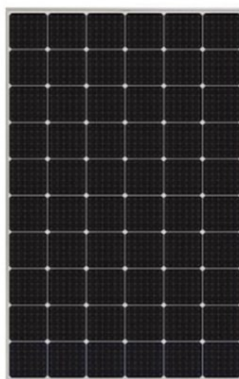
Un panel fotovoltaico es un tipo de panel solar diseñado para el aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica. Su función es transformar la energía solar en electricidad.

Los módulos fotovoltaicos se pueden utilizar para generar energía eléctrica tanto en aplicaciones domésticas o en aplicaciones comerciales.

Los módulos fotovoltaicos están formados por un conjunto de celdas fotovoltaicas interconectadas entre ellas. Las células fotovoltaicas que componen un panel fotovoltaico se encuentran encajadas y protegidas. El panel fotovoltaico es el encargado de transformar de una manera directa la energía de la radiación solar en electricidad, en forma de corriente continua.

Tipos de paneles fotovoltaicos:

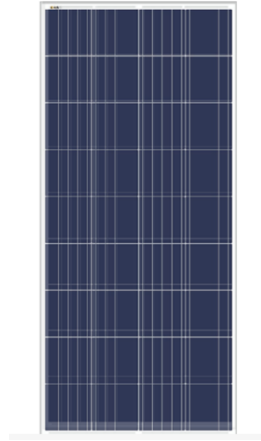
- A. **Paneles solares monocristalinos**: Las células de silicio monocristalino se fabrican a partir de bloques de silicio cilíndricos. Se cortan los cuatro lados del cilindro, con lo que hay abundante silicio y se hacen láminas con bordes redondeados como muestra la Figura 1-1. Por tanto, los cristales tienen una pureza elevada, lo que provoca que el rendimiento de cada celda aumente. Tiene una eficiencia del 18% al 22%.



Fuente: <https://puntosolar.cl/>

Figura 1–1. Panel fotovoltaico monocristalino

- B. **Paneles solares policristalinos**: El proceso es diferente, se funde en bruto (con impurezas) el silicio y a continuación se vierte en un molde cuadrado. Como resultado, las láminas son todas perfectamente cuadradas. Al tener impurezas, se forman policristales que disminuyen la eficiencia que es de un 14% a un 17%.



Fuente: <https://hongyuan.cl/>

Figura 1–2 Panel fotovoltaico policristalino

1.4.1.6. Estructura soporte de paneles

Las estructuras para paneles solares van a determinar la orientación del panel solar respecto al suelo. La orientación es la que determina el aprovechamiento máximo del material. Generalmente se adquieren orientaciones de 20°, 30° ó 60°. Las estructuras para panel fotovoltaico y soportes para paneles solares están fabricadas con acero galvanizado en caliente, y los tornillos y demás piezas están fabricados de acero inoxidable, acero galvanizado y aluminio, las fundaciones son de hormigón, de manera que todas las estructuras y soportes solares resisten condiciones climatológicas extremas.

Su esperanza de vida es, como norma general, de 25 años. De hecho, un panel solar puede funcionar durante treinta años o más, pero su potencia disminuirá después de veinte años debido a la degradación de sus células fotovoltaicas. Con los cuidados adecuados, se podría esperar una vida media de hasta 35 años. A partir de ahí, se debería verificar el poder de la instalación para asegurarnos de que la energía producida aún satisfaga las necesidades.

1.4.1.7. Sistemas eléctricos fotovoltaicos

Una variable importante de los sistemas de energía solar es si estos están conectados o no a la red del servicio público de electricidad. Esto puede incidir de manera importante en el diseño del sistema, sus componentes, y el costo.

- A. **On-Grid:** hace referencia a un sistema de energía solar conectado a la red. Bajo este esquema el usuario puede obtener su electricidad tanto de la producción de los paneles solares como de la empresa de electricidad. Durante las noches, cuando los paneles no producen energía, se tiene el respaldo de la red. Este tipo de sistema suele llevar un contador bidireccional en caso de que se desee inyectar electricidad a la red, sin embargo esto no es obligatorio. Este sistema puede o no tener baterías. Un sistema sin baterías no puede dar respaldo si se corta el servicio de la red, mientras que uno con baterías sí. Este último requiere inversiones adicionales en baterías y los componentes necesarios para su manejo. Un sistema On-Grid con baterías puede ayudar a reducir costos al usar la energía almacenada cuando el precio de la red aumenta.

- B. **Off-Grid:** por el contrario, no está conectado a la red. Esto quiere decir que cuando los paneles no generan electricidad no se tiene un respaldo, salvo que cuente con baterías. Como el sistema On-Grid con baterías, el Off-Grid con baterías requiere inversiones adicionales. Una de las ventajas de este sistema es que el usuario está totalmente desconectado del servicio de la red y sus costos asociados. Una desventaja es que requiere una buena capacidad de almacenamiento para garantizar la electricidad.

1.4.1.8. Software Pix4DMapper

Pix4D es el software de fotogrametría para mapeo profesional de drones, crea mapas y modelos 3D a partir de imágenes aéreas, este software le permitirán pasar menos tiempo en campo, incrementando la productividad y ahorro de costos operativos.

Captura imágenes RGB, térmicas o multiespectrales con dron o cualquier cámara, procesa imágenes a través del software para transformarlas en modelos espaciales digitales, puede utilizar la nube o la plataforma de fotogrametría en el pc. Evalúa los resultados y mejora la calidad de los proyectos, el informe de calidad ofrece una vista previa de los resultados generados, los detalles de calibración y más información acerca de la calidad de los resultados.

1.4.1.9. Software PVSol

Es un programa de simulación para el diseño y dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos capaz de analizar todos los módulos fotovoltaicos instalados en un tejado, o incluso a nivel del suelo con análisis dinámico de sombreado a través de su interfaz 3D, con ella puedes extruir objetos a partir de imágenes satelitales, importar geometrías desde una variada gama de extensiones de dibujo o incluso dibujarlas dentro del motor gráfico incluido en el software.

Su amplia base de datos de componentes fotovoltaicos y datos climáticos permiten realizar una simulación detallada y variar aspectos como la ubicación de los módulos, cambios en las conexiones, distribución de equipos o implementación de optimizadores de potencia.

1.4.1.10. Software SketchUp

SketchUp es un programa de diseño gráfico y modelado en 3D basado en caras. Es utilizado para el modelado de entornos de planificación urbana, arquitectura, ingeniería civil, diseño industrial, diseño escénico.

Su principal característica es poder realizar diseños en 3D de forma sencilla. Permite conceptualizar y modelar imágenes en 3D de edificios, coches, personas y cualquier objeto o artículo que imagine el diseñador o dibujante, además de que el programa incluye una galería de objetos, texturas e imágenes listas para descargar.

1.4.1.11. Software AutoCAD

Es un software de diseño asistido por computadora (CAD) en el cual se apoyan tanto arquitectos como ingenieros y profesionales de la construcción para crear dibujos precisos en 2D y 3D. Crea, anota y edita geometría en 2D y modelos en 3D con sólidos, superficies y objetos de malla. Automatiza tareas como, comparar dibujos, realizar un recuento, añadir bloques, crear tablas de planificación, etc.

1.4.2. Especificaciones técnicas específicas

Se detalla terreno, geolocalización y clima de la zona.

1.4.2.1. Emplazamientos y accesos

El proyecto fotovoltaico se emplaza en el terreno de la planta de tratamiento de la Cooperativa APR, Valle de Olmos, ubicada en Camino Público E – 375, Provincia de Petorca, en la V Región de Valparaíso, Chile, con las coordenadas del punto central aproximadas dadas por:

- 32,2059° SUR.
- 70,8245° OESTE.
- Altitud de 680 metros.

En las siguientes en la Figura 1-3 extraída de Google Earth, se localiza la instalación del presente proyecto.



Fuente: Google Earth

Figura 1–3. Mapa con referencia del terreno, Valle de Olmos, Petorca.

El área del terreno es de 1423,4 m² y el área a construir es de 255,15 m² de paneles solares a tierra y de 33,4 m² de paneles a techo. La Figura 1-4 muestra el terreno.



Fuente: Fotografía propia tomada por dron.

Figura 1–4. Terreno Cooperativa APR, Valle de Olmos, Petorca.

Para el diseño de Sistema Solar fotovoltaico On-Grid de 35,1 [kWp] se hizo levantamiento de las variables de espacio geográficas e instalaciones del terreno que se observan en las Figuras 1-5, 1-6 y 1-7.



Fuente: Fotografía propia tomada por dron.

Figura 1–5. Terreno Cooperativa APR, Valle de Olmos, Petorca.



Fuente: Fotografía propia tomada por dron.

Figura 1–6. Terreno Cooperativa APR, Valle de Olmos, Petorca.



Fuente: Fotografía propia tomada por dron

Figura 1–7. Terreno Cooperativa APR, Valle de Olmos, Petorca.

1.4.2.2. Radiación anual.

Para realizar el análisis de producción, se tomarán los datos de radiación del Explorador Solar, realizado por la Facultad de Ciencias y Matemáticas de la Universidad de Chile. El Explorador Solar tiene como objeto proporcionar una herramienta para conocer la distribución solar espacial y temporal en el territorio de Chile.

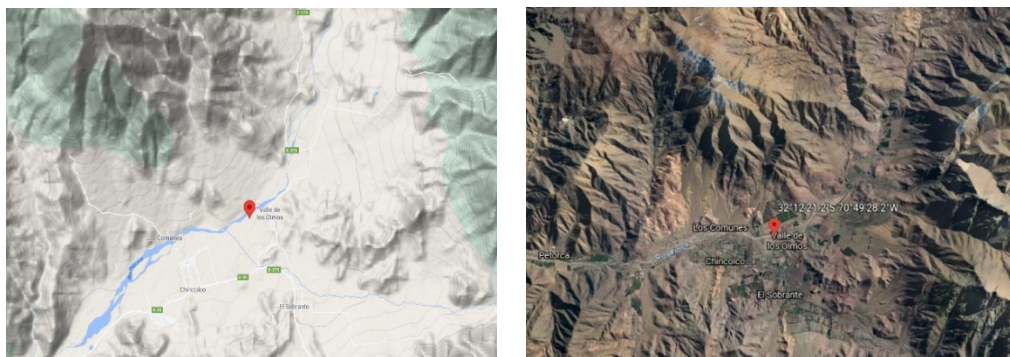
Se basa en información de satélites que cubren regularmente el país, combinando con la modelación de los procesos en los que la radiación solar es modificada a su paso por la atmósfera, y así posibilita construir campos de alta resolución espacial y temporal de la radiación solar incidente.

El Explorador Solar en Chile incluye mapas de radiación solar en superficie calculados con metodología que utiliza un modelo de transferencia radiactiva de la radiación con los distintos tipos de nubes, cuyas características son estimadas a partir de imágenes satelitales geoestacionaria, a través de un modelo empírico basado en la red de observaciones locales de irradiancia superficial. También incluye el uso de los datos provenientes del satélite MODIS, que ofrece mapas semanales de albedo superficial para Chile, usados como referencia para detectar la nubosidad en Chile.

El punto del cual se han obtenido los datos de radiación es:

- Latitud: 32,2059°S
- Longitud: 70,8245°O
- Altura: 673 m.

La localización del proyecto y el mapa identificativo obtenido del modelo del terreno digital SRTM a 90 metros de resolución., se muestra en la Figura 1-8.

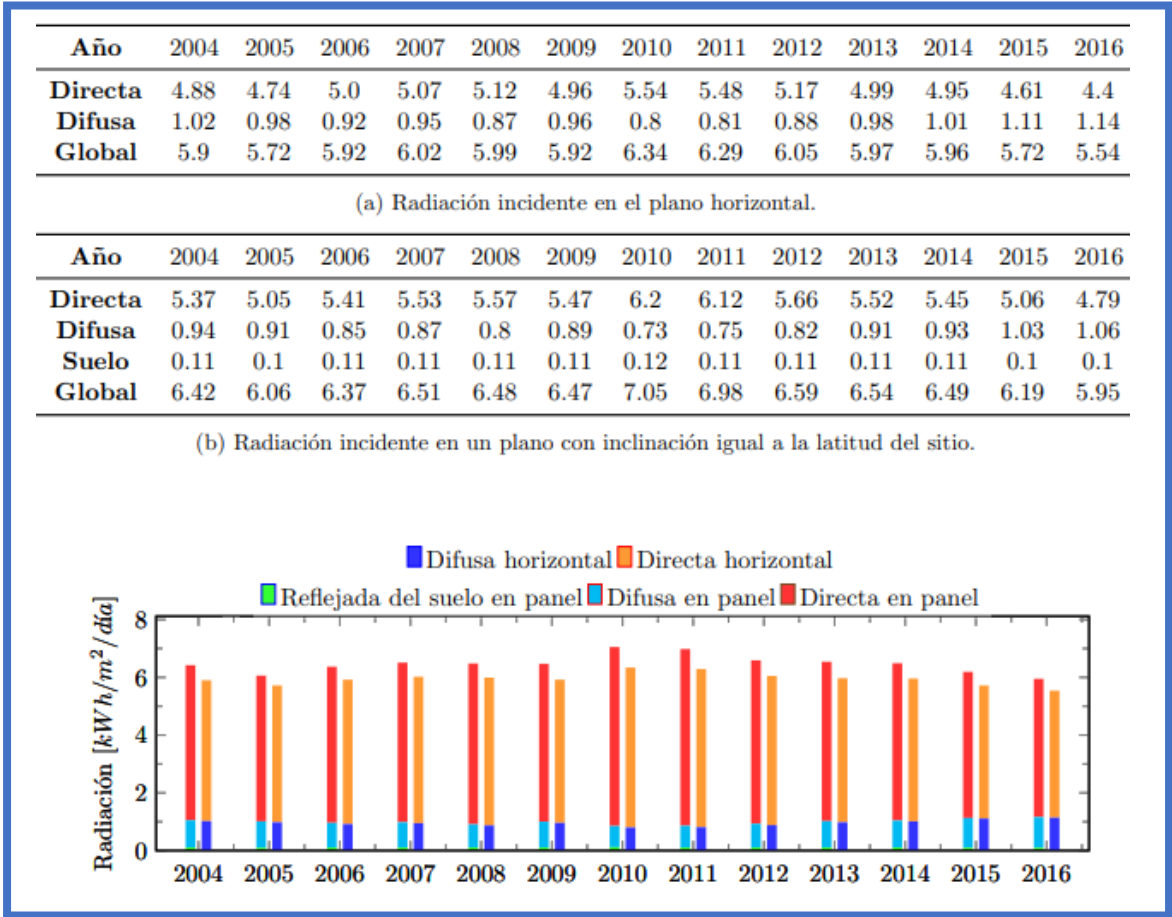


Fuente: <https://earth.google.com/>

Figura 1–8. Ubicación Cooperativa APR.

A continuación, se muestra en la Tabla 1-1 la variabilidad anual de energía solar diaria media entre los años 2004 al 2016 y su promedio.

Tabla 1–1



Fuente: Datos meteorológicos Petorca, Región de Valparaíso.

1.4.2.3. Dimensionado

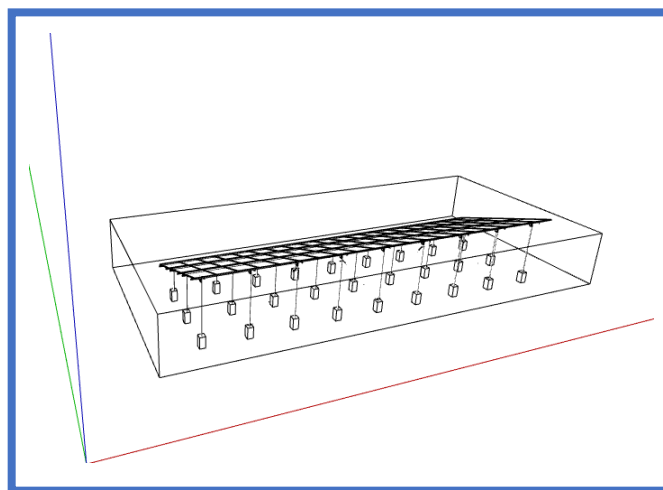
La instalación (orientación, tamaño y ángulo de inclinación) se ve condicionada, desde su origen por la ubicación del terreno en donde se emplaza la Planta de Tratamiento de la Cooperativa APR Valle de Olmos, las interferencias, sombras locales y el espacio disponible para su desarrollo. Para el dimensionado de la instalación fotovoltaica con el objeto de simplificar técnicamente la instalación, optimizar la producción solar y minimización de sombras, se elige la configuración en una mesa con tres módulos en vertical esta configuración permite colocar todos los módulos necesarios en la superficie disponible y la inclinación óptima para optimizar la generación solar por lo expuesto precedentemente se elige 20° de inclinación con orientación siguiendo el límite norte de la parcela que es en 25° al este.

Esta configuración permite minimizar costos, maximizando el rendimiento y la energía obtenida anualmente y permite de igual manera, utilizar como alternativa módulos. Para efectos de este se solicitan módulos de 60 celdas que en su totalidad hagan la mínima potencia requerida.

1.4.2.4. Layout y sombras

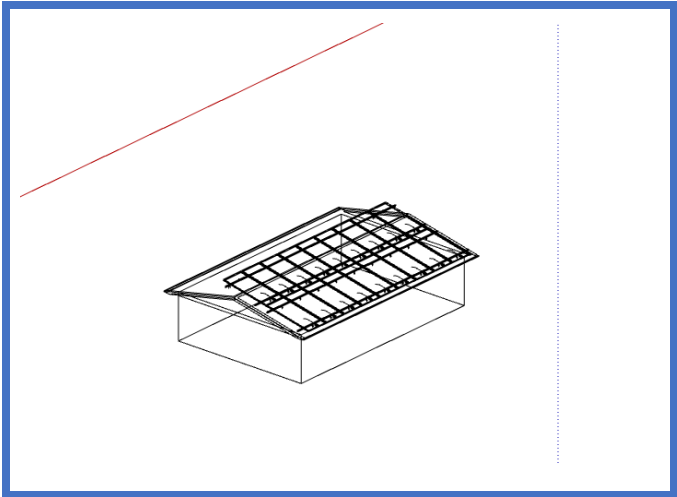
El terreno disponible para instalar los módulos y restos de los equipos fotovoltaicos, se encuentran en terreno de la Cooperativa APR Valle Los Olmos, que cuenta con árboles y arbustos que pueden generar sombra a los módulos fotovoltaicos, por lo que, de acuerdo a lo acordado con la propiedad se deberá minimizar lo más posible.

El cierre perimetral en cambio generará una ligera sombra que ha sido simulada dibujando su forma geométrica aproximada junto con conjunto de la mesa de módulos solares tal como se muestra en la Figura 1-9



Fuente: Elaboración propia para proyecto.

Figura 1–9. Bosquejo del campo fotovoltaico y situación de sombreado cercano

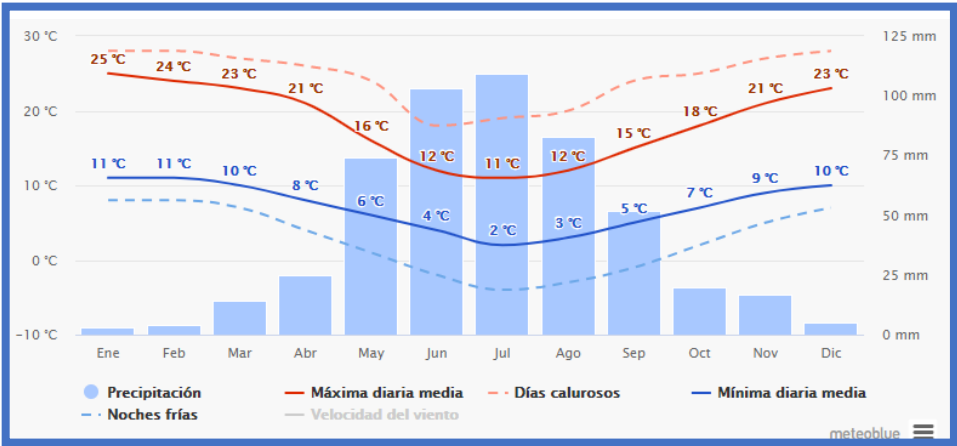


Fuente: Ellavoración propia para proyecto.

Figura 1–10. Bosquejo del campo fotovoltaico y situación de sombreado cercano

1.4.2.5. Temperaturas medias y precipitaciones

La máxima diaria media (línea roja), muestra la media de la temperatura máxima de un día por cada mes de Petorca. Del mismo modo, la mínima diaria media (línea azul continua), muestra la media de la temperatura mínima. Los días calurosos y noches frías (líneas azules y rojas discontinuas), muestran la media del día más caliente y noche más fría de cada mes en los últimos 30 años. Precipitaciones mensuales por encima de 150 milímetros son en su mayoría húmedas, por debajo de 30 milímetros en la mayor parte secadas que muestra el Grafico 1-1.

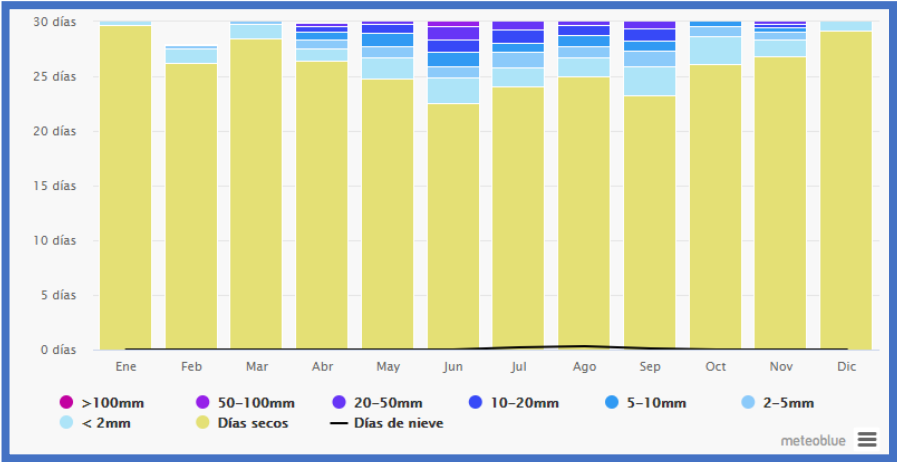


Fuente: <https://www.meteoblue.com/>

Gráfico 1–1. Temperaturas medias y precipitaciones,

1.4.2.6. Cantidad de precipitación

El Gráfico 1-2 de diagrama de precipitación para Petorca muestra cuántos días al mes, se alcanzan ciertas cantidades de precipitación.

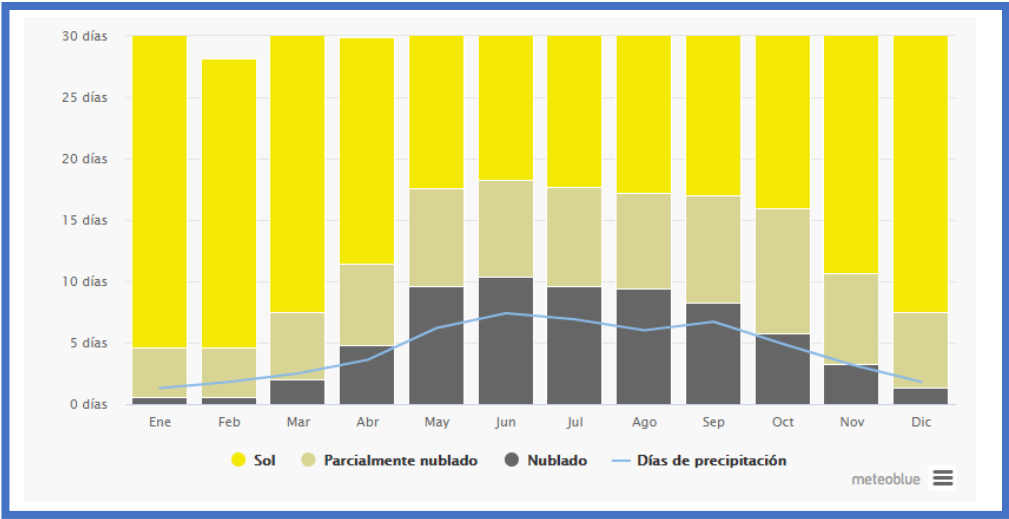


Fuente: <https://www.meteoblue.com/>

Gráfico 1–2. Cantidad de precipitación anual

1.4.2.7. Nubosidad, sol y precipitaciones

El Gráfico 1-3 muestra el número mensual de los días de sol, parcialmente nublados, nublados y precipitaciones. Los días con menos de 20% de cubierta de nubes se consideran como días soleados, con 20-80% de cubierta de nubes como parcialmente nublados y más del 80% como nublados.

