

SISTEMA HÍBRIDO FOTOVOLTAICO-EÓLICO PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Proyecto Final para obtener el título de
Ingeniero Electromecánico

Autores

Andrés Ignacio Vachetta – Alberto Javier Díaz

Universidad Tecnológica Nacional (UTN). Facultad Regional San Francisco
Avenida de la Universidad 501, San Francisco, Córdoba (Argentina)
E-mail: andresvachetta@gmail.com, albertojavierdiaz@gmail.com

Director

Dr. Ing. Diego Martin Ferreyra

2020

Dedicatoria

A la familia, quienes nos brindaron siempre su apoyo incondicional y nos motivaron para seguir progresando a través de los años.

A los amigos, por estar siempre.

A los Docentes, por las enseñanzas y por ser parte del camino el cual hoy está dando sus frutos.

Agradecimientos

Agradecemos a todos los que han brindado su ayuda e información para la realización del proyecto.

Al Dr. Ing. Diego Ferreyra por guiarnos durante todo el proceso, por brindar sus conocimientos y dedicar su tiempo para que este trabajo pueda ser realizado.

Al Mg. Ing. Omar Gallo por ayudarnos a dar los primeros pasos cuando este camino recién comenzaba.

A la empresa WEG Equipamientos Eléctricos S.A. por brindar información esencial.

Al Grupo GISEner de UTN por presentar información de su instalación piloto referida a sistemas fotovoltaicos.

A los Docentes que a través de los años nos han formado.

Resumen

El Laboratorio operado por el Grupo UTN CIDEME por medio de un convenio con la empresa WEG Equipamientos Eléctricos S.A. busca poder abastecer, mediante un sistema combinado de energía solar fotovoltaica y eólica, parte del consumo eléctrico esencial representado por servicios tales como acondicionadores de aire, ordenadores y monitores, iluminación, entre otros. La potencia nominal instalada del sistema híbrido fotovoltaico-eólico propuesto es de 2 kW, de los cuales 1,5 kW comprende la potencia del sistema fotovoltaico y 500 W la potencia del sistema eólico. El sistema en conjunto logra una inyección de energía a la red eléctrica de un total aproximado de 4764,4 kW·h por año, cubriendo el consumo anual de los servicios del laboratorio de 3866 kW·h anuales.

Con respecto a la viabilidad económica del proyecto, actualmente se encuentra en duda, ya que la situación económica del país no es favorable en cuanto al tamaño de la inversión respecto de las ganancias, desde el punto de vista académico, es una oportunidad importante para realizar pruebas a este tipo de tecnología y fomentar la divulgación científica.

Tabla de Contenidos

Capítulo 1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Motivación	1
1.2 Situación general del uso de energías renovables	6
1.3 Definiciones	8
Capítulo 2 CONTEXTO NORMATIVO	10
2.1 Normativas vigentes	10
2.1.1 Leyes nacionales.....	10
2.1.2 Leyes provinciales	10
2.2 Beneficios	11
2.2.1 Beneficios nacionales	11
2.2.2 Beneficios provinciales	11
2.2.3 Beneficios locales	12
Capítulo 3 ESTUDIO TÉCNICO	13
3.1 Marco teórico	13
3.1.1 Energía solar fotovoltaica	13
3.1.2 Energía eólica	15
3.1.3 Sistema de generación híbrida.....	15
3.2 Ubicación específica de los paneles y aerogenerador	16
3.3 Inclinación de los paneles y altura del aerogenerador.....	17
3.4 Análisis del consumo de energía eléctrica laboratorio del CIDEME.....	18
3.4.1 Registro de demanda y energía eléctrica	18
3.4.2 Energía mínima a generar por el sistema.....	20
3.5 Potencial fotovoltaico y eólico en la ubicación del sistema	20
3.5.1 Potencial fotovoltaico	20
3.5.2 Potencial eólico	22
3.6 Elección de los paneles y aerogenerador.....	25
3.7 Energía eléctrica generada por paneles fotovoltaicos	26
3.8 Energía eléctrica generada por turbina eólica.....	27
3.9 Modelado de la curva de generación	28
3.10 Energía total generada por el sistema híbrido.....	29
3.11 Instalación eléctrica	29
3.11.1 Reglamentación	29
3.11.2 Conexión de paneles solares	30
3.11.3 Conexión aerogenerador	31
3.11.4 Características del Inversor	31
3.11.5 Disposición de los componentes de la instalación.....	32
3.11.6 Cálculo de corriente de cortocircuito.....	33
3.11.7 Especificación de los componentes de la instalación fotovoltaica-eólica	37
3.11.8 Esquema eléctrico de la instalación fotovoltaica-eólica	44
3.12 Cálculo de la estructura de los paneles fotovoltaicos.....	45
3.12.1 Cálculo de las solicitaciones de la estructura	45
3.12.2 Análisis estático de la estructura	45
3.12.3 Resultado del análisis estático	48
3.13 Cálculo estructura aerogenerador.....	49
3.13.1 Cálculo de las solicitaciones de la estructura	49
3.13.2 Análisis estático de la estructura	49

3.13.3 Resultado del análisis estático.....	50
3.14 Montaje paneles solares y aerogenerador	51
Capítulo 4 ESTUDIO ECONÓMICO.....	52
4.1 Precio de la energía	52
4.2 Costos de equipos y materiales	53
4.3 Flujo de fondos.....	54
Capítulo 5 ESTUDIO FINANCIERO.....	58
5.1 Valor Actual Neto (VAN).....	58
5.2 Tasa de Interés de Retorno (TIR).....	58
5.3 Período de recuperación (Pay Back)	58
5.4 Retorno de la Inversión (ROI)	58
Capítulo 6 EVALUACIÓN DEL PROYECTO	59
6.1 Evaluación del VAN.....	59
6.2 Evaluación de la TIR	59
6.3 Evaluación de Pay Back	59
6.4 Evaluación de ROI	59
Capítulo 7 DECISIÓN DEL PROYECTO.....	60
Referencias	61
Anexo	63
Anexo 1	63
Especificaciones técnicas de panel fotovoltaico	63
Especificaciones técnicas del aerogenerador.....	65
Anexo 2	66
Modelado curva de generación fotovoltaica.....	66
Anexo 3	67
Especificaciones técnicas del inversor	67
Anexo 4	68
Plano eléctrico.....	68
Topográfico tablero TS 1.....	69
Topográfico tablero TS 1.1.....	70
Anexo 5	71
Plano estructura paneles fotovoltaicos	71
Plano base de soporte aerogenerador	73
Ilustración de montaje final	74

Índice de tablas

- Tabla 3.1. Comparativa entre tipos de paneles fotovoltaicos (datos orientativos y en evolución)
- Tabla 3.2. Hora Solar Pico para el año 2019
- Tabla 3.3. Velocidad del viento a 10 m en la ciudad de San Francisco
- Tabla 3.4. Especificaciones eléctricas del fabricante de paneles fotovoltaicos
- Tabla 3.5. Especificaciones del fabricante de aerogeneradores
- Tabla 3.6. Condiciones del sol para los meses del año 2019
- Tabla 3.7. Ficha técnica del inversor
- Tabla 3.8. Características del material
- Tabla 3.9. Características del material
- Tabla 4.1. Cuadro tarifario EPEC al 01/01/2020
- Tabla 4.2. Costos de equipos y materiales

Índice de figuras

- Figura 1.1. Concentraciones de gases de efecto invernadero
- Figura 1.2. Proceso de calentamiento global
- Figura 1.3. Total de emisiones de gases de efecto invernadero en el año 2017
- Figura 1.4. Total de emisiones anuales de gases de efecto invernadero
- Figura 1.5. Emisiones globales de GEI año 2014
- Figura 1.6. Suministro total de energía primaria en el mundo por fuente de obtención
- Figura 1.7. Emisiones de CO₂ globales por fuentes de energía
- Figura 1.8. Emisiones mundiales de CO₂ por sector entre 1990 a 2017
- Figura 1.9. Capacidad instalada de energías renovables en el Mundo
- Figura 1.10. Matriz energética en Argentina (2019)
- Figura 1.11. Capacidad instalada de energías renovables en Argentina
- Figura 1.12. Capacidad instalada de energía solar fotovoltaica y eólica en Argentina
- Figura 3.1. Principio de funcionamiento de la generación fotovoltaica
- Figura 3.2. Tipos de paneles fotovoltaicos
- Figura 3.3. Esquema del sistema de generación híbrido
- Figura 3.4. Vista edificio del Laboratorio del CIDEME en la firma WEG Equipamientos Eléctricos S.A
- Figura 3.5. Vista del techo del Laboratorio del CIDEME
- Figura 3.6. Demanda total de potencia del laboratorio del CIDEME a lo largo de una semana
- Figura 3.7. Demanda total de potencia del laboratorio del CIDEME en los días 29 y 30
- Figura 3.8. Demanda total de potencia del laboratorio del CIDEME en los días 29 y 30. Detalle horario consumo fijo debido a luces perimetrales y otros
- Figura 3.9. Irradiación solar directa en Argentina (1999 - 2018)
- Figura 3.10. Distribución de probabilidad de Weibull de la velocidad del viento promediada en todas las direcciones
- Figura 3.11. Rosa de vientos para la zona de estudio
- Figura 3.12. Coeficiente de potencia de distintos tipos de aerogeneradores
- Figura 3.13. Curva de potencia-velocidad del aerogenerador
- Figura 3.14. Superposición de la curva promedio de generación y demanda de los servicios del CIDEME por día
- Figura 3.15. Diagrama unifilar eléctrico de referencia según disposición 97/2019
- Figura 3.16. Inversor Growatt 4200MTL-S
- Figura 3.17. Circuito eléctrico interno del inversor
- Figura 3.18. Disposición de los elementos de la instalación visto desde el norte
- Figura 3.19. Circuito eléctrico del Laboratorio del CIDEME
- Figura 3.20. Simulación de la corriente de cortocircuito trifásica (I''_{k3}) en el punto de conexión
- Figura 3.21. Evolución de la corriente de cortocircuito (I''_{k3}) en el punto de conexión
- Figura 3.22. Componentes de la instalación fotovoltaica-eólica
- Figura 3.23. Simulación de la corriente de cortocircuito monofásica (I''_{k1}) a bornes de TS 1
- Figura 3.24. Esquema eléctrico final de la instalación fotovoltaica-eólica
- Figura 3.25. Esfuerzo sobre los elementos de la estructura en kg/cm²
- Figura 3.26. Factor de seguridad en los miembros estructurales
- Figura 3.27. Esfuerzo sobre los elementos de la estructura en kg/cm²
- Figura 3.28. Factor de seguridad en los miembros estructurales
- Figura 3.29. Montaje de la estructura de los paneles solares
- Figura 3.30. Esfuerzo sobre el soporte en kg/cm²
- Figura 3.31. Factor de seguridad en el soporte

- Figura 3.32. Montaje final de los paneles y el aerogenerador
- Figura A1.1 Especificaciones técnicas panel fotovoltaico. Hoja 1
- Figura A1.2 Especificaciones técnicas panel fotovoltaico. Hoja 2
- Figura A1.3 Especificaciones técnicas aerogenerador
- Figura A1.4 Forma constructiva del aerogenerador
- Figura A2.1 Ajuste parabólico de la potencia generada a lo largo del día 01/02/2020 por la planta piloto de generación fotovoltaica de la UTN Facultad Regional San Francisco
- Figura A3.1 Especificaciones técnicas del inversor
- Figura A4.1 Circuito eléctrico de la instalación
- Figura A4.2 Esquema topográfico del tablero TS 1
- Figura A4.3 Esquema topográfico del tablero TS 1.1
- Figura A5.1 Plano estructura paneles. Vista lateral
- Figura A5.2 Plano estructura paneles. Vista frontal y detalles
- Figura A5.3 Plano estructura aerogenerador. Vista frontal e inferior
- Figura A5.4 Ilustración del montaje final

Capítulo 1 INTRODUCCIÓN

1.1 Motivación

La mitigación del cambio climático es un reto clave del siglo XXI. En el núcleo de estos retos se encuentra la cuestión de la energía; más concretamente, nuestro consumo global de energía y nuestra dependencia de los combustibles fósiles. Para tener éxito en limitar el calentamiento global, el mundo necesita con urgencia utilizar la energía de manera eficiente, así como cambiar a fuentes de energía limpias o las llamadas energías renovables.

Principales gases de efecto invernadero

La Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), adoptada en 1992 y que entró en vigor en 1994, ha sido ratificada por 195 países (Partes de la Convención). La Convención reconoce la existencia del problema del cambio climático, y establece un objetivo último: lograr la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera con el fin de impedir interferencias antropogénicas (causadas por el ser humano) peligrosas en el sistema climático. Además, indica que ese nivel debe lograrse en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, asegurar que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitir que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible.

Las disposiciones de la Convención hacen referencia, según el protocolo de Kioto, a los siguientes seis gases de efecto invernadero (GEI):

- Dióxido de carbono (CO_2)
- Metano (CH_4)
- Óxido nitroso (N_2O)
- Hidrofluorocarbonos (HFC)
- Perfluorocarbonos (PFC)
- Hexafluoruro de azufre (SF_6)

Aunque estos gases son de origen natural, sus emisiones han aumentado de manera dramática en los dos últimos siglos (alrededor del 1750 tiene comienzo la Revolución Industrial) debido a las actividades humanas. En la Fig. 1.1 se aprecia que el advenimiento industrial fue un disparador de la concentración de estos gases en la atmósfera.

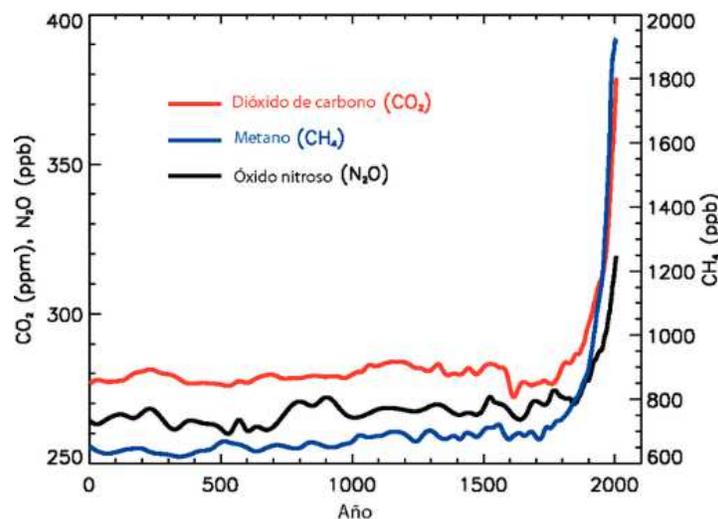


Figura 1.1. Concentraciones de gases de efecto invernadero. (Fuente: IPCC)

Causas de calentamiento global

Estos GEI cumplen una función análoga al de los cristales de un invernadero, permitiendo el paso de las radiaciones solares, pero impidiendo a las radiaciones infrarrojas salir, originando así un aumento de la temperatura media de la superficie terrestre. A esto se lo conoce como **Calentamiento Global**. En la Fig. 1.2 se ilustra este proceso que se acaba de mencionar.

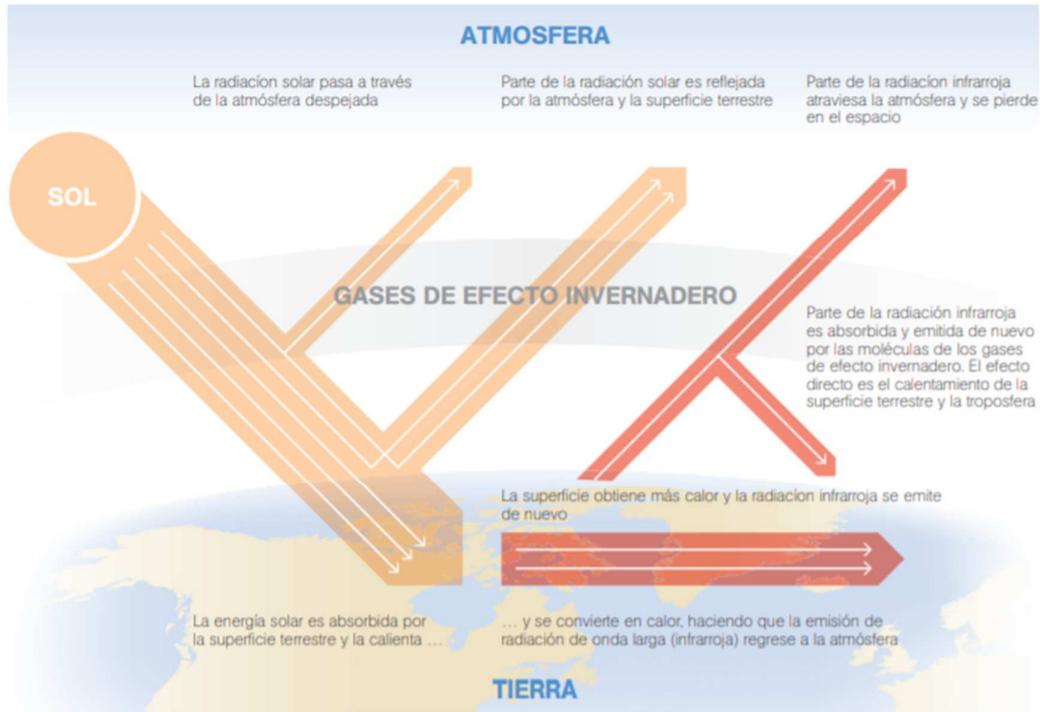


Figura 1.2. Proceso de calentamiento global. (Fuente: IPCC)

Consecuencias del calentamiento global

Como consecuencia de este aumento global de las temperaturas, se está empezando ya a constatar una reducción en la superficie de los glaciares de montaña y una disminución de los casquetes polares lo que sin duda acelerará el proceso de calentamiento al reducir el efecto albedo producido por estos. Como resultado el nivel del mar podría ascender entre 0,1 y 0,9 metros. Existen otras estimaciones, como las de la NASA, que pronostican que la subida del nivel del mar será de entre 0,4 y 0,65 metros. En cualquier caso estas subidas del nivel del mar pueden ser potencialmente catastróficas al suponer la inmersión de los espacios costeros donde se concentra un elevado porcentaje de la población mundial. También se cree que el calentamiento global no será homogéneo y que será mayor en los polos que en el ecuador, con lo que se modificará la forma en que fluye el calor entre estos y se alterarán los sistemas atmosféricos (borrascas, anticiclones, etc.) lo que podría traducirse en importantes variaciones en el régimen de precipitaciones de diversas áreas con la acentuación de sequías y lluvias torrenciales. Todo ello es de esperar que tendrá un importante impacto, por ahora difícil de estimar en los ecosistemas naturales y en las áreas cultivadas, así como en el aumento de las catástrofes producidas por causas meteorológicas.

Concentración de los GEI

De todos los gases de efecto invernadero, el CO₂ es el que representa el mayor porcentaje de presencia en la atmosfera como puede observarse en la Fig. 1.3 emitida por CMNUCC.

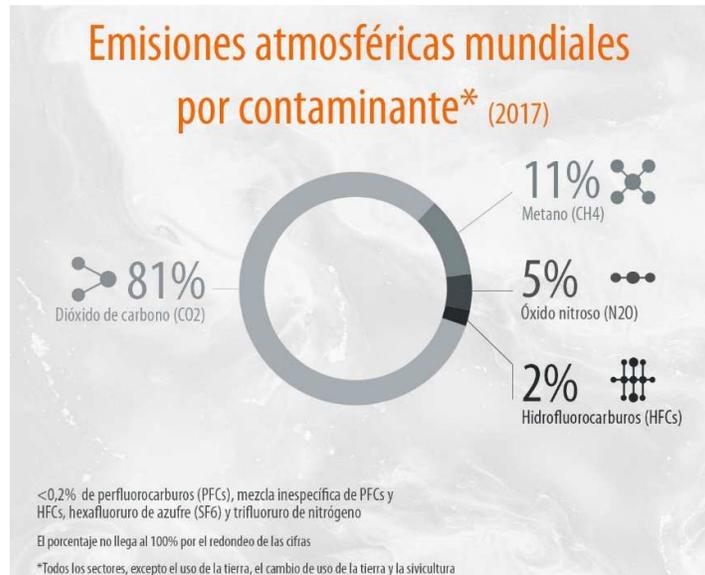


Figura 1.3. Total de emisiones de gases de efecto invernadero en el año 2017. (Fuente: CMNUCC)

El Panel Intergubernamental del Cambio Climático, conocido por su acrónimo en inglés IPCC, el cual es el organismo de las Naciones Unidas para evaluar la ciencia relacionada con el cambio climático, nos muestra en la fig. 1.4 y la fig. 1.5, la concentración anual de cada GEI, en gigatoneladas de CO₂ equivalentes por año (GtCO₂eq), y además nos aporta un dato crucial el cual es que el porcentaje mayor de las emisiones de CO₂ corresponden a la quema de combustibles fósiles.

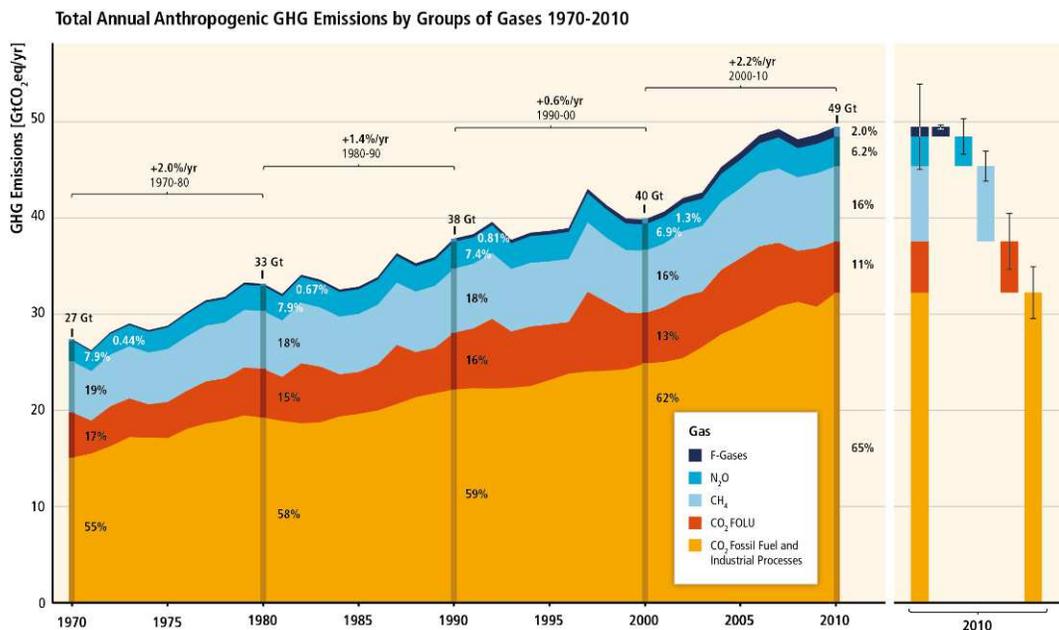


Figura 1.4. Total de emisiones anuales de gases de efecto invernadero. (Fuente: IPCC)

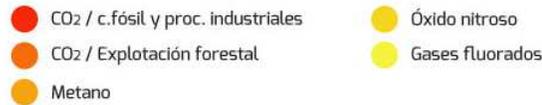
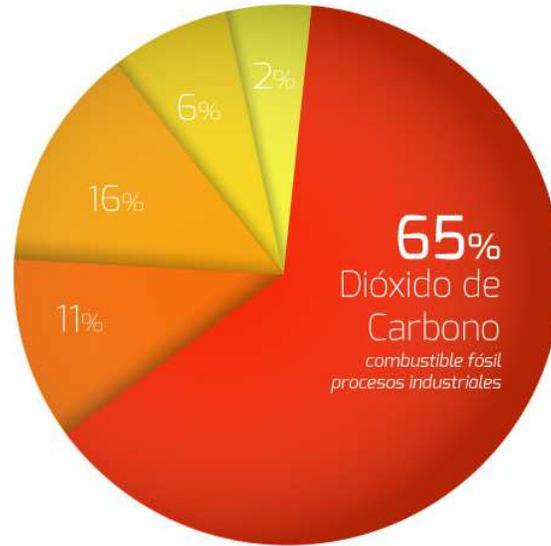


Figura 1.5. Emisiones globales de GEI año 2014. (Fuente: IPCC)

La Agencia Internacional de Energía (IEA) brinda datos importantes sobre este tema. Si se observa la Fig. 1.6, la cual expresa el total de energía primaria anual suministrada en el mundo, se identifica al Petróleo, Carbón y Gas natural como las principales fuentes de energía a nivel mundial. En la Fig. 1.7 podemos apreciar que estas tres fuentes de energía representan casi el total de las emisiones de CO₂ en el mundo.

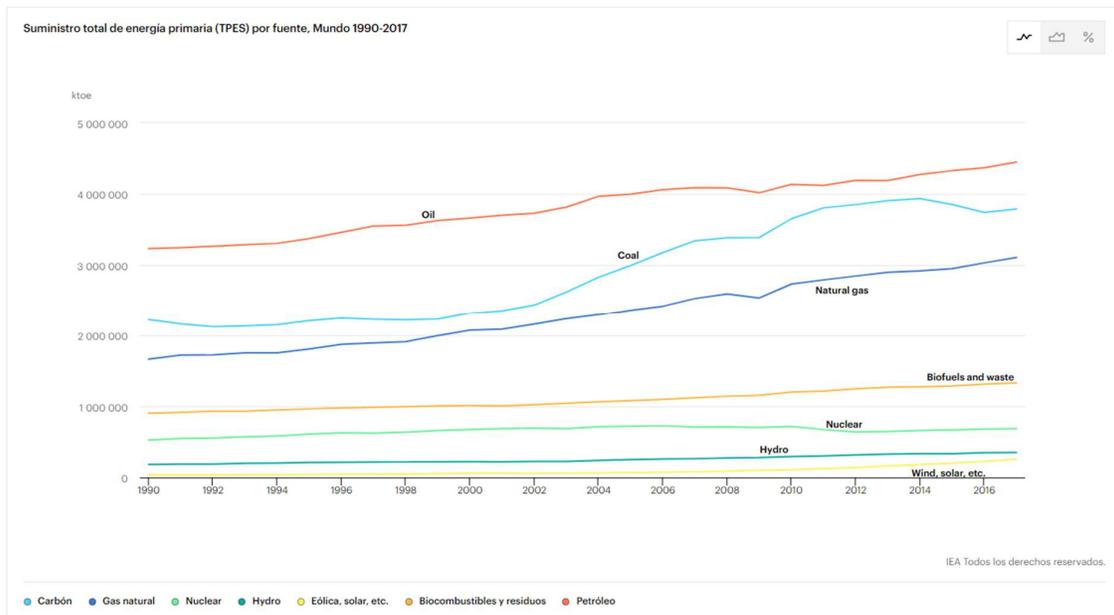


Figura 1.6. Suministro total de energía primaria en el mundo por fuente de obtención. (Fuente: IEA)

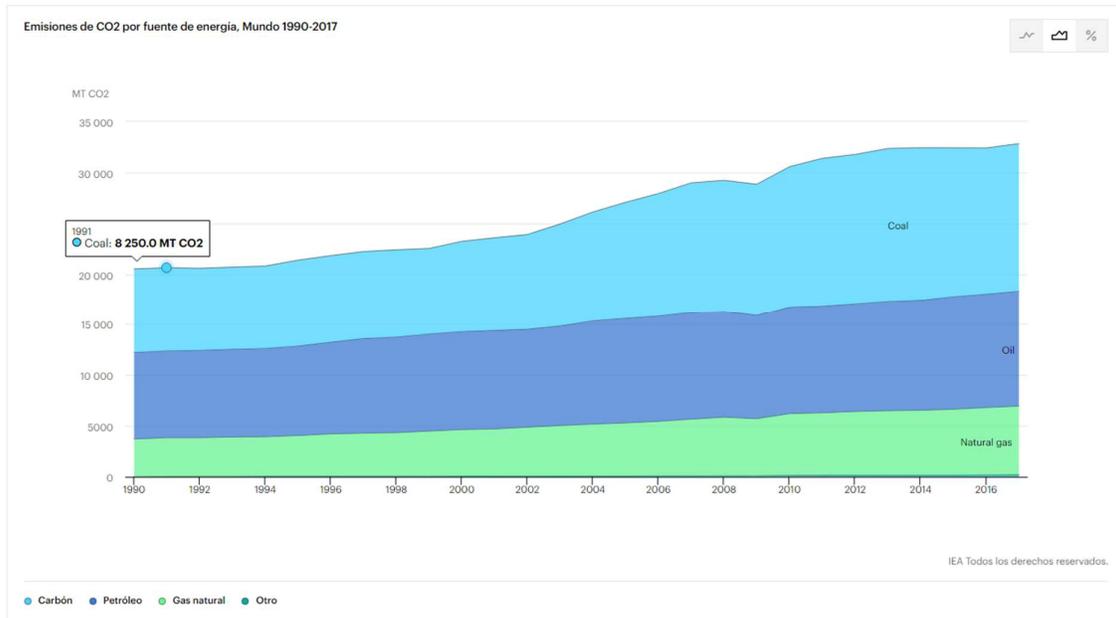


Figura 1.7. Emisiones de CO₂ globales por fuentes de energía. (Fuente: IEA)

Los sectores que en mayor medida aportan a la emisión de CO₂ (Fig. 1.8) son la generación de energía eléctrica y calor, que a su vez se encuentra con una tasa de crecimiento muy por encima que el resto de los sectores, el transporte y la industria.

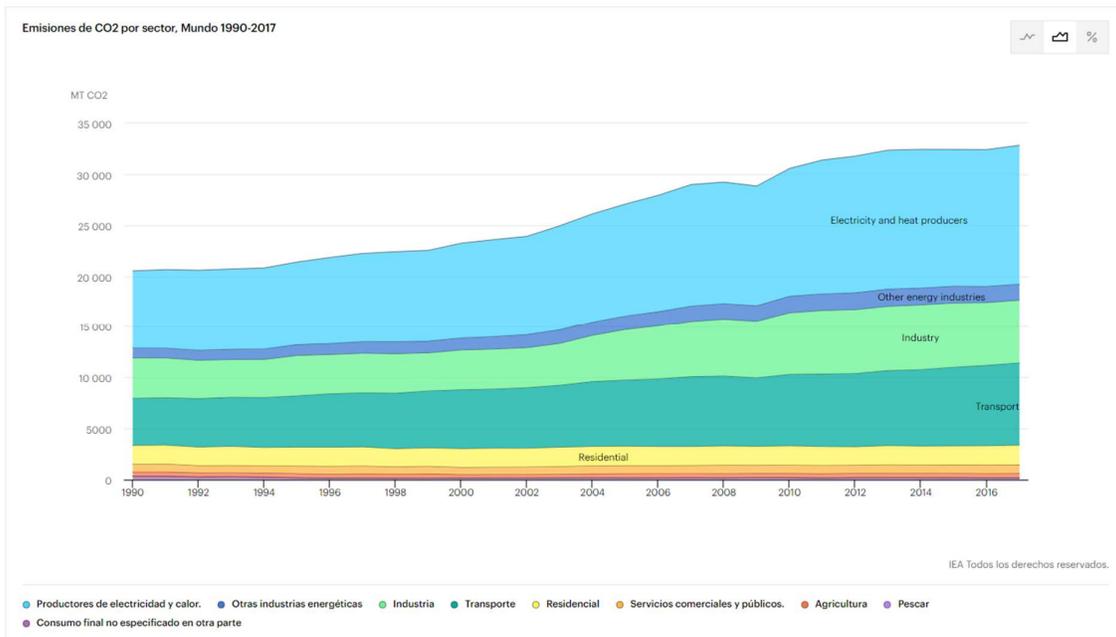


Figura 1.8. Emisiones mundiales de CO₂ por sector entre 1990 a 2017. (Fuente: IEA)

El sector que más ha crecido en este último tiempo es el de la generación de electricidad, el cual fue responsable de más de la mitad del crecimiento de las necesidades energéticas en 2018 (IEA, Informe 2019: Estado global de la energía y el CO₂). De aquí que las medidas sobre el uso eficiente de la energía y de la transición a la utilización de fuentes de energía renovables están teniendo gran impacto en la sociedad.

1.2 Situación general del uso de energías renovables

Una de las primeras fuentes de energía renovable utilizada en el mundo para la generación de energía eléctrica, es la energía hidráulica. En la Fig. 1.9 se muestra la capacidad instalada de energía renovable por fuente y por año en el mundo, además de indicar que la energía hidráulica representa el mayor porcentaje de la matriz energética renovable, se observa que en los últimos años la energía eólica y fotovoltaica han tenido un crecimiento muy importante a nivel mundial.

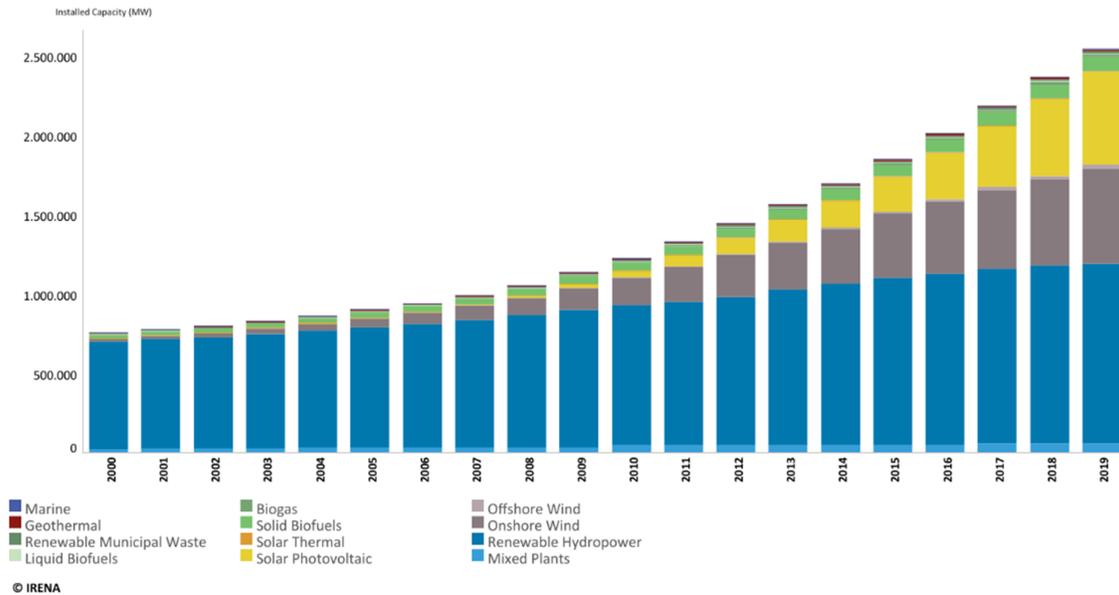


Figura 1.9. Capacidad instalada de energías renovables en el Mundo. (Fuente: IRENA)

La energía del sol y del viento se puede disponer casi en cualquier parte del mundo, en mayor o menor medida, esto da una ventaja importante sobre otras fuentes de energía renovables que solo se pueden encontrar en lugares geográficos específicos. Esto lleva a un nuevo concepto de generación denominado generación distribuida. Esta modalidad busca incorporar la generación de energía solar o eólica en los consumidores finales, rompiendo con el concepto tradicional de grandes centrales de generación que luego distribuyen la energía a los centros de consumo.

El informe anual de CAMMESA del 2019 muestra que la matriz energética para generación de electricidad en Argentina, está compuesta en mayor medida por energía térmica, siendo la principal fuente la quema de gas natural como se observa en Fig. 1.10. También se observa que el aporte de energías renovables, tales como solar, eólica, biomasa, biogás e hidrorenovable, sigue representando una proporción pequeña de la matriz energética total, sin embargo es una fuente que se ha incrementado de forma considerable en estos últimos años.

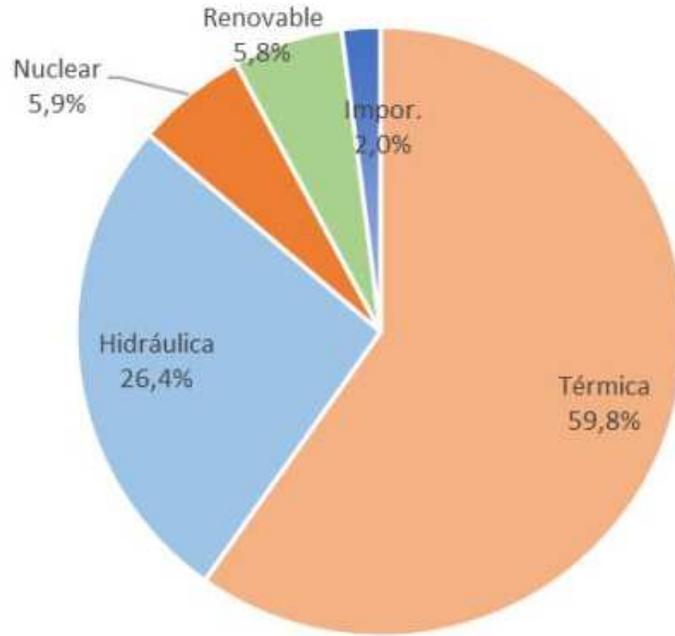


Figura 1.10. Matriz energética en Argentina (2019). (Fuente: CAMMESA)

La Fig. 1.11 muestra que la matriz energética renovable en Argentina, durante el período de 2000 a 2019, está principalmente cubierta con energía hidráulica, sin embargo, se observa que en los últimos años, debido a políticas de estado, se promueve el uso de otras fuentes tales como la solar fotovoltaica y la eólica.

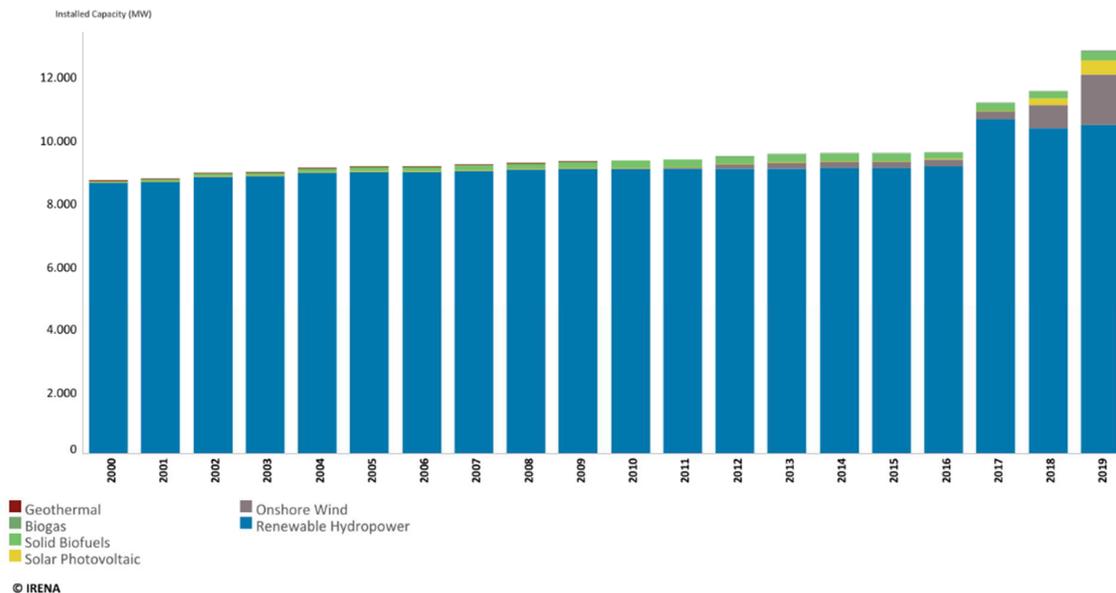
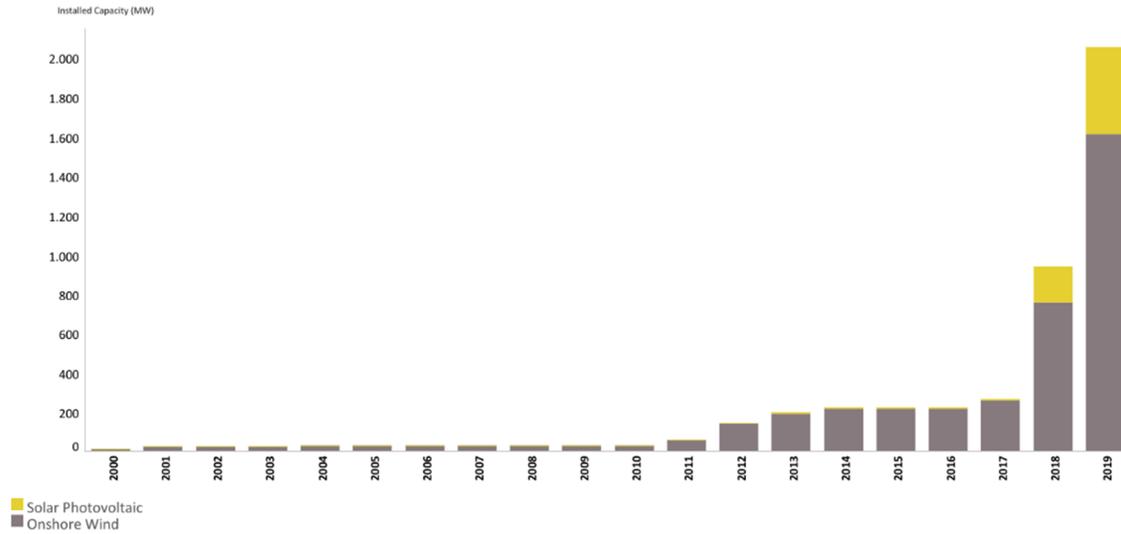


Figura 1.11. Capacidad instalada de energías renovables en Argentina. (Fuente: IRENA)

Con la entrada en vigencia de la Ley 27.424 en 2017, la cual promueve la generación distribuida, se puede observar, en la Fig. 1.12, que Argentina comienza a tener un incremento de la capacidad instalada para la producción de energía eléctrica proveniente de fuentes renovables como solar fotovoltaica y eólica.



© IRENA

Figura 1.12. Capacidad instalada de energía solar fotovoltaica y eólica en Argentina. (Fuente: IRENA)

1.3 Definiciones

Ángulo de inclinación

Ángulo que forma el panel respecto a la horizontal.

Azimut

Es el ángulo que forma la tierra con el Norte geográfico, medido en sentido de la rotación de las agujas del reloj alrededor del horizonte observador.

Coefficiente de potencia del rotor (C_p)

El coeficiente de potencia expresa el porcentaje de energía contenida en el viento que es transformada en energía mecánica en el eje del rotor.

Elevación

Distancia angular vertical que hay entre un cuerpo celeste y el horizonte local del observador.

Hora Solar Pico (HSP)

Representan las horas por día, que a una irradiancia de 1000 W/m^2 produciría la misma energía que la curva solar diaria.

Irradiación

Cantidad de irradiancia recibida en un tiempo determinado Wh/m^2 .

Irradiancia

Magnitud que describe la radiación solar que llega a la superficie terrestre. Es potencia por unidad de superficie W/m^2 .

MPP

Punto de máxima potencia.

PdC

Poder de corte.

Radiación global

Es la suma de la radiación directa, de la radiación dispersa o difusa y de la radiación reflejada.

Radiación directa

Es la que llega directamente del sol.

Radiación dispersa o difusa

Radiación recibida después de la reflexión y dispersión sobre nubes, partículas de aire y demás elementos que se encuentran en la atmosfera, en días nublados es la que más se recibe.

Radiación reflejada

Es la radiación reflejada por la superficie terrestre, edificios, etc.

Radiación solar

Energía electromagnética emitida por los procesos de fusión del hidrogeno contenido en el sol.

Relación de velocidad punta λ (Tip-speed Ratio - TSR)

Es la relación entre la velocidad tangencial en la punta de una pala y la actual velocidad del viento.

STC

Condiciones estándar de medida. 1000 W/m², 25 °C, AM 1,5.

TGBT

Tablero general de baja tensión.

TS

Tablero seccional.

Velocidad de arranque (Cut-in wind speed)

Es la velocidad a la cual el aerogenerador comienza a producir energía.

Velocidad de corte (Cut-out wind speed)

Velocidad a la cual el aerogenerador está diseñado para que deje de funcionar y así prevenir el daño de este o en los alrededores.

Capítulo 2

CONTEXTO NORMATIVO

2.1 Normativas vigentes

2.1.1 Leyes nacionales

Ley 26190 (2006). Régimen de Fomento Nacional para el uso de fuentes renovables de energía destinada a la producción de energía eléctrica.

Establece como objetivo lograr una contribución de las fuentes de energía renovables hasta alcanzar el OCHO POR CIENTO 8% del consumo de energía eléctrica nacional, en el plazo de DIEZ (10) años a partir de la puesta en vigencia del presente régimen.

Promueve la realización de nuevas inversiones en emprendimientos de producción de energía eléctrica, a partir del uso de fuentes renovables de energía en todo el territorio nacional, entendiéndose por tales la construcción de las obras civiles, electromecánicas y de montaje, la fabricación y/o importación de componentes para su integración a equipos fabricados localmente y la exportación comercial.

Ley 27191 (2015). Modificaciones a las Ley 26190 (2006), “Régimen de Fomento Nacional para el uso de fuentes renovables de energía destinada a la producción de energía eléctrica”.

Establece como objetivo, en una primera etapa, lograr una contribución de las fuentes de energía renovables hasta alcanzar el OCHO POR CIENTO 8% del consumo de energía eléctrica nacional, al 31 de diciembre de 2017.

A partir de esa fecha, entra en vigor la segunda etapa que establece que, para el 31 de diciembre de 2025, el porcentaje se eleva al VEINTE POR CIENTO (20%).

Ley 27424 (2017). Régimen de Fomento a la Generación Distribuida de Energía Renovable Integrada a la Red Eléctrica Pública.

Tiene por objeto fijar las políticas y establecer las condiciones jurídicas y contractuales para la generación de energía eléctrica de origen renovable por parte de usuarios de la red de distribución, para su autoconsumo, con eventual inyección de excedentes a la red, y establecer la obligación de los prestadores del servicio público de distribución de facilitar dicha inyección, asegurando el libre acceso a la red de distribución, sin perjuicio de las facultades propias de las provincias.

También declara de interés nacional la generación distribuida de energía eléctrica a partir de fuentes de energías renovables con destino al autoconsumo y a la inyección de eventuales excedentes de energía eléctrica a la red de distribución, todo ello bajo las pautas técnicas que fije la reglamentación en línea con la planificación eléctrica federal, considerando como objetivos la eficiencia energética, la reducción de pérdidas en el sistema interconectado, la potencial reducción de costos para el sistema eléctrico en su conjunto, la protección ambiental prevista en el artículo 41 de la Constitución Nacional y la protección de los derechos de los usuarios en cuanto a la equidad, no discriminación y libre acceso en los servicios e instalaciones de transporte y distribución de electricidad.

2.1.2 Leyes provinciales

Ley 10604 (2018). Adhesión de Córdoba a la Ley Nacional 27424.

Aparte de establecer la adhesión de Córdoba a la Ley 27424, nombra al Ministerio de Agua, Ambiente y Servicios Públicos o el organismo que lo sustituyere, como autoridad de aplicación de la Ley para todos los aspectos que no sean de carácter federal. Y también permite tanto al Ministerio de Finanzas como al Ministerio de Agua, Ambiente y Servicios

Públicos, a realizar las adecuaciones presupuestarias correspondientes para el cumplimiento de la presente Ley.

La Empresa Provincial de Energía de Córdoba (EPEC) tiene implementado el régimen de usuario-generador no siendo así todas las cooperativas de la provincia. El proveedor de energía del laboratorio del CIDEME es el Parque Industrial San Francisco, el cual no se encuentra adherido a este régimen.

Esta no adhesión representa una gran desventaja desde lo legal y lo económico. En general el laboratorio del CIDEME no será reconocido como usuario-generador, no se tendrán los beneficios impositivos correspondientes, ni tampoco será reconocida en su facturación la inyección de energía a la red.

2.2 Beneficios

En este apartado, se hace mención acerca de los diferentes beneficios económicos que se pueden obtener.

2.2.1 Beneficios nacionales

Una vez emitido el Certificado de Usuario/Generador se podrá acceder a la exención del pago del Impuesto al Valor Agregado e Impuesto a las Ganancias por la venta de energía eléctrica inyectada en la red. Este beneficio fiscal aplica a los usuarios que contratan hasta 300 kW de potencia con el Distribuidor.

El Usuario podrá tramitar un Certificado de Crédito Fiscal, el que se otorgará en forma de bono electrónico y podrá ser utilizado por Personas Inscriptas para el pago de impuestos nacionales como el Impuesto a las Ganancias, el Impuesto al Valor Agregado (IVA), entre otros.

2.2.2 Beneficios provinciales

La Provincia otorgará una reducción en el pago del Impuesto a los Ingresos Brutos, el Impuesto Inmobiliario y/o la eximición del Impuesto de Sellos, según corresponda.

Decreto Reglamentario 132-19 (2019)

Exímase del Impuesto sobre los Ingresos Brutos, a los ingresos provenientes del desarrollo de la actividad de inyección de energía eléctrica distribuida, generada a partir de fuentes renovables de energía, por parte de los Usuarios-Generadores, siempre que su conexión a la Red de Distribución no exceda la cantidad de kilovatios que establezca la Autoridad de Aplicación, y den cumplimiento a los requisitos y demás autorizaciones que establezca la misma.

Para los Usuarios-Generadores que resulten contribuyentes del Impuesto sobre los Ingresos Brutos, reducción de hasta el cinco por ciento (5%) aplicable sobre las alícuotas que les corresponda utilizar para la determinación del referido impuesto conforme las disposiciones del Código Tributario Provincial. Este beneficio de reducción resultará aplicable exclusivamente sobre aquellos ingresos provenientes de la actividad económica principal que disponga relación directa con el inmueble donde se encuentre instalado y funcionando el

Equipo de Generación Distribuida. Tiene una vigencia de cinco (5) años a partir de la fecha de conexión a la Red de Distribución.

Reducción de hasta el veinte por ciento (20%) del monto a pagar del Impuesto Inmobiliario de cada anualidad, que recae sobre el inmueble en donde se encuentre instalado y funcionando el Equipo de Generación Distribuida, para aquellos Usuarios-Generadores que cumplan con los parámetros, condiciones y/o requisitos que a tal efecto establezca el Ministro de Finanzas y el Ministro de Servicios Públicos.

Vigencia de cinco (5) años y comenzará a regir a partir del 1° de enero del año siguiente a la fecha de conexión a la Red de Distribución

2.2.3 Beneficios locales

Deducciones entre el 25% y 50% en el impuesto inmobiliario durante un plazo de 5 a 10 años dependiendo de la energía que se genere.

Capítulo 3 ESTUDIO TÉCNICO

3.1 Marco teórico

3.1.1 Energía solar fotovoltaica

El término energía solar fotovoltaica hace referencia al aprovechamiento de la energía proveniente del Sol para la generación de energía eléctrica. Se trata de un tipo de energía renovable e inagotable desde la perspectiva humana, si bien naturalmente la energía proveniente del Sol se agotará en algún momento.

Ventajas

- No es contaminante en su operación y no produce gases de efecto invernadero.
- Bajo coste de mantenimiento.
- Diversidad de aplicaciones.
- Aprovechamiento del espacio urbano o zonas desérticas.
- Permite el acceso a electricidad en sitios apartados.

Desventajas

- La generación de energía depende de las condiciones climáticas.
- Gran extensión de tierra para producción a gran escala.
- Baja eficiencia si se la compara con otras fuentes de energía.
- Limitaciones para almacenar energía en caso de no ser utilizada.
- Disposición y reciclaje de materiales tóxicos utilizados en la fabricación de paneles fotovoltaicos.
- Variabilidad de la luz solar ya que a lo largo del día el ángulo con el que incide sobre una región varia.

Principio de funcionamiento de los paneles fotovoltaicos

Una celda o célula fotovoltaica transforma la energía solar en energía eléctrica basándose en el principio del Efecto Fotoeléctrico. Un módulo o panel fotovoltaico está constituido por un conjunto de celdas fotovoltaicas conectadas entre sí. Cuando una celda fotovoltaica recibe radiación solar, entre sus extremos se produce una diferencia de potencial tal como se ilustra en la Fig. 3.1.

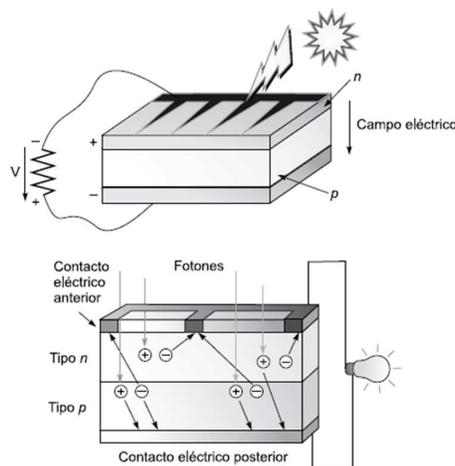


Figura 3.1. Principio de funcionamiento de la generación fotovoltaica. (Fuente: Carta González, 2009)

Tipos constructivos de paneles

En el mercado se encuentran distintos tipos de módulos fotovoltaicos. Entre ellos se destacan los de silicio monocristalino y policristalino, así como también los módulos de película fina, como se muestra en la Fig. 3.2.

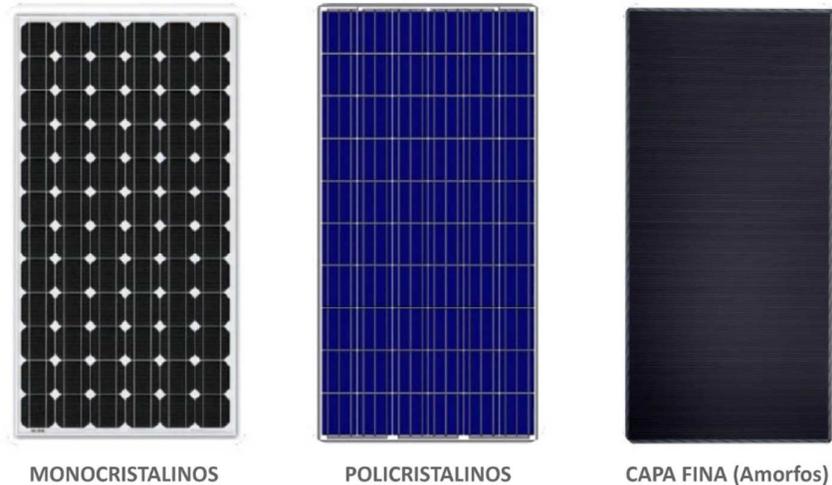


Figura 3.2. Tipos de paneles fotovoltaicos.