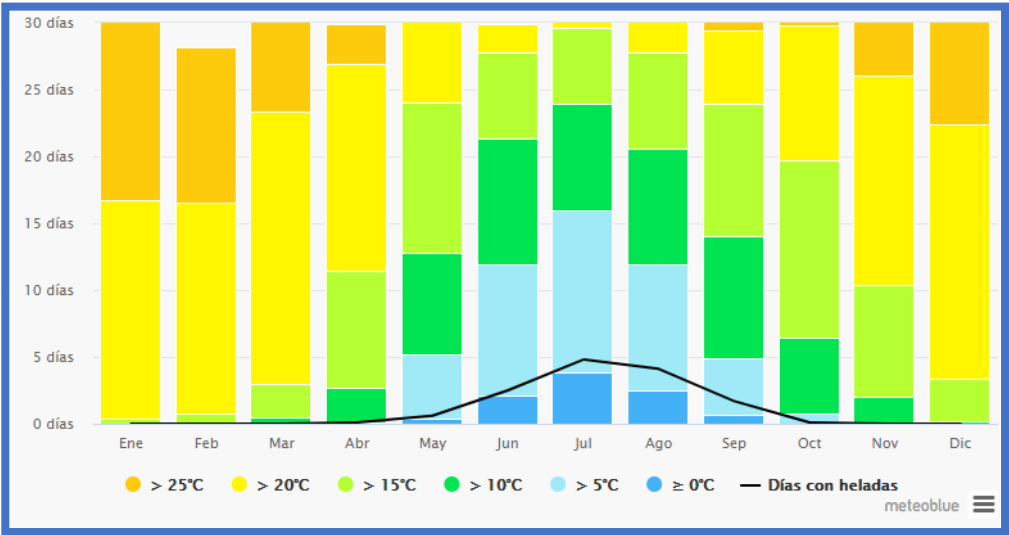


Fuente: <https://www.meteoblue.com/>

Gráfico 1–3. Nubosidad, sol y precipitaciones

1.4.2.8. Temperaturas máximas

El Gráfico 1-4 de la temperatura máxima en Petorca muestra cuántos días al mes llegan a ciertas temperaturas.



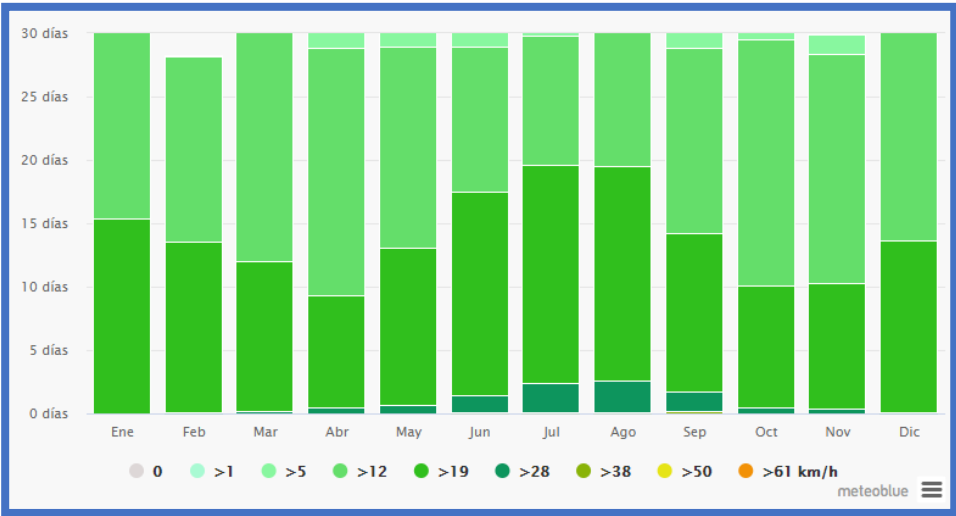
Fuente: <https://www.meteoblue.com/>

Gráfico 1–4. Temperaturas máximas.

1.4.2.9. Velocidad del viento

El Gráfico 1-5 de Petorca muestra los días por mes, durante los cuales el viento alcanza una cierta velocidad.

Las unidades de velocidad del viento se pueden cambiar en las preferencias (arriba a la derecha).



Fuente: <https://www.meteoblue.com/e>

Gráfico 1–5. Velocidad del viento

1.5. **REGLAMENTOS Y NORMATIVAS**

A continuación, se detallan las normas por las cuales se rigen para la elaboración de proyectos fotovoltaicos.

1.5.1. Diseño y ejecución de instalaciones FV conectadas a la red

La Instrucción Técnica RGR N°02/2020 acota los requerimientos que se deben observar para el diseño, ejecución, inspección y mantención de las instalaciones eléctricas fotovoltaicas que se comunican a la Superintendencia de Electricidad y Combustibles para ser conectadas a la red de distribución, con el fin de entregar un servicio eficiente y de salvaguardar la seguridad de las personas que las operan o hacen uso de ellas, así como la integridad física y operacional de la red de distribución eléctrica.

1.5.2. Condiciones sanitarias y ambientales en lugares de trabajo

El presente decreto 594 establece las condiciones sanitarias y ambientales básicas que deberá cumplir todo lugar de trabajo, sin perjuicio de la reglamentación específica que se haya dictado o se dicte para aquellas faenas que requieren condiciones especiales. Establece, además, los límites permisibles de exposición ambiental a agentes químicos y agentes físicos, y aquellos límites de tolerancia biológica para trabajadores expuestos a riesgo ocupacional.

1.5.3. Cables eléctricos para sistemas fotovoltaicos

La norma europea UNE-EN 50618-2:2015 aplica a los cables de energía unipolares flexibles con aislamiento y cubierta de compuesto reticulado libre de halógenos y con baja emisión de humos. Concretamente para ser utilizados en el lado de corriente continua de los sistemas fotovoltaicos con una tensión nominal en corriente continua de 1,5 kV entre conductores y entre conductor y tierra.

Estos cables están diseñados para trabajar a una temperatura máxima normal del conductor de 90°C, pero durante 20.000 h como máximo, se permite una temperatura máxima del conductor de 120°C a una temperatura ambiente máxima de 90°C.

1.5.4. Norma chilena de diseño sísmico de estructuras

Esta norma establece los requisitos para diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales, ya sea livianas o pesadas. Se aplica, tanto a las estructuras propiamente tales, como a los sistemas de ductos y cañerías y los equipos de proceso, mecánicos, eléctricos y sus anclajes. También se aplica a las estructuras de bodegas o recintos de vocación industrial, y las construcciones estructuradas con columnas en voladizo.

1.5.5. Diseño estructural cargas de viento

La Nch 432 2010 establece la forma en que se debe considerar la acción del viento en el cálculo de construcciones, tanto para su sistema principal resistente a las fuerzas del viento (SPRFV) como para los revestimientos y elementos secundarios.

1.5.6. Módulos fotovoltaicos cristalinos de silicio

La norma NCh2976.Of2005 sirve para establecer los requisitos para la calificación del diseño y la aprobación de tipo de modulo fotovoltaico para aplicación terrestre adecuados para operaciones de larga duración en climas de aire moderados.

Esta norma se aplica solamente a los módulos de tipo silicio cristalino. Esta norma es una traducción modificada de la versión en inglés de la Norma Internacional IEC 61215:2005 Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules-Design qualification and type appro.

1.5.7. Instrucción técnica RGR N°01/2020

Esta instrucción técnica de procedimiento de comunicación de energización de generadoras residenciales. tiene como objetivo establecer la comunicación de energización de las instalaciones de generación distribuida para autoconsumo establecido en el artículo 26 del Decreto Supremo N° 57, de 2019 del Ministerio de Energía que aprueba el Reglamento de Generación, distribuida para autoconsumo de la Ley N° 21.118.

1.5.8. Norma chilena de diseño sísmico en edificaciones

Esta norma establece requisitos mínimos para el diseño sísmico de edificios, exigencias sísmicas que deben cumplir los equipos y otros elementos secundarios de edificios. También incluyen recomendaciones sobre la evaluación del daño sísmico y su reparación.

1.5.9. Instrucción técnica RGR N°02/2020 sobre estructuras

Las estructuras sobre techo cuya potencia instalada de la unidad de generación fotovoltaica sea igual o superior a 30kW, deberán satisfacer, adicionalmente, los requerimientos establecidos en las normas NCh 433 o NCh 2369, según corresponda, se deberá presentar una memoria de cálculo de las estructuras.

CAPÍTULO 2: INGENIERÍA BÁSICA Y DETALLE

2. **INGENIERÍA BÁSICA. Y DETALLE**

En esta etapa, se comenzará la elaboración de planos, se definirán especificaciones técnicas y presupuesto final para la evaluación de la obra para pasar a la realización de planos para la construcción y llevar a cabo la instalación de la planta solar.

2.1. **INGENIERÍA BÁSICA**

Define los lineamientos generales e ideas básicas del proyecto. Estas ideas y definiciones del proyecto son los pilares en que se basará la ingeniería de detalle, para la ejecución de los planos constructivos.

2.2. **INGENIERÍA DE DETALLE**

Convierte la información de la ingeniería básica en el diseño detallado de la estación fotovoltaica, de manera de que se pueda comprar o construir los elementos constitutivos, puedan ser montados en forma lógica cumpliendo los requerimientos técnicos de la instalación.

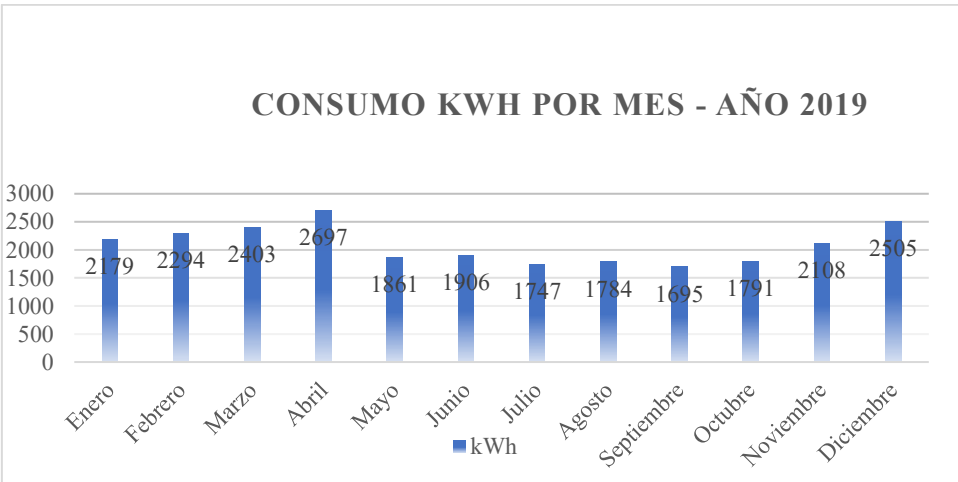
Integran la ingeniería de detalle:

- A. Simulación del sistema fotovoltaico, utilizando software específico para sistemas fotovoltaicos, análisis de sombra, generación anual de electricidad del sistema.
- B. Procedimiento de trabajo en la obra, donde se incluye el procedimiento de transporte, instalación, montajes de los materiales y equipos considerados para la ejecución de la obra.
- C. Carta Gantt de la ejecución de la obra.
- D. Planos de disposición general de cada sistema fotovoltaico en el terreno indicado.
- E. Listado de materiales y equipos (cantidad, modelo, marca) junto a sus especificaciones técnicas.
- F. Planos layout de planta y elevaciones.
- G. Planos de disposición de inversores y tableros con sus componentes.

2.3. CONSUMO ELÉCTRICO

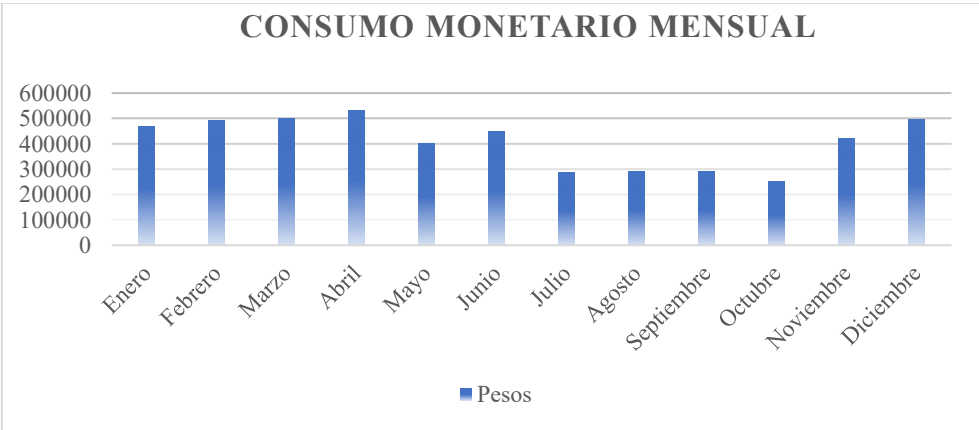
Es la cantidad de energía utilizada en un punto de suministro durante un periodo de tiempo determinado. Este concepto es facturado por las comercializadoras al aplicarse un precio del kilovatio hora (kWh), que determinará el importe a abonar por la energía.

Se determina, mediante boletas de luz, la cantidad de kilovatio consumidos por mes (Gráfico 2–1) y el costo a pagar durante los 12 meses de enero a diciembre (Gráfico 2-2). Se concluye que es un crecimiento directamente proporcional ya que, si el consumo mensual aumenta, aumenta monetariamente teniendo en cuenta que el precio del kWh varía cada mes.



Fuente: Detalle de facturación boleta empresa CGE

Gráfico 2-1. Consumo energético mensual.



Fuente: Detalle de facturación boleta empresa CGE

Gráfico 2–2. Consumo monetario mensual.

El consumo parcial de la planta de tratamientos de aguas servidas APR Valle de Olmos tiene un total anual de 24.970 kWh, lo cual se puede concluir que diariamente tiene un consumo de 68,42 kWh, dividiendo el total anual por los 365 días del año. Siendo el mes de abril donde tuvo el mayor consumo energético y septiembre el menor consumo.

$$24.979 \text{ kWh} / 365 \text{ días} = 68,42 \text{ kWh por día.}$$

2.4. **EQUIPOS Y MATERIALES**

Mediante los datos arrojados anteriormente, se procede a la selección de equipos y materiales requeridos para la realización del proyecto. El SSF que se decide emplear tendrá una instalación conectada a la red (On-Grid), ya que el objetivo principal de la empresa APR Valle de Olmos es disminuir el valor total que se debe pagar a la empresa distribuidora de energía

2.4.1. **Paneles fotovoltaicos**

Los módulos fotovoltaicos seleccionados son monocristalinos marca Risen 450 watt monocristalino con una potencia nominal de 450 [Wp]. Estos módulos cuentan con autorización para su uso en instalaciones de generación eléctrica mediante Resolución Exenta N° 33467 del 21 de octubre del 2020. A continuación, en la Tabla 2-1 se muestran sus especificaciones técnicas.

Tabla 2 – 1. Especificaciones paneles fotovoltaicos

PARÁMETROS MECÁNICOS	
Celda	Monocrystalino
Peso	25.5 Kg.
Dimensiones (LxAxP)	2178x996x40 mm
Sección del cable	4 mm ²
Nº de celdas y conexiones	156(6x13+6x13)
Junction Box	IP68, 3 diodos
Conector	Risen Twinsel PV-SY02
PARÁMETROS ELÉCTRICOS	
Potencia Nominal Máxima STC	450 W
Voltaje Circuito Abierto V _{oc}	52.82 V
Voltaje a potencia máxima V _{mp}	44.00 V
Corriente de Cortocircuito I _{sc}	10.87 A
Corriente a potencia máxima I _{mp}	10.24 A
Eficiencia del Módulo	21.0 %
PARÁMETROS DE OPERACIÓN	
Voltaje máximo del sistema	DC 1500 V CC (IEC)
Temperatura de operación	-40°C a +85°C
Carga estática máxima frontal	5400 Pa
Carga estática máxima trasera	2400 Pa
Tamaño máximo de fusible	20 A

Cumplen con norma IEC61215 , IEC61730:

Fuente: <https://www.todosolarchile.cl/>

Los módulos se instalan de modo de asegurar una buena ventilación y una separación suficiente que permita las dilataciones y contracciones térmicas, que garantice una adecuada disipación de calor.

Las dimensiones y especificaciones se muestran en Anexo A donde se indica ficha técnica.

2.4.2. Inversor fotovoltaico.

Se utilizan dos inversores marca Fronius Symo 15.0-3 trifásico (Figura 2-2) y Fronius Symo 10.0-3 trifásico (Figura 2-3), que transforman la corriente continua del generador fotovoltaico en corriente alterna apta para la red y la inyección a la red pública. Cuenta con un punto de desconexión en el lado de entrada CC, un sistema de monitorización de toma a tierra y red, un descargador de sobretensión de CC, y una protección contra polaridad inversa.



Fuente: <https://www.fronius.com/>

Figura 2–2. Inversor Fronius Symo 15.0-3



Fuente: <https://www.fronius.com/>

Figura 2–3. Inversor Fronius Symo 10.0-3

2.4.3. Conductores y conexiones eléctricas

En la Figura 2-4 muestran los conductores utilizados son especialmente diseñados para conectar sistemas Fotovoltaicos. La marca del cable es TopSolar PV H1Z2Z2-K.

Los conductores utilizados son de 4 mm² de sección con doble aislación, libre de halógenos y retardante de fuego. Esta sección permite asegurar una caída de tensión inferior al 1,5%. El cable Solar H1Z2Z2-K, es apto para instalaciones fotovoltaicas, tanto en servicio móvil como en instalación fija. Cable muy flexible especialmente indicado para la conexión entre paneles fotovoltaicos, y desde los paneles al inversor de corriente continua o alterna, compatible con la mayoría de los conectores.

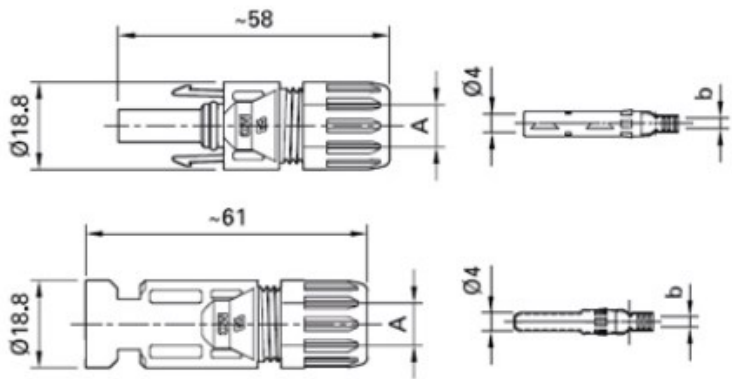


Fuente: <https://www.topcable.com/>

Figura 2–4. Cable TopSolar

2.4.4. Conexiones eléctricas

Las conexiones permitirán un montaje rápido, manteniendo la seguridad e impermeabilidad del sistema. La interconexión de los módulos FV de la UGF se realizará mediante conectores MC4 diseñados para aplicaciones FV que muestra la Figura 2-5.



Fuente: <https://www.todosolarchile.cl>

Figura 2–5. MC4 hembra y macho para acoplamiento serie.

Los conectores son polarizados y su configuración no permite confundirlos con otros tomacorrientes de otros sistemas. Estos están fabricados e instalados de modo que eviten el contacto accidental con las partes energizadas.

2.4.5. Canalizaciones

Todos los conductores serán canalizados según la norma NCH 4/ 2003 para soportar las exigencias externas previstas, tales como ambientales y mecánicas. Los conductores desde el generador FV hasta la ubicación del inversor, serán canalizados utilizando Conduit metálico rígido galvanizado de 1 1/4", del Inversor al Tablero FV serán canalizados utilizando flexible metálico de 1 1/4". Se utilizarán cajas de paso metálicas para permitir que los cables no sufran un estrés mecánico y al exterior cajas metálicas herméticas con gomas. Por tratarse de conduit metálico, los conductores podrán compartir la canalización. El trazado de la canalización es aquella que permite minimizar el recorrido de los conductores al mismo tiempo de protegerlos de posibles accidentes mecánicos. La cantidad de conductores que pueden ir dentro de una caja se fija según el volumen requerido para su adecuada manipulación y funcionamiento.

2.4.6. Tablero fotovoltaico

La instalación FV se conectará en paralelo con la red de distribución del cliente y el empalme. Las cargas se alimentarán por cualquiera de las tres fuentes de energía: Red, UGF o GD.

2.4.7. Dispositivos de protección en tablero fotovoltaico

Los dispositivos de protección contra cortocircuitos y sobrecargas exteriores, instalados en el TFV de la UGF son:

A. Diferencial tetrapolar de 40A, 300 mA, tipo A HPI (Tabla 2-2)

Tabla 2–2.

Marca:	Legrand	Foto Referencial del Modelo 
Número de polos:	4P	
Sensibilidad:	300 mA	
Tipo:	A HPI componente CC	
Ancho por Polo:	16 mm	
Tensión:	230/400V	
Frecuencia:	50/60 Hz	

Fuente: <https://rhona.cl>

B. Protección Termomagnética Tetrapolar 4x25A 10kA (Tabla 2-3)

Tabla 2–3.

Marca:	Legrand	Foto Referencial del Modelo 
Número de polos:	4P	
Corriente asignada nominal:	25A	
Curva:	C	
Poder de corte asignado:	10kA	
Tensión asignada:	230/400	
Frecuencia asignada:	50/60 Hz	

Fuente: <https://rhona.cl>

C. Protección Termomagnética 3 polos 40 A (Tabla 2-4)

Tabla 2–4.

Marca:	Legrand	 Foto Referencial del Modelo
Número de polos:	3P	
Corriente asignada nominal:	40A	
Curva:	C	
Poder de corte asignado:	6kA	
Tensión asignada:	230/400	
Frecuencia asignada	50/60 Hz	

Fuente: <https://rhona.cl>

2.4.8. Dispositivo de protección de inversores

El inversor cuenta con protecciones ante cortocircuitos y sobrecargas integrados. Sus características son:

- A. Protección contra polaridad inversa.
- B. Interruptor-seccionador de potencia de CC.
- C. Protección contra fallas de tierra con interruptor de monitor de aislamiento.
- D. Protección isla desconexión de red.
- E. Descargador de sobretensión del tipo II.
- F. Protección contra sobre corriente AC.

2.4.9. Sistema de tierra

La puesta a tierra de las instalaciones FV interconectadas, se realiza de forma tal de no afectar a las condiciones de puesta a tierra actual de la instalación. La instalación contará con un cable a tierra de protección, que conecta todas las partes metálicas de los módulos FV, la estructura de montaje, la canalización, cajas de paso e inversor, todos conectados al borne de tierra de protección. El cable utilizado para la tierra de protección es de la marca COVISA CHILE, del tipo THHN, cuya sección es de 8,37 mm². Dependiendo del terreno, la tierra de protección se diseñará de tal manera que el valor resultante de la impedancia no supere los 20W. Para las mediciones de la resistencia de puesta a tierra, se utilizará el método de 3 Polos con el instrumento Earth Resistenace Tester, Mastech MS2303.



Fuente: Imagen propia Mastech MS2303

Figura 2–6. Earth Resistenace Tester, Mastech MS2303.

2.4.10. Estructura de montaje a piso

El montaje de los módulos FV se realiza sobre estructura a piso, 60 paneles en total, utilizando rieles fotovoltaicos de aluminio, donde su dimensión es de 5.200 mm x 52,6mm x 36,7mm combinadas con grapas de aluminios para la sujeción y apriete de los módulos. Y siguiendo las condiciones especificadas en memoria y especificaciones técnicas.

2.4.11. Fijación de paneles a la estructura: aprietes y bornes de anclaje

Una vez definido el tipo de estructura y su ángulo existen elementos que permiten fijar los Paneles Solares. Estos aprietes tienen como particularidad que incluyen una Tuerca Autoblocante, por ende, los perfiles donde descansarán los paneles deben tener el Lado Abierto hacia el panel. Los aprietes permiten la instalación de los paneles solares sin perforar el marco, esto es una ventaja, ya que perforar el marco del panel implica perdida de garantía.

- A. Bornes Centrales: Estas piezas se ocupan entre dos paneles, debe ser elegido dependiendo del espesor del marco. En la Tabla 2-5 muestra sus medidas.

Tabla 2–5. Medidas borne central.

Espesor del marco del panel FV	Borne Central
35mm 40mm	Borne Central 31-40mm
45mm 50mm	Borne Central 41-50mm



Fuente: <https://rhona.cl>

B. Aprietes Laterales: Se ocupan para tomar los Paneles solares al final de los strings, vienen fabricados especialmente para cada espesor de marco. En la Tabla 2-6 muestra sus medidas.

Tabla 2–6. Medidas aprietes laterales.

Espesor del marco del panel FV	Anclaje Lateral
35mm	Anclaje Lateral 35 mm
40mm	Anclaje Lateral 40 mm
45mm	Anclaje Lateral 45 mm
50mm	Anclaje Lateral 50 mm



Fuente: <https://rhona.cl>

2.4.12. Riel DIN

Riel de aluminio 5,2 m. Su finalidad es sostener los paneles solares (Figura 2-7).