Tabla 3.1. Comparativa entre tipos de paneles fotovoltaicos (datos orientativos y en evolución)

Características		
Silicio Monocristalino	Silicio Policristalino	Película Fina (silicio amorfo)
Son los que presentan mayor eficiencia (15 % a 21 %).	Eficiencia entre 13% y 16%.	Eficiencia entre 7 a 13 %.
Más costosos.	Menor precio debido a la simpleza del proceso de fabricación.	Menos costosos que los paneles cristalinos.
Presenta un color azulado homogéneo.	Presenta distintos tonos de azules.	Tiene un color homogéneo marrón y no se visualizan las conexiones entre celdas.
Si se cubren parcialmente por sombra, suciedad o nieve, puede averiarse el circuito completo.	Menor resistencia al calor que los monocristalinos, por ende, tendrá menor rendimiento a altas temperaturas y puede disminuir su vida útil.	Sombras y altas temperaturas no afectan su rendimiento.
Vida útil puede llegar hasta 25 años.	Vida útil puede llegar hasta 25 años.	Menor vida útil que los paneles cristalinos.
Gran cantidad de materia prima perdida en el proceso de fabricación.		Pueden ser flexibles, esto permite adaptarlos a múltiples superficies.
		Al necesitar más paneles hay que invertir más en estructura metálica, cableado, etc.

3.1.2 Energía eólica

La energía eólica es la energía obtenida del viento, se trata de la energía cinética producida por el efecto del movimiento de las masas de aire. Está relacionada con la energía solar, ya que las corrientes de viento se producen por las diferentes temperaturas en la superficie terrestre y por el propio movimiento de rotación de la Tierra.

Ventajas

- No contaminante desde el punto de vista medioambiental al no utilizar un proceso de combustión para producir energía y tampoco produce cambios en la composición del suelo.
- Para una misma potencia instalada el sistema eólico cubre menor superficie que un sistema solar.
- Es la fuente de energía más limpia después de la energía solar.
- Compatible con otras actividades como la agrícola y ganadera.
- Menor costo por kW instalado en áreas muy ventosas.

Desventajas

- El viento es impredecible por lo que no siempre se cumplen las expectativas de producción, especialmente en unidades pequeñas.
- Las mejores ubicaciones para el aprovechamiento de energía eólica usualmente se encuentran distantes de ciudades.
- Grandes parques eólicos tienen un gran impacto en el paisaje y puede producir ruidos molestos.
- Las palas de los aerogeneradores pueden dañar a la vida silvestre del lugar.

Principio de funcionamiento de un aerogenerador

La turbina del aerogenerador transforma la energía del viento en energía mecánica disponible en el eje de la máquina. Dicho eje puede estar conectado o no a una transmisión que producirá un aumento de la velocidad de rotación que accionará el rotor de un generador eléctrico.

Tipos constructivos de aerogeneradores

Los aerogeneradores se pueden clasificar en función de la posición de su eje, estos pueden ser verticales u horizontales. En los primeros, el eje se encuentra perpendicular respecto del suelo y se ubican a menor altura y por lo tanto necesitan menor velocidad de viento para funcionar. Mientras que los de eje horizontal se pueden disponer a mayor altura con el fin de aprovechar mejor la velocidad del viento.

3.1.3 Sistema de generación híbrida

Debido a no poder disponer de la energía del sol durante el período nocturno, se utiliza una fuente de energía eólica que la complementa para que durante la noche el sistema abastezca el consumo de la iluminación perimetral. Este tipo de sistema se denomina Híbrido.

El sistema propuesto en este proyecto se puede ilustrar en la Fig. 3.3, en el cual se puede apreciar que la energía proveniente de los paneles solares y los aerogeneradores, son

inyectadas a la red eléctrica a través de un dispositivo denominado inversor, el cual cumple la función de adaptar los niveles de tensión y forma de onda con los de la red.

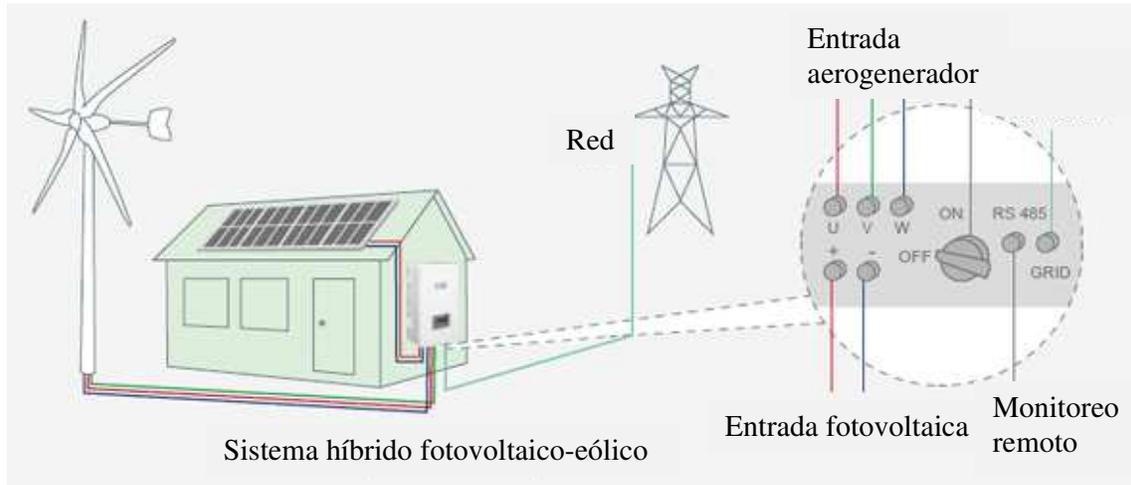


Figura 3.3. Esquema del sistema de generación híbrido. (Fuente: Solar Power)

3.2 Ubicación específica de los paneles y aerogenerador

El Laboratorio del CIDEME, Fig. 3.4, se encuentra dentro de las instalaciones de la Empresa WEG Equipamientos Eléctricos S.A. en el Parque Industrial de San Francisco Provincia de Córdoba.

Mediante una aplicación de geolocalización se determinaron las coordenadas geográficas específicas del lugar donde se instalará el sistema de generación híbrido, las cuales corresponden a la latitud de 31°26'08" Sur y longitud de 62°04'17" Oeste que se utilizarán más adelante en los cálculos.



Figura 3.4. Vista edificio del Laboratorio del CIDEME en la firma WEG Equipamientos Eléctricos S.A.

La Fig. 3.5 ilustra el techo del Laboratorio del CIDEME, esta representa el lugar de instalación de los paneles y aerogeneradores.



Figura 3.5. Vista del techo del Laboratorio del CIDEME

3.3 Inclinación de los paneles y altura del aerogenerador

El edificio del Laboratorio e inclusive la ciudad de San Francisco, así como también sus calles y construcciones no se encuentran paralelos al norte geográfico, el ángulo formado entre la línea de edificación y el norte geográfico es conocido como azimut, cuyo valor en este caso ronda los 13° .

El ángulo de inclinación, con respecto a la horizontal, varía en función de la latitud y las estaciones del año, ya que la altura del sol en invierno es menor que en verano. En este caso se inclinará a modo de obtener un mayor aprovechamiento en verano.

A continuación, se detallan los valores que definen el posicionamiento del sistema:

- Latitud: -31° Sur.
- Longitud: -62° Oeste.
- Azimut: 13° .
- Inclinación: 28° respecto a la horizontal.
- Altura: 10 m respecto del suelo.

Aparte de la ubicación del conjunto paneles-aerogenerador, debemos ubicar los equipos y componentes que protegen nuestra instalación. Para ello se designó dentro de la Sala de Comando, un sector donde se colocará el tablero seccional, en cuyo interior estará el inversor con las correspondientes protecciones para la instalación.

3.4 Análisis del consumo de energía eléctrica laboratorio del CIDEME

3.4.1 Registro de demanda y energía eléctrica

Para poder determinar el tamaño en potencia que requiere nuestra instalación, se procedió a medir el consumo de energía eléctrica mediante un Registrador de Energía FLUKE 1732.

Características de la medición:

- El instrumento se ubicó en la acometida del laboratorio del CIDEME, la cual consta de un sistema trifásico (3F+N) de 380 Vca – 50 Hz. La sección de los cables de entrada es de $3 \times 120 \text{ mm}^2 + 120 \text{ mm}^2$
- Las magnitudes a registrar fueron Tensión, Corriente, Potencia y Energía.
- El tiempo total de registró fue de una semana de corrido, del 27/01/2020 a 03/02/2020.
- El período de integración principal fue de 15 minutos según las condiciones normalizadas que establece la especificación técnica de EPEC “ET 1020: Sistemas de medición para usuarios del servicio eléctrico en BT, MT y AT”.
- Las mediciones realizadas presentan una incertidumbre de $\pm 0,106 \text{ kW}$, según especificaciones técnicas del equipo en su manual de usuario.

Gráficos obtenidos del registro de energía

En la Fig. 3.6 se muestra la potencia total demanda, promediada cada 15 min., a lo largo de la semana sujeta a registro. En ella las franjas blancas corresponden al rango horario de trabajo del laboratorio del CIDEME en los 5 días hábiles de la semana. En los días 29 y 30 se puede observar que hay una meseta, ese nivel de potencia corresponde a la demanda de los servicios mencionados que queremos cubrir con energía renovable. Se verifico el registro de actividades de esos días y se concluyó que no se había realizado ensayos que demanden potencia del sistema. Los demás días presenta picos de demanda momentánea y permanente debido a que si se realizaron ensayos.

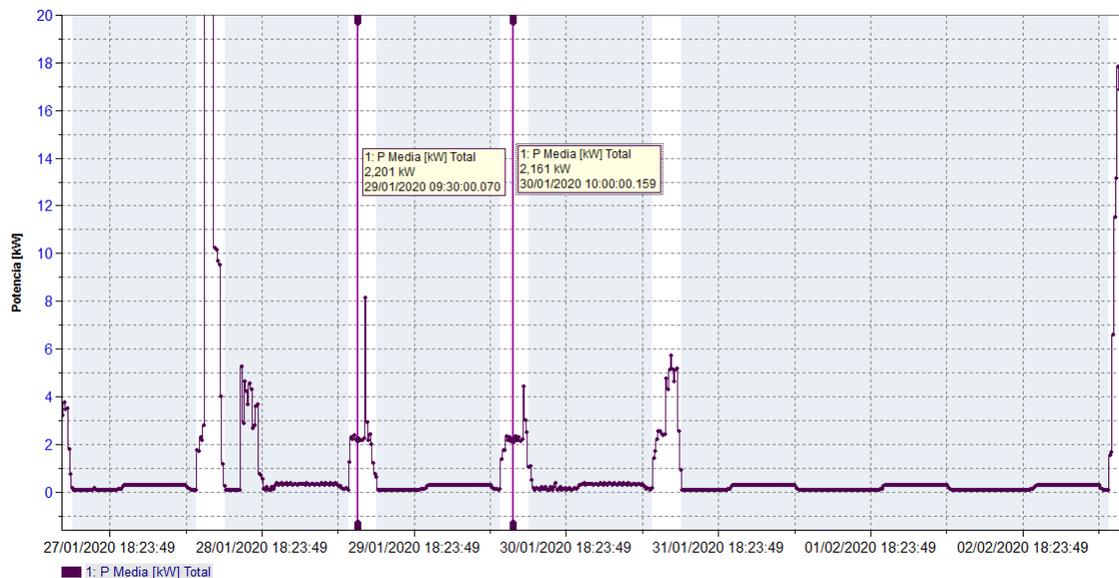


Figura 3.6. Demanda total de potencia del laboratorio del CIDEME a lo largo de una semana

En la Fig. 3.7 Se observan los dos días (29 y 30) que denominamos como típicos de uso de los servicios generales (acondicionadores de aire, computadores, iluminación, etc.)

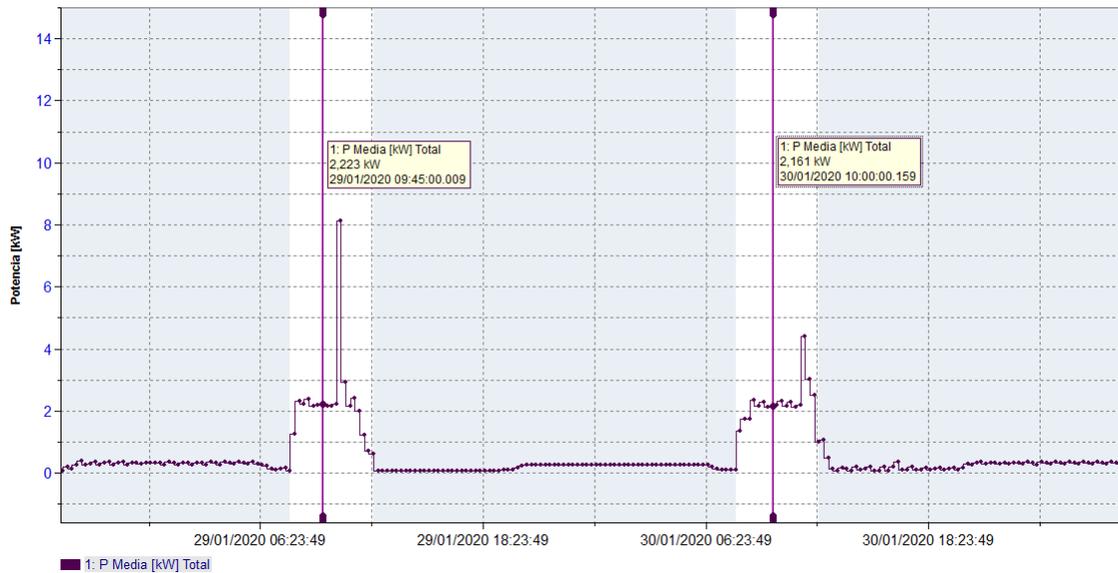


Figura 3.7. Demanda total de potencia del laboratorio del CIDEME en los días 29 y 30

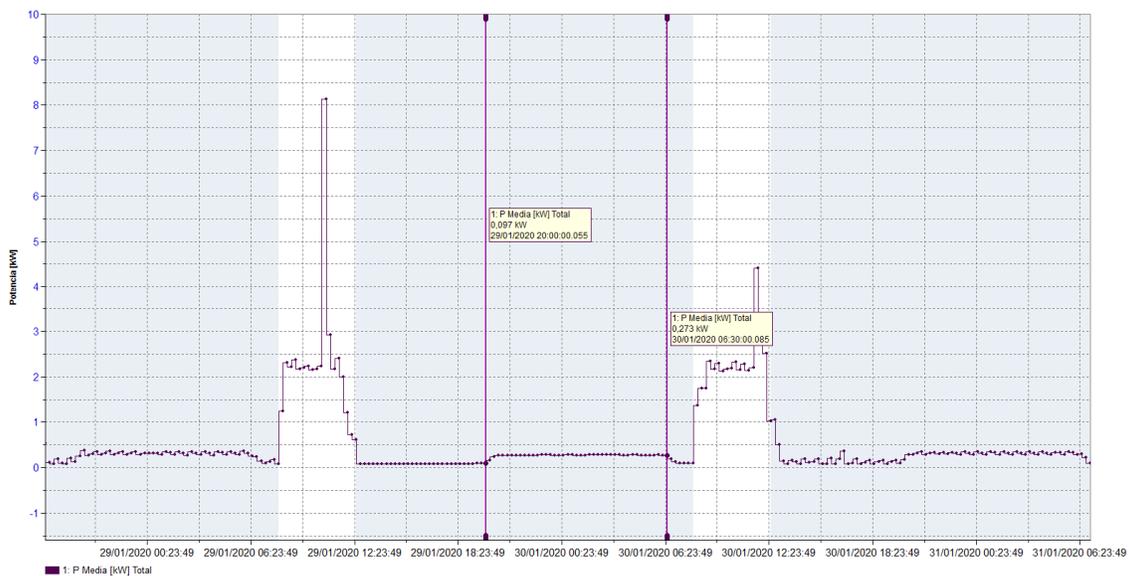


Figura 3.8. Demanda total de potencia del laboratorio del CIDEME en los días 29 y 30. Detalle horario consumo fijo debido a luces perimetrales y otros

Se considera, según Fig. 3.7, que la demanda de potencia para servicios generales, durante el horario normal de trabajo del laboratorio del CIDEME, es de 2,2 kW. Si el período laboral por día es de 4 h, la cantidad de energía consumida por los servicios generales en un día típico es de 8,8 kW·h/día. En términos mensuales, considerando 5 días hábiles por semana, tendremos que el consumo de energía mensual es de 220 kW·h/mes. Al cabo de un año se tendrá un consumo de 2640 kW·h/año.

Se aprecia en la Fig. 3.8 que en el horario comprendido de las 20:00 h hasta las 06:30 h, se registra una demanda de potencia fija de aproximadamente 280 W, los cuales se atribuyen

principalmente a las luces perimetrales. Si calculamos la cantidad de energía para un período de 12 h diarias promediadas a lo largo del año, debido a las diferentes estaciones, se tiene 336 kW·h/día, considerando 365 días del año se tendrá un consumo de 1226,4 kW·h/año.

3.4.2 Energía mínima a generar por el sistema

Según el análisis del registro de medición y la facturación de energía del laboratorio del CIDEME, la cantidad de energía que se pretende cubrir con renovable es de 3866 kW·h/año, de los cuales 1226 kW·h/año corresponde al aporte de generación eólica y el resto de 2640 kW·h/año a energía solar.

El motivo por el cual se decide realizar ese aporte con energía eólica es debido a que, durante el período de consumo nocturno, la única fuente de generación que va a estar funcionando es la eólica.

3.5 Potencial fotovoltaico y eólico en la ubicación del sistema

3.5.1 Potencial fotovoltaico

Como datos de partida se tienen la cantidad de horas solares pico (HSP) y la velocidad del viento a 10 m de altura, tal como se observa en la siguiente tabla 3.2.

Tabla 3.2. Hora Solar Pico para el año 2019
(Fuente: NASA)

Mes	HSP [h/día]
Enero	6,60
Febrero	6,00
Marzo	5,08
Abril	4,66
Mayo	4,37
Junio	4,12
Julio	4,62
Agosto	5,43
Septiembre	5,94
Octubre	5,69
Noviembre	6,34
Diciembre	6,46
PROMEDIO	5,44

La Fig. 3.9 se presenta el mapa de irradiación solar directa promediada del período de 1999 hasta 2018 en Argentina según la fuente *Global Solar Atlas 2.0*. Para la ubicación de San Francisco el valor de irradiación ronda entre 2008 kW·h/m² y 2191 kW·h/m² anuales.

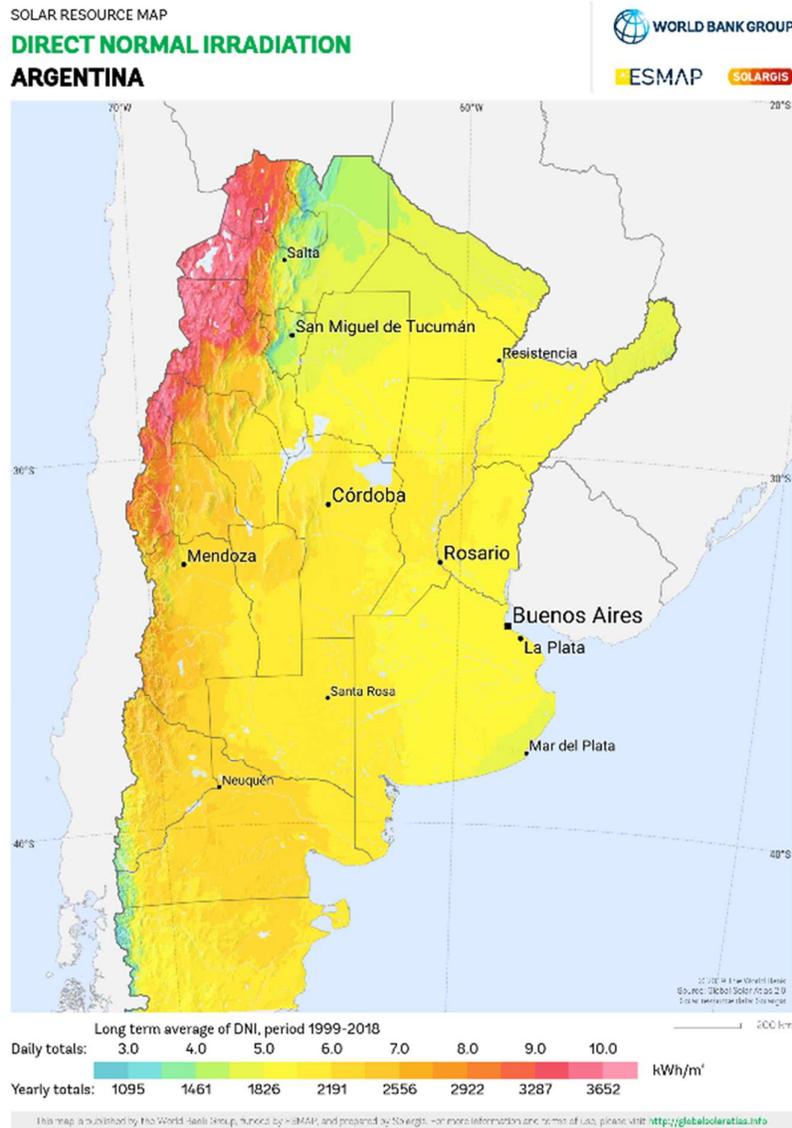


Figura 3.9. Irradiación solar directa en Argentina (1999 - 2018). (Fuente: *Global Solar Atlas 2.0*)

Este valor puede ser calculado de forma analítica para obtener mayor precisión en los resultados finales de la siguiente manera:

$$\text{Irradiación solar (diaria)} = 1 \frac{kW}{m^2} \times 5,44 h = 5,44 \frac{kW \cdot h}{m^2}$$

$$\text{Irradiación solar (anual)} = 1 \frac{kW}{m^2} \times 5,44 h \times 365 d = 1985,6 \frac{kW \cdot h}{m^2}$$

3.5.2 Potencial eólico

Distribución de probabilidades de Weibull

La velocidad del viento es un fenómeno aleatorio por lo que para describir su comportamiento es necesario emplear una función de distribución de probabilidad. La función comúnmente utilizada es la Distribución de Weibull, la cual utiliza para su modelado un factor de forma (k) y un factor de escala (A), ambos coeficientes se obtienen de la velocidad media del viento y el desvío estándar de la muestra de datos.

El Sistema de Información Geográfico (SIG Eólico) nos brinda los datos antes mencionados para poder modelar el comportamiento del viento. Los datos se obtuvieron del análisis de los últimos cinco años de información provista por estaciones meteorológicas que pertenecen al Servicio Meteorológico Nacional. En la tabla 3.3 se presentan la información.

Tabla 3.3. Velocidad del viento a 10 m en la ciudad de San Francisco
(Fuente: SIG Eólico)

DATOS DE VIENTO EN LA ZONA DE ESTUDIO				
Ángulo [°]	Frecuencia [%]	W-A [m/s]	Weibull-k	Vel. media [m/s]
0	11,2	6,52	1,94	5,78
30	20,8	6,91	2,22	6,12
60	13,3	6,05	2,07	5,36
90	8,4	5,03	1,95	4,46
120	8,4	4,95	1,91	4,39
150	11,8	6,05	1,85	5,37
180	15,9	7,54	1,79	6,70
210	5,3	7,38	1,66	6,59
240	1,4	5,26	1,42	4,78
270	0,7	3,85	1,67	3,44
300	0,6	3,06	1,53	2,75
330	1,8	4,32	1,61	3,87
PROMEDIO		6,28	1,95	5,60

Para modelar el comportamiento del viento se utilizó el valor medio de los datos de la tabla 3.3 debido a que el aerogenerador utilizado en la instalación es de eje vertical, por lo cual la dirección del viento es independiente del potencial eólico.

La ecuación que describe el modelo es la siguiente:

$$f(v) = \left(\frac{k}{A}\right) \times \left(\frac{v}{A}\right)^{k-1} \times \exp\left[-\left(\frac{v}{A}\right)^k\right] =$$

$$f(v) = \left(\frac{1,95}{6,28}\right) \times \left(\frac{v}{6,28}\right)^{k-1} \times \exp\left[-\left(\frac{v}{6,28}\right)^{1,95}\right]$$

Donde:

- v: velocidad del viento (m/s)
- k: factor de forma
- A: factor de escala (m/s)

En la Fig. 3.10 se muestra la representación gráfica de la función distribución de probabilidad de Weibull, dicha figura como también los estadísticos se realizaron en ordenador mediante el programa MatLab. La media de esta distribución es de 5,60 m/s. Se encontró que la mediana de la distribución es igual a 5,20 m/s, esto significa que la mitad del tiempo la velocidad del viento será inferior a 5,20 m/s, mientras que la otra mitad del tiempo el viento tendrá una velocidad mayor a dicho valor. La velocidad del viento que se repite con más frecuencia es de 4,34 m/s, este es el valor modal de la distribución.

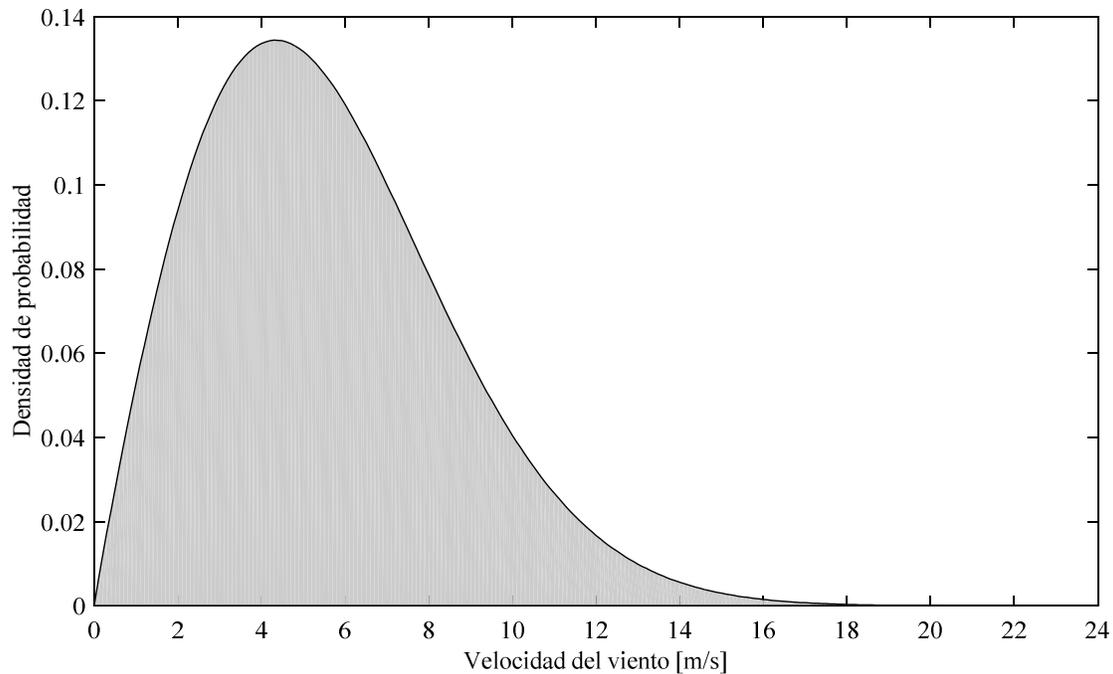


Figura 3.10. Distribución de probabilidad de Weibull de la velocidad del viento promediada en todas las direcciones

Rosa de vientos

La rosa de vientos es un gráfico que representa la distribución de frecuencia a partir de direcciones que toma el viento. La Fig. 3.11 muestra el gráfico de la rosa de vientos para la zona en la cual se realizará la instalación. En la misma se puede observar que con mayor frecuencia el viento proviene de la dirección noreste y sur.