Fuente: <https://puntosolar.cl/>

Figura 2–7. Riel DIN.

2.4.13. Plancha de acero inoxidable

En la Figura 2-8 muestra planchas de acero inoxidable de 4mm de espesor con ángulo variable entre 20 a 35 grados. Están hechas especialmente para este proyecto. Su objetivo es sostener los postes.



Fuente: Fotografía propia obtenida por cámara.

Figura 2–8. Planchas de acero.

2.4.14. Abrazadera tipo “U”

Abrazaderas tipo “U” de 2” de acero zincado con base de polipropileno color azul, éstas se utilizan para sujetar los postes con la plancha de acero inoxidable (Figura 2-9).



Fuente: Imagen propia de empresa AMC Energía.

Figura 2–9. Abrazaderas tipo “U”.

2.4.15. Postes

La Figura 2-10 indican los postes de acero galvanizado en caliente de 2". Los postes le dan altura a la instalación FV.



Fuente: Imagen propia de empresa AMC Energía.

Figura 2–10. Postes de acero galvanizado.

2.4.16. Pernería

Pernería de acero inoxidable calidad A2 o A4, o galvanizada que muestra la Figura 2-11.



Fuente: Imagen propia de empresa AMC Energía.

Figura 2–11. Pernería.

2.4.17. Tablero fotovoltaico

Tablero metálico modelo ST de la Figura 2-12 es un tablero equipado con borde de poliuretano de alta resistencia en su tapa, placa de montaje y chapa. Configuración: Acabado de superficie epoxi-poliéster con recubrimiento en polvo textura RAL. Placa de montaje: galvanizado. Dimensiones: 700 x 500 x 300 mm.



Fuente: <https://www.vitel.cl/>

Figura 2–12. Tablero fotovoltaico.

2.4.18. Pieza de anclaje en "L"

Pieza de anclaje en "L" con tornillo en acero inoxidable de la Figura 2-1, es para la fijación paneles solares a techo. Se usa sobre superficies y anclajes firmes como vigas, bordillos o soleras de hormigón.



Fuente: <http://es.chikolar.com/>

Figura 2–13. Piezas de anclaje en “L”.

2.4.19. Estructura de inclinación

Estructura ajustable de inclinación para soporte de montaje de paneles solares a techo (Figura 2-14).

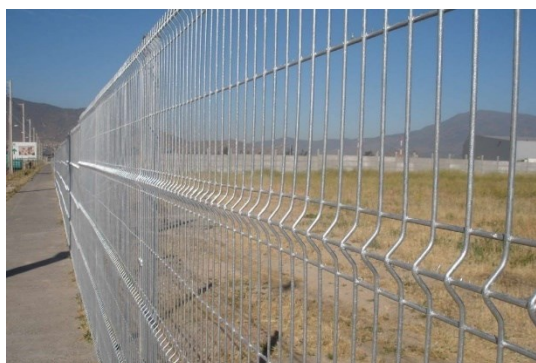


Fuente: <https://puntosolar.cl/>

Figura 2–14. Estructura de inclinación.

2.4.20. Cerco

En la Figura 2-15 se contempla la construcción de un cierre perimetral para todo el sistema, en torno al área en que se instale la estructura a piso de los paneles FV. Donde la altura del cerco debe ser 2400 mm desde el suelo, Este cerco debe ser de Malla 3D galvanizada en caliente.



Fuente: <https://maaseg.cl/>

Figura 2–15. Cierre perimetral.

2.5. INSTALACIÓN Y PLANIMETRÍA DE PLANTA FOTOVOLTAICA

A continuación, se dará a conocer las especificaciones de las instalaciones de paneles FV a piso y a techo, junto a sus características.

2.5.1. Estructura de montaje paneles FV a piso

La estructura propia de la construcción para terrenos planos y con desnivel es simple y fácil de armar, ya que cuenta con un set de piezas fabricadas a medida para su ensamble. Cuenta con un diseño aerodinámico y optimizado ideal para ser instalado en terrenos con espacios abiertos donde no cuentan techos disponibles para la instalación de paneles. Este sistema distribuye el peso de los paneles de manera homogénea en la estructura evitando una carga adicional debido a la presión del viento. Su única configuración se puede modificar en ángulo de inclinación y esta puede variar entre 20° a 35° disminuyendo las distancias de efectos de sombra y aumentando la potencia recibida por metro cuadrado.

La estructura es un sistema de montaje FV, diseñado especialmente para instalaciones sobre terreno adaptable a diferentes superficies como muestra la Figura 2-16, 2-17 y 2-18. Se compone principalmente de perfiles de aluminio, planchas de acero, abrazaderas zincadas o galvanizadas, postes de acero, pernería de acero inoxidable y cimentaciones en cada poste que se coloque.



Fuente: Fotografía de empresa AMC Energía. Imagen referencial de proyectos anteriores.

Figura 2–16. Paneles FV a piso.



Fuente: Fotografía de empresa AMC Energía. Imagen referencial de proyectos anteriores.

Figura 2–17. Paneles FV a piso.



Fuente: Fotografía tomada por dron de empresa AMC Energía. Imagen referencial de proyectos anteriores.

Figura 2–18. Paneles FV a piso.

El montaje de los módulos FV se realiza sobre estructura a piso, 3 filas de 20 paneles Risen 450, 60 paneles en total, utilizando rieles fotovoltaicos de aluminio, donde su dimensión es de 5.200mm x 52,6mm x 36,7mm combinadas con grapas de aluminios para la sujeción y apriete de los módulos. Y siguiendo las condiciones mencionadas en especificaciones técnicas.

2.5.2. Estructura de montaje paneles FV a techo

El montaje de los módulos FV se realiza sobre el techo de una caseta como muestra la Figura 2-19 y 2-20, que contiene un generador y equipos de aire propios de la Cooperativa APR, ubicados dentro de la propiedad, 2 filas de 9 paneles Risen 450, 18 paneles en total y 8,1 [kWp] en total, utilizando rieles fotovoltaicos de aluminio, donde su dimensión es de 5.200mm x 52,6mm x 36,7mm combinadas con anclajes tipo L de aluminio para el montaje, estructuras regulables de elevación de los rieles FV y grapas de aluminio para la sujeción y apriete de los módulos.

Este sistema distribuye el peso de los paneles de manera homogénea en la estructura evitando una carga adicional debido a la presión del viento.



Fuente: Fotografía de empresa AMC Energía. Imagen referencial de proyectos anteriores.

Figura 2–19. Paneles FV a techo.



Fuente: Fotografía de empresa AMC Energía. Imagen referencial de proyectos anteriores.

Figura 2–20. Paneles FV a techo.

La estructura de soporte de la unidad de generación fotovoltaica satisface la normativa vigente en Chile, en cuanto a edificación y diseño estructural para los efectos del viento, nieve y sísmicos.

Según la Instrucción Técnica RGR N°02/2020: Diseño y Ejecución de las Instalaciones Fotovoltaicas Conectadas a Redes de Distribución de la SEC, punto 7.2, las estructuras sobre techo cuya potencia instalada de la unidad de generación fotovoltaica sea igual o superior a 30 [kWp], deberán satisfacer, adicionalmente, los requerimientos establecidos en las normas NCh 433 o NCh 2369. Se deberá presentar una memoria de cálculo de las estructuras.

2.5.3. Planimetría

El sistema de generación de energía solar fotovoltaica será instalado por profesionales calificados, para módulos solares fotovoltaicos que generen energía CC en condiciones de luz; de lo contrario, los no profesionales pueden sufrir descargas eléctricas ya que no están familiarizados con las normas de seguridad

En primera instancia, para la instalación de esta planta fotovoltaica, se realizó una visita al terreno de la Cooperativa APR, en Valle de Olmos, Petorca, donde se inspecciona el lugar, se capturan fotos del terreno mediante vuelos de dron propios de la empresa (Figura 2-21) y por cámaras (Figura 2-22) para visualizar posibles sombras que pudieran afectar a la futura planta, alguna irregularidad o inconveniencia para poder resolverla antes de la instalación de ésta.



Fuente: Fotografía tomada por dron de empresa AMC Energía en visita a terreno.

Figura 2–21. Cooperativa APR, Valle de Olmos, Petorca.



Fuente: Fotografía tomada por cámara de empresa AMC Energía en visita a terreno.

Figura 2–22. Cooperativa APR, Valle de Olmos, Petorca.

Como segundo paso, toda la información recopilada en la visita a terreno procede a ser analizada y las fotografías tomadas por dron pasan a un software inteligente llamado Pix4D Mapper, este programa organiza la fotografías por coordenadas y realiza una simulación en tres dimensiones a escala real del terreno. Esto permite hacer mediciones exactas de la superficie donde se va a trabajar para poder proceder a la modelación de la planta fotovoltaica junto a las instalaciones de la misma Cooperativa. Como muestran las Figuras 2-23 y 2-24.



Fuente: Elaboración propia para proyecto.

Figura 2–23. Simulación 3D del terreno Pix4D Mapper.



Fuente: Elaboración propia para proyecto.

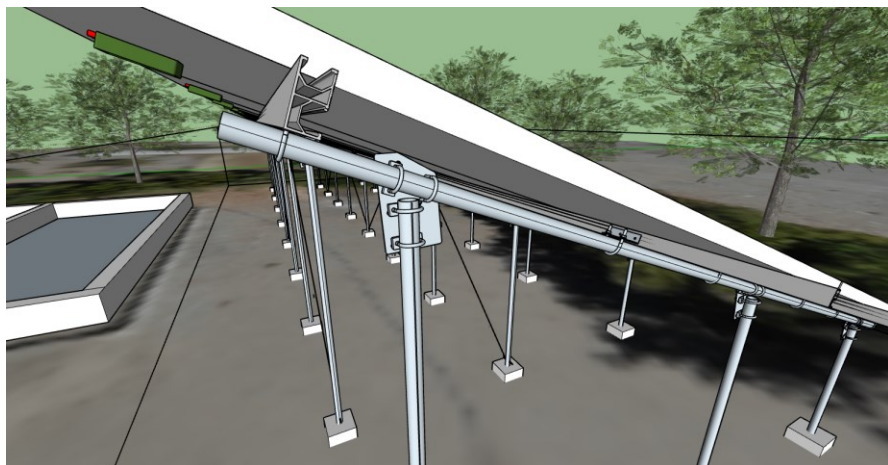
Figura 2–24. Simulación 3D del terreno Pix4D Mapper.

En el tercer paso, se inicia la modelación en tres dimensiones de la planta FV con las instalaciones propias del terreno de acuerdo a las mediciones realizadas en el programa Pix4D Mapper, en el software 3D SketchUp 2019, la cual permite un modelamiento más rápido y eficaz del terreno. La Figura 2-25 y Figura 2-28 muestran la planta completa con las instalaciones propias del lugar, la Figura 2-26 señala la estructura de montaje fotovoltaica a piso y la Figura 2-27 la estructura de montaje a techo.



Fuente: Elaboración propia para proyecto.

Figura 2–25. Modelación 3D del terreno SketchUp.



Fuente: Elaboración propia para proyecto.

Figura 2–26. Modelación 3D detalles de paneles a piso SketchUp.



Fuente: Elaboración propia para proyecto.

Figura 2–27. Modelación 3D detalles de paneles a techo SketchUp.

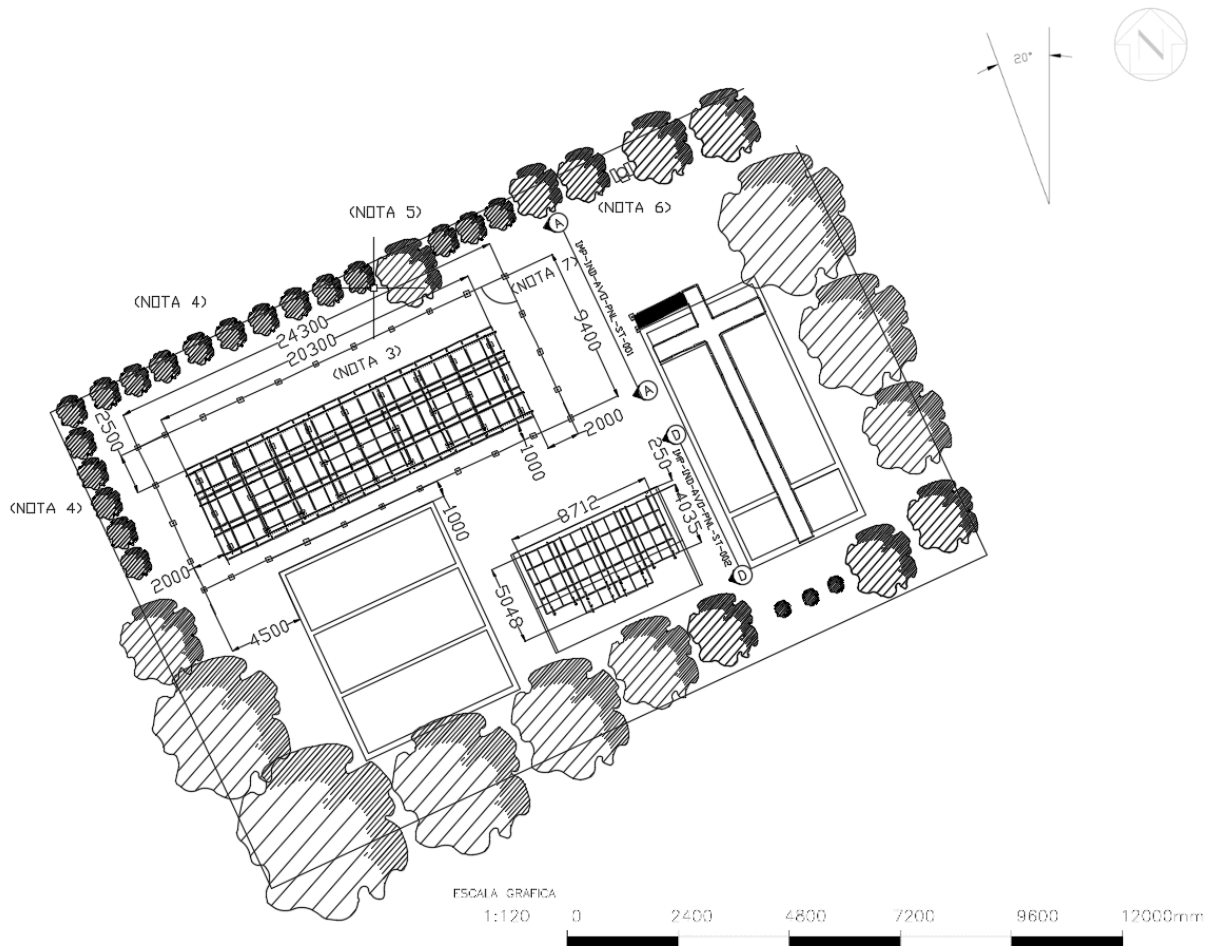


Fuente: Elaboración propia para proyecto.

Figura 2–28. Modelación 3D instalaciones propias del terreno SketchUp.

La modelación completa de las instalaciones del terreno, árboles y la planta fotovoltaica, están realizadas a escala real con sus medidas y materiales respectivos.

Luego de este paso, se exporta toda la modelación a AutoCAD para la realización de los planos 2D de elevación, de planta, de detalles, canalizaciones, tableros e inversores para especificar cotas, notas y materiales. Los planos están hechos en formato A1 y se les dio la escala respectiva que se muestran de la Figura 2-29 a la Figura 2-32.



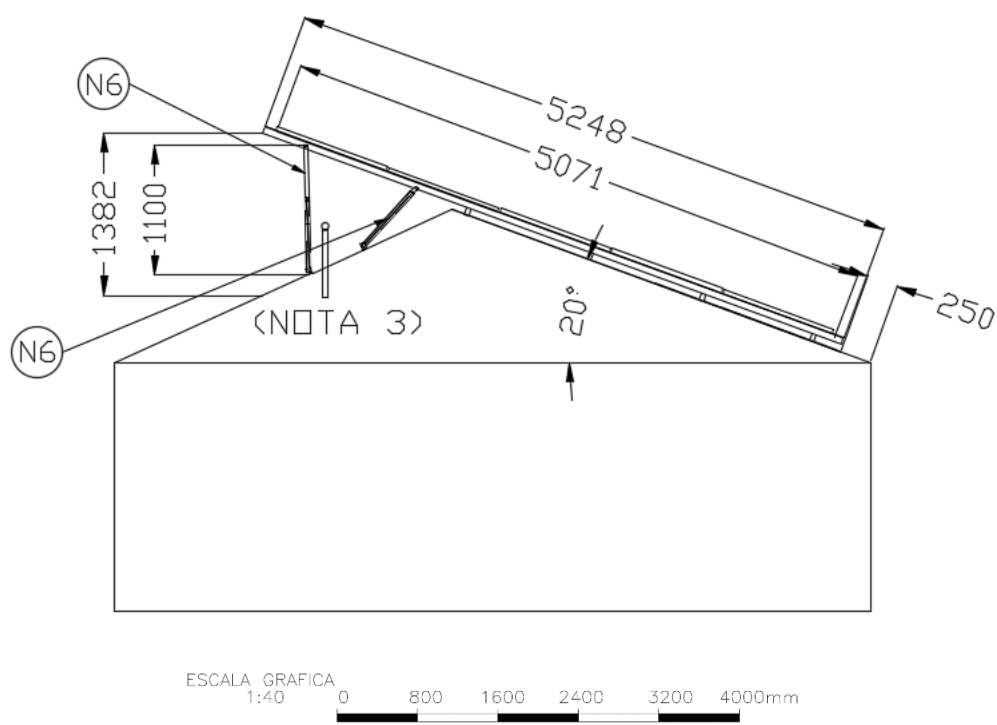
Fuente: Elaboración propia para proyecto.

Figura 2–29. Plano de planta AutoCAD.



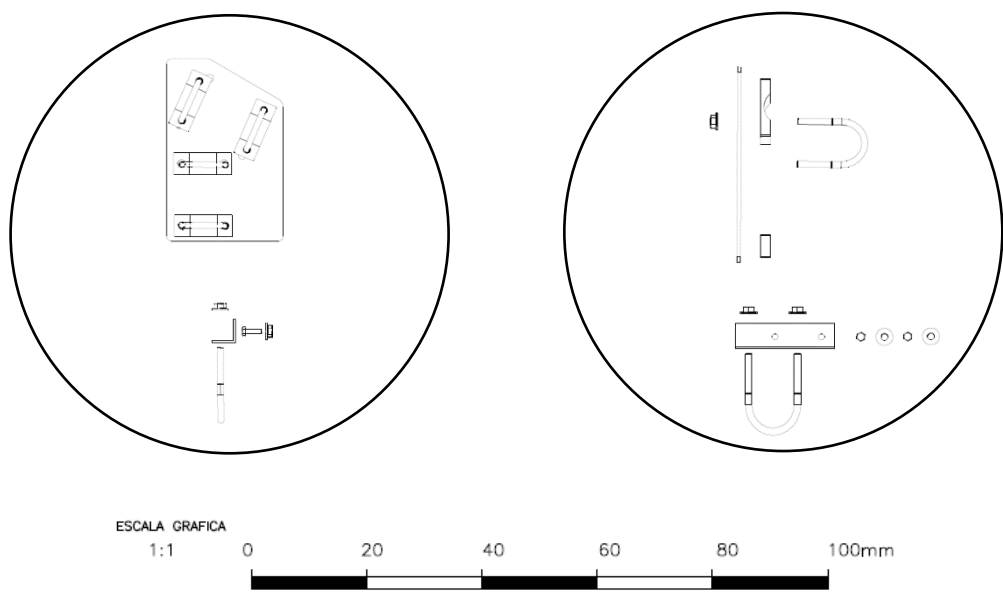
Fuente: Elaboración propia para proyecto.

Figura 2–30. Plano estructural vista principal paneles fotovoltaicos a piso.



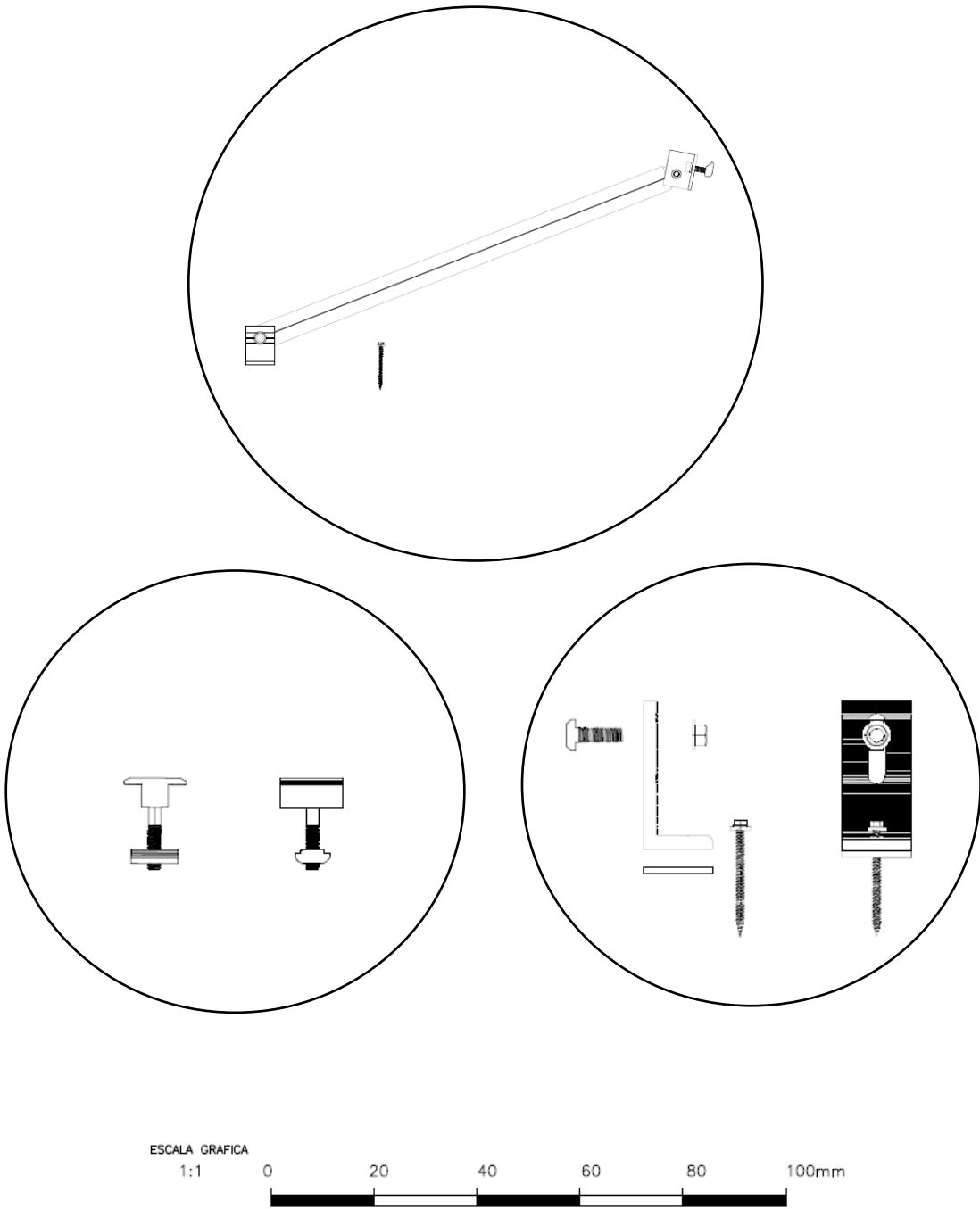
Fuente: Elaboración propia para proyecto.

Figura 2–31. Plano estructural vista principal paneles fotovoltaicos a techo.



Fuente: Elaboración propia para proyecto.

Figura 2–31. Plano de detalles paneles fotovoltaicos a piso.



Fuente: Elaboración propia para proyecto.

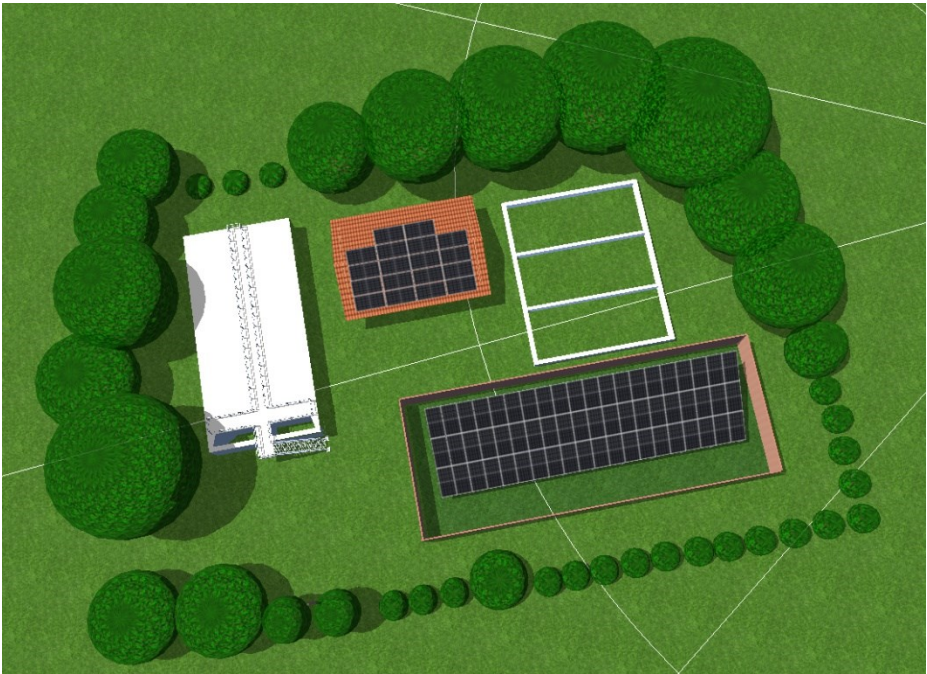
Figura 2–32. Plano de detalles paneles fotovoltaicos a techo.

A continuación de los planos, se realiza el estudio de sombras que corresponde al lugar para saber qué porcentaje de sombra podría tener la planta fotovoltaica ya que hay muchos objetos alrededor como árboles y postes que podrían afectar el rendimiento de la planta indicado en la Figura 2-34, para ello, el software PVSol realiza una simulación de los 365 días del año para saber cómo afectan las sombras en los paneles permitiendo conocer la posición del sol a cada hora del día (Figura 2-35) y revelando el porcentaje de sombra que no tiene que superar el 2% para que no afecte en el funcionamiento esperado de la planta mediante coordenadas donde el programa reconoce automáticamente la orientación como muestra la Figura 2-33 de dónde se está realizando el proyecto y dando a conocer sus condiciones climáticas.



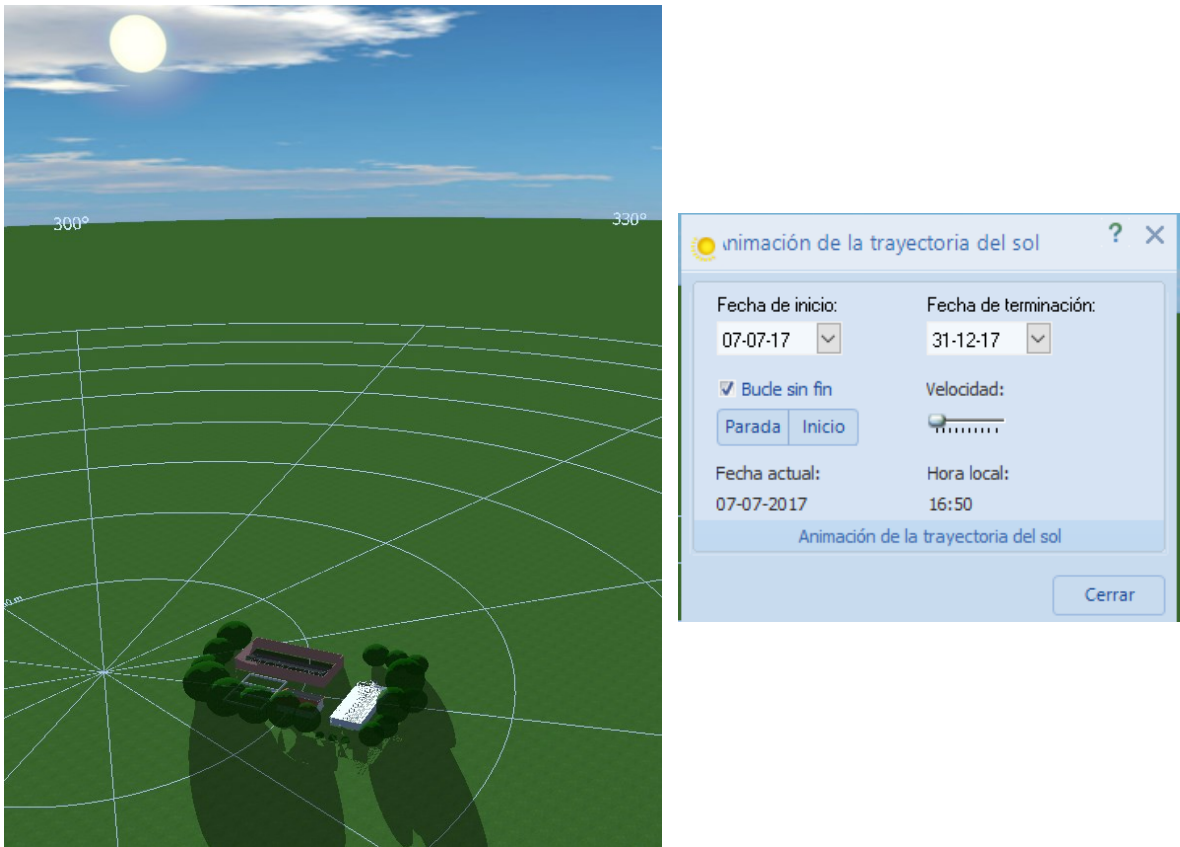
Fuente: Elaboración propia para proyecto.

Figura 2–33. Simulación de sombra planta fotovoltaica PVSol.



Fuente: Elaboración propia para proyecto.

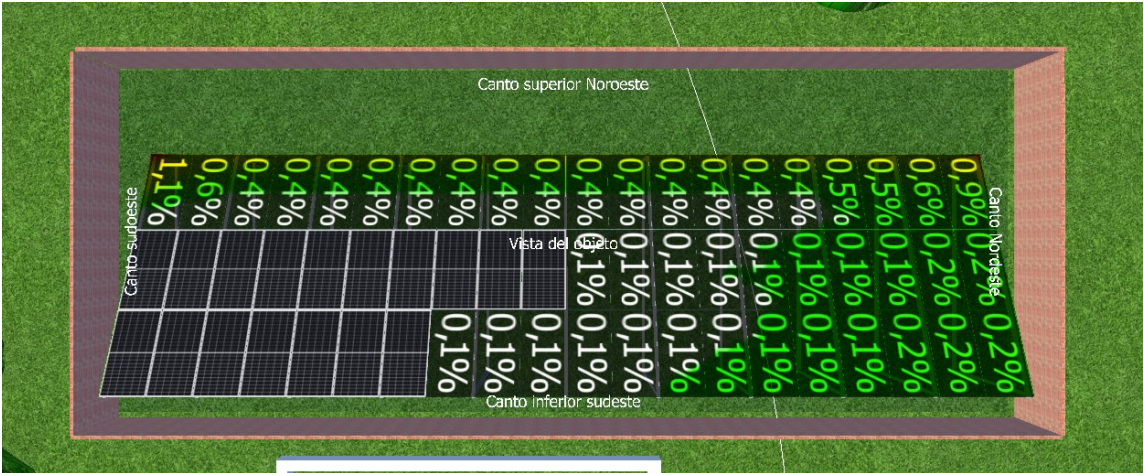
Figura 2–34. Simulación de sombra planta fotovoltaica PVSol.



Fuente: Elaboración propia para proyecto.

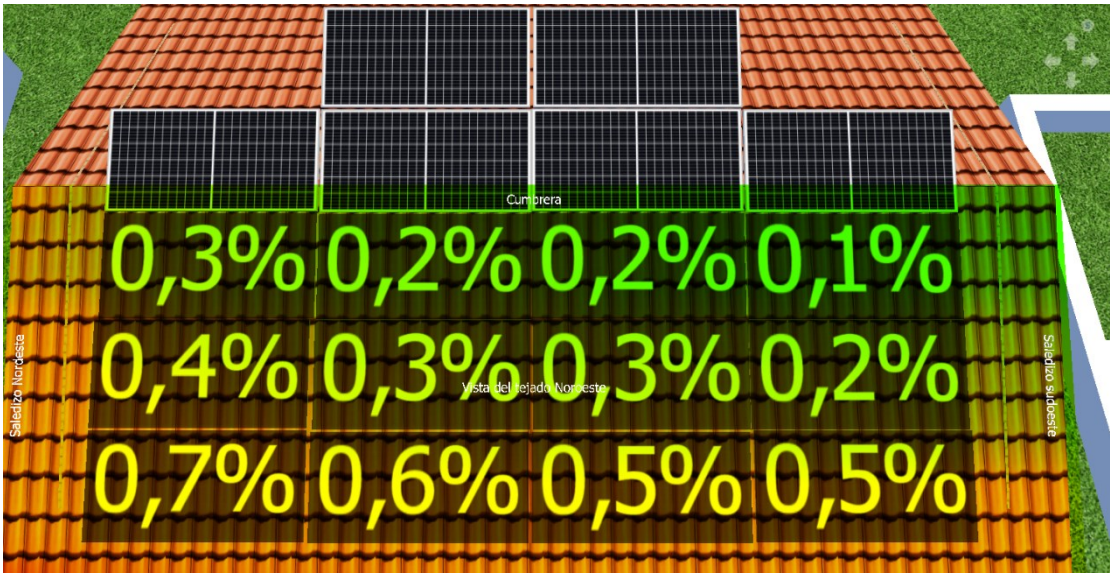
Figura 2–35. Simulación de sombra planta fotovoltaica PVSol.

Para que la planta fotovoltaica tuviera el porcentaje máximo de sombra permitido que es el 2% para su rendimiento esperado, se decidió la tala de los árboles que le daban sombra e iba a afectar en el funcionamiento óptimo de la instalación. Los porcentajes de sombra de los paneles a piso en la Figura 2-36 y a techo en la Figura 2-37 con la tala de árboles son respectivamente:



Fuente: Elaboración propia para proyecto.

Figura 2–36. Porcentaje de sombra anual paneles a piso PVSol.



Fuente: Elaboración propia para proyecto.

Figura 2–37. Porcentaje de sombra anual paneles a techo PVSol.

Para la construcción e instalación del proyecto, la Ilustre Municipalidad de Petorca, específicamente la Secretaría Comunal de Planificación y Control, recibió la planimetría del proyecto, aprobó el proyecto para ejecutarlo en un plazo de 60 días.

2.5.4. Ejecución del proyecto

Para comenzar la instalación de la planta a piso, como primer paso se debe destinar el espacio que ocuparán los paneles FV, establecer su orientación e inspeccionar el terreno en caso de que hayan tuberías subterráneas que puedan dificultar el montaje de la planta solar, cables o árboles que puedan haber algunas sombras imprevistas para poder darle una solución y no tener inconvenientes tanto a la hora de la ejecución del proyecto como a su funcionamiento. Se traza el espacio y se marcan las perforaciones donde van los cimientos de la planta FV a piso.



Fuente: Fotografía propia tomada con cámara de empresa AMC Energía.

Figura 2–38. Trazado para instalación de planta FV a piso.

Luego se realiza la excavación del terreno para colocar las cimentaciones y postes de la planta, se alinean y se nivelan de acuerdo a el ángulo de inclinación que se indican en los planos como lo muestra la Figura 2 – 38.



Fuente: Fotografía de empresa AMC Energía.

Figura 2–39. Imagen referencial de proyectos anteriores.

Se continua el proyecto colocando las planchas de acero, pilares inclinados y rieles (Figura 2 – 39.), asegurados con abrazaderas y pernería (Figura 2 – 40.), la función de éstos es sostener los paneles fotovoltaicos como se muestra en la Figura 2 – 41 a la Figura 2-43.



Fuente: Fotografía de empresa AMC Energía.

Figura 2–40. Imagen referencial de proyectos anteriores.



Fuente: Fotografía de empresa AMC Energía.

Figura 2–41. Imagen referencial de proyectos anteriores



Fuente: Fotografía de empresa AMC Energía.

Figura 2–42. Imagen referencial de proyectos anteriores.



Fuente: Fotografía de empresa AMC Energía.

Figura 2–43. Estructura planta FV instalada.

Para la instalación de los paneles a techo, se limpia el espacio y se comienza a instalar los rieles, los anclajes tipo “L” y la estructura de inclinación para dar el ángulo que necesita la estructura para luego instalar los paneles solares demostrado en la Figura 2-44.



Fuente: <https://www.todosolarchile.cl/>

Figura 2 – 44. Estructura a techo.

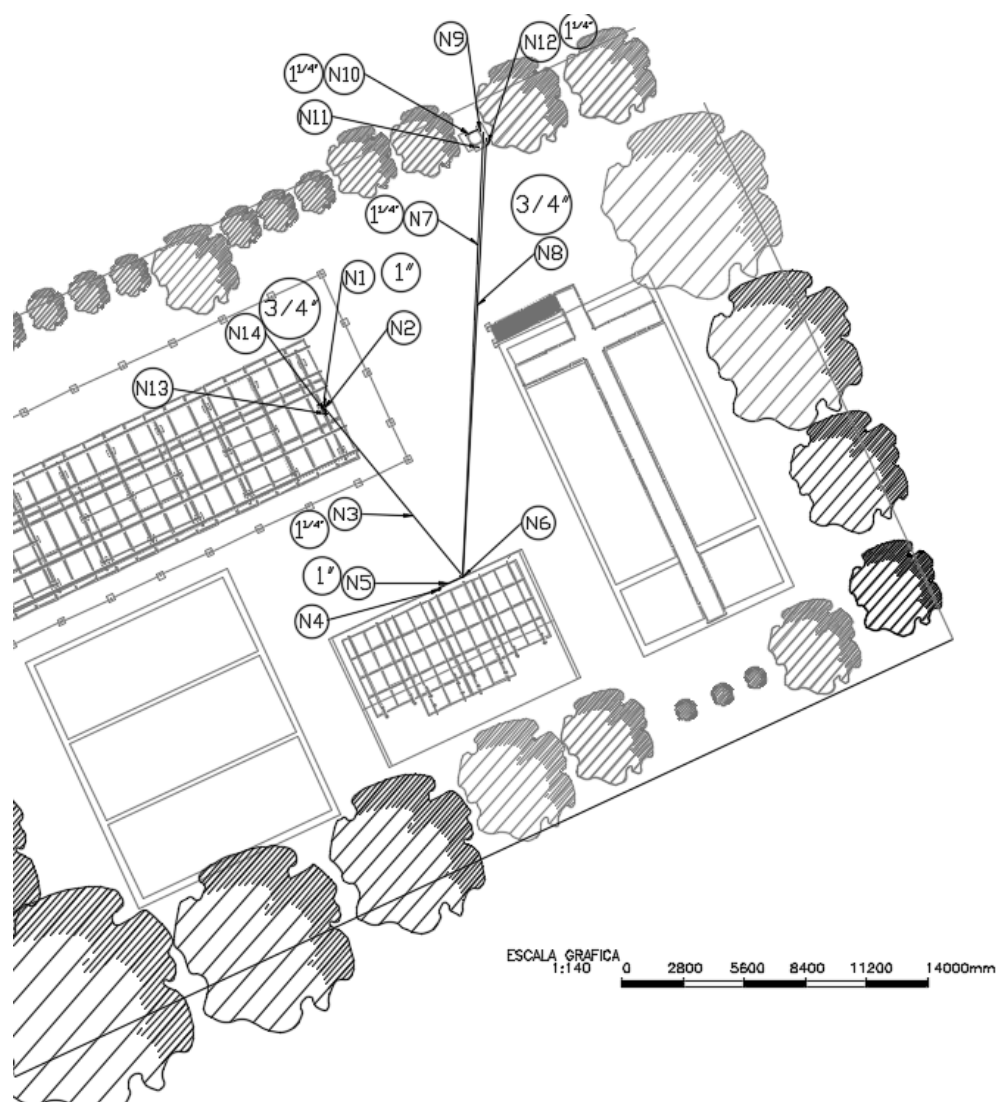
2.5.5. Instalación eléctrica

La planta FV para la Cooperativa APR Valle de Olmos es un sistema On-Grid, esto quiere decir que la energía solar captada por paneles solares la convierte en energía eléctrica con característica idénticas a la red para inyectarla a la misma.

Ésta está conformada por paneles solares, soportes de fijación, cables, cañerías bajo tierra, inversores, protecciones eléctricas, tablero fotovoltaico, tablero fotovoltaico y de inyección, y strings, que éstos últimos son un conjunto de paneles solares fotovoltaicos que están conectados en serie.

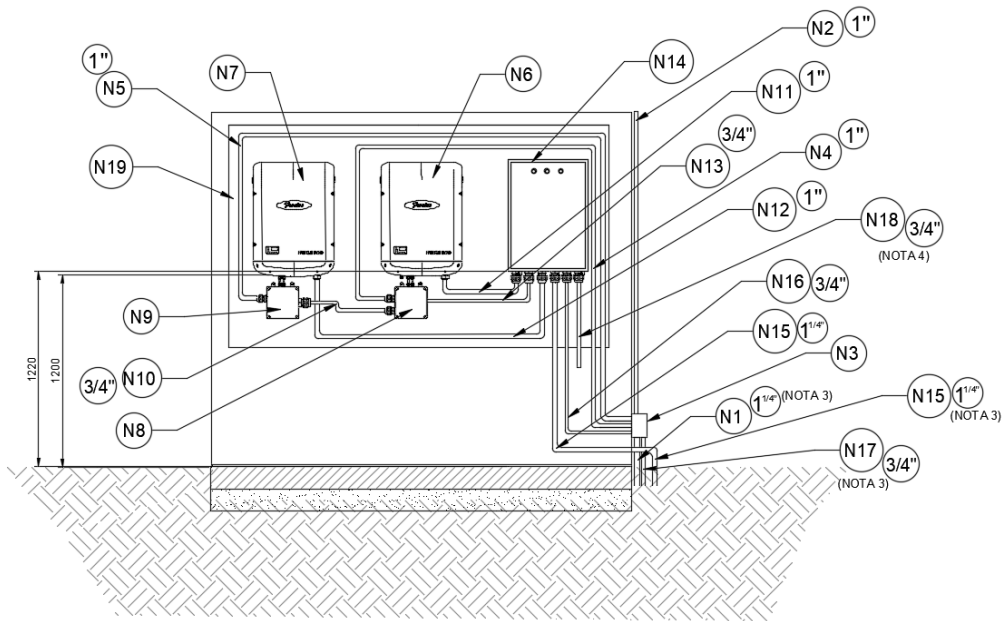
Los módulos solares fotovoltaicos están conectados en serie de 3 strings de 16 paneles (paneles a piso), 1 string de 12 paneles (paneles a piso) y 2 strings de 9 paneles (paneles a techo), los 3 strings de 16 paneles van conectados al inversor de 15 [kW], mientras que los 2 string de 9 paneles y el string 12 paneles van conectados al inversor de 10 [kW] de manera paralela, convierte la CC en CA, ésta va hacia las protecciones y a una barra repartidora (Figura 2-48) que ambas están en el tablero fotovoltaico y luego al punto de inyección ubicado en el tablero general (Figura 2-49) y al tablero de banco condensadores que su función es reducir el consumo reactivo de la planta (Figura 2-50). Todo esto mediante canalizaciones subterráneas como lo indica la Figura 2-47.

Inversores y tablero fotovoltaico (Figura 2-46.) se instalarán dentro de la caseta, mientras que el tablero general se instalará en un poste dentro de las dependencias del lugar donde también se encuentra el tablero medidor bidireccional trifásico propio de la Cooperativa APR como muestra en la Figura 2-45.



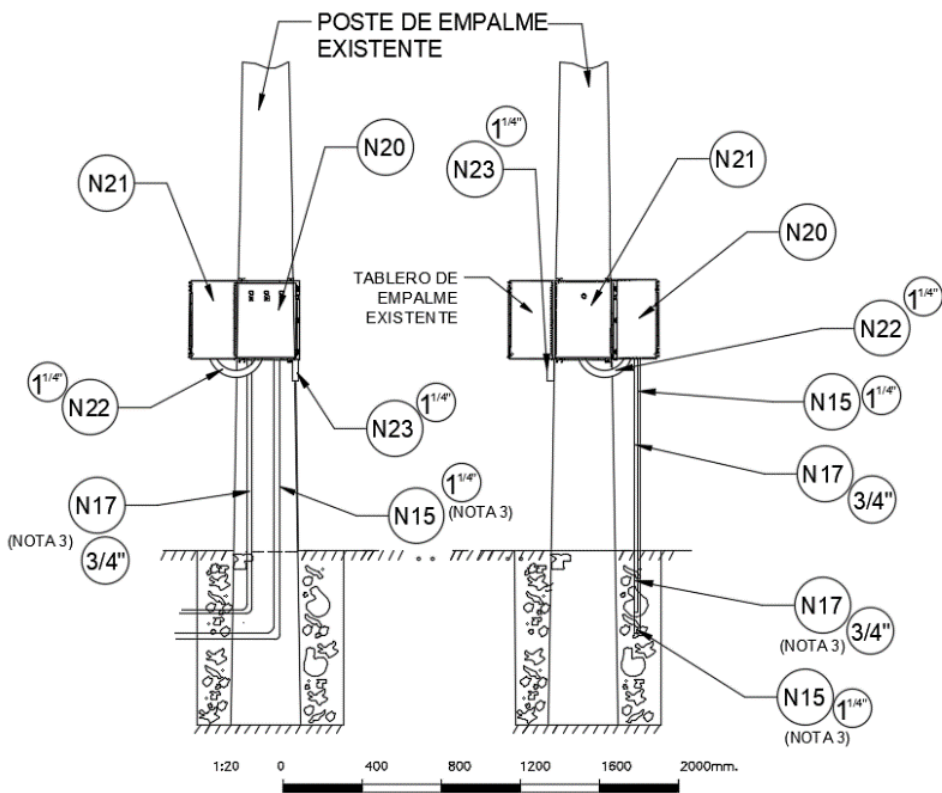
Fuente: Elaboración propia para proyecto.

Figura 2-45. Plano de canalizaciones y strings de la planta fotovoltaica..



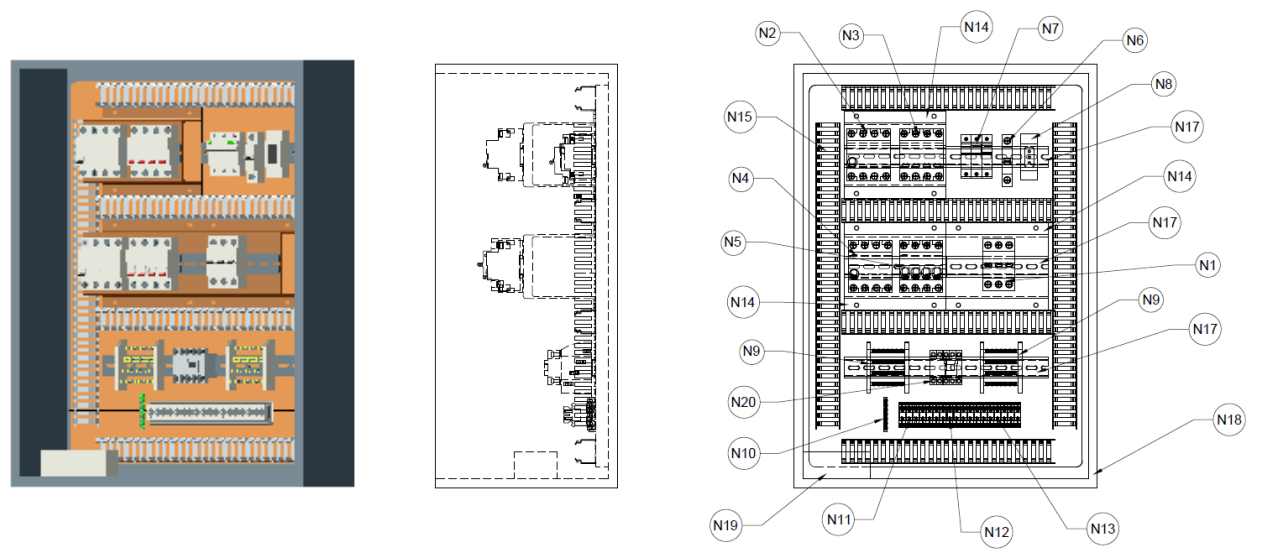
Fuente: Elaboración propia para proyecto.

Figura 2–46. Plano de inversores, canalizaciones y tablero fotovoltaico AutoCAD.