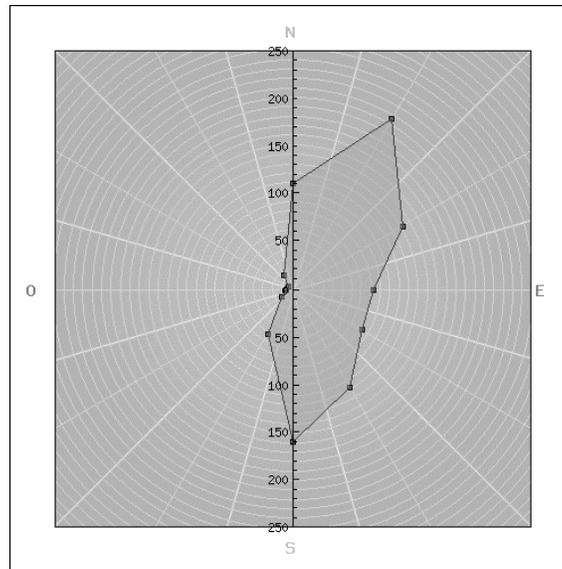


Figura 3.11. Rosa de vientos para la zona de estudio. (Fuente: SIG Eólico)

Ley de Betz

La Ley de Betz establece que el 59% de la energía cinética del viento puede ser convertirse en energía mecánica para producir el movimiento del rotor de un aerogenerador. Ese 59% es un valor teórico para el rendimiento que puede alcanzar un aerogenerador y se lo conoce como coeficiente de potencia C_p , el mismo depende de varios factores como son la resistencia aerodinámica de las palas, la compresibilidad del fluido y la interferencia de las palas, entre otras. Sin embargo, dependiendo del tipo de aerogenerador utilizado, ese coeficiente disminuye, tal como se observa en la Fig. 3.12.

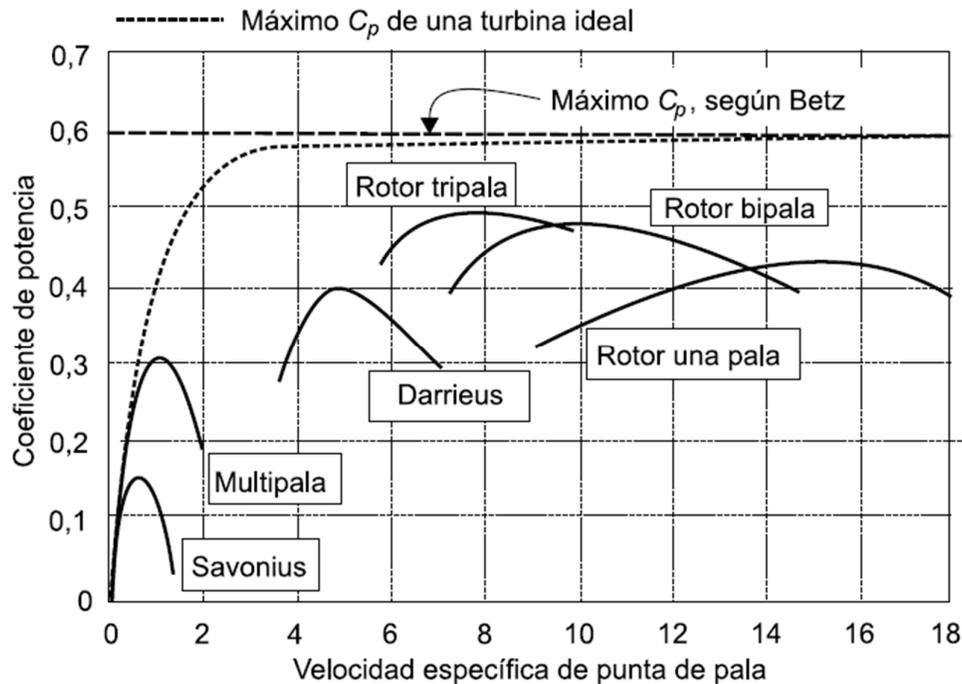


Figura 3.12. Coeficiente de potencia de distintos tipos de aerogeneradores. (Fuente: Carta González, 2009)

Factor de capacidad

El factor de capacidad expresa el porcentaje del tiempo total en que el generador debería haber funcionado a potencia nominal para producir la misma energía que la desarrollada en el período considerado.

$$FC = \frac{\bar{P}}{P_n}$$

Donde:

- FC: factor de capacidad
- \bar{P} : Potencia media estimada
- P_n : Potencia nominal del aerogenerador

La potencia media estimada se obtiene al integrar, entre la velocidad de arranque y la velocidad de parada, el producto de la curva característica potencia-velocidad por la densidad de probabilidad del viento de un determinado período.

$$\bar{P} = \int_{v_a}^{v_c} P_{(v)} f_{(v)} dv$$

Donde:

- $P_{(v)}$: Potencia en función de la velocidad
- $f_{(v)}$: Densidad de probabilidad del viento
- v_a : Velocidad de arranque del aerogenerador
- v_c : Velocidad de corte del aerogenerador

3.6 Elección de los paneles y aerogenerador

El proyecto contará con paneles comercializados por la empresa WEG Equipamientos Eléctricos S.A., la cual también proveerá el equipo inversor. Por otra parte, el aerogenerador que se utilizará es producto de la empresa ENERCOR. En la Tabla 3.4 y la Tabla 3.5 se presenta las características principales de los equipos que se utilizarán para realizar los cálculos de verificación y en el Anexo 1 se encuentran las fichas técnicas de los mismos.

Tabla 3.4. Especificaciones eléctricas del fabricante de paneles fotovoltaicos

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Potencia nominal (Pmpp)	375 Wp
Tensión nominal (Vmpp)	39,94 V
Corriente nominal (Impp)	9,39 A
Tensión de circuito abierto (Voc)	47,89 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	9,88 A
Eficiencia del módulo	19,0 %

Esos valores son en STC: 1000 W/m², 25 °C, AM: 1,5.

Tabla 3.5. Especificaciones del fabricante de aerogeneradores

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Modelo	E-500
Potencia nominal	500 W
Dimensiones	
Alto (mm)	600
Diámetro (mm)	1.100
Número de aspas	4
Peso (Kg)	25
Generación	
Velocidad arranque (km/h)	5
Velocidad operación (km/h)	40
Velocidad terminal (km/h)	160
RPM Generador	200
Generador	
Tipo	Trifásico
Voltaje (V)	24
Mástil soporte regulador	Si
Regulador - Híbrido	Si 800 W

Se procederá a verificar que este sistema elegido cumpla con las especificaciones de energía inyectada requerida anualmente.

3.7 Energía eléctrica generada por paneles fotovoltaicos

$$E_{pp} = P_p \times HSP \times 365 d = 375 W \times 5,44 h \times 365 d = 744,6 kW \cdot h/Año$$

Donde:

E_{pp} : Energía eléctrica generada anualmente por panel solar

P_p : Potencia nominal por panel solar

HSP: Hora Solar Pico

$$N = \frac{E_S}{E_{pp}} = \frac{2640 \frac{\text{kW}\cdot\text{h}}{\text{año}}}{744,6 \frac{\text{kW}\cdot\text{h}}{\text{año}}} = 3,54 \cong 4 \text{ paneles}$$

Donde:

N: Número de paneles

E_S : Energía a cubrir con paneles solares

E_{pp} : Energía generada anualmente por panel solar

Con 4 paneles de 375 W cada uno se tendría una potencia instalada de 1,5 kW, generando una energía anual de 2978,4 kW·h. Se adoptan valores conservadores ya que se omite el cálculo del decaimiento de la eficiencia de los paneles con el tiempo.

3.8 Energía eléctrica generada por turbina eólica

La curva de potencia del aerogenerador en función de velocidad del viento se muestra en Fig. 3.13 y se elaboró en base a los datos que provee el fabricante. Dicha curva es una estimación lineal debida a la escasa información que provee el mismo y por cuestiones de simplificación.

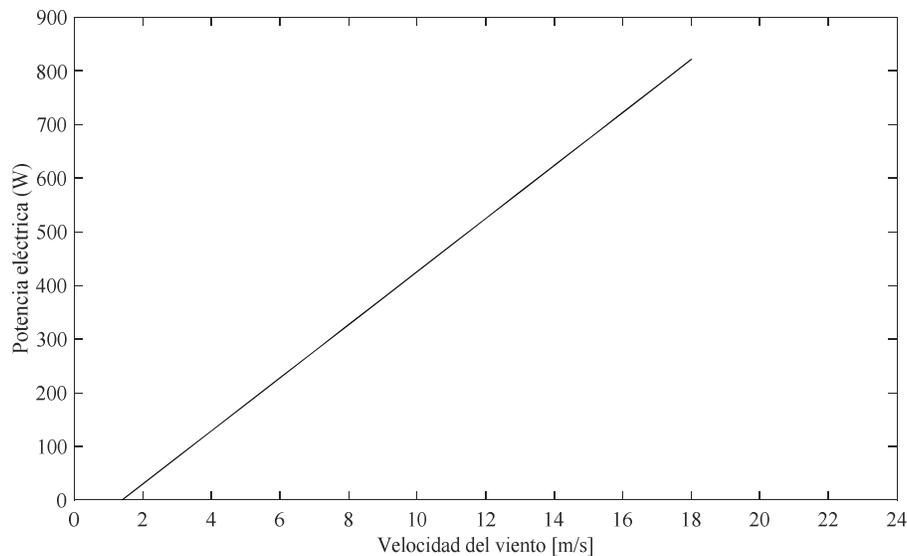


Figura 3.13. Curva de potencia-velocidad del aerogenerador

La curva de potencia del aerogenerador se cargó en SIG Eólico para obtener el FC en función a la distribución de probabilidad de viento de la zona elegida. Se obtuvo que el FC es de 40,79 %.

La potencia media estimada sería:

$$\bar{P} = P_n \times FC = 500 \text{ W} \times 0,4079 = 204 \text{ W}$$

Donde:

\bar{P} : Potencia media estimada

P_n : Potencia nominal del aerogenerador

FC: Factor de capacidad

A continuación, se procede a calcular la energía eléctrica generada anualmente.

$$E_e = \bar{P} \times 24 h \times 365 d = 204 W \times 24 h \times 365 d = 1786 kW \cdot h/año$$

Donde:

E_e : Energía eléctrica generada anualmente

Con este aerogenerador se tendría una potencia instalada de 500 W, generando una cantidad total de energía eléctrica de 1786 kW·h anualmente.

3.9 Modelado de la curva de generación

Combinando las curvas de potencia generada por el aerogenerador con la de los paneles solares, se obtiene el perfil de generación diario del sistema híbrido.

Si bien el viento no es constante a lo largo del día, por simplificaciones de cálculo se utiliza una velocidad de viento promedio por día.

Con respecto a la curva de generación solar, se utilizó un modelo parabólico ya que presenta un ajuste aceptable (ver anexo 2). La Tabla 3.6 muestra condiciones del sol a lo largo de los meses del año 2019 que se utilizará para modelar la curva de generación solar.

Tabla 3.6 Condiciones del sol para los meses del año 2019
(Fuente: SunCalc)

<i>Fecha</i>	<i>Amanecer</i>	<i>Culminación</i>	<i>Puesta del sol</i>	<i>Horas de sol</i>	<i>Irradiación [kW·h/m²·día]</i>
01/01/2019	06:06:58	13:12:01	20:16:59	14:09:58	6,60
01/02/2019	06:34:16	13:22:11	20:09:40	13:35:24	6,00
01/03/2019	06:58:02	13:21:00	19:43:25	12:45:23	5,08
01/04/2019	07:19:27	13:12:32	19:05:09	11:45:42	4,66
01/05/2019	07:39:14	13:05:45	18:31:55	10:52:41	4,37
01/06/2019	07:59:05	13:06:28	18:13:41	10:14:36	4,12
01/07/2019	08:08:13	13:12:30	18:16:53	10:08:40	4,62
01/08/2019	07:56:24	13:14:59	18:33:53	10:37:29	5,43
01/09/2019	07:24:58	13:08:41	18:52:49	11:27:51	5,94
01/10/2019	06:46:31	12:58:20	19:10:39	12:24:08	5,69
01/11/2019	06:11:47	12:52:14	19:33:09	13:21:22	6,34
01/12/2019	05:56:20	12:57:37	19:59:10	14:02:50	6,46
PROMEDIO	07:05:06	13:08:41	19:12:17	12:07:10	5,44

La primera condición es que las raíces del modelo parabólico coincidan con el amanecer y la puesta de sol, y ya que estas varían según las estaciones del año, se optó por utilizar valores promedios. La condición número dos es que el área debajo de la parábola, entre el amanecer

y el ocaso, sea igual al valor de 8,16 kW·h, el cual es el valor promedio de energía eléctrica generada por día (ver ítem 3.7).

En el modelado del perfil de demanda típico del CIDEME en el intervalo de 08:00 h a 12:00 h se considera una potencia de 2,2 kW constante a lo largo del año, y para el rango horario de las luminarias se utiliza un valor promedio de la cantidad de horas de funcionamiento entre las distintas estaciones.

La Fig. 3.14 presenta el perfil de demanda típico de los servicios del CIDEME (línea continua) y la potencia que genera el sistema de energía renovable a lo largo del día según el modelo expuesto anteriormente (línea a trazos).

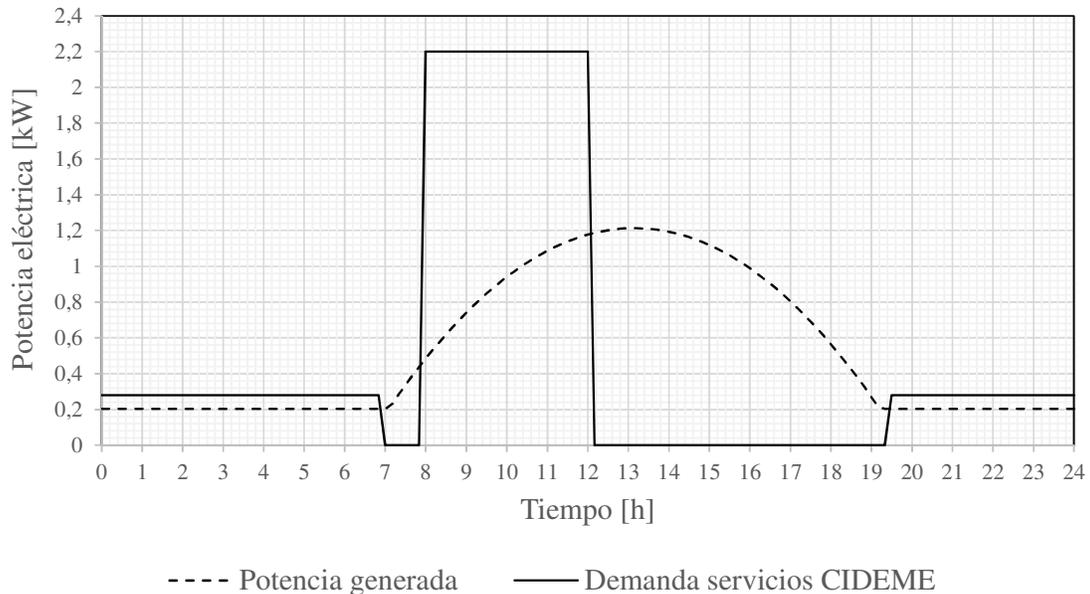


Figura 3.14. Superposición de la curva promedio de generación y demanda de los servicios del CIDEME por día

3.10 Energía total generada por el sistema híbrido

La energía eléctrica total de generación utilizando el sistema elegido es de:

$$\text{Energía total} = 2978,4 \text{ kWh} + 1786 \text{ kW}\cdot\text{h} = 4764,4 \text{ kW}\cdot\text{h/año}$$

Si se tiene en cuenta que el consumo fijo de los servicios del laboratorio del CIDEME es de 3866 kW·h/año, se puede concluir que el sistema elegido generaría la energía requerida que es aproximadamente igual a 4764 kW·h/año.

3.11 Instalación eléctrica

3.11.1 Reglamentación

La Subsecretaría De Energía Renovable Y Eficiencia Energética, establece mediante la disposición 97/2019, los requisitos técnicos y administrativos para la implementación del sistema generación distribuida.

El capítulo 1 y 5 de la disposición 97/2019 reglamentan los pasos a seguir para obtener el alta como usuario generador. Mientras que los capítulos 2, 3 y 4 expresan los requisitos técnicos que deben cumplir los distintos componentes que conforman la instalación de generación fotovoltaica y otras tecnologías renovables.

La Fig. 3.15 presenta las características mínimas que debe poseer la instalación, como ser el punto de conexión a la red, protecciones, responsabilidades del distribuidor/usuario, entre otras.

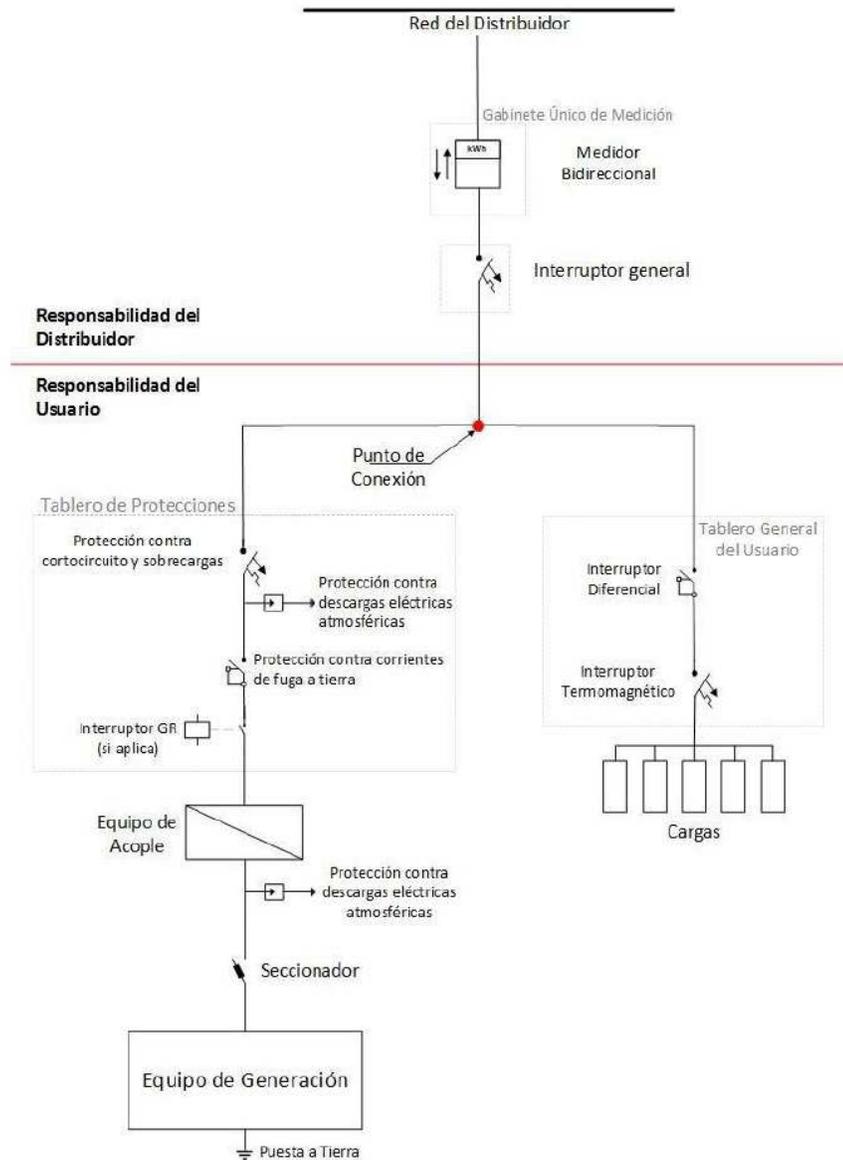


Figura 3.15. Diagrama unifilar eléctrico de referencia según disposición 97/2019. (Fuente: Disposición 97)

3.11.2 Conexión de paneles solares

Se elige una conexión en serie para alcanzar una tensión de generación superior a la tensión de encendido del inversor y que se encuentre en MPP del inversor.

La tensión nominal (V_{MPP}) de generación de cada panel, en STC, es de 39,94 V, por lo que la tensión resultante de la instalación es de 159,76 V.

La corriente nominal (I_{MPP}) de la instalación, en igualdad de condiciones, es de 9,39 A.
La potencia nominal de la instalación es de 1500 W.

3.11.3 Conexión aerogenerador

Debido a la diferencia de tensión que existe entre la entrada del inversor y la salida del aerogenerador, se debe utilizar un convertidor de tensión elevador con regulación en su salida hasta el valor de 360 V, el cual es el valor nominal de tensión de entrada al inversor. Este convertidor es un desarrollo especial que no se considera en este trabajo, porque no es habitual en la práctica técnica ni comercial conectar un aerogenerador a un inversor fotovoltaico.

La potencia nominal del aerogenerador es de 500 W, a continuación, se calcula la corriente nominal a esta potencia.

$$I_{na} = \frac{P_{na}}{U_{ni}} = \frac{500 \text{ W}}{360 \text{ V}} = 1,4 \text{ A}$$

Donde:

I_{na} : Corriente nominal del aerogenerador

P_{na} : Potencia nominal del aerogenerador

U_{ni} : Tensión nominal del inversor

3.11.4 Características del Inversor

El inversor a utilizar es de la marca Growatt modelo 4200MTL-S (Fig. 3.16) cuya potencia nominal es de 4200 W. En la Tabla 3.7 muestra la ficha técnica del equipo y en el anexo 3 se presenta la ficha técnica completa.



Figura 3.16. Inversor Growatt 4200MTL-S. (Fuente: Enertik)

Tabla 3.7 Ficha técnica del inversor

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Modelo	4200MTL-S
Potencia nominal de salida	4200 W
Corriente máxima de salida	19,0 A
Tensión nominal	360 V
Rango de tensión de trabajo (MPP)	80 – 500 V
Tensión de encendido	100 V
Corriente máxima de entrada	15 A
Número de entradas independientes	2

En la Fig. 3.17 se presenta el circuito eléctrico interno del inversor. Se puede observar que posee dos entradas independientes, una de las cuales se utilizará para la conexión de los paneles fotovoltaicos y la restante se propone utilizar para la conexión del aerogenerador con su regulador de tensión.

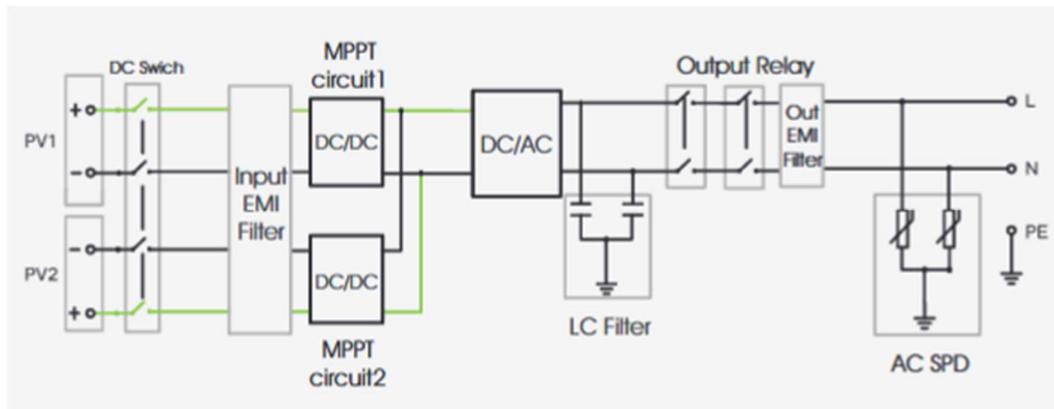


Figura 3.17. Circuito eléctrico interno del inversor. (Fuente: Enertik)

3.11.5 Disposición de los componentes de la instalación

Los paneles solares y el aerogenerador se sitúan en el techo del laboratorio del CIDEME. En una edificación independiente, a 17 m de los mismos, se encuentra la acometida del CIDEME. Esta posee un TGBT con los dispositivos de mando y protección correspondientes a la instalación eléctrica. El punto de conexión del sistema de generación distribuida se realizará directamente en el juego de barras del TGBT según especifica la disposición 97/2019.

La Fig. 3.18 muestra un esquema simplificado de la instalación la cual cuenta con dos tableros seccionales TS 1 y TS 1.1. En el TS 1.1 se encuentran los seccionadores y descargadores correspondientes al circuito de corriente continua de los paneles fotovoltaicos y el aerogenerador. Por otra parte, en TS 1 se encuentra el inversor y en TGBT se ubican los

descargadores, disyuntor diferencial e interruptor automático correspondiente a las protecciones requeridas entre el punto de conexión a la red y el inversor.

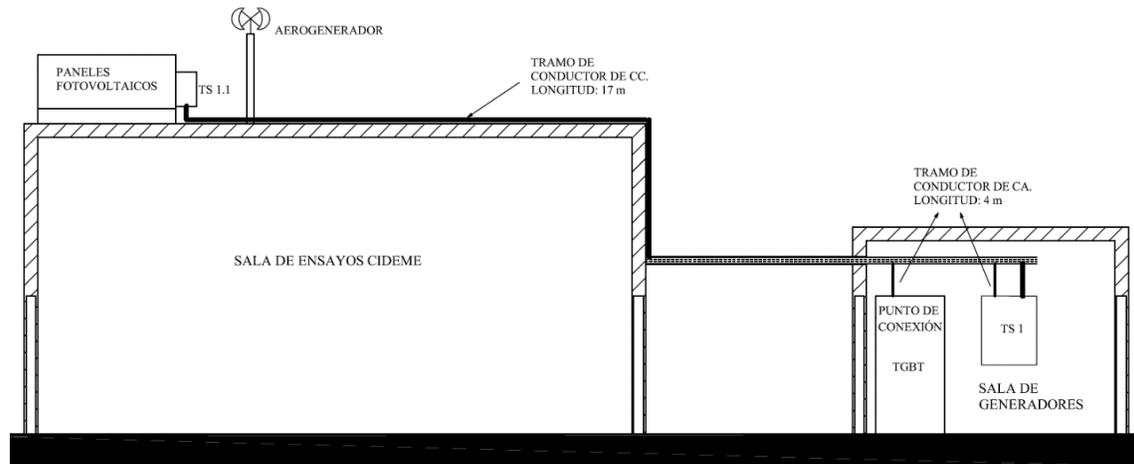


Figura 3.18. Disposición de los elementos de la instalación visto desde el norte

3.11.6 Cálculo de corriente de cortocircuito

3.11.6.1 Esquema circuito eléctrico del CIDEME

Para poder dimensionar el PdC y tipo de curva de las protecciones aguas abajo del punto de conexión es indispensable conocer la potencia de cortocircuito en dicho punto. Para el cálculo de corriente de cortocircuito se basó en el cuaderno técnico N°158 de Schneider Electric, el cual expone los métodos de cálculo provistos por la norma IEC 60909.