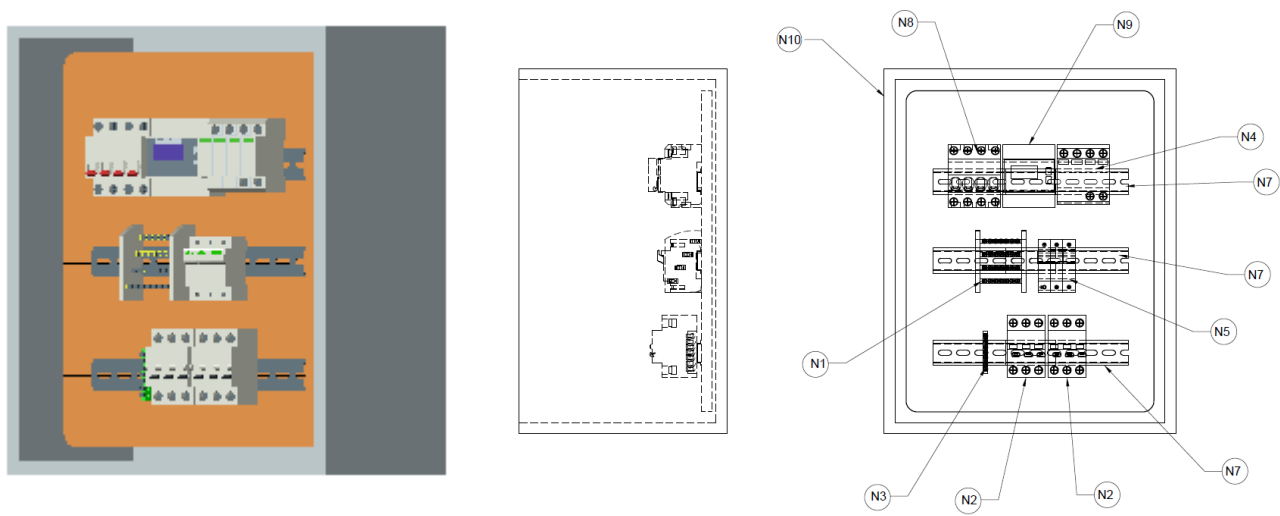
Fuente: Elaboración propia para proyecto.

Figura 2–47. Plano de tablero de inyección, canalizaciones y tablero de banco condensador.



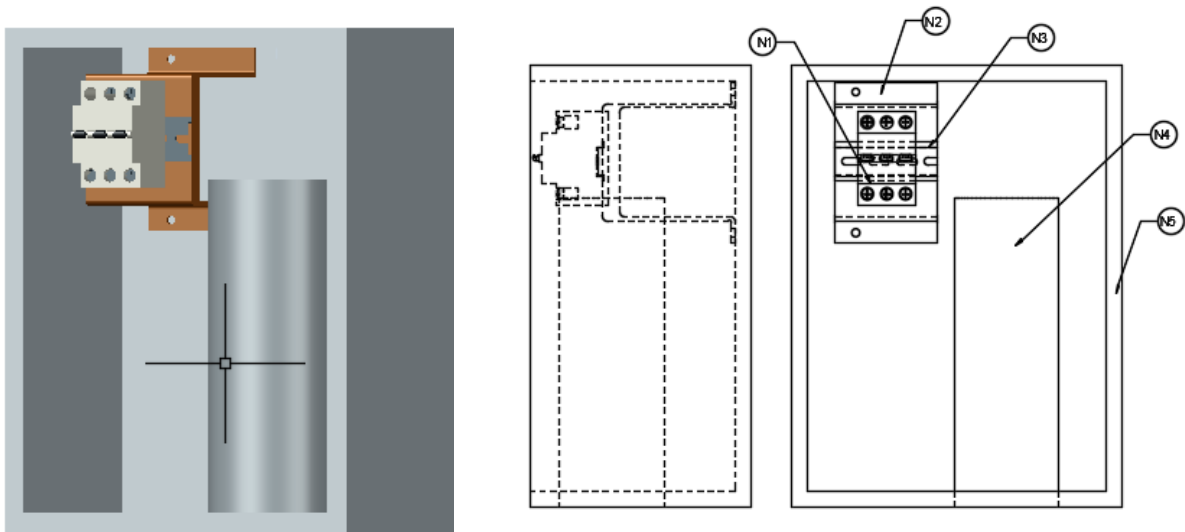
Fuente: Elaboración propia para proyecto.

Figura 2–48. Tablero fotovoltaico con sus protecciones y barra repartidora AutoCAD.



Fuente: Elaboración propia para proyecto.

Figura 2–49. Tablero general con sus protecciones y barra repartidora AutoCAD.



Fuente: Elaboración propia para proyecto.

Figura 2–50. Tablero de banco condensador AutoCAD.

2.6. **COSTOS Y PRESUPUESTOS**

A continuación, se detalla el presupuesto del proyecto de instalación de la planta fotovoltaica para la Cooperativa APR, Valle de Olmos, se indicará el costo de la mano de obra, instalaciones, presupuesto de materiales, ahorro con la planta y extras.

El presupuesto entregado se dará en UF con el valor del día 9 de agosto de 2021.

El presupuesto fue realizado por la empresa destacada en instalación de plantas fotovoltaicas a lo largo de la región, AMC Energía, ubicada en Av. Los Carreras #01209, comuna de Quilpué, Región de Valparaíso.

2.6.1. **Trabajos preliminares**

Tabla 2–7. Costos de ingeniería general.

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario UF	Precio total UF
2.6.1.1.	Ingeniería de Detalles	GI	1	67,19	67,16
2.6.1.2.	Instalación de Faenas	GI	1	16,79	19,79
2.6.1.3.	Instalación de Letrero	Nº	1	13,43	13,43
2.6.1.4.	Limpieza de vegetación: Talado de árboles y arbustos existentes. Limpieza, manipulación y retirada a botadero. Reposición de árboles.	GI	1	33,59	33,59
				Subtotal	133,97

Fuente: Presupuesto de elaboración propia para proyecto y para empresa AMC Energía.

2.6.2. Módulos fotovoltaicos

Tabla 2–8. Costos paneles fotovoltaicos.

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario UF	Precio total UF
2.6.2.1.	Módulo fotovoltaico 450 Wp	GL	1	67,19	67,19
				Subtotal	67,19

Fuente: Presupuesto de elaboración propia para proyecto y para empresa AMC Energía.

2.6.3. Estructura soportante

Tabla 2–9. Costos de estructuras para soporte de paneles

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario UF	Precio total UF
2.6.3.1.	Estructura soporte a piso	m²	132	0,8	105,6
2.6.3.2.	Estructura soporte a techo	m²	40	0,42	16,9
				Subtotal	122,5

Fuente: Presupuesto de elaboración propia para proyecto y para empresa AMC Energía.

2.6.4. Inversores

Tabla 2–10. Costos de inversores del proyecto.

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario \$	Precio total \$
2.6.4.1.	Inversor Fronius Symo 15 kW Full	Nº	1	99,78	99,78
2.6.4.2.	Inversor Fronius Symo 10 kW Ligth	Nº	1	99,78	99,78
				Subtotal	199,56

Fuente: Presupuesto de elaboración propia para proyecto y para empresa AMC Energía.

2.6.5. Materiales eléctricos

Tabla 2–11. Costos de materiales eléctricos.

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario UF	Precio total UF
2.6.5.1.	Medidor bidireccional y materiales de protección grupo electrógeno.	GI	1	51,37	51,37
2.6.5.2.	Tableros y protecciones	GI	1	27,88	27,88
2.6.5.3.	Cableado y canalizaciones	GI	1	34,74	34,74
2.6.5.4.	Otros materiales menores	GI	1	5,66	5,66
				Subtotal	119,65

Fuente: Presupuesto de elaboración propia para proyecto y para empresa AMC Energía.

2.6.6. Obras civiles

Tabla 2–12. Costos de preparaciones del terreno.

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario UF	Precio total UF
2.6.6.1.	Preparación de terreno: Preparación, limpieza y nivelación de terreno si fuera necesario.	m ²	300	0,067	20,1
2.6.6.2.	Zanjas para canalizaciones.	m ³	4	3,36	13,44
2.6.6.3.	Cierre perimetral.	m	70	1,13	79,2
2.6.6.4.	Soporte estructura: Apoyos y hormigón para estructura fotovoltaica y cerco perimetral.	m ³	4	6,09	24,36
				Subtotal	137,1

Fuente: Presupuesto de elaboración propia para proyecto y para empresa AMC Energía.

2.6.7. Montaje electromecánico

Tabla 2–13. Costos montaje electromecánico.

Ítem	Descripción	Unidad	Cant.	Precio unitario UF	Precio total UF
2.6.7.1.	Montaje mecánico: Montaje mecánico de la estructura, módulos y apoyos. Incluido cualquier pequeño material que sea necesario.	GI	1	26,88	26,88
2.6.7.2.	Montaje eléctrico: montaje eléctrico de los módulos, inversores, protecciones, armarios, cableado, medidor. Incluido cualquier pequeño material que sea necesario.	GI	1	26,88	26,88
2.6.7.3.	Cableado eléctrico: cable solar DC y cable de potencia AC de acuerdo a unifilar eléctrico. Incluidos conectores rápidos MC4 o similar, amarres o cualquier otro pequeño elemento que fuera necesario.	GI	1	23,52	23,52
2.6.7.4.	Red de tierra: montaje eléctrico de la tierra en estructura, inversores y cuadro AC. Incluido cualquier pequeño material que sea necesario.	GI	1	10.08	10,08
2.6.7.5.	Otros equipos: Armarios eléctricos, protecciones eléctricas, medidor bidireccional de acuerdo a unifilar y normativa eléctrica. Incluidos anclajes, amarres o cualquier otro pequeño elemento que sea necesario para que la instalación sea operativa y cumpla con la normativa en Chile.	GI	1	6,72	6,72
				Subtotal	94,08

Fuente: Presupuesto de elaboración propia para proyecto y para empresa AMC Energía.

2.6.8. Interconexión, puesta en marcha y post – venta.

Tabla 2–14. Costo mano de obra y total del proyecto.

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario UF	Precio total UF
2.6.8.1.	Transporte de personal y materiales.	GI	1	8,52	8,52
2.6.8.2.	Alojamiento y colación personal.	GI	1	33,6	33,6
2.6.8.3.	Monitorización.	Nº	1	11,26	11,26
2.6.8.4.	Capacitación.	GI	1	1,74	1,74
				Subtotal	55,12
				Costo directo.	1324,37
				5% gastos generales.	66,22
				8% utilidades.	105,95
				Monto neto.	1496,54
				IVA 19%.	284,34
				Monto total.	1780,88

Fuente: Presupuesto de elaboración propia para proyecto y para empresa AMC Energía.

Se muestra el presupuesto desglosado por áreas, de los materiales, equipos y mano de obra del proyecto completo de la planta fotovoltaica, valores con IVA y monto neto.

2.6.8. Cargo actual y ahorro con planta solar.

A continuación, se en la Tabla 2-15 se muestran los valores de cuánto la Cooperativa APR Valle de Olmos consume al año por cada mes, económica y energéticamente, sin planta fotovoltaica y cuánto ahorra con la planta ya instalada, en cuánto tiempo se recuperará esa inversión, la garantía de la planta y los años de funcionamiento óptimo.

2.6.8.1. Cargo actual.

Se muestra mediante Tabla 2-15 el consumo económico de la Cooperativa APR Valle de Olmos sin planta fotovoltaica.

Tabla 2 – 15. Consumo eléctrico (\$)

Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril
Consumo actual	161.934	170.481	178.581	200.430
Cargo fijo	1.755	1.755	1.755	1.755
Uso sistema troncal	45.383	47.778	50.048	56.171
Demanda máxima en HP	160.854	160.854	160.854	160.854
Demanda máxima suministrada	53.786	53.786	53.786	56.544
Bajo factor de potencia	29.115	29.870	30.586	32.706
Ahorro en uso sistema troncal	- 40.806	- 42.616	- 42.714	- 43.999
Ahorro en demanda máx. suministrada	0	0	0	0
Autoconsumo	- 145.603	- 152.062	- 152.411	- 156.998
Ahorro bajo factor de potencia	0	0	0	\$ 0
Excedentes (mes presente)	- 329.458	- 260.718	- 250.973	- 148.913
Excedentes acumulado (mes anterior)	N/A	- 59.612	- 39.845	0
Excedentes total (mes presente)	- 329.458	- 320.330	- 290.818	148.913
Total a pagar mensual actual	452.827	464.523	475.609	508.460

Meses	Mayo	Junio	Julio	Agosto
Consumo actual	138.302	141.646	129.830	132.580
Cargo fijo	1.755	1.755	1.755	1.755
Uso sistema troncal	38.760	39.697	36.385	37.156
Demanda máxima en HP	123.834	129.063	11.052	2.971
Demanda máxima suministrada	56.544	56.544	56.544	56.544
Bajo factor de potencia	24.663	25.320	16.133	15.818
Ahorro en uso sistema troncal	- 29.076	- 26.325	- 26.259	- 28.752
Ahorro en demanda máx. suministrada	0	0	0	0
Autoconsumo	- 103.747	- 93.934	- 93.696	- 102.593
Ahorro bajo factor de potencia	0	0	0	0
Excedentes (mes presente)	- 124.282	- 91.981	- 105.536	- 147.789
Excedentes acumulado (mes anterior)	0	0	0	0
Excedentes total (mes presente)	- 124.282	- 91.981	- 105.536	- 147.789
Total a pagar mensual actual	383.858	394.025	251.699	246.823

Meses	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Consumo actual	125.966	133.100	156.658	186.161
Cargo fijo	1755	1.755	1.755	1.755
Uso sistema troncal	35.302	37.302	43.904	52.172
Demanda máxima en HP	13.192	126.449	160.,854	160.854
Demanda máxima suministrada	56.028	56.028	53.786	53.786
Bajo factor de potencia	15.904	24.349	28.649	31.255
Ahorro en uso sistema troncal	- 29.509	- 32.377	- 38.739	- 47.085
Ahorro en demanda máx. suministrada	0	0	0	0
Autoconsumo	- 105.293	- 115.527	- 138.228	- 168.009
Ahorro bajo factor de potencia	0	0	0	0
Excedentes (mes presente)	- 210.302	- 277.807	- 303.592	- 311.475
Excedentes acumulado (mes anterior)	- 34.445	- 13.669	- 22.837	- 55.539
Excedentes total (mes presente)	- 244.746	- 291.476	- 326.429	- 367.014
Total a pagar mensual actual	248.146	378.982	445.606	485.984

Fuente: Detalle de facturación boleta empresa CGE

Anualmente se gasta en consumo eléctrico \$ 4.736.541, un promedio de \$ 394.712 mensuales, siendo abril con \$ 508.460 el mes con más gasto económico y agosto con \$ 246.823 el mes con menos gasto económico.

El principal objetivo de la instalación de la planta fotovoltaica es reducir considerablemente los costos económicos y energéticos que ésta produce ya que, al ser una planta purificadora de aguas servidas, se consume mucha energía eléctrica para poder lograr su objetivo y esto conlleva a ser monetariamente costoso.

Para lograr el objetivo, la planta está diseñada de tal manera que se pueda cubrir la mayoría de sus gastos energéticos y monetarios, para ello se hizo el siguiente análisis de la Tabla 2–16 que señala el costo anual de la planta con y sin planta fotovoltaica:

Tabla 2–16.

Meses	Total a pagar mensual sin planta FV	Total a pagar mensual con planta FV	Ahorro porcentual económico mensual
Enero	452.827	266.418	41 %
Febrero	464.523	0	100 %
Marzo	475.609	0	100 %
Abril	508.460	16.644	97 %
Mayo	383.858	102.122	73 %
Junio	394.025	149.483	62 %
Julio	251.699	39.763	84 %
Agosto	246.823	9.943	96 %
Septiembre	248.146	0	100 %
Octubre	378.982	0	100 %
Noviembre	445.606	0	100 %
Diciembre	485.984	0	176 %
Total	4.736.541	584.373	95 %

Ahorro total a pagar anualmente con planta fotovoltaica	-\$ 4.152.168
---	---------------

Fuente: Elaboración propia en base a estudios del Explorador Solar.

El ahorro económico mensual depende totalmente del clima de la zona y de la estación del año ya que cada mes la posición del sol no es la misma y en verano es más óptimo y eficaz la producción de energía solar, mientras que en invierno hay más días cortos y nublados que influyen y afectan completamente la producción de energía solar.

2.7. **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

“Valle de Olmos” fue un proyecto de la Ilustre Municipalidad de Petorca para la instalación de una planta fotovoltaica en una cooperativa de limpieza de aguas servidas, donde se tuvo que postular junto a más empresas, la cual a pesar de ser la postulación de mayor costo a comparación de la competencia, se adjudicó para concretarlo como empresa AMC Energía, líder en proyectos de sistemas fotovoltaicos ya que les gustó nuestra propuesta.

A pesar de tener los tiempos muy acotados para la entrega de actas e ingeniería de detalles, se logró con éxito la aprobación de estos documentos enviados a la municipalidad para la ejecución física de este proyecto y así cumplir con el objetivo de proyecto de apoyar el abastecimiento de energía eléctrica a la planta de tratamiento de aguas servidas de la Cooperativa APR Valle Los Olmos, gracias a su sistema fotovoltaico de 78 módulos conectado a la red diseñado especialmente para la planta donde se aprovecha el uso de los recursos naturales disponibles, (energía solar), cuyo uso va en directo beneficio de las personas que consumen agua potable y utilizan colectores y tratamiento en el sector.

Con el proyecto se logra disminuir el alto costo energético requerido para la operación de la planta generando, además, ahorro y seguridad energética en la operación del sistema sanitario.

BIBLIOGRAFÍA

1. PINILLA, Juan. El problema energético mundial. Energías renovables y cambio climático. [en línea]. <<https://e-management.mx/el-problema-energetico-mundial-energias-renovables-y-cambio-climatico/>>. [consulta: 16 de noviembre de 2019].
2. MINISTERIO DE ENERGÍA. ¿Qué son las energías renovables?. [en línea]. <<https://energia.gob.cl/educacion/que-son-las-energia-renovables>>. [consulta: 10 de agosto de 2021].
3. INDAP. Taller de sistemas fotovoltaicos–equipos eléctricos: módulos fotovoltaicos. [en línea]. <<https://www.indap.gob.cl/docs/default-source/default-document-library/ppt-4-paneles-fotovoltaicos.pdf?sfvrsn=0>>. [consulta: noviembre de 2018].
4. PLANAS, Oriol. Energía fotovoltaica: tipos de sistemas fotovoltaicos. [en línea]. <<https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica>>. [consulta: 18 de diciembre de 2009].
5. REMICA. Tipos de energía: diferencias entre renovables y no renovables. [en línea]. <<https://remicaserviciosenergeticos.es/blog/tipos-de-energia/>>. [consulta: 12 de marzo de 2021].
6. ARTESA. ¿Cómo se obtiene la energía solar?. [en línea]. <<https://atersa.shop/como-se-obtiene-la-energia-solar/>>. [consulta: 12 de enero de 2020].
7. SOTYSOLAR. Paneles solares monocristalinos o policristalinos, ¿cuál elegir?. [en línea]. <<https://sotysolar.es/placas-solares/monocristalinas-policristalinas>>. [consulta: 6 de noviembre de 2020].
8. SOLAR ELECTRÓNICS. Las diferencias entre Off-Grid y On-Grid. [en línea]. <<https://solarelectronics.co/2019/10/las-diferencias-entre-off-grid-y-on-grid>>. [consulta: 28 de octubre de 2019].

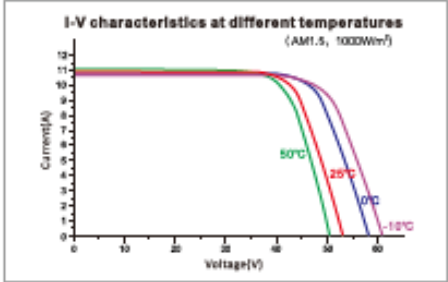
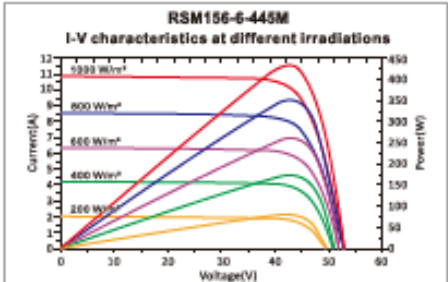
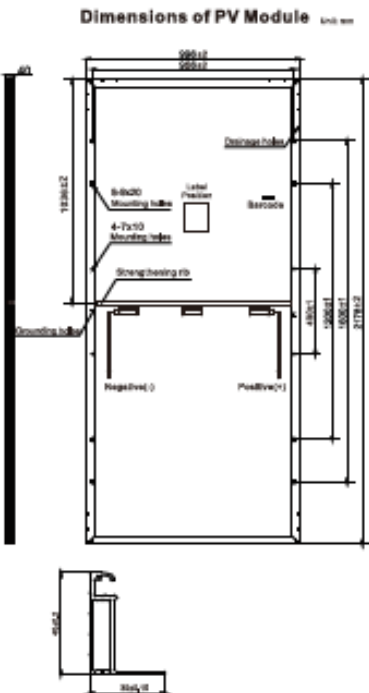
ANEXOS

ANEXO A: Boleta de luz CGE Enero de 2019.

DETALLE DE FACTURACIÓN CARGOS TARIFARIOS DECRETO VAD 11T/2016

1. DETALLE DEL CLIENTE			
Nº de Cliente	5073346	Ref. Boleta/Factura Nº	11468933
Dirección del Cliente:	VALLE LOS OLMOS S/N, PETORCA	Fecha Emisión de Facturación:	03-01-2019
2. DETALLE DE MI CUENTA			
Servicio Eléctrico			
Administración del Servicio	\$		1.759
Transporte de Electricidad	\$		31.308
Cargo por Servicio Público	\$		854
Electricidad Consumida (2.179 kWh)	\$		138.710
Cargo por Demanda Máxima de Potencia Suministrada (13,555 kW)	\$		38.476
Cargo Demanda Máxima Leída de Potencia en Horas Punta (13,535 kW)	\$		150.757
Multa por Consumo Reactivo (9 %)	\$		30.558
Arriendo de Medidor	\$		1.786
Otros Cargos			
Ajuste para Facilitar el Pago en Efectivo, Mes Anterior	\$		75
Ajuste para Facilitar el Pago en Efectivo, Mes Actual	\$		-20
Total neto:	\$		393.354
19% IVA:	\$		74.737
Total exento:	\$		854
Total factura:	\$		468.945
Otros:	\$		55
TOTAL A PAGAR:	\$		469.000

THE POWER OF RISING VALUE



Our Partners:

ELECTRICAL DATA (STC)

Model Number	RSM156-6-430M	RSM156-6-435M	RSM156-6-440M	RSM156-6-445M	RSM156-6-450M	RSM156-6-455M
Rated Power in Watts-Pmax(Wp)	430	435	440	445	450	455
Open Circuit Voltage-Voc(V)	52.38	52.50	52.62	52.72	52.82	52.92
Short Circuit Current-Isc(A)	10.47	10.57	10.67	10.77	10.87	10.97
Maximum Power Voltage-Vmpp(V)	43.60	43.70	43.80	43.90	44.00	44.10
Maximum Power Current-Imp(A)	9.87	9.97	10.06	10.15	10.24	10.32
Module Efficiency (%) *	19.8	20.1	20.3	20.5	20.7	21.0

STC: Irradiance 1000 W/m², Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5 according to EN 60904-3.
* Module Efficiency (%): Round-off to the nearest number

ELECTRICAL DATA (NMOT)

Model Number	RSM156-6-430M	RSM156-6-435M	RSM156-6-440M	RSM156-6-445M	RSM156-6-450M	RSM156-6-455M
Maximum Power-Pmax (Wp)	321.8	325.5	329.3	332.9	336.6	340.3
Open Circuit Voltage-Voc (V)	48.20	48.30	48.41	48.50	48.59	48.69
Short Circuit Current-Isc (A)	8.59	8.67	8.75	8.83	8.91	9.00
Maximum Power Voltage-Vmpp (V)	39.90	40.09	40.18	40.26	40.33	40.41
Maximum Power Current-Imp (A)	8.06	8.12	8.20	8.27	8.35	8.42

NMOT: Irradiance at 800 W/m², Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1 m/s.

MECHANICAL DATA

Solar cells	Monocrystalline, 9BB
Cell configuration	156 cells (6×13+6×13)
Module dimensions	2178×996×40mm
Weight	25.5kg
Superstrate	High Transmission, Low Iron, Tempered ARC Glass
Substrate	White Back-sheet
Frame	Anodized Aluminium Alloy type 6063T5, Silver Color
J-Box	Potted, IP68, 1500VDC, 3 Schottky bypass diodes
Cables	4.0mm² (12AWG), Positive(+)270mm, Negative(-)270mm
Connector	Risen Twinsel PV-SY02, IP68

TEMPERATURE & MAXIMUM RATINGS

Nominal Module Operating Temperature (NMOT)	44°C±2°C
Temperature Coefficient of Voc	-0.29%/°C
Temperature Coefficient of Isc	0.05%/°C
Temperature Coefficient of Pmax	-0.37%/°C
Operational Temperature	-40°C~+85°C
Maximum System Voltage	1500VDC
Max Series Fuse Rating	20A
Limiting Reverse Current	20A

PACKAGING CONFIGURATION

	40ft(HQ)	20ft
Number of modules per container	540	270
Number of modules per pallet	27	27
Number of pallets per container	20	10
Packaging box dimensions (LxWxH) in mm	2205×1130×1130	2205×1130×1130
Box gross weight[kg]	745	745

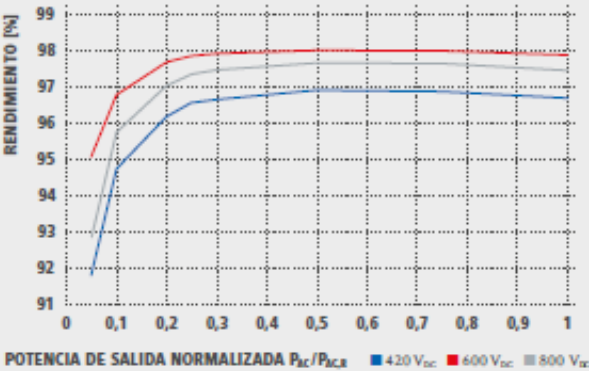
CAUTION: READ SAFETY AND INSTALLATION INSTRUCTIONS BEFORE USING THE PRODUCT.
©2020 Risen Energy. All rights reserved. Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.

DATOS TÉCNICOS FRONIUS SYMO (10.0-3-M, 12.5-3-M, 15.0-3-M, 17.5-3-M, 20.0-3-M)

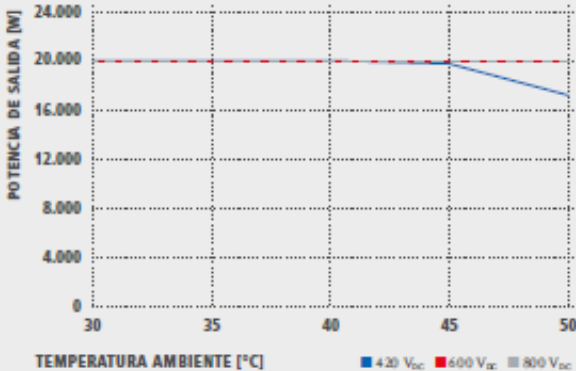
DATOS DE ENTRADA	SYMO 10.0-3-M	SYMO 12.5-3-M	SYMO 15.0-3-M	SYMO 17.5-3-M	SYMO 20.0-3-M
Máxima corriente de entrada ($I_{dc máx. 1}$ / $I_{dc máx. 2}$)	27 A / 16,5 A ¹⁾		33 A / 27 A		
Máxima corriente de entrada total utilizada ($I_{dc máx. 1} + I_{dc máx. 2}$)	43,5 A		51,0 A		
Máxima corriente de cortocircuito por serie FV (MPP_1 / MPP_2)	40,5 A / 24,8 A		49,5 A / 40,5 A		
Mínima tensión de entrada ($U_{dc mín.}$)	200 V				
Tensión CC mínima de puesta en servicio ($U_{dc arranque}$)	200 V				
Tensión de entrada nominal (U_{dcN})	600 V				
Máxima tensión de entrada ($U_{dc máx.}$)	1.000 V				
Rango de tensión MPP ($U_{mpp mín.} - U_{mpp máx.}$)	270 - 800 V	320 - 800 V		370 - 800 V	420 - 800 V
Número de seguidores MPP	2				
Número de entradas CC	3+3				
Máxima salida del generador FV ($P_{dc máx.}$)	15,0 kW <i>peak</i>	18,8 kW <i>peak</i>	22,5 kW <i>peak</i>	26,3 kW <i>peak</i>	30,0 kW <i>peak</i>
DATOS DE SALIDA	SYMO 10.0-3-M	SYMO 12.5-3-M	SYMO 15.0-3-M	SYMO 17.5-3-M	SYMO 20.0-3-M
Potencia nominal CA (P_{acN})	10.000 W	12.500 W	15.000 W	17.500 W	20.000 W
Máxima potencia de salida	10.000 VA	12.500 VA	15.000 VA	17.500 VA	20.000 VA
Máxima corriente de salida ($I_{ac máx.}$)	14,4 A	18,0 A	21,7 A	25,3 A	28,9 A
Acompañamiento a la red (rango de tensión)	3-NPE 400 V / 230 V o 3-NPE 380 V / 220 V (+20 % / -30 %)				
Frecuencia (rango de frecuencia)	50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)				
Coefficiente de distorsión no lineal	1,8 %	2,0 %	1,5 %	1,5 %	1,3 %
Factor de potencia ($\cos \varphi_{acN}$)	0 - 1 ind. / cap.				
DATOS GENERALES	SYMO 10.0-3-M	SYMO 12.5-3-M	SYMO 15.0-3-M	SYMO 17.5-3-M	SYMO 20.0-3-M
Dimensiones (altura x anchura x profundidad)	725 x 510 x 225 mm				
Peso	34,8 kg		43,4 kg		
Tipo de protección	IP 66				
Clase de protección	1				
Categoría de sobretensión (CC / CA) ²⁾	1 + 2 / 3				
Consumo nocturno	< 1 W				
Concepto de inversor	Sin Transformador				
Refrigeración	Refrigeración de aire regulada				
Instalación	Instalación interior y exterior				
Margen de temperatura ambiente	-40 - +60 °C				
Humedad de aire admisible	0 - 100 %				
Máxima altitud	2.000 m / 3.400 m (rango de tensión sin restricciones / con restricciones)				
Tecnología de conexión CC	6 x CC+ y 6 x CC bornes roscados 2,5 - 16 mm ²				
Tecnología de conexión principal	5 polos CA bornes roscados 2,5 - 16 mm ²				
Certificados y cumplimiento de normas	ÖVE / ÖNORM E 8001-4-712, DIN V VDE 0126-1-1/A1, VDE AR N 4105, IEC 62109-1/-2, IEC 62116, IEC 61727, AS 3100, AS 4777-2, AS 4777-3, CER 06-190, G83/2, UNE 206007-1, SI 4777, CEI 0-16, CEI 0-21, NRS 097				

¹⁾ 14,0 A para tensiones < 420 V
²⁾ De acuerdo con IEC 62109-1. Disponible rail DIN opcional para tipo 1 + 2 y tipo 2 de protección de sobretensión.
Más información sobre la disponibilidad de inversores en su país en www.fronius.es.

CURVA DE RENDIMIENTO FRONIUS SYMO 20.0-3-M



REDUCCIÓN DE TEMPERATURA FRONIUS SYMO 20.0-3-M



DATOS TÉCNICOS FRONIUS SYMO (10.0-3-M, 12.5-3-M, 15.0-3-M, 17.5-3-M, 20.0-3-M)

RENDIMIENTO	SYMO 10.0-3-M	SYMO 12.5-3-M	SYMO 15.0-3-M	SYMO 17.5-3-M	SYMO 20.0-3-M
Máximo rendimiento	98,0 %				
Rendimiento europeo (η _{EU})	97,4%	97,6 %	97,8 %	97,8 %	97,9 %
η con 5 % P _{ac,r} ¹⁾	87,9 / 92,5 / 89,2 %	88,7 / 93,1 / 90,1 %	91,2 / 94,8 / 92,3 %	91,6 / 95,0 / 92,7 %	91,9 / 95,2 / 93,0 %
η con 10 % P _{ac,r} ¹⁾	91,2 / 94,9 / 92,8 %	92,9 / 96,1 / 94,6 %	93,4 / 96,0 / 94,4 %	94,0 / 96,4 / 95,0 %	94,8 / 96,9 / 95,8 %
η con 20 % P _{ac,r} ¹⁾	94,6 / 97,1 / 96,1 %	95,4 / 97,3 / 96,6 %	95,9 / 97,4 / 96,7 %	96,1 / 97,6 / 96,9 %	96,3 / 97,8 / 97,1 %
η con 25 % P _{ac,r} ¹⁾	95,4 / 97,3 / 96,6 %	95,6 / 97,6 / 97,0 %	96,2 / 97,6 / 97,0 %	96,4 / 97,8 / 97,2 %	96,7 / 97,9 / 97,4 %
η con 30 % P _{ac,r} ¹⁾	95,6 / 97,5 / 96,9 %	95,9 / 97,7 / 97,2 %	96,5 / 97,8 / 97,3 %	96,6 / 97,9 / 97,4 %	96,8 / 98,0 / 97,6 %
η con 50 % P _{ac,r} ¹⁾	96,3 / 97,9 / 97,4 %	96,4 / 98,0 / 97,5 %	96,9 / 98,1 / 97,7 %	97,0 / 98,1 / 97,7 %	97,0 / 98,1 / 97,8 %
η con 75 % P _{ac,r} ¹⁾	96,5 / 98,0 / 97,6 %	96,5 / 98,0 / 97,6 %	97,0 / 98,1 / 97,8 %	97,0 / 98,1 / 97,8 %	97,0 / 98,1 / 97,7 %
η con 100 % P _{ac,r} ¹⁾	96,5 / 98,0 / 97,6 %	96,5 / 97,8 / 97,6 %	97,0 / 98,1 / 97,7 %	96,9 / 98,1 / 97,6 %	96,8 / 98,0 / 97,6 %
Rendimiento de adaptación MPP	≈ 99,9 %				
EQUIPAMIENTO DE SEGURIDAD	SYMO 10.0-3-M	SYMO 12.5-3-M	SYMO 15.0-3-M	SYMO 17.5-3-M	SYMO 20.0-3-M
Medición del aislamiento CC	Sí				
Comportamiento de sobrecarga	Desplazamiento del punto de trabajo, limitación de potencia				
Seccionador CC	Sí				
Protección contra polaridad inversa	Sí				
INTERFACES	SYMO 10.0-3-M	SYMO 12.5-3-M	SYMO 15.0-3-M	SYMO 17.5-3-M	SYMO 20.0-3-M
WLAN / Ethernet LAN	Fronius Solar.web, Modbus TCP SunSpec, Fronius Solar API (JSON)				
6 inputs digitales y 4 inputs/outputs digitales	Interface receptor del control de onda				
USB (Conector A) ²⁾	Datalogging, actualización de inversores vía USB				
2 conectores RJ 45 (RS422) ²⁾	Fronius Solar Net				
Salida de aviso ²⁾	Gestión de la energía (salida de relé libre de potencial)				
Datalogger y Servidor web	Incluido				
Input externo ²⁾	Interface SO-Meter / Input para la protección contra sobretensión				
RS485	Modbus RTU SunSpec o conexión del contador				

¹⁾ Y con U_{app máx.} / U_{dcr} / U_{app máx.} ²⁾ También disponible en la versión light.

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging

SOMOS TRES DIVISIONES CON UNA MISMA PASIÓN: SUPERAR LÍMITES.

/ No importa si se trata de tecnología de soldadura, energía fotovoltaica o tecnología de carga de baterías, nuestra exigencia está claramente definida: ser líder en innovación. Con nuestros más de 3.000 empleados en todo el mundo superamos los límites y nuestras más de 1.000 patentes concedidas son la mejor prueba. Otros se desarrollan paso a paso. Nosotros siempre damos saltos de gigante. Siempre ha sido así. El uso responsable de nuestros recursos constituye la base de nuestra actitud empresarial.

Para obtener información más detallada sobre todos los productos de Fronius y nuestros distribuidores y representantes en todo el mundo visite www.fronius.com

v04 Nov 2014 ES

Fronius España S.L.U.
Parque Empresarial LA CARPETANIA
Miguel Faraday 2
28906 Getafe (Madrid)
España
Teléfono +34 91 649 60 40
Fax +34 91 649 60 44
pv-sales-spain@fronius.com
www.fronius.es

Fronius International GmbH
Froniusplatz 1
4600 Wels
Austria
Teléfono +43 7242 241-0
Fax +43 7242 241-953940
pv-sales@fronius.com
www.fronius.com

Reporte

Generación fotovoltaica y datos meteorológicos

13/07/2021

1 Introducción

En este reporte se presenta información sobre el recurso solar basada en la modelación numérica de la transferencia de radiación solar en la atmósfera y en datos satelitales de alta resolución. El producto obtenido ha sido validado con observaciones, sin embargo, no debe ser considerado como definitivo antes de ser corroborado con mediciones in situ.

El modelo utilizado para la transferencia radiativa en cielo despejado es el modelo CLIRAD-SW, el cual considera las interacciones de la radiación con la atmósfera por bandas espectrales de manera independiente. El modelo utiliza datos de temperatura, humedad y aerosoles de reanálisis meteorológicos y datos climatológicos de CO₂, CH₄ y O₃.

La información para la nubosidad que se ha utilizado proviene de los satélites GOES-EAST para los años 2004 a 2016. Con esta base de datos se ha identificado la nubosidad y sus características radiativas, y a través de un modelo empírico se ha modificado el resultado obtenido para una atmósfera con cielo despejado para adaptarlo a una condición de cielo nublado.

A continuación encontrará los resultados del cálculo de la generación del sistema fotovoltaico evaluado, de acuerdo a los parámetros ingresados, el impacto de la radiación incidente y las condiciones meteorológicas en el sitio de interés. Además se muestra información sobre la radiación (global, directa y difusa) incidente en el panel de acuerdo a las características del arreglo fotovoltaico escogido, la radiación incidente en un plano horizontal y los promedios de la nubosidad, temperatura y la velocidad del viento en el sitio seleccionado.

2 Sitio

En esta sección se muestran las características topográficas del sitio escogido por el usuario.

Tabla 1: Ubicación del sitio seleccionado

Nombre	Mi Sitio
Latitud	32.2059 °S
Longitud	70.8247 °O
Elevación	672 m



Figura 1: Mapas del sitio seleccionado

2.1 Sombras topográficas

Se ha utilizado una base de datos de altura del terreno de 90 [m] de resolución y se ha considerado la topografía dentro de un radio de 180 [km] desde el sitio seleccionado para obtener las sombras proyectadas por los obstáculos topográficos en el entorno del sitio. Este análisis NO considera el impacto de otro tipo de obstáculos como por ejemplo edificios, árboles, cables, etc.

Tabla 2: Frecuencia de sombras.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
%	45.83	46.84	54.17	57.93	64.18	66.67	64.87	61.29	54.51	50.27	46.73	45.83

(a) Porcentaje de tiempo con sombras cada mes en horario diurno.

Hora	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
%	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	59.23	32.9	0.0	0.0	0.0

Hora	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.48	40.14	70.74	100.0	100.0	100.0	100.0

(b) Porcentaje del año con sombras en cada hora.

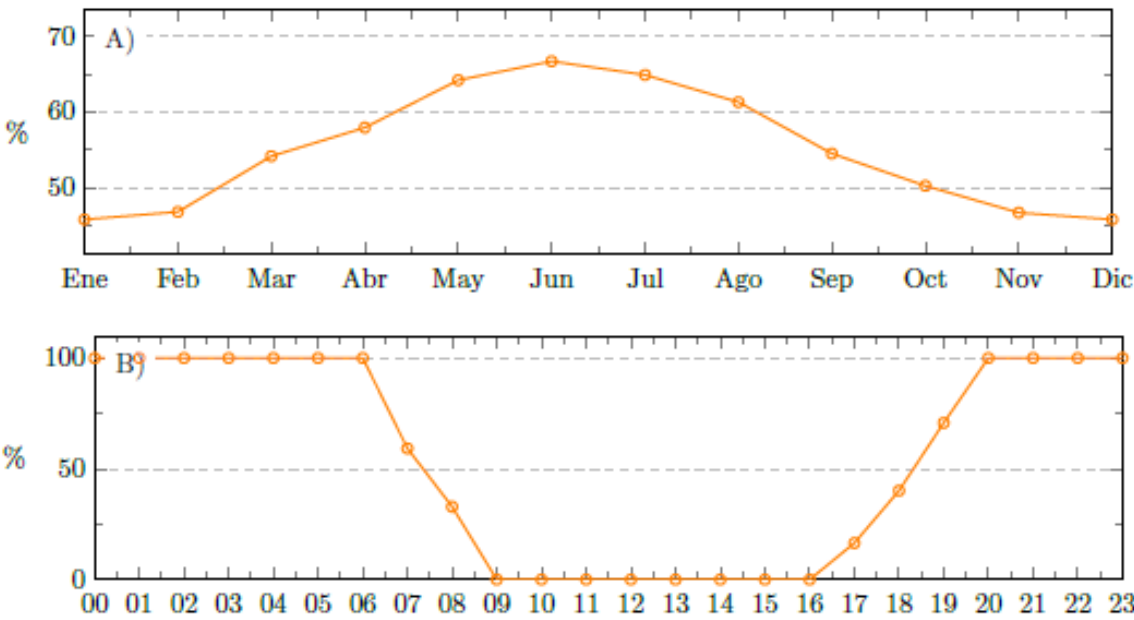


Figura 2: A) Ciclo anual de frecuencia de sombras, B) Ciclo diario de frecuencia de sombras.

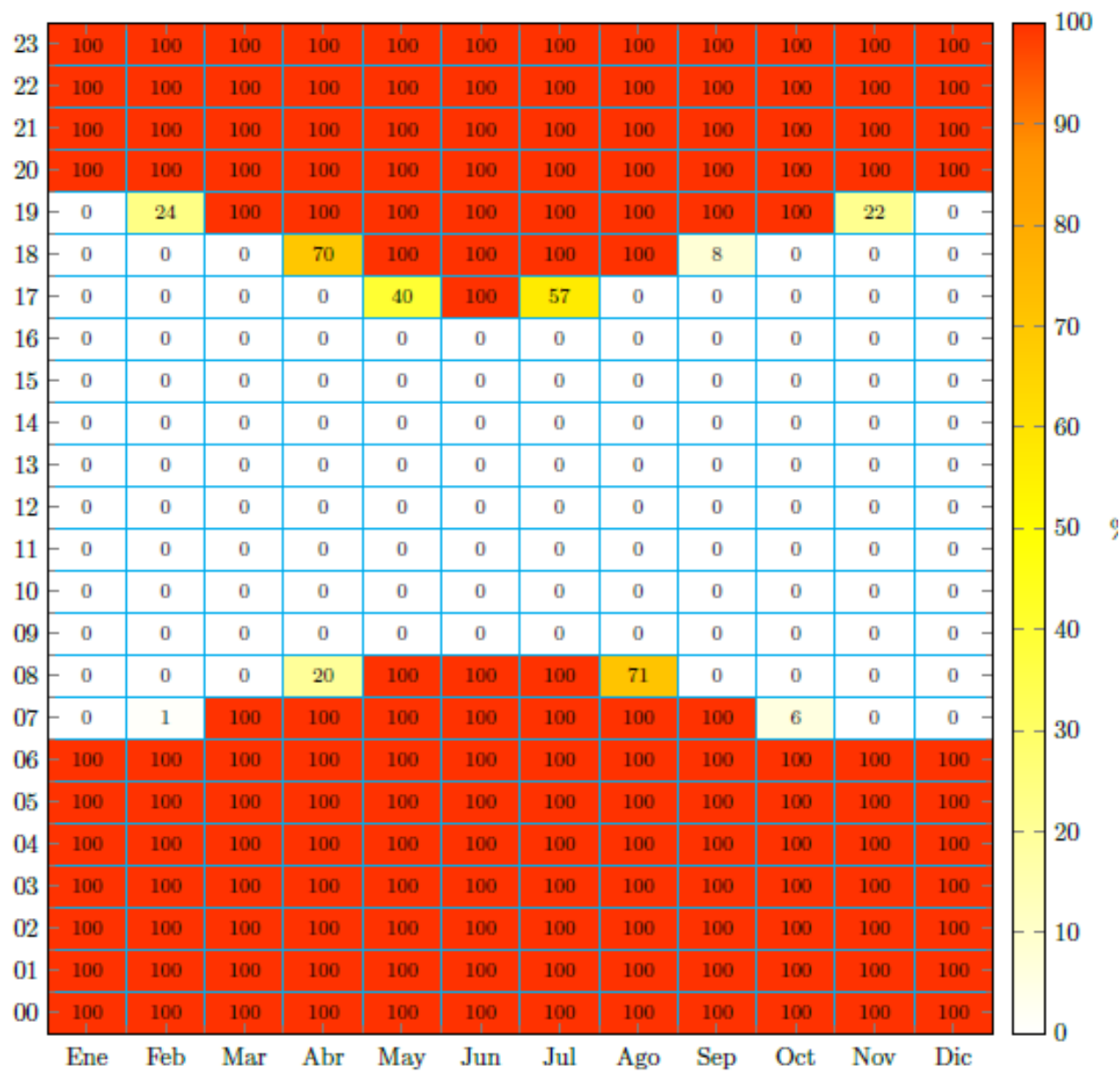


Figura 3: Porcentaje de la hora con sombras durante cada mes.

3 Generación Fotovoltaica

3.1 Características del arreglo fotovoltaico

Las características del sistema ingresadas por el usuario para la simulación de la generación fotovoltaica y los resultados se presentan en esta sección.

Tabla 3: Características del sistema fotovoltaico

Configuración	Fijo Inclinado
Montaje	open rack cell glassback
Inclinación	20°
Azimut	-20°
Nº celdas por panel	156
Nº paneles	60
Voltaje máxima potencia	44 V
Corriente máxima potencia	10.24 A
Voltaje circuito abierto	52.82 V
Coef. temperatura voltaje	-0.29 %/°C
Corriente cortocircuito	10.87 A
Coef. temperatura corriente	0.05 %/°C
Ef. Inversor	97.8 %
Pérdidas	14 %

3.2 Resultados de la generación eléctrica fotovoltaica

Tabla 4: Resultados de la generación fotovoltaica

Capacidad Instalada	27.03 kW
Total Diario	118.0 kWh
Total Anual	43.17 MWh
Factor de Planta	18.0 %

Tabla 5: Ciclo anual de la generación fotovoltaica.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
MWh	4.84	4.24	4.24	3.34	2.52	2.06	2.21	2.78	3.39	4.12	4.52	4.92

(a) Promedio de la generación total en cada mes.

Tabla 6: Ciclo diario de la generación fotovoltaica.

Hora	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
kWh	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.02	0.29	2.32	6.88	11.24	14.49
Hora	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
kWh	15.54	15.8	15.42	14.53	11.77	6.98	2.69	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0

(a) Promedio de la generación para cada hora.

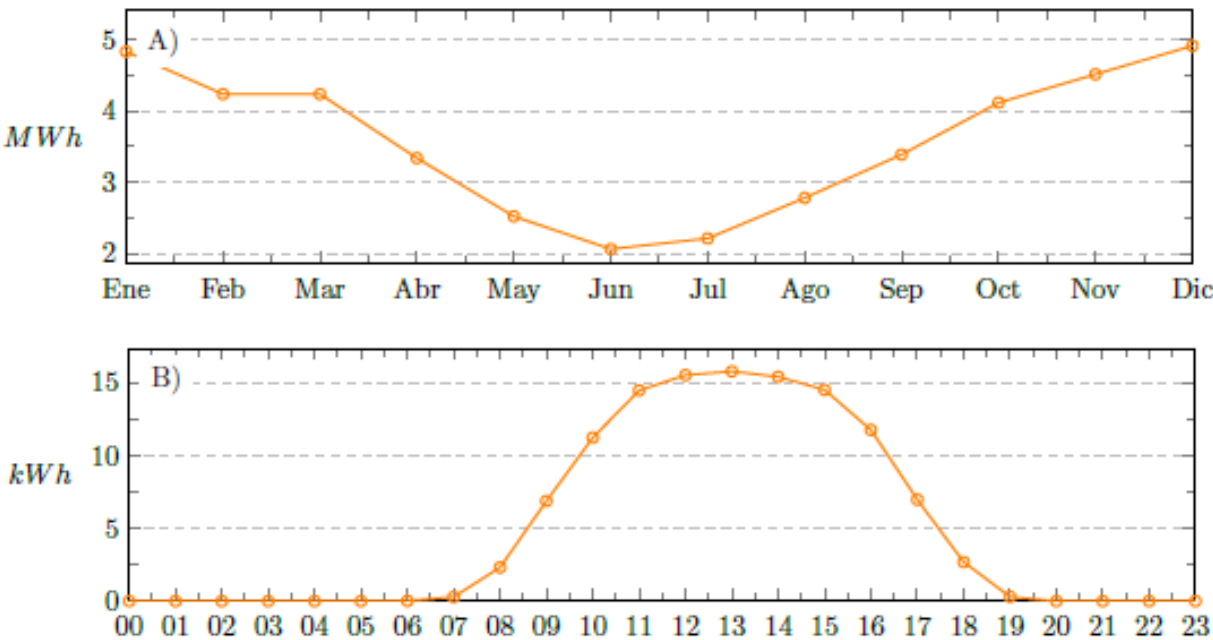


Figura 4: A) Ciclo anual de generación, B) Ciclo diario de generación.

Tabla 7: Total anual de la generación para cada año en la base de datos.