Se realizó un relevamiento del circuito de potencia del Laboratorio del CIDEME, las características de la instalación se muestran en la Fig. 3.19, con el agregado del medidor bidireccional una vez realizado el proyecto.

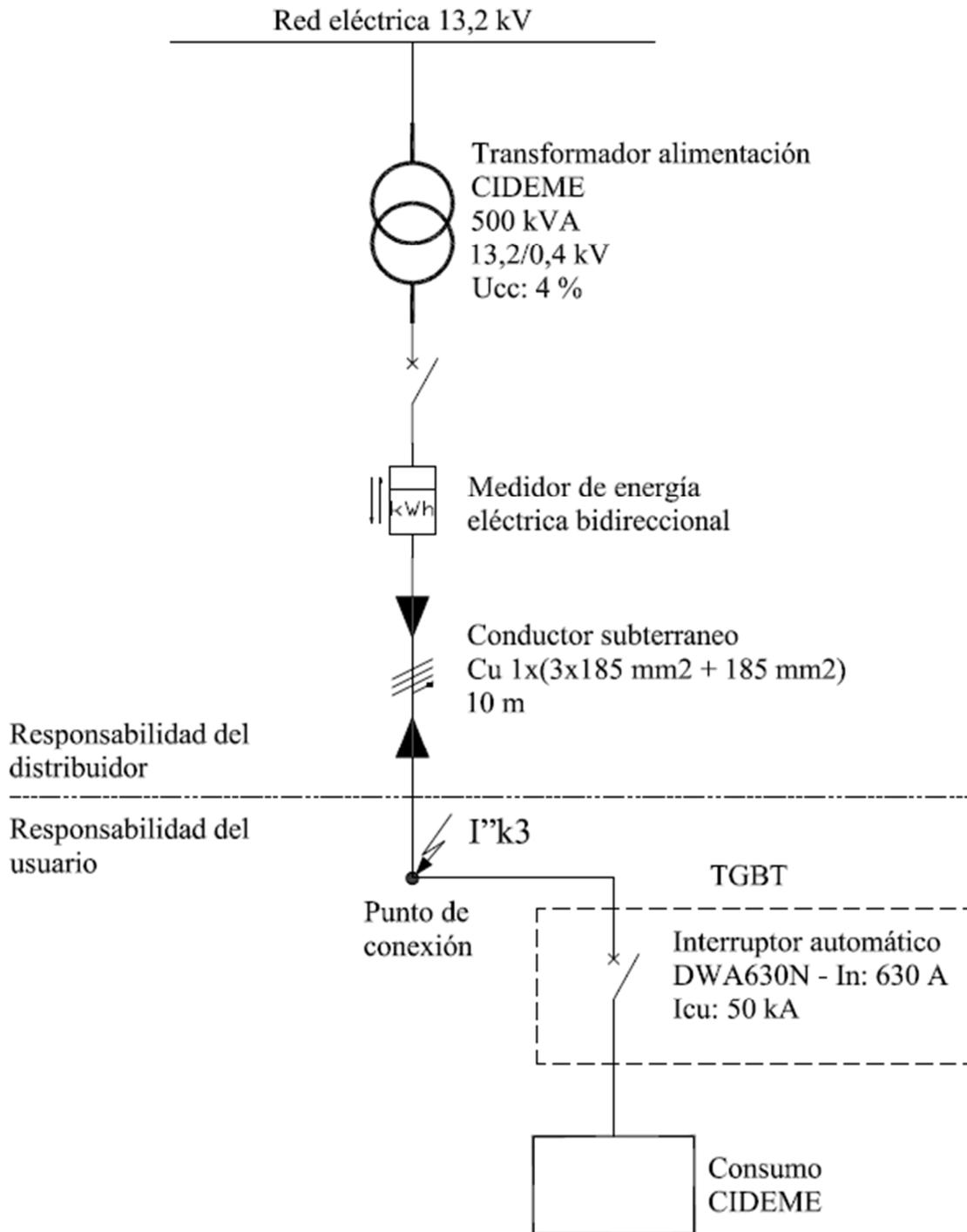


Figura 3.19. Circuito eléctrico del Laboratorio del CIDEME

3.11.6.2 Cálculo corriente de cortocircuito en el punto de conexión

Para determinar el valor de la corriente de corto se determinan las impedancias del circuito hasta el punto de falla.

▪ *Impedancia del transformador*

$$Z_T = \frac{U_{cc} \times U^2}{100 \times S_n} = \frac{4 \% \times (400 V)^2}{100 \% \times 500 kVA} = 12,800 m\Omega$$

$$X_T \cong Z_T = 12,800 m\Omega$$

$$R_T = 0,2 \times X_T = 0,2 \times 12,8 m\Omega = 2,560 m\Omega$$

$$Z_T = (2,560 + j 12,800) m\Omega$$

Donde:

Z_T : Impedancia
 U_{cc} : Tensión de cortocircuito
 U : Tensión en vacío
 S_n : Potencia nominal
 X_T : Reactancia
 R_T : Resistencia

▪ *Impedancia del conductor*

$$R_c = \frac{\rho \times l}{n \times S} = \frac{0,0225 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m} \times 10 m}{1 \times 185 mm^2} = 1,216 m\Omega$$

$$X_c = X_u \times l = 0,08 \frac{m\Omega}{m} \times 10 m = 0,8 m\Omega$$

$$Z_c = (1,216 + j 0,8) m\Omega$$

Donde:

R_c : Resistencia
 ρ : Resistividad
 l : Longitud
 n : Número de conductores por fase
 S : Sección
 X_c : Reactancia
 X_u : Reactancia unitaria
 Z_c : Impedancia

▪ *Defecto en el punto de conexión*

$$Z_{cc} = Z_T + Z_C = (3,776 + j 13,600) m\Omega = 14,114^{74,5^\circ} m\Omega$$

$$I''_{k3} = \frac{U}{\sqrt{3} \times Z_{cc}} = \frac{400 \text{ V}}{\sqrt{3} \times 14,114 \text{ m}\Omega} = 16,362 \text{ kA}$$

$$k = 1,02 + 0,98 \times e^{-\frac{R}{X}} = 1,02 + 0,98 \times e^{-\frac{3,776}{43,6}} = 1,446$$

$$I_p = k \times \sqrt{2} \times I''_{k3} = 1,446 \times \sqrt{2} \times 16,362 \text{ kA} = 33,459 \text{ kA}$$

Donde:

Z_{cc} : Impedancia de cortocircuito

I''_{k3} : Corriente de cortocircuito trifásica simétrica inicial

k: Coeficiente de asimetría

I_p : Corriente de cortocircuito máxima instantánea

▪ *Simulación*

Se procedió a verificar la corriente de cortocircuito en el punto de conexión mediante ordenador.

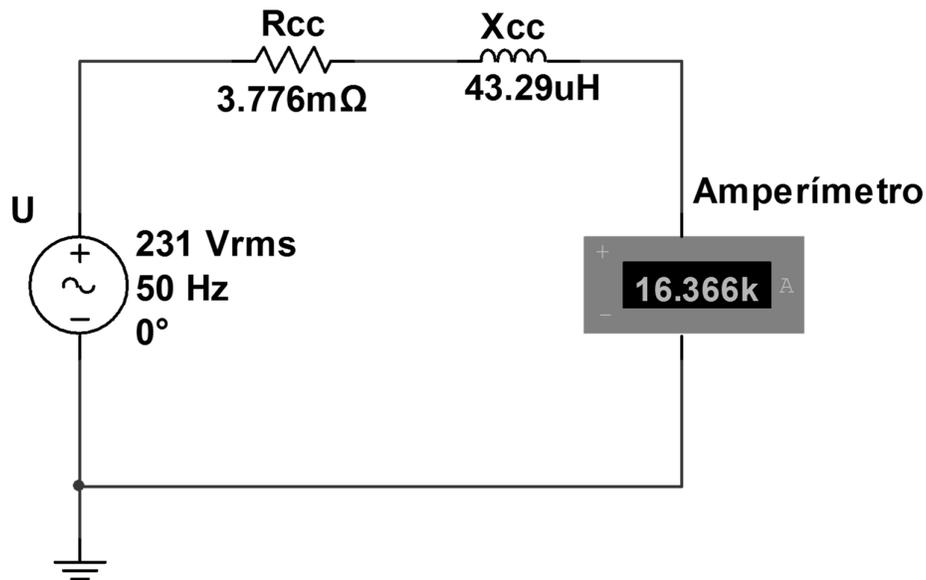


Figura 3.20. Simulación de la corriente de cortocircuito trifásica (I''_{k3}) en el punto de conexión

Se realizó un análisis transitorio del circuito de la Fig. 3.20 dando como resultado la forma de onda de la corriente que se muestra en Fig. 3.21. En ella se puede apreciar la asimetría que presenta la corriente de cortocircuito, alcanzando un valor máximo prácticamente igual al realizado por cálculo analítico.

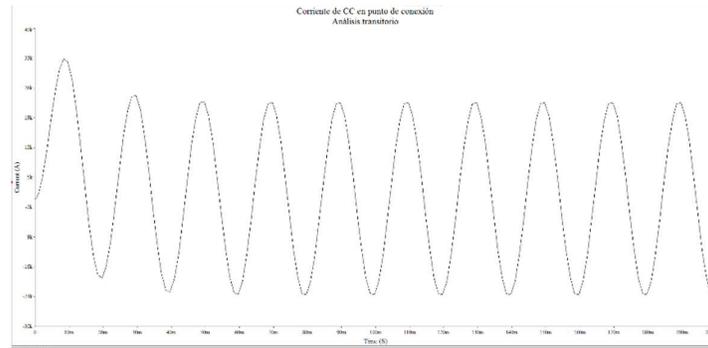


Figura 3.21. Evolución de la corriente de cortocircuito (I_{k3}) en el punto de conexión

3.11.7 Especificación de los componentes de la instalación fotovoltaica-eólica

Para el dimensionamiento de los componentes de la instalación hasta el punto de conexión, se utilizará la potencia nominal del inversor de 4,2 kW (monofásica), previendo una posible ampliación futura en la potencia instalada ya que actualmente se dispone de 1,7 kW. La instalación se proyectará según la reglamentación de la AEA 90364.

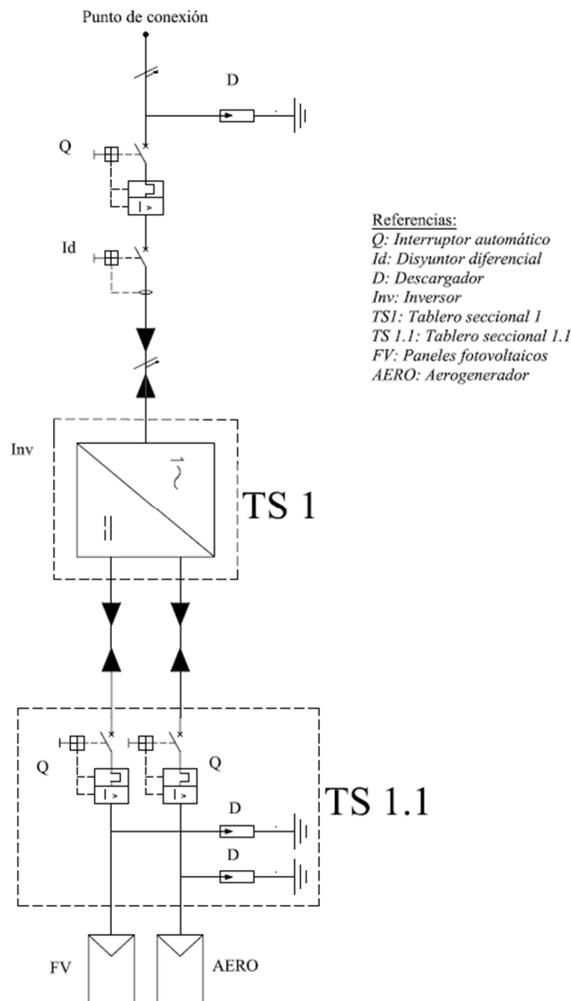


Figura 3.22. Componentes de la instalación fotovoltaica-eólica

3.11.7.1 Componentes eléctricos desde el inversor hasta el punto de conexión (circuito CA)

- *Corriente de empleo*

Para la potencia nominal de 4,2 kW le corresponde un coseno ϕ de 1, según hoja de datos del inversor.

$$I_B = \frac{P_n}{U_n \times \cos \phi} = \frac{4,2 \text{ kW}}{220 \text{ V} \times 1} = 19,1 \text{ A} \cong 20 \text{ A}$$

Donde:

- I_B : Corriente de empleo o de proyecto
- P_n : Potencia nominal del inversor
- U_n : Tensión nominal de la red
- $\cos \phi$: Coseno ϕ

- *Conductor hasta el inversor*

Este conductor comprende el tramo que existe desde el punto de conexión hasta el TS 1 donde se encuentra el inversor. La distancia de cableado es de 4 m.

Se utilizará un conductor con envoltura de protección de 1x(1xF+N+PE) colocado en bandeja perforada (método de instalación E). Según la *tabla 771.16.III "Intensidad de corriente admisible [A] para temperatura ambiente de 40 °C"*, se elige un conductor de 2,5 mm² con una corriente admisible (I_z) de 26 A.

Se procederá a realizar la verificación térmica del conductor elegido ante la corriente de cortocircuito calculada en el punto de conexión. La sección calculada en la siguiente ecuación debería ser menor o igual a la sección elegida del conductor (2,5 mm²), caso contrario se deberá proyectar este tramo de instalación con un conductor de sección nominal inmediatamente superior al valor de sección obtenido por verificación al cortocircuito.

$$S_{(2,5 \text{ mm}^2)} \geq \frac{I''_{k3} \times \sqrt{t}}{k} = \frac{16362 \text{ A} \times \sqrt{0,02 \text{ s}}}{115} = 20,12 \text{ mm}^2$$

Donde:

- $S_{(2,5 \text{ mm}^2)}$: Sección del conductor elegido
- I''_{k3} : Corriente de cortocircuito trifásica simétrica inicial en el PC
- k : Constante que contempla el material del conductor, tipo de aislación, temperatura de servicio y capacidad térmica
- t : Tiempo de actuación de la protección

Como se observa en la ecuación anterior, el conductor elegido no soportaría la sollicitación térmica producida por la corriente de cortocircuito presunta en el punto de conexión. A tales efectos se opta por elegir un conductor de 25 mm² de sección normalizada. Si bien la corriente admisible del conductor es muy superior a la de empleo, es una condición requerida para el cumplimiento ante un cortocircuito.

La corriente de cortocircuito mínima se determina en bornes del TS 1, para ello hay que determinar las impedancias del sistema hasta dicho punto y luego calcular la corriente de cortocircuito monofásica.

$$R_{Lc} = \frac{\rho \times l}{n \times S} = \frac{0,0225 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m} \times 4 m}{1 \times 25 mm^2} = 3,6 m\Omega$$

$$X_{Lc} = X_u \times l = 0,08 \frac{m\Omega}{m} \times 4 m = 0,32 m\Omega$$

$$Z_{Lc} = (3,6 + j 0,32) m\Omega$$

$$Z_{cc} = Z_{Lpc} + Z_{Lc} + Z_{Npc} + Z_{Nc}$$

$$Z_{cc} = (3,776 + j 13,600) + (3,6 + j 0,32) + (1,216 + j 0,8) + (3,6 + j 0,32)$$

$$Z_{cc} = (12,192 + j 15,04) m\Omega = 19,36^{51^\circ} m\Omega$$

$$I''_{k1} = \frac{U}{\sqrt{3} \times Z_{cc}} = \frac{400 V}{\sqrt{3} \times 19,36 m\Omega} = 11929 A$$

Donde:

- Z_{cc} : Impedancia de cortocircuito a bornes del TS 1
- Z_{Lpc} : Impedancia de línea de la red hasta el punto de conexión
- Z_{Lc} : Impedancia de línea del conductor del punto de conexión hasta el inversor
- Z_{Npc} : Impedancia de neutro de red hasta el punto de conexión
- Z_{Nc} : Impedancia de neutro del conductor del punto de conexión hasta el inversor
- I''_{k1} : Corriente de cortocircuito monofásica simétrica inicial

En la Fig. 3.23 se muestra el circuito en cuestión con los valores de cálculo hasta el punto del defecto y su simulación en ordenador.

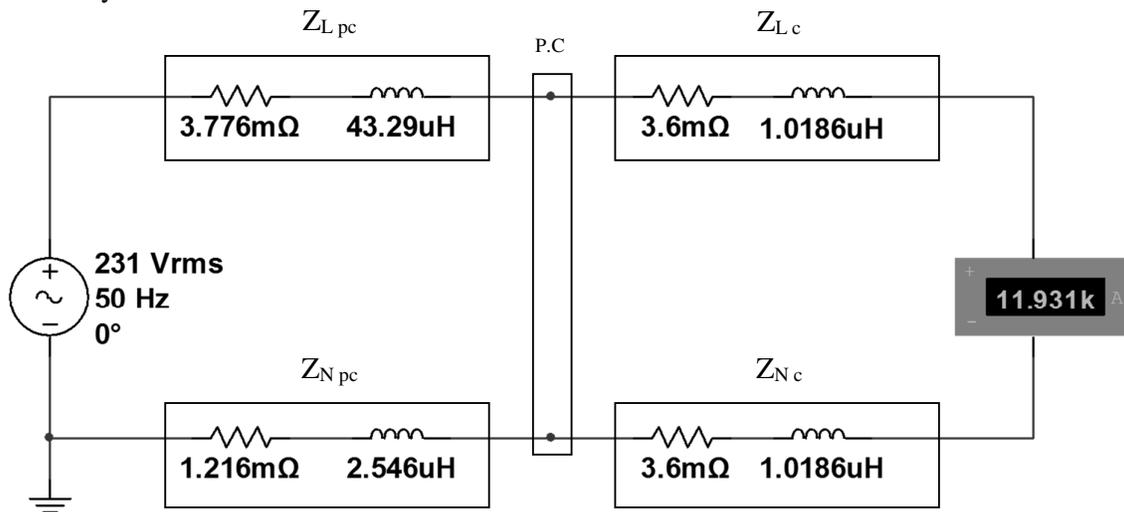


Figura 3.23. Simulación de la corriente de cortocircuito monofásica (I''_{k1}) a bornes de TS 1

- *Interruptor automático contra cortocircuito y sobrecarga*

La corriente nominal del interruptor (I_n) deberá ser superior a la corriente de empleo (I_B) o de carga, e inferior a la corriente admisible del conductor (I_Z). Esto es:

$$20 A \leq I_n \leq 104 A$$

El PdC del interruptor no debe ser inferior a 33,5 kA, la cual es la corriente máxima de cortocircuito trifásico en el punto de conexión.

Por último, la corriente de cortocircuito mínima, localizada en el TS 1, por la cual el interruptor debe actuar es de 11,9 kA.

Ante estas condiciones se opta por un interruptor con las siguientes características:

Marca: WEG
Modelo: DWB160N25 – 2DX
 I_n : 25 A
PdC: 50 kA
Tipo de curva: C
Nº de polos: 2
 I_{cc} mínima: 12 x I_n

- *Disyuntor diferencial*

El disyuntor diferencial que se utilizará deberá ser de una corriente nominal inmediatamente superior a la corriente de empleo y cuya corriente residual ($I_{\Delta n}$) debe ser menor o igual a 30 mA, según establece la AEA para proteger a las personas ante un contacto directo.

A continuación, se presentan las características del disyuntor diferencial seleccionado.

Marca: WEG
Modelo: RDW30-25-2
 I_n : 25 A
 $I_{\Delta n}$: 30 mA
Nº de polos: 2

- *Protección contra sobretensiones*

La disposición 97/2019 establece el uso de dispositivos de protección contra descargas eléctricas atmosféricas para el circuito de corriente alterna. A tales efectos la protección seleccionada se describe a continuación.

Marca: WEG
Modelo: SPW275-12
Nivel de protección: < 1,0 kV
 $I_{m\acute{a}x}$: 12 kA
 U_c : 275 V
Clase de protección: II

3.11.7.2 Componentes eléctricos desde los paneles hasta el inversor (Circuito CC)

- *Corriente de empleo*

La corriente de empleo (I_{Bp}) es de 15 A, esta es la corriente máxima admitida por el inversor. Si bien la corriente que se tiene por la potencia instalada es menor, se utiliza este valor previendo una futura ampliación de la potencia instalada.

- *Elección del conductor*

Se elegirá un conductor cuya corriente admisible será mayor a la corriente de empleo. A causa de que la corriente de cortocircuito de los paneles solares es prácticamente igual a su corriente nominal, no se realizará una verificación ante cortocircuito.

Se realizará una verificación por caída de tensión, con un valor máximo admisible de 1,5 %. Dicho valor no se encuentra en los reglamentos de instalaciones eléctricas argentinas, sin embargo, en normativas de otros países con implementación de sistemas de generación distribuida, si se contempla dicho valor.

Este conductor comprende el tramo que existe desde el TS 1 hasta TS 1.1. La distancia de cableado es de 17 m.

El método de instalación del conductor es B1, colocado en cañería a la vista sobre pared. Debido a que en dicha canalización también estará colocado el circuito del aerogenerador, hay que aplicar un factor de corrección de 0,8 según *tabla 771.16.II.b "Factor de corrección por agrupamiento de circuitos en un mismo caño"*.

Según la *tabla 771.16.I "Intensidad de corriente admisible [A] para temperatura ambiente de cálculo 40 °C"*, se elige un conductor de cobre de 2,5 mm² con una corriente admisible (I_z) de 16,8 A, ya afectado por el factor de corrección.

Dado que el tipo de conector (modelo MC4) que se debe utilizar admite una sección comprendida entre 4 mm² y 6 mm², se opta por utilizar un conductor de cobre de 4 mm². Con esta nueva sección y el factor de corrección aplicado, la corriente admisible (I_z) del conductor sería de 22,4 A.

Se procederá a realizar la verificación por caída de tensión del conductor.

$$U_n = N^\circ \text{ paneles} \times U_{MPP} = 4 \text{ A} \times 39,94 \text{ V} = 159,76 \text{ V} \cong 160 \text{ V}$$

$$R_c = k \times \frac{\rho \times l}{S} = 2 \times \frac{0,018 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} \times 17 \text{ m}}{4 \text{ mm}^2} = 0,153 \Omega$$

$$\Delta U_c = I_{Bp} \times R_c = 15 \text{ A} \times 0,153 \Omega = 2,295 \text{ V}$$

$$\Delta U = \frac{\Delta U_c}{U_n} = \frac{2,295 \text{ V}}{160 \text{ V}} \times 100 \% = 1,4 \%$$

Donde:

U_n : Tensión nominal del conjunto de paneles fotovoltaicos

R_c : Resistencia del conductor

k : Igual a 2 para sistemas monofásicos

ρ : Resistividad

l: Longitud
S: Sección
 ΔU_c : Caída de tensión en conductor
 I_{Bp} : Corriente de empleo circuito paneles FV
 ΔU : Caída de tensión porcentual

▪ *Seccionamiento*

La disposición 97/2019 establece que se debe colocar un elemento que asegure el seccionamiento del circuito FV. En nuestro caso se colocará un interruptor automático, y si bien dicho interruptor posee una protección redundante, asegura la condición de seccionamiento requerida. Esta decisión se toma en función de la disponibilidad de la protección al momento de su adquisición y versatilidad.

La corriente nominal del interruptor (I_n) deberá ser superior a la corriente de empleo (I_B) o de carga, e inferior a la corriente admisible del conductor (I_z). Esto es:

$$15 A \leq I_n \leq 22,4 A$$

La corriente de cortocircuito es inferior a la corriente de empleo por lo que el PdC no es un factor relevante para la elección de la protección.

La tensión de empleo del interruptor deberá ser como mínimo de 360 Vcc, la cual es la tensión nominal de entrada al inversor.

Ante estas condiciones se opta por un interruptor con las siguientes características:

Marca: WEG
Modelo: MDW-C16-4
 U_e : 250 V_{cc}
 I_n : 16 A
PdC: 3 kA
Tipo de curva: C
Nº de polos: 4
 I_{cc} mínima: (5 a 10) x I_n

Para lograr la tensión de empleo requerida se utiliza un interruptor tetrapolar, conectando dos de sus polos en serie para el conductor con polaridad positiva y los dos polos restantes para la polaridad negativa.

▪ *Protección contra sobretensiones*

La disposición 97/2019 establece el uso de dispositivos de protección contra descargas eléctricas atmosféricas para el circuito de corriente continua. A tales efectos la protección seleccionada se describe a continuación.

Marca: WEG
Modelo: SPW275-12
Nivel de protección: < 1,0 kV
 $I_{m\acute{a}x}$: 12 kA
 U_c : 275 V
Clase de protección: II

3.11.7.3 Componentes eléctricos desde el aerogenerador hasta el inversor (Circuito CC)

El circuito del aerogenerador se conectará al mismo inversor que el de los paneles solares, pero a una entrada independiente. Ambas entradas presentan las mismas características eléctricas, por lo que el criterio para el dimensionamiento del circuito del aerogenerador será igual al utilizado para el circuito de los paneles fotovoltaicos. Por este motivo los conductores y protecciones tendrán los mismos calibres.

3.11.8 Esquema eléctrico de la instalación fotovoltaica-eólica

En la Fig. 3.24 se presenta el esquema eléctrico con sus componentes definidos. Y en el anexo 4 se presenta el plano eléctrico con más detalle.