Año	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
MWh	42.82	40.67	42.48	43.51	43.28	43.06	46.93	46.36	43.95	43.45	43.28	41.52	39.81

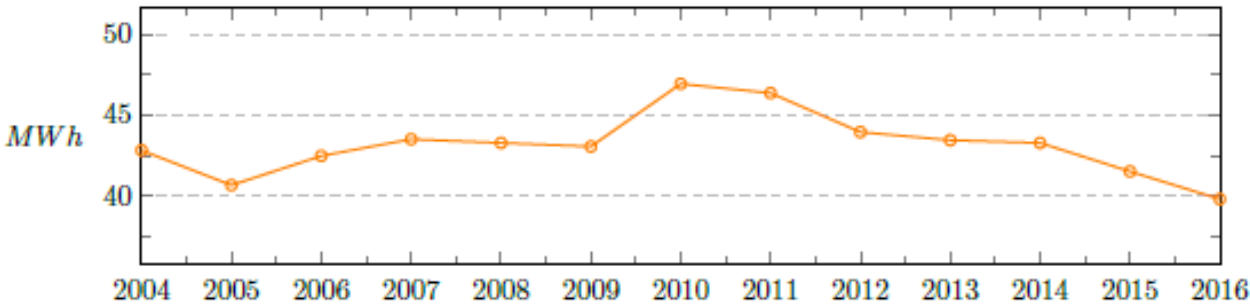


Figura 5: Variación interanual de la generación fotovoltaica.

3.3 Radiación

Las siguientes tablas y gráficos muestran los promedios de la radiación global, directa y difusa incidente sobre un plano horizontal y sobre un plano orientado hacia el norte, con una inclinación igual a la latitud del sitio.

3.3.1 Insolación mensual

Tabla 8: Promedio mensual de la insolación diaria en unidades de $[kWh/m^2/día]$.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Directa	8.11	7.37	5.87	4.02	2.49	2.03	2.11	2.91	4.15	5.44	7.3	8.3
Difusa	1.01	0.9	0.83	0.8	0.74	0.61	0.69	0.84	1.16	1.51	1.27	1.1
Global	9.12	8.27	6.7	4.82	3.23	2.64	2.8	3.75	5.31	6.95	8.57	9.4

(a) Radiación incidente en el plano horizontal

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Directa	6.99	7.16	6.77	5.52	4.0	3.52	3.53	4.22	5.07	5.59	6.55	6.94
Difusa	0.93	0.84	0.77	0.74	0.69	0.56	0.64	0.78	1.07	1.39	1.18	1.01
Suelo	0.17	0.15	0.12	0.09	0.06	0.05	0.05	0.07	0.1	0.13	0.16	0.17
Global	8.09	8.15	7.66	6.35	4.75	4.13	4.22	5.07	6.24	7.11	7.89	8.12

(b) Radiación incidente en un plano con inclinación igual a la latitud del sitio.

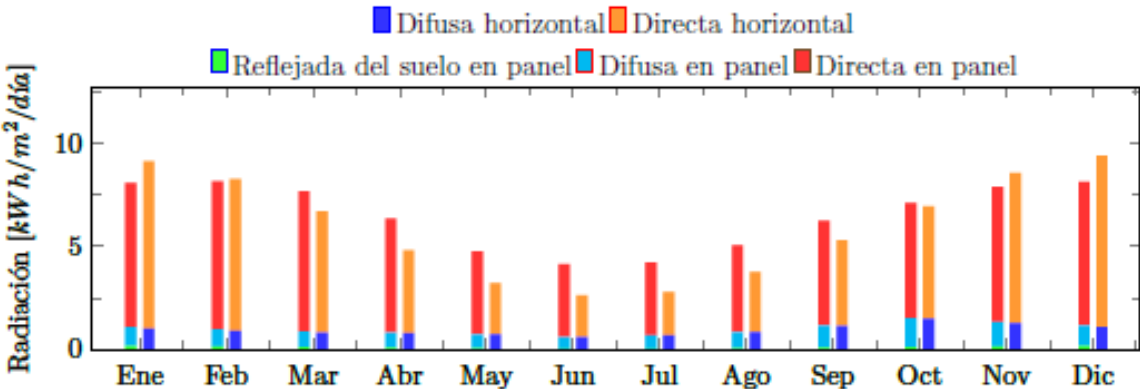


Figura 6: Promedio mensual de la insolación diaria incidente en un plano horizontal y en un plano inclinado, separada en sus componentes directa, difusa y reflejada del suelo.

3.3.2 Ciclo diario de radiación

Tabla 9: Promedio horario de la radiación incidente en unidades de $[W/m^2]$.

Hora	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
Directa	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	56.37	176.5	348.48	496.54	607.16
Difusa	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.23	18.06	41.33	66.26	87.84	107.42
Global	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.23	74.43	217.83	414.74	584.38	714.58

Hora	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Directa	664.74	673.34	625.66	539.85	418.44	250.75	114.51	22.76	0.0	0.0	0.0	0.0
Difusa	120.95	124.18	118.87	102.81	77.03	54.24	25.17	8.1	0.0	0.0	0.0	0.0
Global	785.69	797.52	744.53	642.66	495.47	304.99	139.68	30.86	0.0	0.0	0.0	0.0

(a) Radiación incidente en el plano horizontal.

Hora	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
Directa	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	19.26	151.38	382.59	559.94	692.7
Difusa	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.98	16.69	38.19	61.23	81.17	99.26
Suelo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.06	1.36	3.97	7.56	10.66	13.03
Global	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.04	37.31	193.54	451.38	651.77	804.99

Hora	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Directa	760.84	773.44	716.21	615.68	472.22	255.87	77.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Difusa	111.76	114.74	109.84	95.0	71.18	50.12	23.26	7.49	0.0	0.0	0.0	0.0
Suelo	14.33	14.54	13.58	11.72	9.03	5.56	2.55	0.56	0.0	0.0	0.0	0.0
Global	886.93	902.72	839.63	722.4	552.43	311.55	103.11	8.05	0.0	0.0	0.0	0.0

(b) Radiación incidente en un plano con inclinación igual a la latitud del sitio.

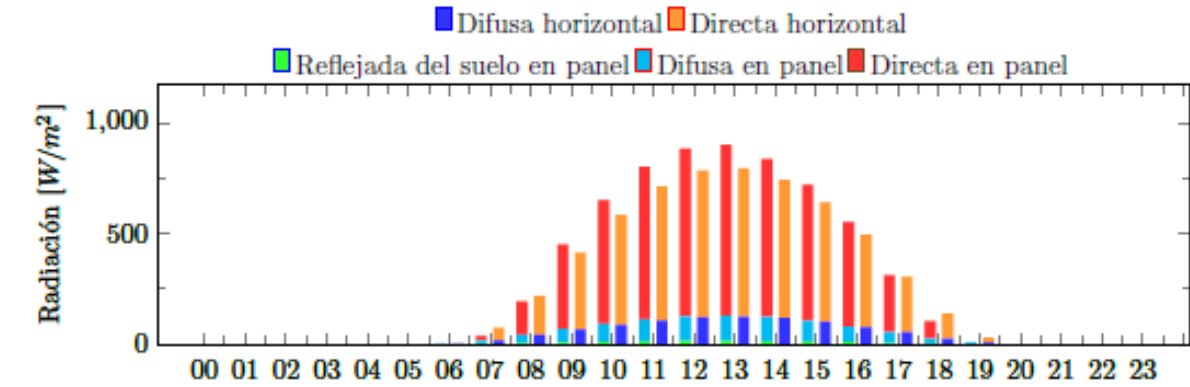


Figura 7: Promedio horario de la radiación global instantánea incidente en un plano horizontal y en un plano inclinado, separada en sus componentes directa, difusa y reflejada en el suelo.

3.3.4 Ciclo diario-anual

Los siguientes gráficos muestran el ciclo diario y el ciclo anual de la radiación solar incidente. El eje horizontal indica la hora del día (UTC-4) y el eje vertical indica el mes del año. La escala de colores indica el valor medio de la radiación instantánea incidente en el panel en $[W/m^2]$ para cada hora y mes.

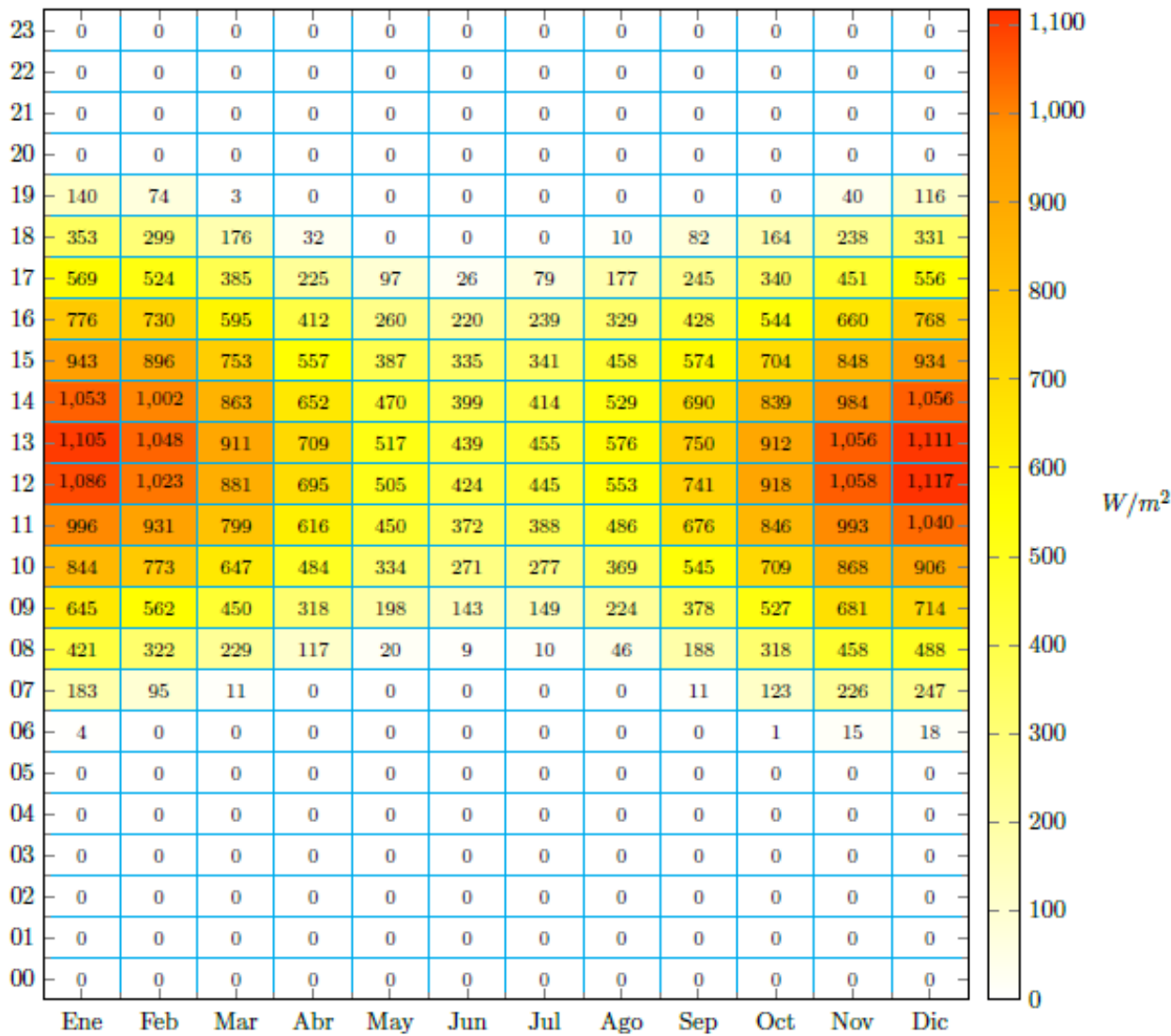


Figura 9: Promedio de la radiación global horizontal para cada hora y mes.

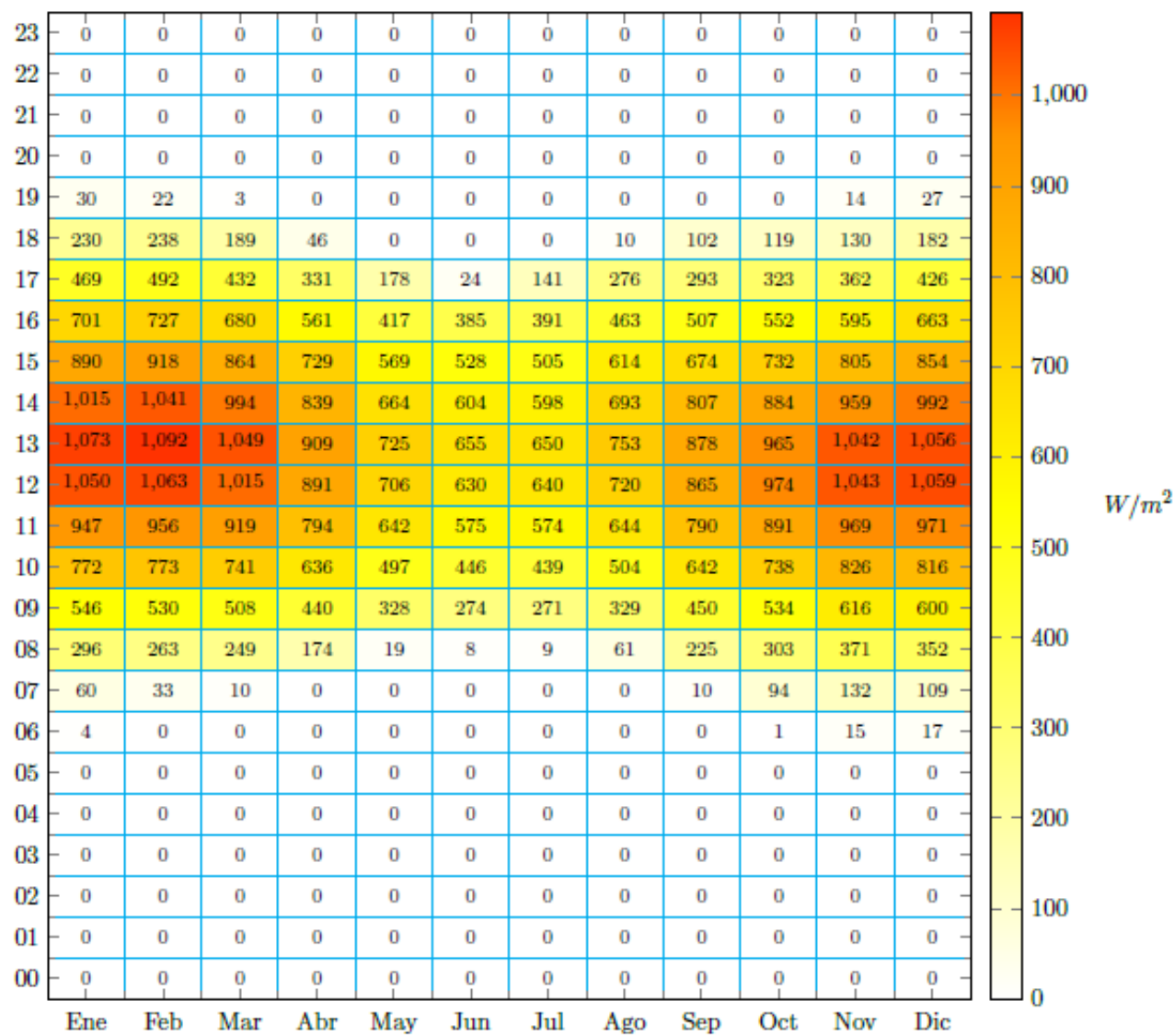


Figura 10: Promedio de la radiación global incidente en un plano con inclinación igual a la latitud del sitio, para cada hora y mes.

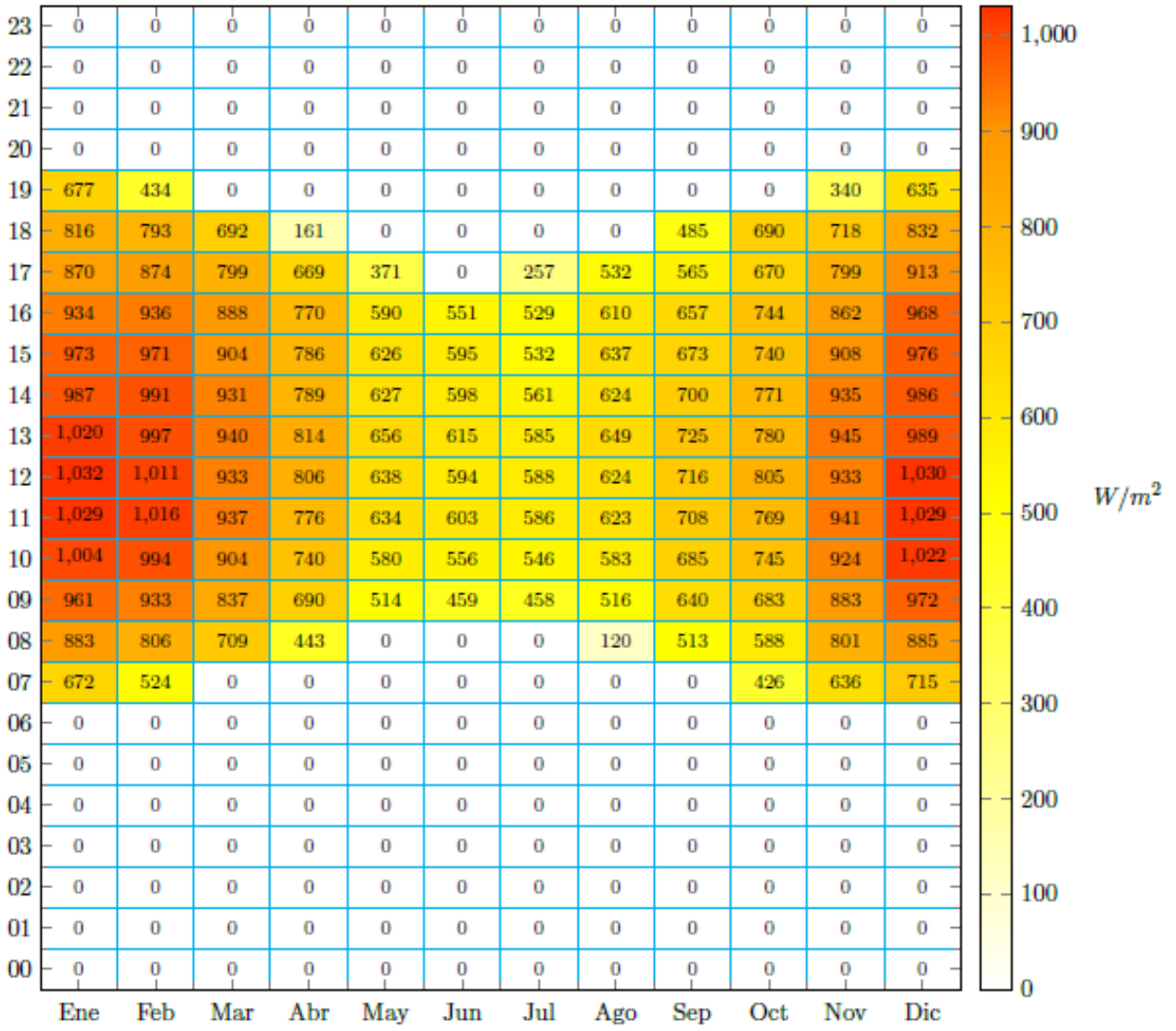


Figura 11: Promedio de la radiación directa normal para cada hora y mes.

3.4 Nubosidad

La nubosidad es la componente atmosférica que remueve mayor cantidad de radiación incidente. A partir de imágenes del satélite geostacionado GOES, se ha calculado la frecuencia de nubosidad para cada hora y mes. Debido a que para la mayor parte del país se utilizan las imágenes del canal visible en la detección de nubosidad, el dato solo está disponible para las horas diurnas.

Tabla 11: Frecuencia de la nubosidad diurna.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
%	4.82	4.3	6.11	9.88	14.15	14.95	16.08	16.28	16.12	14.92	9.74	5.61

(a) Porcentaje del mes con nubosidad diurna

Hora	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.13	13.87	26.79	25.57	24.26	23.71

Hora	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
%	24.28	24.24	25.1	24.52	22.93	18.63	6.81	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

(b) Porcentaje de la hora con nubosidad. Los ceros corresponden a horas donde no hay datos de nubosidad.

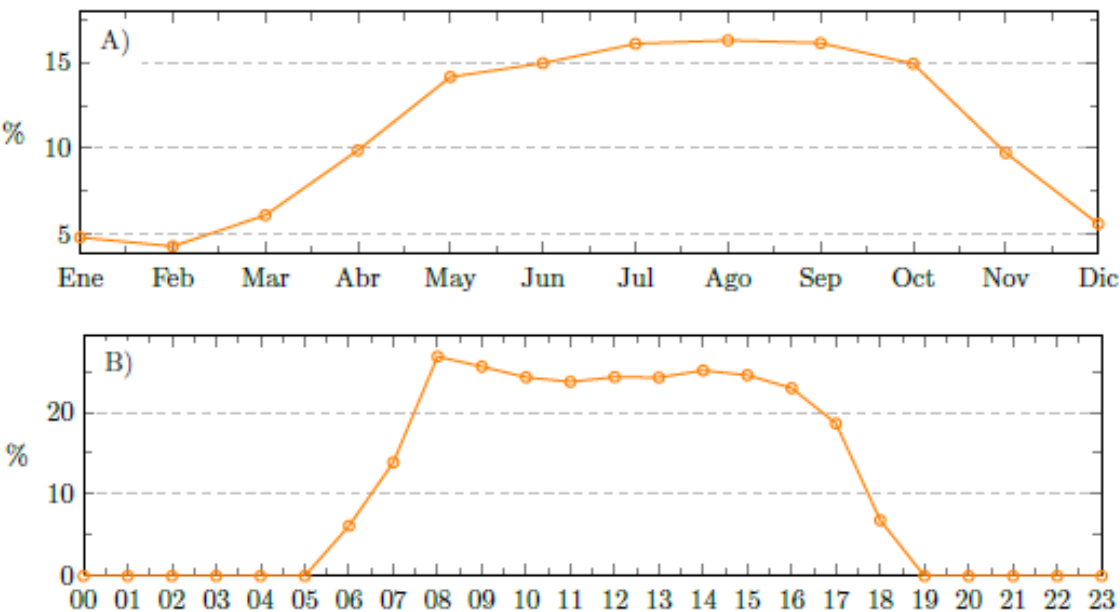


Figura 12: A) Ciclo anual de frecuencia de nubosidad diurna, B) Ciclo diario de frecuencia de nubosidad.

Tabla 12: Variación interanual del porcentaje de nubosidad.

Año	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
%	12.17	14.02	11.72	10.9	10.66	10.74	6.54	7.0	9.85	10.96	11.47	13.57	14.99

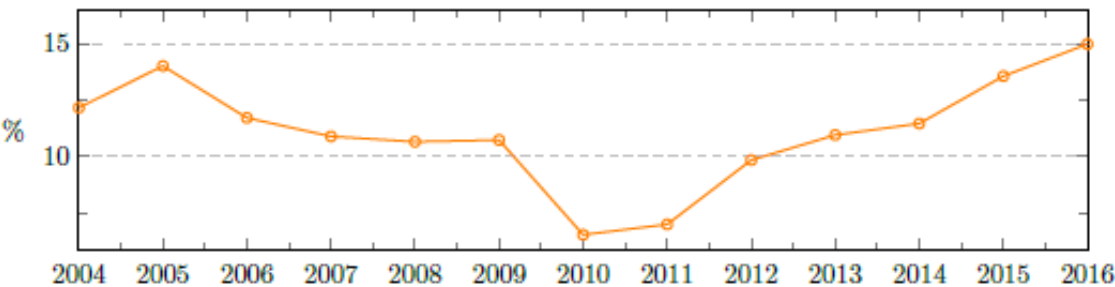


Figura 13: Variación interanual del porcentaje de nubes.

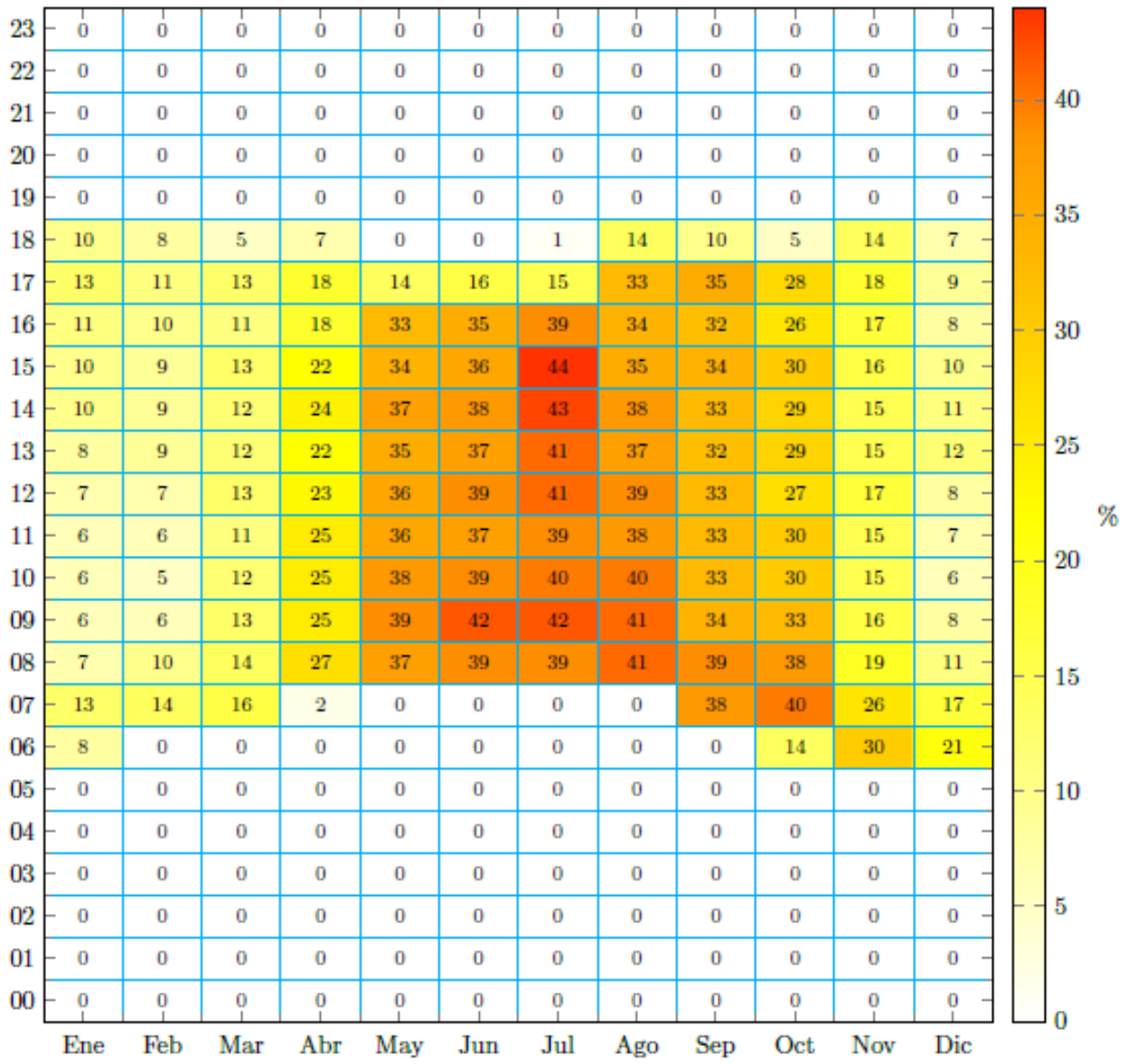


Figura 14: Porcentaje de tiempo con nubes para cada hora y mes.

3.5 Temperatura

La temperatura ambiental afecta la eficiencia de las celdas fotovoltaicas. Las estimaciones de temperatura que se muestran en este capítulo están basadas en los resultados del Explorador Eólico, los cuales se basan en las simulaciones hechas con el modelo meteorológico WRF a 1[km] de resolución para el año 2010.

Tabla 13: Temperatura media.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
°C	21.3	20.87	19.5	16.55	13.97	12.01	11.14	11.82	13.36	15.15	17.6	19.65

(a) Temperatura promedio mensual.

Hora	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
°C	13.11	12.62	12.14	11.71	11.36	11.01	10.88	11.33	12.85	15.05	17.41	19.51

Hora	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
°C	21.15	22.31	22.85	22.49	21.65	20.42	18.91	17.32	16.06	15.14	14.37	13.67

(b) Temperatura promedio para cada hora.

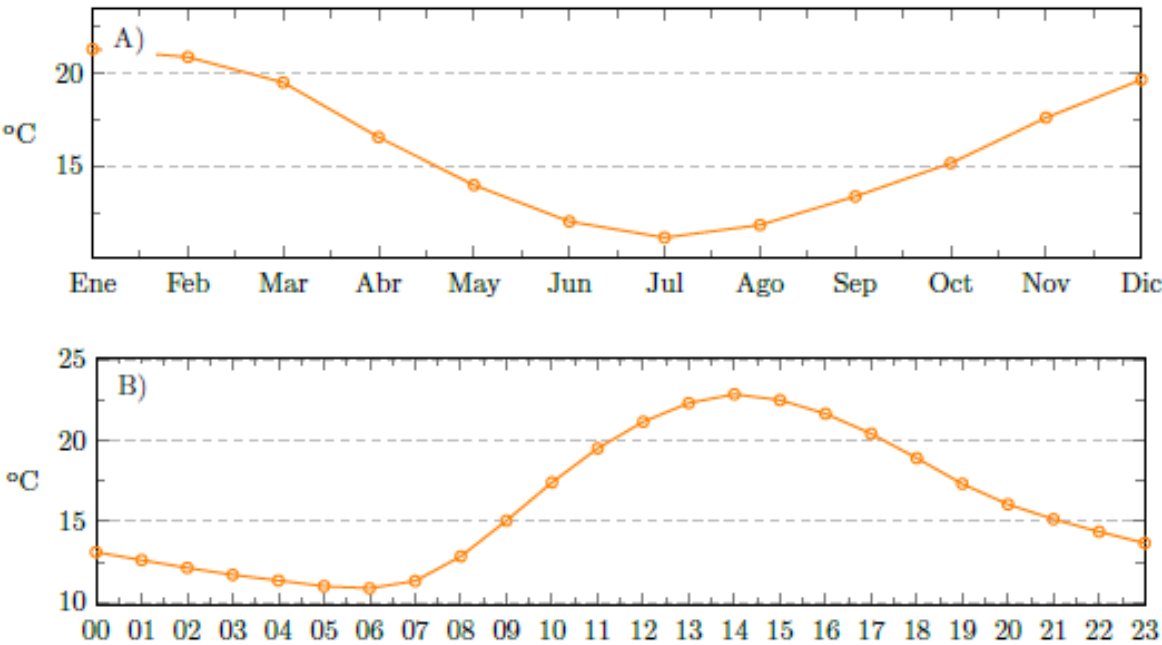


Figura 15: A) Ciclo diario de la temperatura media, B) Ciclo anual de la temperatura media.

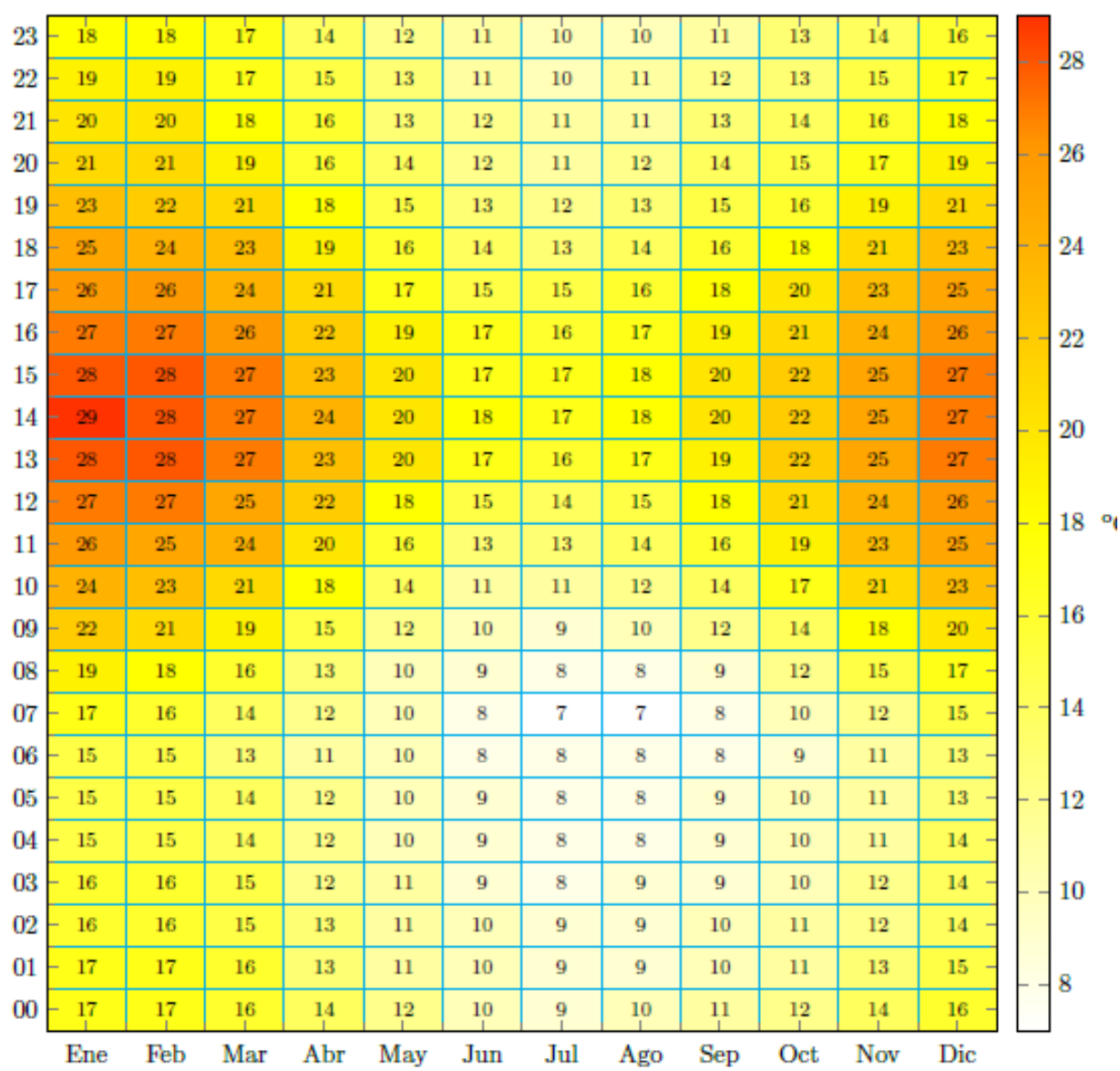


Figura 16: Promedio de la temperatura para cada mes y hora.

3.6 Viento

La velocidad del viento interviene en el enfriamiento de ls celdas fotovoltaicas, y por lo tanto en su eficiencia, además puede afectar la integridad del montaje de los paneles. Las estimaciones de viento aquí presentadas corresponden a los resultados del Explorador Eólico para una altura de 5.5 metros, calculados con el modelo WRF a 1 [km] de resolución para el año 2010.

Tabla 14: Velocidad del viento a 5,5[m].

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
m/s	2.58	2.5	2.07	1.69	1.29	1.6	1.56	1.61	1.72	2.09	2.26	2.48

(a) Promedio mensual de la magnitud del viento.

Hora	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
m/s	1.09	1.15	1.13	1.18	1.24	1.28	1.28	1.15	0.94	0.92	1.27	1.99

Hora	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
m/s	2.81	3.56	4.14	4.44	4.42	3.81	2.9	1.91	1.27	0.99	0.97	1.02

(b) Promedio de la magnitud del viento para cada hora.

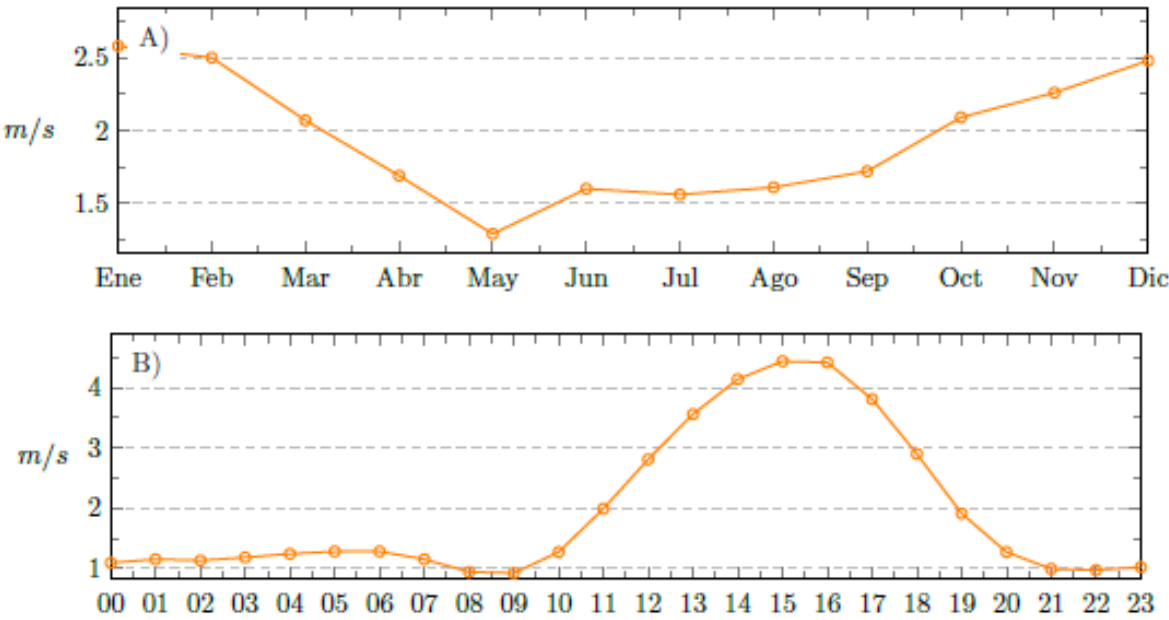


Figura 17: A) Ciclo diario de la magnitud del viento, B) Ciclo anual de la magnitud del viento.

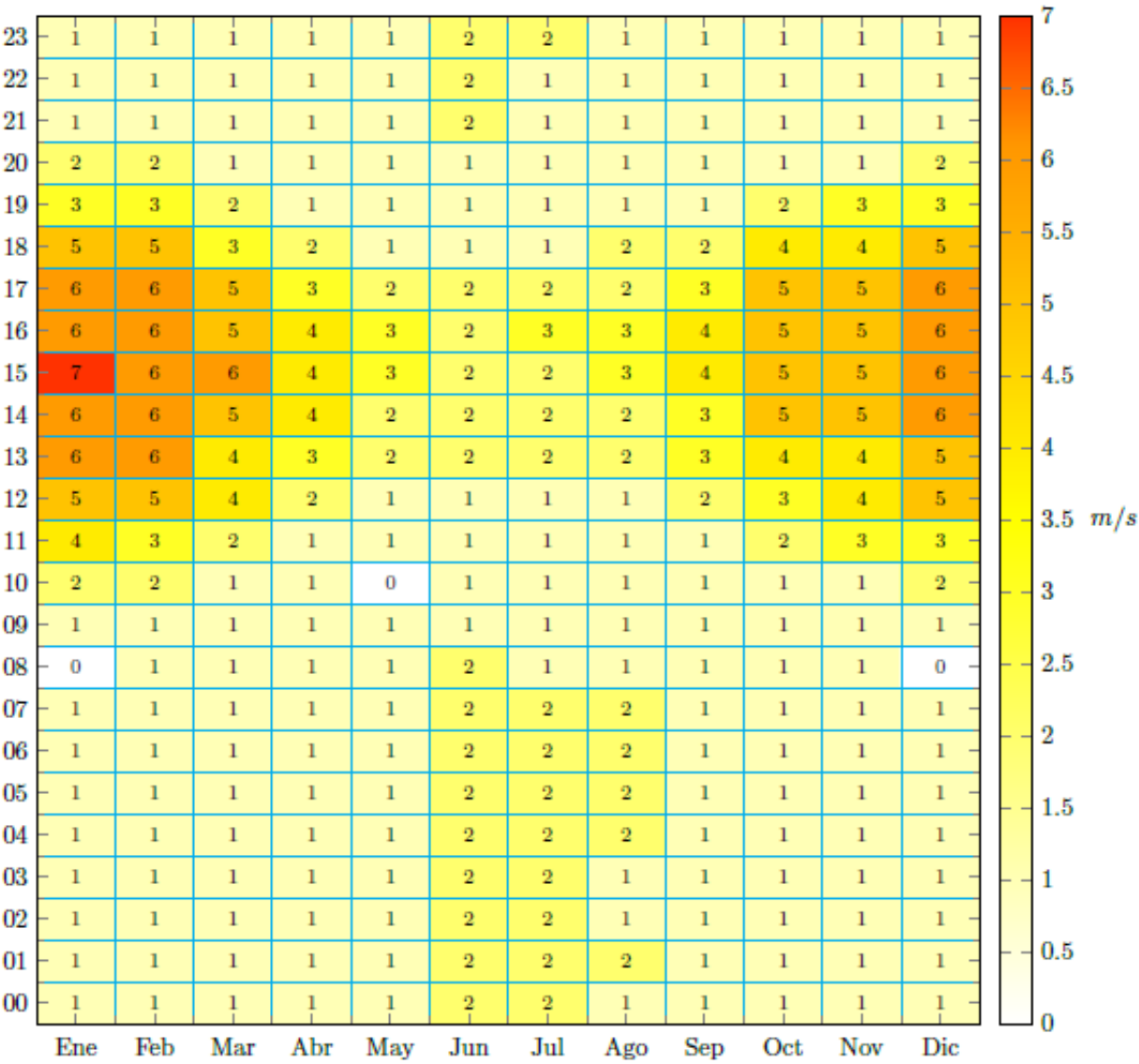
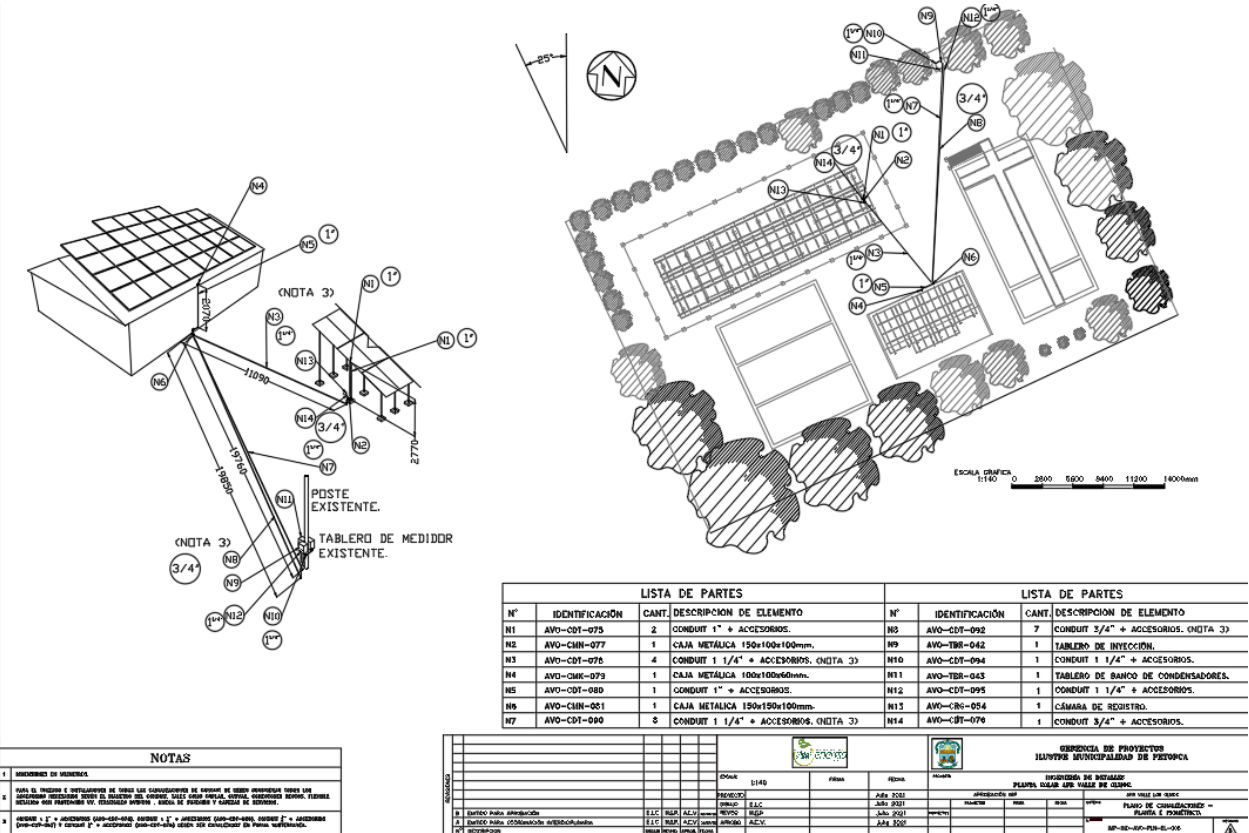
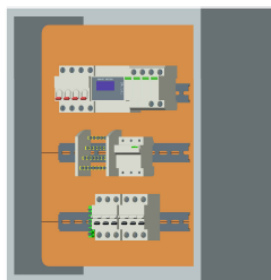


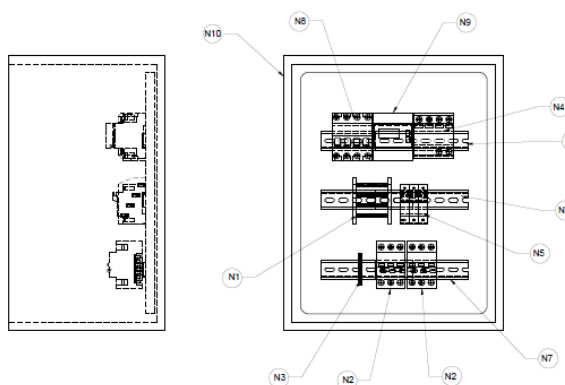
Figura 18: Promedio de la magnitud del viento para cada mes y hora.



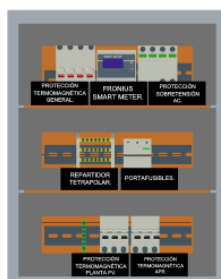
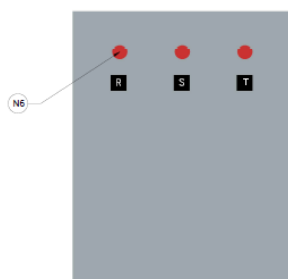
ANEXO K: Plano tablero de inyección



PUERTA EXTERIOR



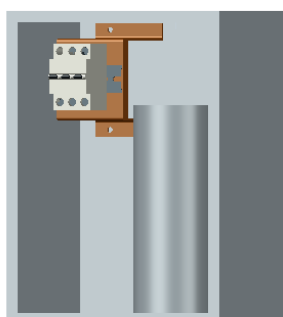
PUERTA INTERIOR



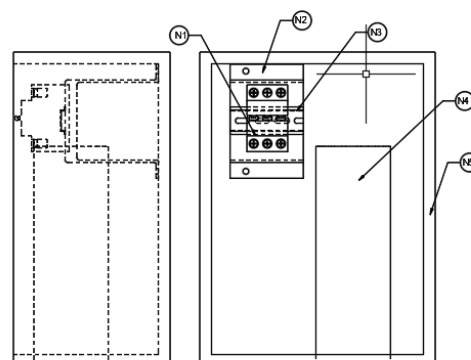
LISTA DE PARTES TABLERO DE INYECCION			
N°	IDENTIFICACION	CANT.	DESCRIPCION DE ELEMENTO
N1	AVO-TH-042-001	1	REPARTIDOR TETRAPOLAR 4x1254 7 MÓDULOS.
N2	AVO-TH-042-002	3	PROTECCION TERMOMAGNETICA TRIPOLAR 3x40A.
N3	AVO-TH-042-003	3	RELEVA DE CONEXION DE TIERRA.
N4	AVO-TH-042-004	3	PROTECCION DE SOBRETENSION 4E.
N5	AVO-TH-042-005	3	PORTAFUSIBLE PARA LUZ BLUETO.
N6	AVO-TH-042-006	3	LUZ BLUETO ROTA 220VAC.
N7	AVO-TH-042-007	1	REL. FUS. 200x35mm.
N8	AVO-TH-042-008	1	PROTECCION TERMOMAGNETICA TETRAPOLAR 4x40A.
N9	AVO-TH-042-009	1	RELEVA DE CONEXION DE TIERRA.
N10	AVO-TH-042-1	1	TABLERO UNIFICACION BOBES, PUERTA 500x400x200mm.

[illegible]

ANEXO L: Plano tablero de banco condensador



PUERTA EXTERIOR



PUERTA INTERIOR



LISTA DE PARTES TABLERO BANCO DE CONDENSADORES.		
N°	IDENTIFICACIÓN	CANT. DESCRIPCIÓN DE ELEMENTO
N1	AVO-TBR-043-001	1 PROTECCIÓN TERMOMAGNÉTICA TRIPOLAR 3x20A, 10KA.
N2	AVO-TBR-043-002	1 ÓMEGA PARA TABLERO.
N3	AVO-TBR-043-003	1 RIEL DIN 2000x35mm.
N4	AVO-TBR-043-004	1 BANCO DE CONDENSADORES 3KVAr.
N5	AVO-TBR-043	1 TABLERO DE BANCO CONDENSADORES 400x300x200mm.

[illegible]