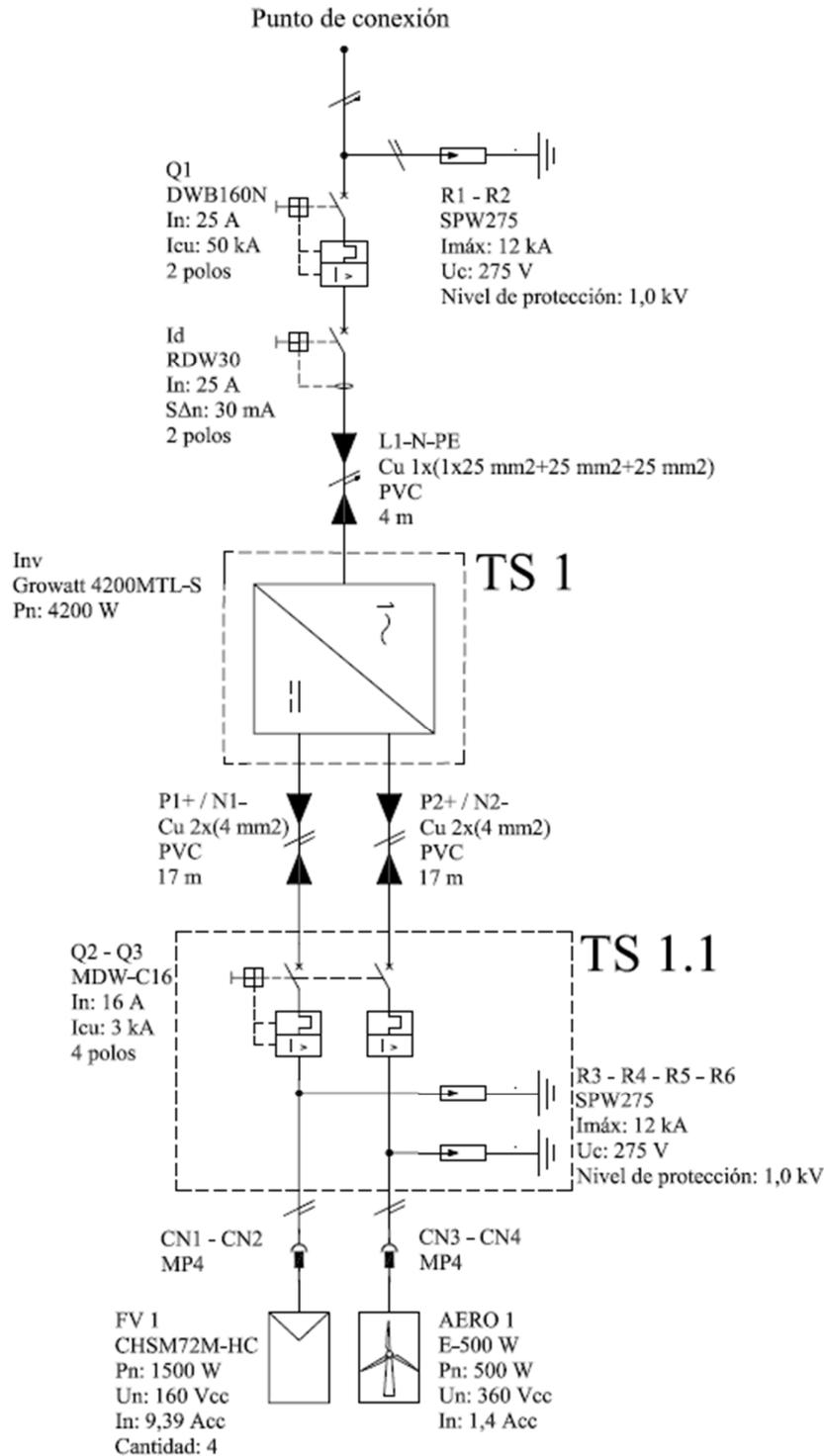


Figura 3.24. Esquema eléctrico final de la instalación fotovoltaica-eólica

3.12 Cálculo de la estructura de los paneles fotovoltaicos

3.12.1 Cálculo de las solicitaciones de la estructura

El diseño de la estructura se realizó mediante el programa SolidWorks Académico, para ello se necesitó como datos de partida las solicitaciones a las que iba a estar sometida la misma. Se tuvieron en cuenta el peso de los paneles solares y la fuerza del viento.

La fuerza que ejerce el viento sobre los paneles actúa sobre el área normal de los mismos, la cual se calcula proyectando sobre la vertical el área de los paneles fotovoltaicos de 7,88 m² con un ángulo de inclinación respecto de la horizontal de 28°.

$$A_n = (b \times h \times N) \times \sin \alpha = (0,992 \text{ m} \times 1,986 \text{ m} \times 4) \times \sin 28^\circ = 3,7 \text{ m}^2$$

Donde:

A_n: Área normal a la dirección del viento

b: Base del panel fotovoltaico

h: Altura del panel fotovoltaico

N: Número de paneles

α: Ángulo de inclinación de los paneles respecto de la horizontal

El valor de la presión que ejerce el viento sobre los paneles solares se obtiene de la especificación técnica de EPEC ET 1003, la cual establece que para superficies planas se utilice el valor de 118 kg/m², el cual corresponde a una velocidad de viento de 120 km/h.

- *Cálculo de la fuerza del viento*

$$F_v = p \times A_n = 118 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \times 3,7 \text{ m}^2 = 436,5 \text{ kg}$$

Donde:

F_v: Fuerza del viento

p: Presión del viento para áreas planas

A_n: Área normal a la dirección del viento

- *Cálculo del peso total de los paneles*

$$P = P_p \times N = 22,2 \text{ kg} \times 4 = 88,8 \text{ kg}$$

Donde:

P: Peso total de los paneles

P_p: Peso de cada panel

N: Número de paneles

3.12.2 Análisis estático de la estructura

Las características del material utilizado se detallan en la tabla 3.8.

Tabla 3.8 Características del material

Designación	SAE 1010
Módulo de la elasticidad	2039420 kg/cm ²
Límite elástico	1835,5 kg/cm ²
Módulo cortante	815768 kg/cm ²
Densidad de masa	0,00787 kg/cm ³

Se procedió a modelar la estructura que soporta a los paneles solares y luego se realizó una simulación de los esfuerzos a los que se encuentra sometida bajo las solicitaciones calculadas.

3.12.2.1 Análisis estático con viento frontal

La Fig. 3.25 y Fig. 3.26 muestran la tensión y factor de seguridad, respectivamente, a la que se encuentran sometidos los elementos, cuando la carga ejercida por el viento es en dirección frontal a los paneles.

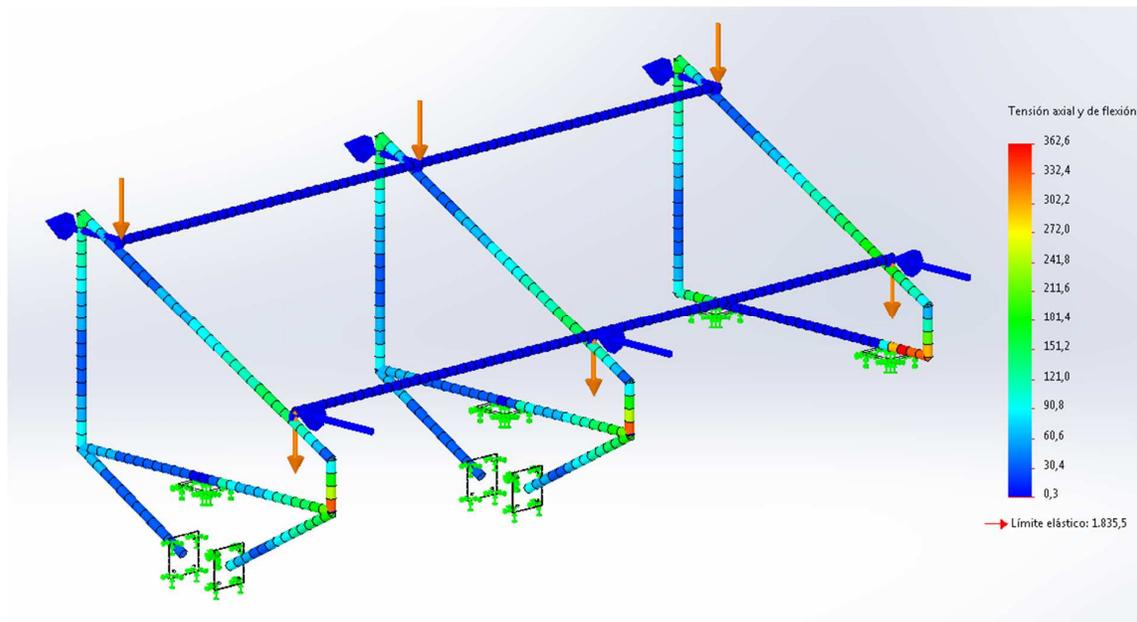


Figura 3.25. Esfuerzo sobre los elementos de la estructura en kg/cm²

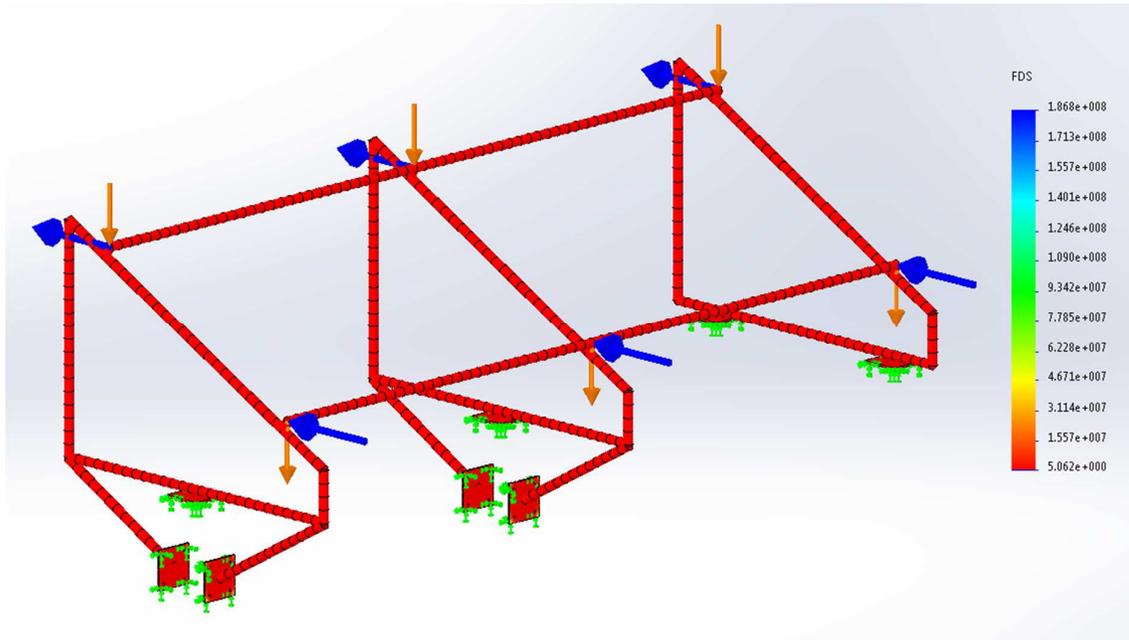


Figura 3.26. Factor de seguridad en los miembros estructurales

3.12.2.2 Análisis estático con viento posterior

La Fig. 3.27 y Fig. 3.28 muestran la tensión y factor de seguridad, respectivamente, a la que se encuentran sometidos los elementos, cuando la carga ejercida por el viento es en dirección posterior a los paneles.

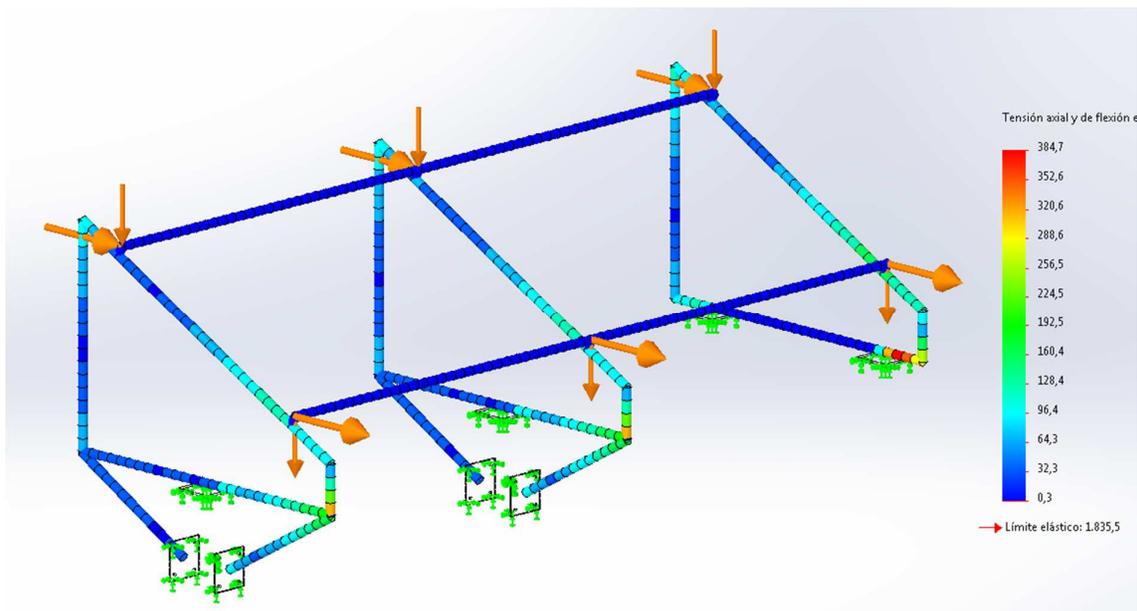


Figura 3.27. Esfuerzo sobre los elementos de la estructura en kg/cm²

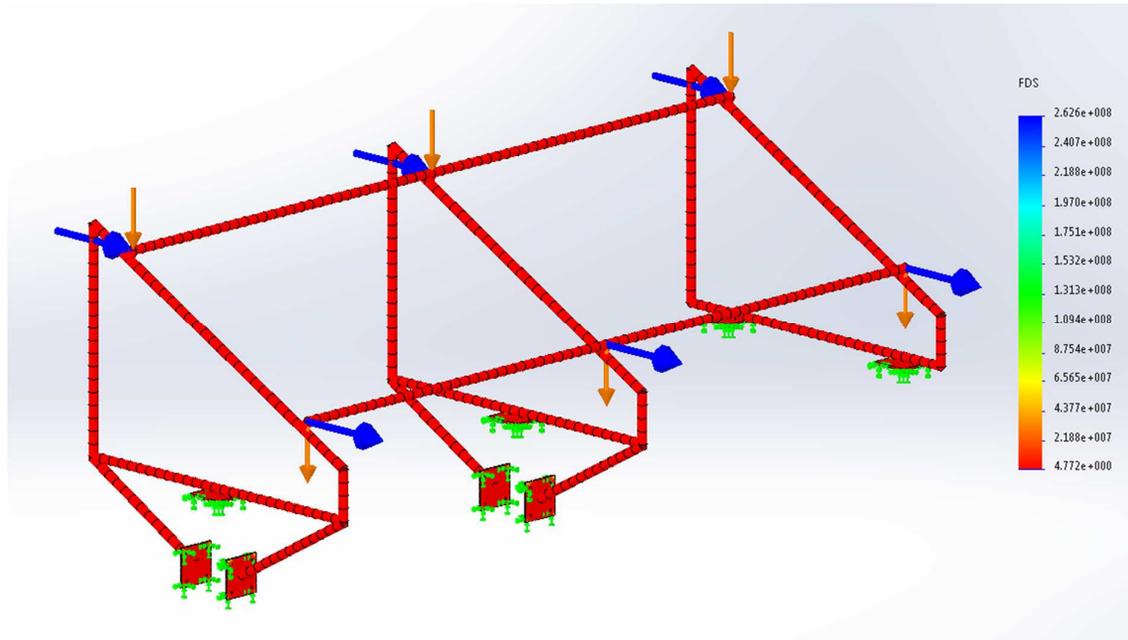


Figura 3.28. Factor de seguridad en los miembros estructurales

Los planos de la estructura se encuentran en el Anexo 5.

3.12.3 Resultado del análisis estático

Se observó que el máximo esfuerzo encontrado fue de $384,7 \text{ kg/cm}^2$, el cual es inferior al esfuerzo admisible del material de $1835,5 \text{ kg/cm}^2$. En cuanto al factor de seguridad se encuentra que el mínimo valor obtenido es de 4,77 por lo que se concluye que la estructura no presentará riesgos de estabilidad para las solicitaciones que fue sometida.

En la Fig. 3.29 se muestra el montaje de la estructura con los paneles sobre el techo del laboratorio del CIDEME.



Figura 3.29. Montaje de la estructura de los paneles solares

3.13 Cálculo estructura aerogenerador

3.13.1 Cálculo de las solicitaciones de la estructura

El diseño de la estructura se realizó mediante el programa SolidWorks Académico, para ello se necesitó como datos de partida las solicitaciones a las que iba a estar sometida la misma. Se tuvieron en cuenta el peso del aerogenerador y la fuerza realizada por el viento sobre el soporte del mismo.

El valor de la presión que ejerce el viento sobre el soporte se obtiene de la especificación técnica de EPEC ET 1003, la cual establece que para superficies cilíndricas se utilice el valor de 59 kg/m^2 , el cual corresponde a una velocidad de viento de 120 km/h .

- *Cálculo de la fuerza del viento*

$$F_v = p \times l_s \times d_s = 59 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \times 1,5 \text{ m} \times 0,0381 \text{ m} = 3.37 \text{ kg}$$

Donde:

- F_v : Fuerza del viento
- p : Presión del viento para áreas cilíndricas
- l_n : Longitud del soporte
- d_s : Diámetro del soporte

- *Peso total del aerogenerador*

$$P_a = 25 \text{ kg}$$

Donde:

- P_a : Peso total del aerogenerador

3.13.2 Análisis estático de la estructura

Las características del material utilizado se detallan en la tabla 3.9.

Tabla 3.9 Características del material

Designación	SAE 1010
Módulo de la elasticidad	2039420 kg/cm^2
Límite elástico	1835,5 kg/cm^2
Módulo cortante	815768 kg/cm^2
Densidad de masa	0,00787 kg/cm^3

Se procedió a modelar la estructura que soporta el aerogenerador y luego se realizó una simulación de los esfuerzos a los que se encuentra sometida bajo las solicitaciones calculadas. La Fig. 3.30 y Fig. 3.31 muestran la tensión y factor de seguridad, respectivamente, a la que se encuentran sometido el soporte del aerogenerador.

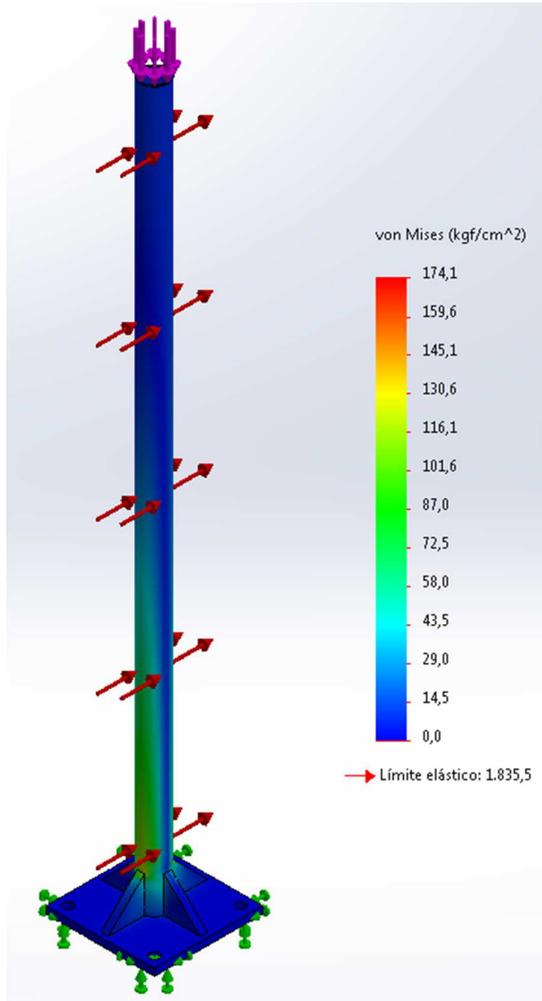


Figura 3.30. Esfuerzo sobre el soporte en kg/cm²

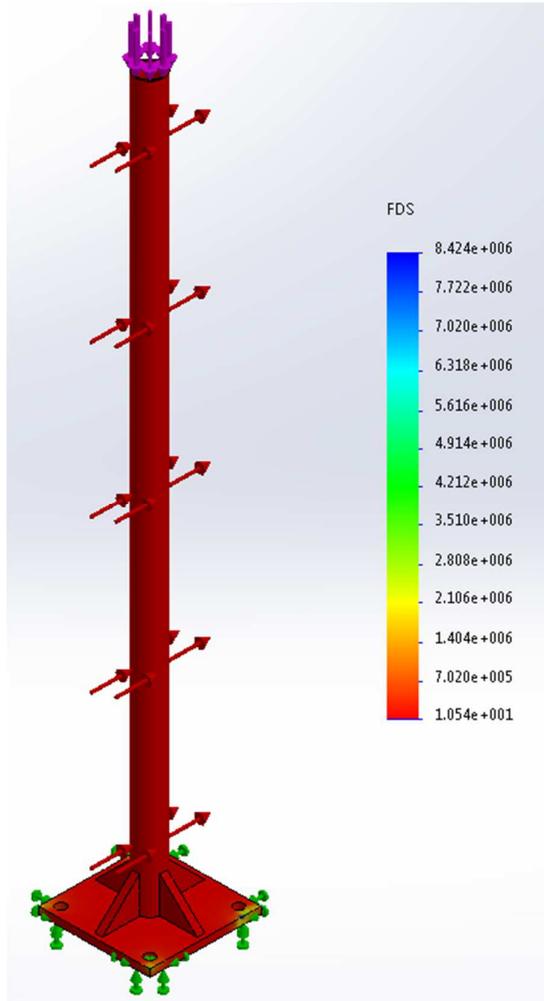


Figura 3.31. Factor de seguridad en el soporte

El plano de la estructura se encuentra en el Anexo 5.

3.13.3 Resultado del análisis estático

Se observó que el máximo esfuerzo encontrado fue de 174,1 kg/cm², el cual es inferior al esfuerzo admisible del material de 1835,5 kg/cm². En cuanto al factor de seguridad se encuentra que el mínimo valor obtenido es de 10,5 por lo que se concluye que la estructura no presentará riesgos de estabilidad para las solicitaciones que fue sometida.

3.14 Montaje paneles solares y aerogenerador

En la Fig. 3.32 se muestra el montaje final de la estructura de los paneles solares y el aerogenerador en su ubicación final.

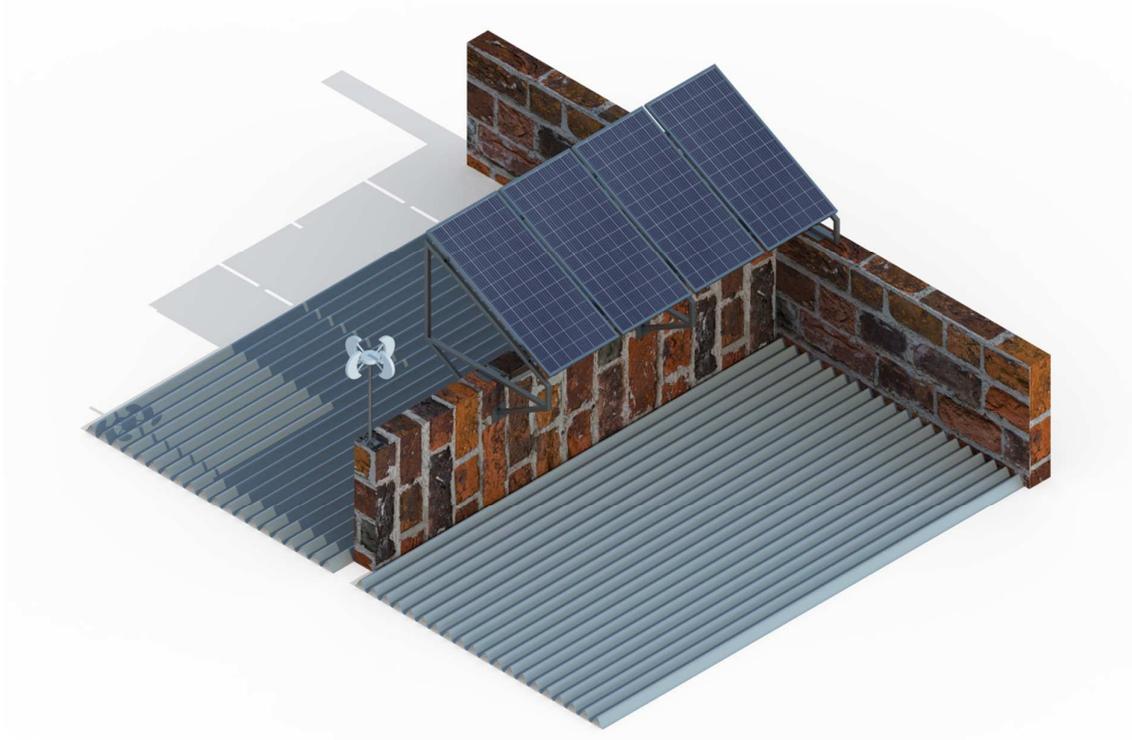


Figura 3.32. Montaje final de los paneles y el aerogenerador

Esta ilustración se presenta con más detalle en el Anexo 5.

Capítulo 4 ESTUDIO ECONÓMICO

4.1 Precio de la energía

Analizando los datos de las tarifas de EPEC desde el período del 01/08/2019 para CATEGORÍA N°3: GRANDES CONSUMIDORES, se observó que el valor de la energía se mantiene constante tanto para usuario consumidor, como para usuario generador. En la tabla 4.1 se expresa el precio del kW·h de energía consumida o inyectada para los distintos horarios del día y del último cuadro tarifario que entró en vigencia el 01/01/2020.

Tabla 4.1 Cuadro tarifario EPEC al 01/01/2020
(Fuente: EPEC)

CUADRO TARIFARIO EPEC AL 01/01/2020		
Rango horario	Consumidor	Generador
Pico	\$ 2,56011	\$ 2,18600
Valle	\$ 2,34128	\$ 1,99200
Resto	\$ 2,45069	\$ 2,08900

Si bien el aerogenerador generaría energía en todo el rango horario, los paneles fotovoltaicos se encuentran generando solamente en horario “Resto”. Al tratarse de un sistema mixto y por cuestiones de simplicidad de cálculo, y debido a que los valores se encuentran muy próximos entre sí, se optó por utilizar el valor promedio para los distintos rangos horarios, tanto en generación como en consumo.

El valor del precio de la energía que se utilizará es de \$ 2,26984.

Si bien el punto de conexión con la red eléctrica no depende directamente de EPEC, sino que se encuentra dentro del predio de una cooperativa, no se pudo obtener el valor de las tarifas que aplica dicha cooperativa, a tales efectos se utilizaron los precios directamente de EPEC.

4.2 Costos de equipos y materiales

En la Tabla 4.2 se listan los equipos y materiales que se utilizarán en el proyecto junto con los costos asociados a cada detalle.

Tabla 4.2 Costos de equipos y materiales

Descripción	Denominación	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Aerogenerador ENERCOR E-500	unidad	1	\$ 50.000,00	\$ 50.000,00
Bulonería y tornillería en general	kg	3	\$ 500,00	\$ 1.500,00
Caño estructural 40x60x3,20 mm	metro	9	\$ 690,00	\$ 6210,00
Caño estructural 50x50x4 mm	metro	20	\$ 690,00	\$ 13800,00
Conductor 1x(1x25 mm ² + 25 mm ² + 25 mm ²)	metro	6	\$ 450,00	\$ 2700,00
Conductor 2x(4 mm ²)	metro	75	\$ 65,85	\$ 4.939,05
Conector MC4	unidad	4	\$ 165,00	\$ 660,00
Descargador SPW275-12	unidad	6	\$ 2.491,50	\$ 14.949,00
Disyuntor diferencial RDW30-25A-2p	unidad	1	\$ 2.869,00	\$ 2.869,00
Gabinete metálico 400x300x160 mm	unidad	1	\$ 3.371,00	\$ 3.371,00
Gabinete metálico 500x400x210 mm	unidad	1	\$ 5.694,00	\$ 5.694,00
Interruptor automático DWB160N-25A-2p	unidad	1	\$ 11.098,50	\$ 11.098,50
Interruptor automático MDW-C16-16A-4p	unidad	2	\$ 1.434,50	\$ 2.869,00
Inversor Growatt 4200MTL-S	unidad	1	\$ 93.433,00	\$ 93.433,00
Panel fotovoltaico AstroSemi CHSM72M-HC	unidad	4	\$ 15.900,00	\$ 63.600,00
Redondo Ø 1 ^{1/4} "	metro	2	\$ 265,00	\$ 530,00
Zapata 200x200x10 mm	unidad	8	\$ 521,00	\$ 4168,00
TOTAL				\$ 282.390,55

4.3 Flujo de fondos

En la tabla se presenta el flujo de fondos del proyecto.

Se utiliza el tipo de cambio hasta la fecha 24/07/2020 de ARS \$ 75 por cada dólar estadounidense.

Se considera una tasa de descuento de 12 % anual.

A fin de simplificar los cálculos, se considera invariable el costo de la energía y la generación anual, cuando en realidad existe un ligero decaimiento gradual en la generación del sistema fotovoltaico.

<i>Período de tiempo</i>	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7
<i>Costo de la energía (ARS\$/kWh)</i>		2,26984	2,26984	2,26984	2,26984	2,26984	2,26984	2,26984
<i>Energía generada por año (kWh/Año)</i>		4764,4	4764,4	4764,4	4764,4	4764,4	4764,4	4764,4
<i>Ahorro por energía no consumida</i>		10814	10814	10814	10814	10814	10814	10814
<i>Equipos + Materiales</i>	-282390							
<i>Mano de obra contratada</i>	-56478							
<i>Honorarios legales y profesionales</i>	-56478							
<i>Sellado de conexión a red</i>	-33000							
FLUJO DE FONDOS DEL PROYECTO	-428346	10814	10814	10814	10814	10814	10814	10814
FLUJO DE FONDOS A VALOR ACTUAL	-428346	9656	8621	7697	6873	6136	5479	4892
FLUJO DE FONDOS ACUMULADO	-428346	-418690	-410069	-402372	-395499	-389362	-383883	-378992

<i>Período de tiempo</i>	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15
<i>Costo de la energía (ARS\$/kWh)</i>	2,26984	2,26984	2,26984	2,26984	2,26984	2,26984	2,26984	2,26984
<i>Energía generada por año (kWh/Año)</i>	4764,4	4764,4	4764,4	4764,4	4764,4	4764,4	4764,4	4764,4
<i>Ahorro por energía no consumida</i>	10814	10814	10814	10814	10814	10814	10814	10814
<i>Equipos + Materiales</i>								
<i>Mano de obra contratada</i>								
<i>Honorarios legales y profesionales</i>								
<i>Sellado de conexión a red</i>								
FLUJO DE FONDOS DEL PROYECTO	10814	10814	10814	10814	10814	10814	10814	10814
FLUJO DE FONDOS A VALOR ACTUAL	4368	3900	3482	3109	2776	2478	2213	1976
FLUJO DE FONDOS ACUMULADO	-374624	-370724	-367242	-364133	-361357	-358879	-356666	-354690

<i>Período de tiempo</i>	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20	Año 21	Año 22	Año 23
<i>Costo de la energía (ARS\$/kWh)</i>	2,26984	2,26984	2,26984	2,26984	2,26984	2,26984	2,26984	2,26984
<i>Energía generada por año (kWh/Año)</i>	4764,4	4764,4	4764,4	4764,4	4764,4	4764,4	4764,4	4764,4
<i>Ahorro por energía no consumida</i>	10814	10814	10814	10814	10814	10814	10814	10814
<i>Equipos + Materiales</i>								
<i>Mano de obra contratada</i>								
<i>Honorarios legales y profesionales</i>								
<i>Sellado de conexión a red</i>								
FLUJO DE FONDOS DEL PROYECTO	10814	10814	10814	10814	10814	10814	10814	10814
FLUJO DE FONDOS A VALOR ACTUAL	1764	1575	1406	1256	1121	1001	894	798
FLUJO DE FONDOS ACUMULADO	-352926	-351351	-349945	-348689	-347568	-346567	-345674	-344876

<i>Período de tiempo</i>	Año 24	Año 25
<i>Costo de la energía (ARS\$/kWh)</i>	2,26984	2,26984
<i>Energía generada por año (kWh/Año)</i>	4764,4	4764,4
<i>Ahorro por energía no consumida</i>	10814	10814
<i>Equipos + Materiales</i>		
<i>Mano de obra contratada</i>		
<i>Honorarios legales y profesionales</i>		
<i>Sellado de conexión a red</i>		
FLUJO DE FONDOS DEL PROYECTO	10814	10814
FLUJO DE FONDOS A VALOR ACTUAL	712	636
FLUJO DE FONDOS ACUMULADO	-344163	-343527

Capítulo 5 ESTUDIO FINANCIERO

5.1 Valor Actual Neto (VAN)

Para conocer cuánto se ganará o perderá con este proyecto se recurre a calcular el Valor Actual Neto. Se considera una tasa de descuento del 12 % anual y un período de 25 años.

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{FF_t}{(1+i)^t} = \$ - 343.527$$

5.2 Tasa de Interés de Retorno (TIR)

Para conocer la tasa de interés o rentabilidad que ofrece el proyecto recurrimos al cálculo de la Tasa Interna de Retorno que sería la condición cuando el VAN es cero.

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{FF_t}{(1+TIR)^t} = 0$$

$$TIR = - 3,27 \%$$

En este proyecto la TIR es negativo, por lo que no se obtiene retorno por la inversión realizada.

5.3 Período de recuperación (Pay Back)

En este proyecto no hay ningún período en el que se recupere el dinero invertido.

5.4 Retorno de la Inversión (ROI)

$$ROI = \frac{(\text{Beneficio} - \text{Inversión})}{\text{Inversión}} * 100 \% = - 80,2 \%$$

Capítulo 6 EVALUACIÓN DEL PROYECTO

6.1 Evaluación del VAN

$VAN > 0$: El proyecto generará Beneficios.

$VAN = 0$: El proyecto de inversión no generará ni beneficios ni pérdidas, siendo su realización, en principio, indiferente.

$VAN < 0$: El proyecto de inversión generará pérdidas, por lo que deberá ser rechazado.

Para nuestro proyecto se obtuvo un VAN menor que cero.

6.2 Evaluación de la TIR

$TIR > \text{Tasa de descuento}$: El proyecto es rentable.

$TIR = \text{Tasa de descuento}$: El proyecto de inversión no generará ni beneficios ni pérdidas, siendo su realización, en principio, indiferente.

$TIR < \text{Tasa de descuento}$: El proyecto no alcanza la rentabilidad mínima que se espera de la inversión, por lo que deberá ser rechazado.

6.3 Evaluación de Pay Back

Como condición límite, se pretende que el período de recuperación del capital invertido sea menor que la vida útil del proyecto.

En este proyecto no existe reintegro de dinero a lo largo de la vida útil del proyecto, por lo que en ningún momento se recuperará el capital invertido.

6.4 Evaluación de ROI

El retorno sobre la inversión es negativo, por lo que el proyecto no recuperará el capital invertido.

Capítulo 7

DECISIÓN DEL PROYECTO

Una vez concluida la evaluación del proyecto tal como se realizó en el capítulo 6, y viendo que los distintos indicadores financieros utilizados son desfavorables, y si bien se puede obtener una mejoría de dichos indicadores debido a los beneficios fiscales que fomenta el estado, se estima que su impacto en el resultado económico no sería apreciable, por este motivo se decide que la realización del proyecto no es rentable económicamente.

La situación económica que se está atravesando no permite la obtención de créditos con una conveniente tasa de interés. A esto se le suma el alto costo que poseen los equipos utilizados y el bajo costo que tiene la energía en el país, respecto del resto del mundo.

Por otra parte, desde el punto de vista académico, es una oportunidad importante para realizar estudios y pruebas a este tipo de tecnología y fomentar la divulgación científica, permitiendo a investigadores, docentes y alumnos la obtención de información propia de la zona.

Se suma, además, el posible interés de la empresa WEG Equipamientos Eléctricos dados los beneficios promocionales que se obtendrán debido a que la empresa comercializa productos de estas características también. Por lo que en el marco del convenio vigente de cooperación y asistencia entre UTN Facultad Regional San Francisco y WEE, se piensa ofrecer la posibilidad de implementar y mantener el proyecto por parte de personal de UTN, contando con el apoyo y la cooperación en el financiamiento de parte de la empresa.

Si bien en la actualidad económicamente no es rentable, se obtienen importantes beneficios para las partes involucradas lo que hace que el proyecto se pueda llevar a cabo.

Referencias

- Carta González, J. A., Calero Pérez, R., Colmena Santos, A., Castro Gil, M. A. (2009).
Centrales de energías renovables: generación eléctrica con energías renovables.
- Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico (CAMMESA). <https://portalweb.cammesa.com/default.aspx>
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC).
<https://unfccc.int/es>
- Cuadro tarifario EPEC (2020) “Tarifa N° 3. Grandes Consumidores: Usuario consumidor”.
https://www.epec.com.ar/docs/cuadro-tarifario/tarifa_n3c2020010_1.pdf
- Cuadro tarifario EPEC (2020) “Tarifa N° 3. Grandes Consumidores: Usuario generador”.
https://www.epec.com.ar/docs/cuadro-tarifario/tarifa_n3g201910.pdf
- Disposición 97 (2019). <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/disposicion-97-2019-327224/texto>
- ENERTIK - <https://enertik.com.ar/index>
- Especificación técnica de EPEC ET 1003 (1997). “Líneas aéreas de alta tensión”
- Especificación técnica de EPEC ET 1020 (1973). “Sistemas de medición para usuarios del servicio eléctrico, en BT, MT y AT”
- Global Solar Atlas 2.0. <https://globalsolaratlas.info/download/argentina>
- Global Solar Atlas. <https://globalsolaratlas.info/map>
- <https://ministeriodeserviciospublicos.cba.gov.ar/energias-renovables/generacion-distribuida/beneficios/>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) - <https://www.ipcc.ch/>
- International Energy Agency (IEA). [https://www.iea.org/data-and-statistics/?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=Total%20primary%20energy%20supply%20\(TPES\)%20by%20source](https://www.iea.org/data-and-statistics/?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=Total%20primary%20energy%20supply%20(TPES)%20by%20source)
- International Energy Agency (IEA). <https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=CO2%20emissions&indicator=CO2%20emissions%20by%20energy%20source>
- International Energy Agency (IEA). <https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=CO2%20emissions&indicator=CO2%20emissions%20by%20sector>
- International Energy Agency (IEA). <https://www.iea.org/reports/global-energy-co2-status-report-2019>

- International Renewable Energy Agency (IRENA) - <https://www.irena.org/>
- Ley nro. 10604 (2018). “Adhesión a la ley nacional nro. 27424”
- Ley nro. 26190 (2006). “Régimen de fomento nacional para el uso de fuentes renovables de energía destinada a la producción de energía eléctrica”
- Ley nro. 27191 (2015): Modificaciones a la ley 26190, “Régimen de fomento nacional para el uso de fuentes renovables de energía destinada a la producción de energía eléctrica”
- Ley nro. 27424 (2017). “Régimen de fomento a la generación distribuida de energía renovable integrada a la red eléctrica pública”
- Metz-Noblat B., Dumas F., Thomasset G. (2000). Cuaderno Técnico n° 158: Cálculo de corrientes de cortocircuito. Schneider Electric.
- NASA Prediction of Worldwide Energy Resources. The Power Project.
<https://power.larc.nasa.gov/#dataaccess>
- Norma AEA 90364-7-771 (2006). “Reglas particulares para la ejecución de instalaciones eléctricas en inmuebles. Viviendas, Oficinas y Locales (Unitarios)”.
- Sapag Chain, N., Sapag Chain, R. (1995). Preparación y Evaluación de Proyectos.
- Sistema de Información Geográfico. Mapa Eólico Nacional (SIG Eólico).
<https://sigeolico.energia.gob.ar/>
- SunCalc. <https://www.suncalc.org/>
- U.S Department of Energy. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy.
<https://www.energy.gov/eere/office-energy-efficiency-renewable-energy>

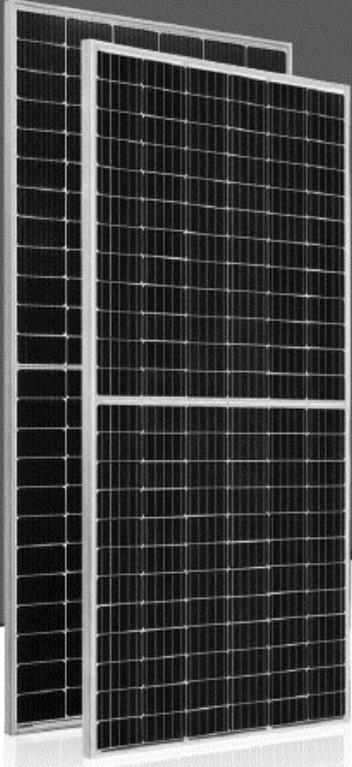
Anexo

Anexo 1

Especificaciones técnicas de panel fotovoltaico

AstroSemi™

Incredible Power for Small Body



Multi-Busbar Module could be the option

375W~395W

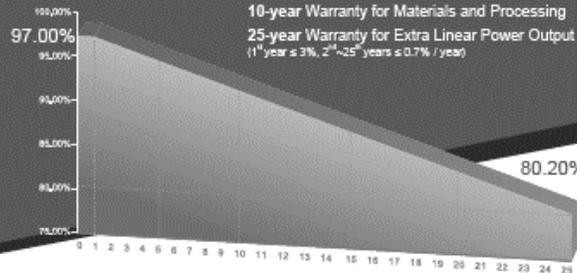
Monocrystalline PV Module
CHSM72M-HC Series

Tier 1
Bloomberg

No.1
PHOTON

Unlabeled by
International Trade

DNV GL
2018 TOP
Performance



10-year Warranty for Materials and Processing
25-year Warranty for Extra Linear Power Output
(1st year ≤ 3%, 2nd-25th years ≤ 0.7% / year)

KEY FEATURES

- +5W

OUTPUT POSITIVE TOLERANCE

Guaranteed 0~+5W positive tolerance ensures power output reliability.
- INNOVATIONAL HALF-CELL TECHNOLOGY

Improves the module output, decreases the risk of micro-crack, enhances the module reliability.
- INNOVATIVE PERC CELL TECHNOLOGY

Excellent cell efficiency and output.
- REDUCE SHADOW LOSS

Effectively reduces the effect of shadow on the module surface.
- REDUCE INTERNAL MISMATCH LOSS

Reduces mismatch loss and improves output.
- PASSED HAIL TEST

Certified to hail resistance: ice ball size (d=45mm) and ice ball velocity (v=30.7m/s).
- Anti
PID

PID RESISTANCE

Excellent PID resistance at 96 hours (@85°C /85%) test, and also can be improved to meet higher standards for the particularly harsh environment.

COMPREHENSIVE CERTIFICATES

First solar company which passed the TUV Nord IEC/TS 62941 certification audit.

For Global Market

ASTROENERGY
A CHINT COMPANY

Figura A1.1 Especificaciones técnicas panel fotovoltaico. Hoja 1

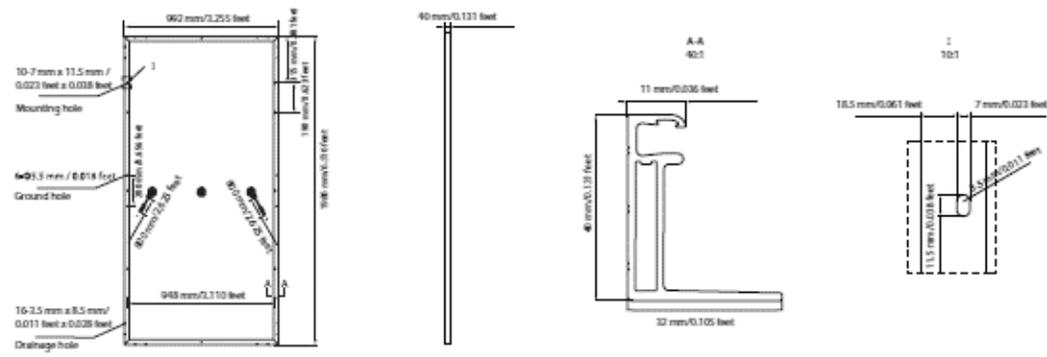
ELECTRICAL SPECIFICATIONS					
STC rated output (P_{mp})*	375 Wp	380 Wp	385 Wp	390 Wp	395 Wp
Rated voltage (V_{mp}) at STC	39.94 V	40.26 V	40.58 V	40.81 V	41.07 V
Rated current (I_{mp}) at STC	9.39 A	9.44 A	9.49 A	9.56 A	9.62 A
Open circuit voltage (V_{oc}) at STC	47.89 V	48.18 V	48.47 V	48.70 V	48.98 V
Short circuit current (I_{sc}) at STC	9.88 A	9.95 A	10.02 A	10.10 A	10.17 A
Module efficiency	19.0%	19.3%	19.5%	19.8%	20.0%
Rated output (P_{mp}) at NOCT	278.8 Wp	282.5 Wp	286.2 Wp	289.9 Wp	293.6 Wp
Rated voltage (V_{mp}) at NOCT	37.08 V	37.37 V	37.67 V	37.88 V	38.12 V
Rated current (I_{mp}) at NOCT	7.52 A	7.56 A	7.60 A	7.65 A	7.70 A
Open circuit voltage (V_{oc}) at NOCT	44.85 V	45.12 V	45.39 V	45.61 V	45.87 V
Short circuit current (I_{sc}) at NOCT	7.96 A	8.02 A	8.07 A	8.14 A	8.19 A
Temperature coefficient (P_{mp})		- 0.3528%/°C			
Temperature coefficient (I_{sc})		+0.0400%/°C			
Temperature coefficient (V_{oc})		- 0.2769%/°C			
Normal operating cell temperature (NOCT)		44±2°C			
Maximum system voltage (IEC/UL)		1500V _{DC}			
Number of diodes		3			
Junction box IP rating		IP 67			
Maximum series fuse rating		20 A			

* Measurement tolerance +/- 3%
STC: Irradiance 1000W/m², Cell Temperature 25°C, AM-1.5
NOCT: Irradiance 800W/m², Ambient Temperature 20°C, AM-1.5, Wind Speed 1m/s

MECHANICAL SPECIFICATIONS	
Outer dimensions (L x W x H)	1986 x 992 x 40 mm 78.19 x 39.06 x 1.57 in
Frame technology	Aluminum, silver anodized
Module composition	Glass / EVA / Backsheet (white)
Front glass thickness	3.2 mm / 0.13 in
Cable length (IEC/UL)	Portrait: 800 mm (31.50 in) Landscape: 1200 mm (47.24 in)
Cable diameter (IEC/UL)	4 mm ² / 12 AWG
Maximum mechanical test load	6000 Pa (front) / 3600 Pa (back)
Fire performance (IEC/UL)	Class C (IEC) or Type 1 (UL)
Connector type (IEC/UL)	MC4 compatible

Refer to Astronomy crystalline installation manual or contact technical department.
Maximum Mechanical Test Load=1.5*Maximum Mechanical Design Load.

MODULE DIMENSION DETAILS



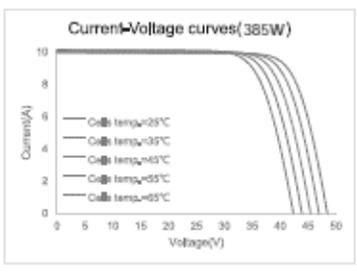
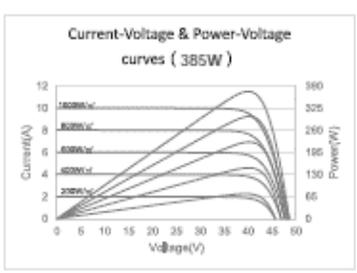
© Chint Solar (Zhejiang) Co., Ltd. Reserves the right of final interpretation, please contact our company to use the latest version for contract.

http://energy.chint.com

Astronomy 05-2019

Figura A1.2 Especificaciones técnicas panel fotovoltaico. Hoja 2

CURVE



PACKING SPECIFICATIONS

Weight (module only)	22.2 kg / 48.94 lbs
Packing unit	27 pcs / box
Weight of packing unit (for 40'HQ container)	645 kg / 1422 lbs
Number of modules per 40'HQ container	594 pcs

Tolerance +/- 1.0kg
Subject to sales contract

Especificaciones técnicas del aerogenerador

	E-500
POTENCIA	500 W
DIMENSIONES	
Alto (mm.)	600
Diámetro (mm.)	1.100
Número de aspas	4
Peso (Kg.)	25
GENERACIÓN	
Vel. arranque (Km/h.)	5
Vel. operación (Km/h.)	40
Vel. terminal (Km/h.)	160
RPM Generador	200
GENERADOR	
Tipo	Trifásico
Voltaje (v.)	
Garantía	**Indefinida
Mástil soporte regulador	Si
Regulador - Híbrido	Si 800 W.

Figura A1.3 Especificaciones técnicas aerogenerador

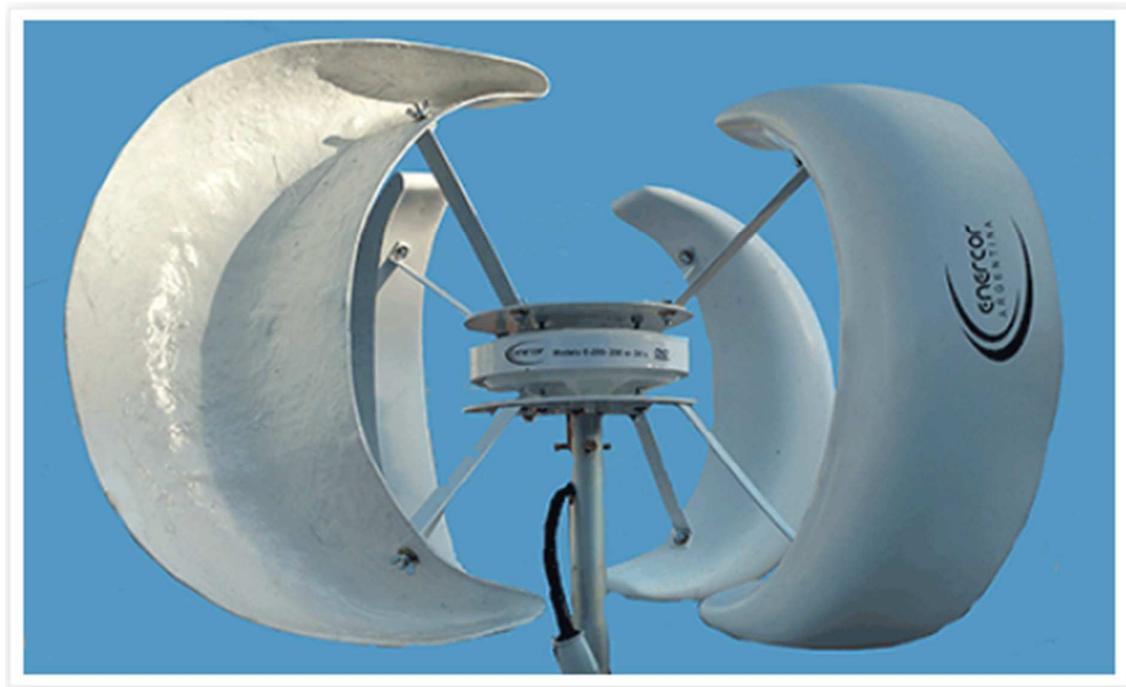


Figura A1.4 Forma constructiva del aerogenerador

Anexo 2

Modelado curva de generación fotovoltaica

Se procedió a encontrar un modelo matemático que mejor se ajuste a la curva de potencia generada por una instalación fotovoltaica. Para ello el grupo GISEner de la UTN Facultad Regional San Francisco brindó los datos recolectados por los instrumentos de monitoreo de su instalación fotovoltaica referidos al día 01/02/2020. Cabe mencionar que dicho día estuvo totalmente despejado. El ajuste se realizó mediante un programa de análisis numérico.

Se encontró que un ajuste parabólico de la forma ax^2+bx+c presenta un coeficiente de determinación R^2 de 0,95, lo cual se considera suficiente para la exactitud de nuestras estimaciones de cálculos. En la figura A2.1 se observa el ajuste realizado.

El ajuste realizado corresponde a condiciones climatológicas sin nubosidad ni llovizna.

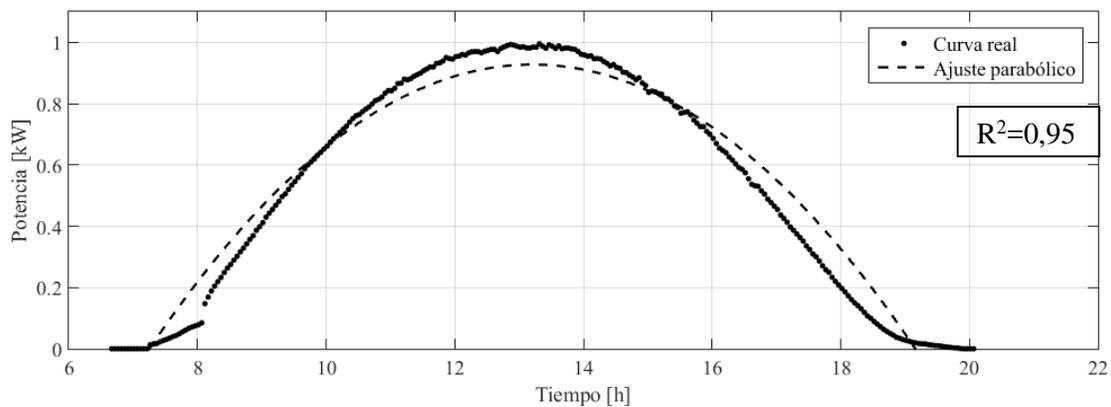


Figura A2.1. Ajuste parabólico de la potencia generada a lo largo del día 01/02/2020 por la planta piloto de generación fotovoltaica de la UTN Facultad Regional San Francisco

Anexo 3

Especificaciones técnicas del inversor

Modelo	GROWATT 4200MTL-S
Especificaciones eléctricas	
Potencia máxima	5600W
Voltaje máximo	550V
Voltaje de encendido	100V
Voltaje nominal	360V
Corriente máxima	15A
Cantidad de MPPT / conexiones p/MPPT	2/1
Rango de voltaje de MPPT	80~550V
Salida (CA)	
Potencia nominal CA	4200W
Potencia máxima aparente CA	4200VA
Corriente máxima CA	19A
Voltaje nominal // rango	220V
Frecuencia de red AC / rango	50Hz
Factor de potencia (coseno de ϕ)	0.85
Distorsión armónica total	< 3%
Tipo de conexión	Monofásico
Eficiencia	
Eficiencia máxima	97.9%
Eficiencia Euro	97.4%
Eficiencia MPPT	99.5%
Datos generales	
Dimensiones (mm)	355 x 419 x 138
Peso neto (kg)	14
Temperatura de operación	-25°C ~ +60°C
Protección para intemperie	IP65
Topología	sin transformador
Consumo interno nocturno	< 0.5W
Sistema de ventilación	convencional
Ruido	≤ 25 dBA
Pantalla LCD	LCD

Figura A3.1 Especificaciones técnicas del inversor

Anexo 4

Plano eléctrico

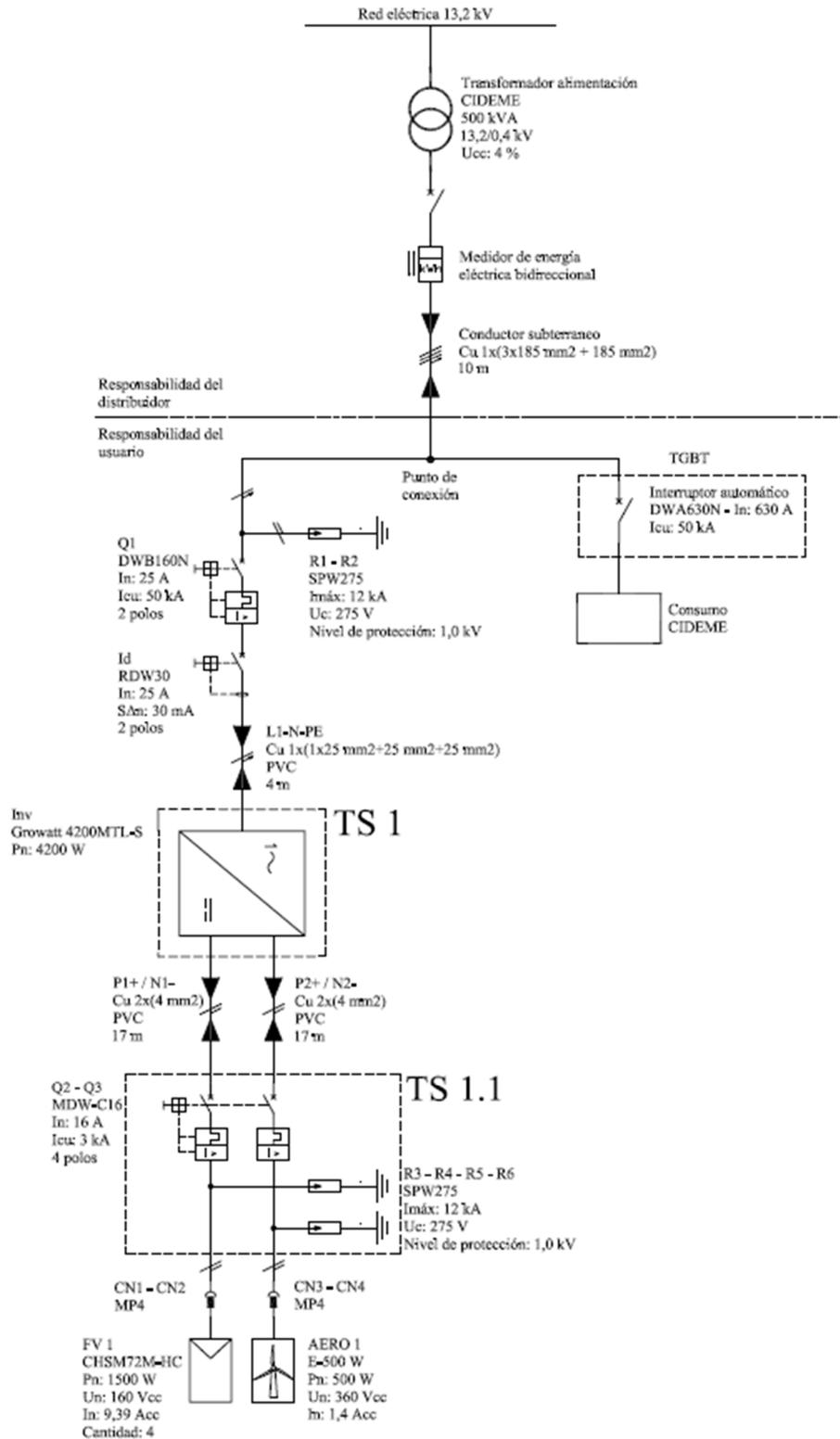


Figura A4.1 Circuito eléctrico de la instalación

Topográfico tablero TS 1

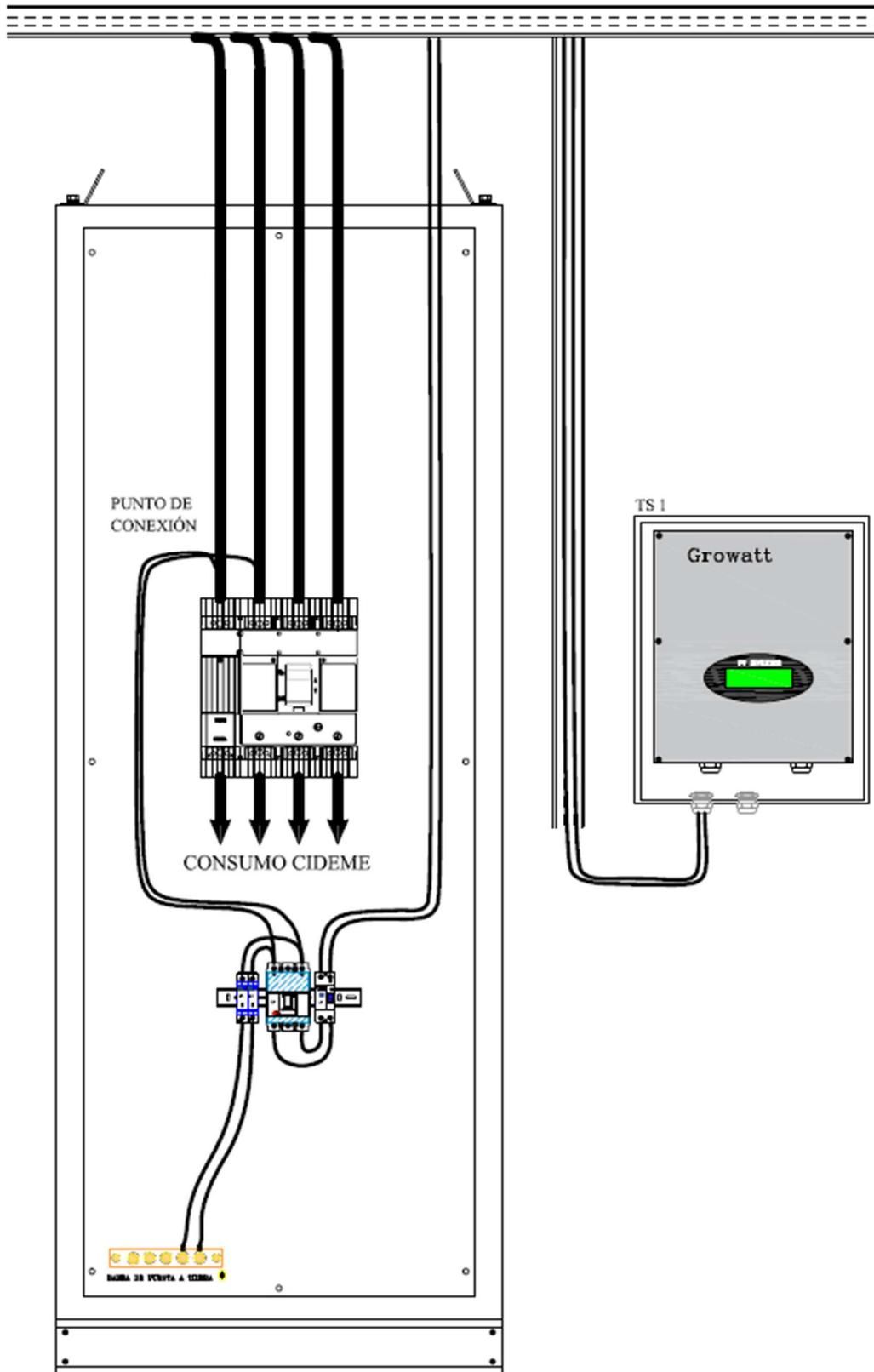


Figura A4.2 Esquema topográfico del tablero TS 1

Topográfico tablero TS 1.1

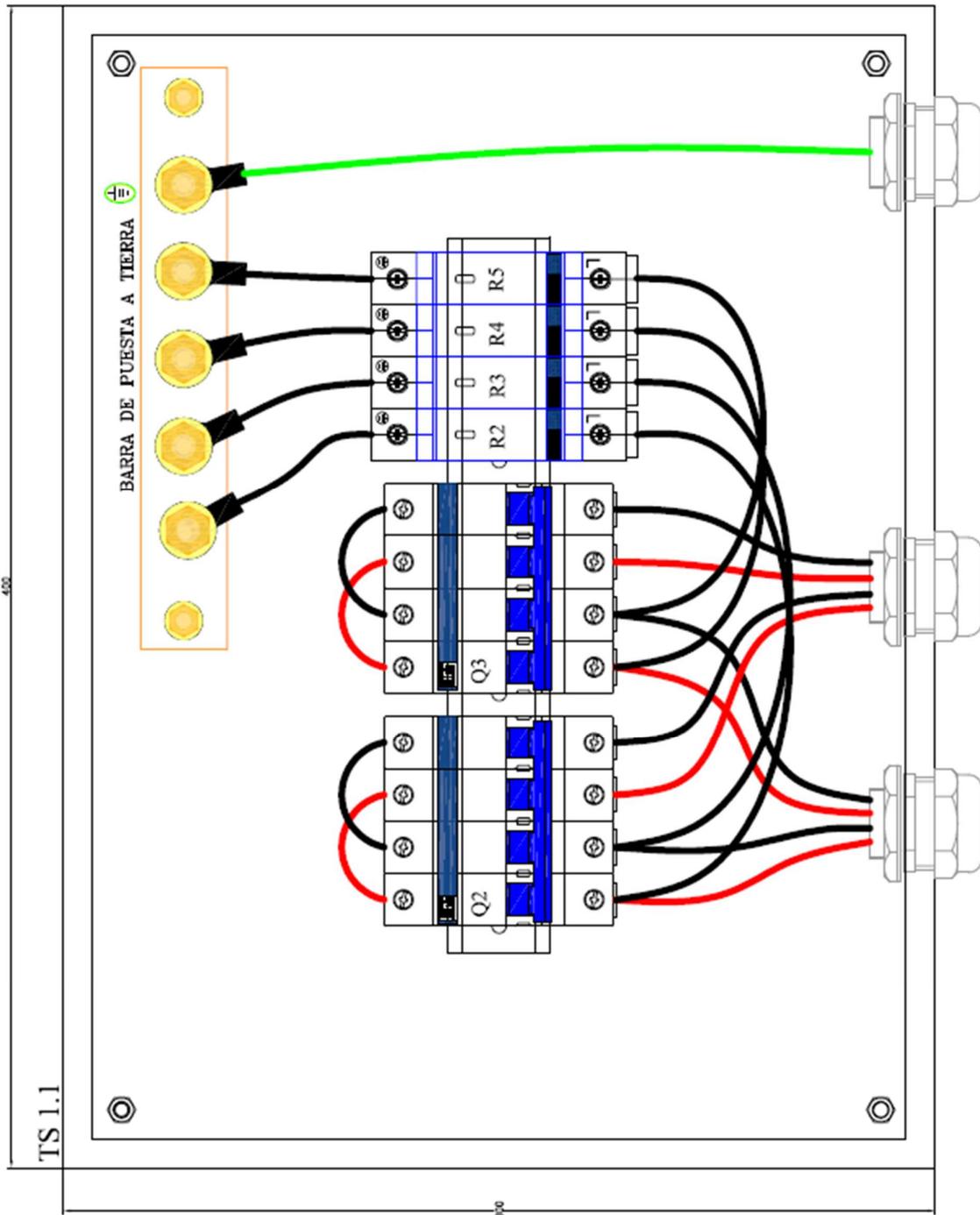


Figura A4.3 Esquema topográfico del tablero TS 1.1

Anexo 5

Plano estructura paneles fotovoltaicos

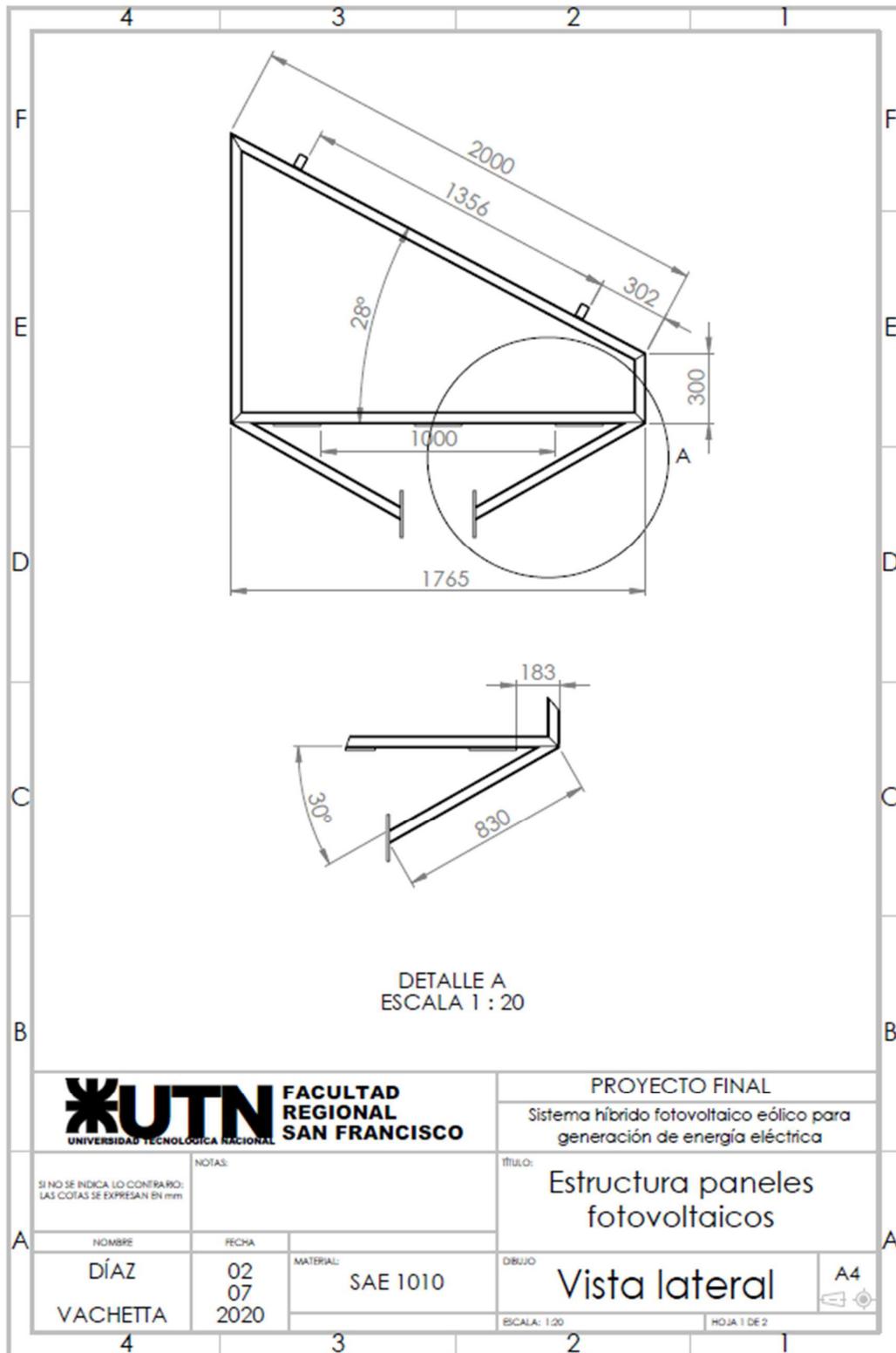


Figura A5.1 Plano estructura paneles. Vista lateral

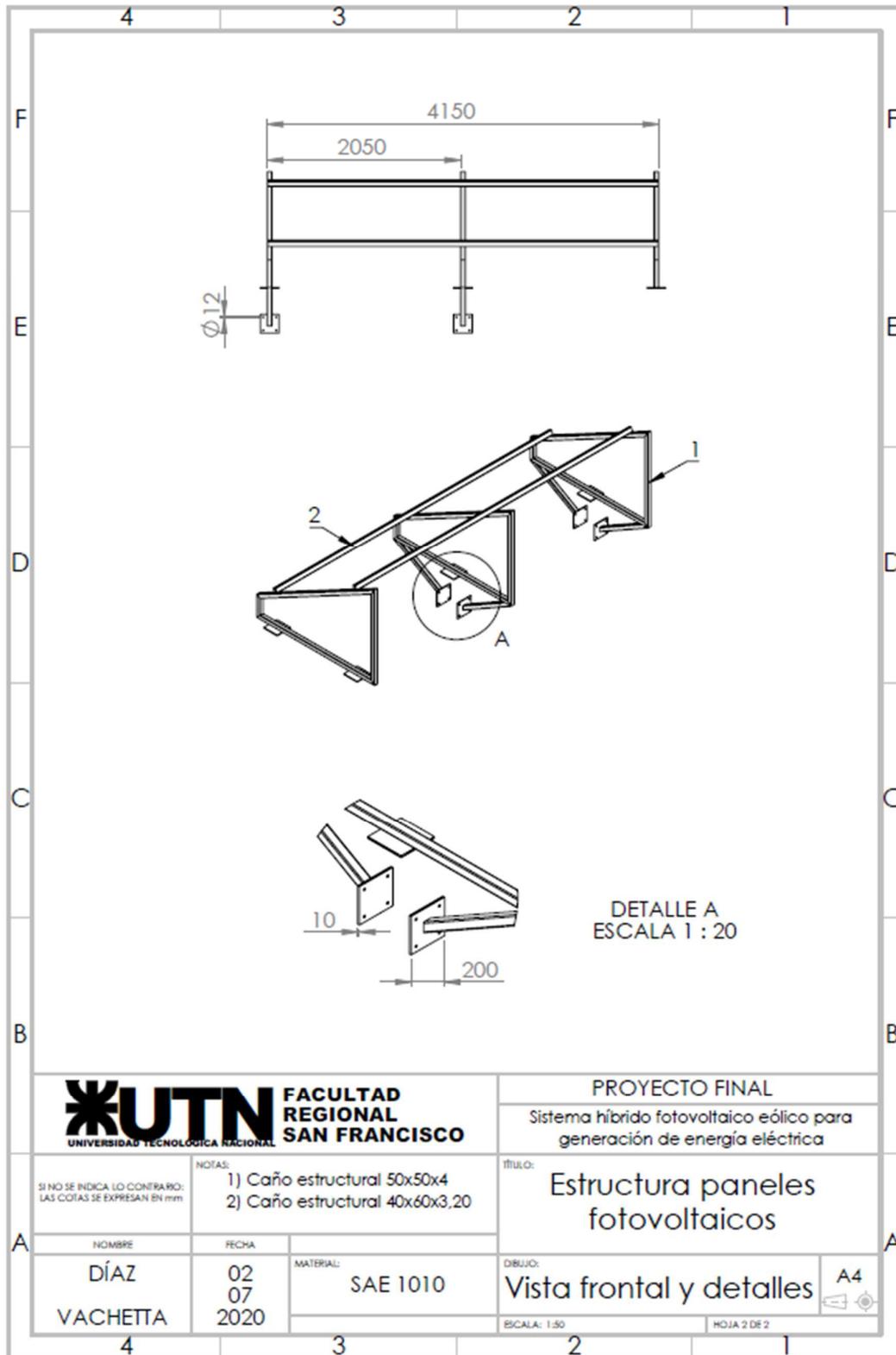


Figura A5.2 Plano estructura paneles. Vista frontal y detalles

Plano base de soporte aerogenerador

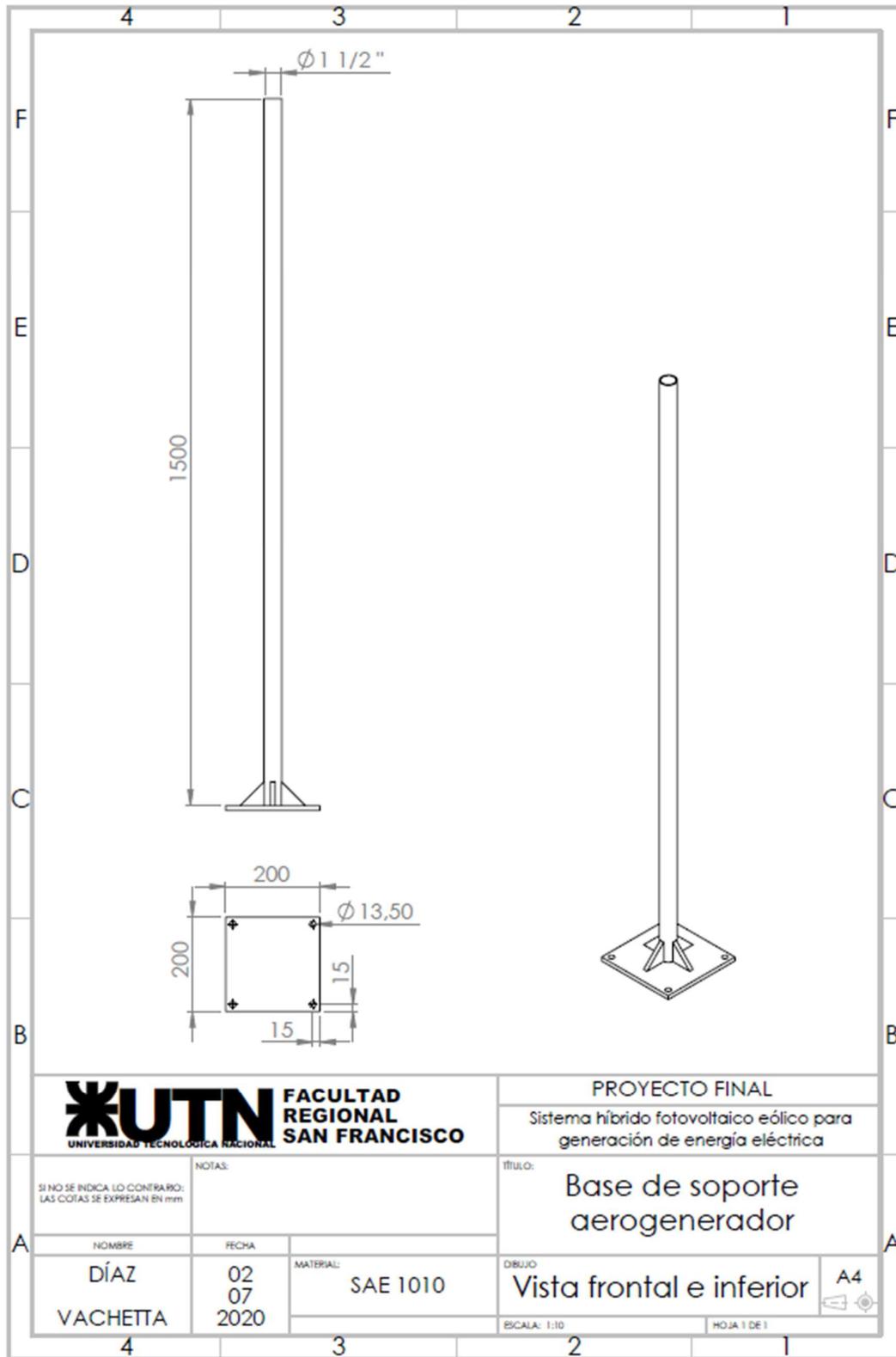


Figura A5.3 Plano estructura aerogenerador. Vista frontal e inferior

Ilustración de montaje final

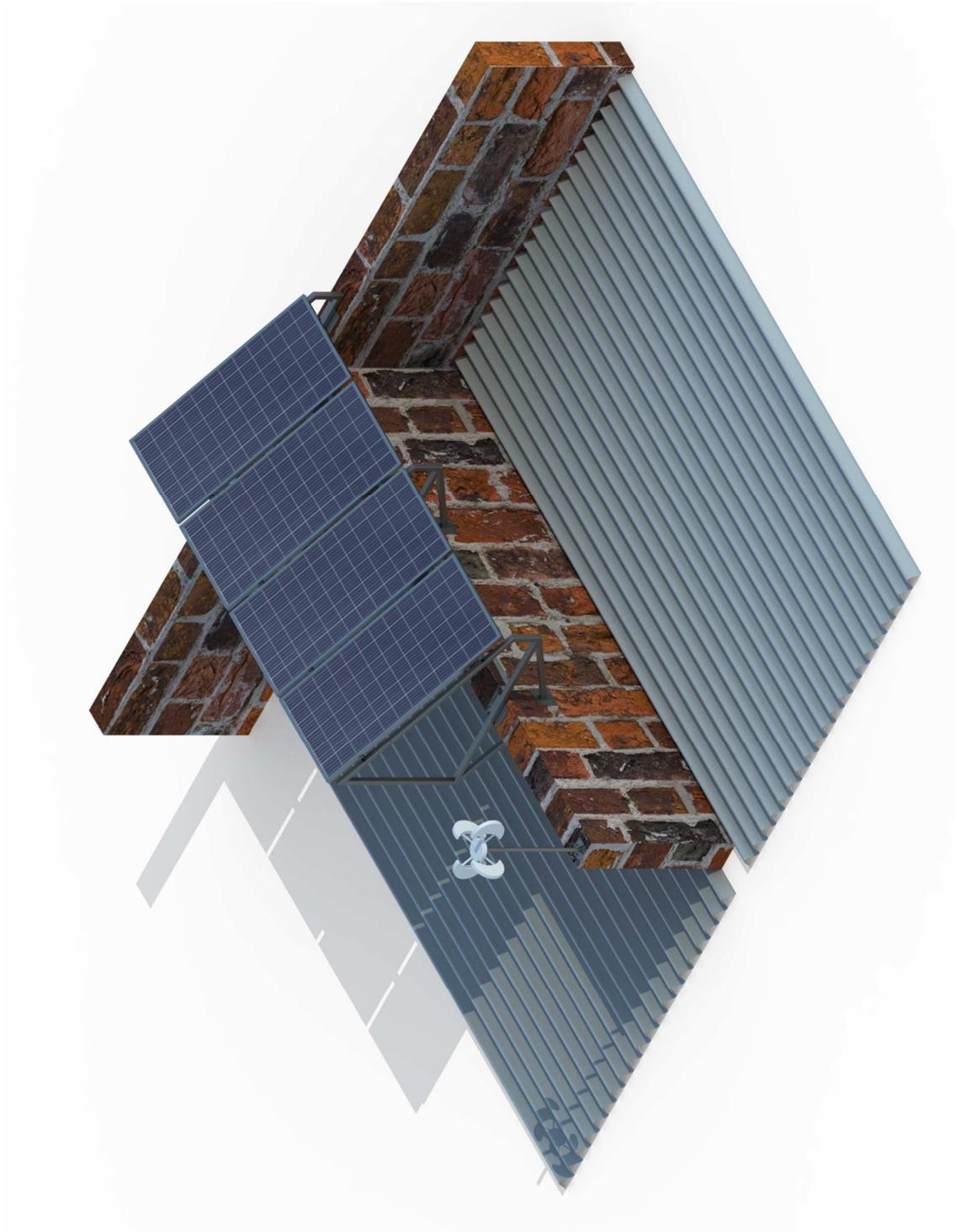


Figura A5.4 Ilustración del montaje final