

PROYECTO DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**ESTUDIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA A
PARTIR DE LA UTILIZACIÓN DE ENERGÍAS
RENOVABLES EN ACOPLADOS MÓVILES**

Sol Micaela Maldonado Betanzo

Mario Valagao Sancho

Docentes Responsables

Dr. Miguel Ángel Mayosky

Mgter. Gerardo Daniel Ahrtz

2019

Departamento de Electrónica

Facultad de Ingeniería

Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco

Comodoro Rivadavia, Chubut, Argentina

Con la colaboración del
Ing. Silvio Maldonado e



*A nuestras familias, que nos apoyaron
durante toda la carrera.*

Debemos ser el cambio
que queremos ver en el mundo.

Mahatma Gandhi

Índice de Contenidos

Índice de Figuras.....	10
Índice de Tablas.....	14
Resumen.....	16
Abstract.....	18
Capítulo 1: Introducción.....	20
1.1 Energías Renovables.....	20
1.2 Energía Solar Fotovoltaica.....	22
1.2.1 Efecto fotovoltaico. Célula fotovoltaica.....	22
1.2.2 El módulo fotovoltaico.....	25
1.2.3 Beneficios de la Energía Solar Fotovoltaica.....	28
1.3 Energía Eólica.....	29
1.3.1 Origen del viento.....	29
1.3.2 Generalidades sobre el viento.....	30
1.3.3 Clasificación de aerogeneradores y sus aplicaciones.....	33
1.4 Motivación del Proyecto.....	35
1.5 Organización del texto.....	36
Capítulo 2: Energía Solar.....	38
2.1 Historia de la Energía Solar.....	38
2.2 Energía Solar: movimiento del Sol y la Tierra.....	39
2.3 Tipos de Paneles Solares.....	41
2.3.1 Ubicación de Paneles Fotovoltaicos Fijos.....	41
2.3.2 Seguidores Solares.....	42
2.3.3 Sistema fijo versus seguidor solar.....	42
2.4 Aprovechamiento de la Energía Solar.....	43
2.5 Elementos de una Instalación Fotovoltaica.....	49
2.6 Cálculo y Diseño de una Instalación Fotovoltaica.....	52
Capítulo 3: Energía Eólica.....	56
3.1 Origen de la Energía Eólica.....	56
3.2 El teorema de Betz.....	57
3.3 Diagrama de Bloques de un Aerogenerador.....	62
3.4 Diseño de una instalación eólica para generación de electricidad.....	64
3.4.1 Potencia suministrada por el viento.....	64
3.4.2 Energía suministrada por el aerogenerador.....	65
Capítulo 4: Mediciones.....	68
4.1 Mediciones de Energía: Analizador de Redes Trifásico.....	68

4.2 Locación utilizada como muestra.....	69
4.3 Datos Medidos.....	71
Capítulo 5: Cálculos y Diseño de la Instalación.....	76
5.1 Consideraciones necesarias para la Instalación.....	76
5.2 Cálculos y diseño de la Instalación Fotovoltaica.....	78
5.2.1 Potencia obtenida – Paneles en Disposición Horizontal.....	79
5.2.2 Potencia obtenida – Paneles con Inclinación de Ángulo Óptimo...	82
5.2.3 Potencia obtenida – Paneles con Seguidores Solares.....	88
5.2.4 Potencia obtenida – Comparación entre casos.....	88
5.2.5 Sistema de ubicación de los Paneles.....	89
5.3 Análisis y selección del Aerogenerador.....	91
5.3.1 Área de estudio seleccionada.....	92
5.3.2 Aerogeneradores Propuestos.....	97
5.3.3 Potencia entregada por los Aerogeneradores.....	101
5.4 Selección de los elementos necesarios para la Instalación.....	104
Capítulo 6: Evaluación Económica y Financiera.....	112
6.1 Introducción.....	112
6.2 Análisis Económico-Contextual.....	112
6.3 Análisis Económico-Financiero.....	116
6.3.1 Análisis de Costos.....	116
6.3.2 TIR, VAN y Plazo de Repago.....	118
Capítulo 7: Conclusiones.....	120
Bibliografía.....	122
Agradecimientos.....	124
Anexo 1: Escala de Beaufort.....	126
Anexo 2: Especificaciones técnicas MI 2092.....	128
Anexo 3: Visita al equipo de perforación SAI-601.....	132
Anexo 4: Panel Solar Fotovoltaico TSM-330PD14.....	136
Anexo 5: Inversor Cargador Enertik ICA-5K-48P.....	138
Anexo 6: Generador Huaquan HQ5GF.....	140

Índice de Figuras

1.1: dos tipos de energías renovables. En la imagen de la izquierda: energía geotérmica. En la imagen de la derecha: energía hidráulica.....	20
1.2: semiconductor tipo n. La conducción se produce por la liberación de electrones y su salto a la banda energética de conducción por efecto de la incidencia de la radiación solar.....	23
1.3: semiconductor tipo p. La conducción se produce por el desplazamiento de los electrones de hueco en hueco.....	23
1.4: paneles monocristalino, policristalino y amorfo.....	24
1.5: componentes de un módulo fotovoltaico.....	25
1.6: disposición habitual de los diodos de by-pass en módulos fotovoltaicos.....	26
1.7: curva I-V de funcionamiento de un módulo fotovoltaico. Se observa el efecto de la irradiancia.....	27
1.8: curva I-V de funcionamiento de un módulo fotovoltaico. Se observa el efecto de variación de la temperatura.....	27
1.9: distribución de los vientos a escala planetaria.....	29
1.10: ejemplo del diagrama polar basado en la rosa de los vientos. El módulo del vector es la velocidad media en esa dirección.....	32
1.11: en la imagen de la izquierda, un aerogenerador pequeño de 1 kW instalado en una vivienda. En la del centro, un aerogenerador mediano de 100 kW. En la imagen de la derecha, un aerogenerador grande de 1 MW.....	33
1.12: aerogeneradores instalados off-shore en el Reino Unido.....	34
1.13: aerogeneradores de eje vertical.....	34
2.1: espejos solares de Arquímedes de Siracusa.....	38
2.2: órbita eclíptica terrestre.....	39
2.3: diagrama de ángulos necesarios para ubicar un panel solar.....	41
2.4: ejemplo de producción energética de paneles fotovoltaicos de acuerdo a su orientación.....	43
2.5: interpretación gráfica de la hora solar pico.....	44
2.6: piranómetro para medir irradiación solar (izquierda) y heliógrafo de Campbell-Stokes para medir heliofanía (derecha).....	45
2.7: distribución espacial del promedio de irradiación solar global diaria (kWh/m ²) correspondiente al mes de Enero.....	46

2.8: distribución espacial del promedio de la heliofanía efectiva (horas) correspondiente al mes de Enero.....	47
2.9: esquema de conexión de un regulador en una instalación fotovoltaica.....	50
2.10: esquema de instalación de un inversor en una red autónoma.....	51
2.11: esquema de instalación de un inversor en instalación conectada a la red.....	52
2.12: mapa de distribución espacial promedio de irradiación solar de Enero. Dato para región de Comodoro Rivadavia.....	53
3.1: molino persa de eje vertical utilizado para moler grano.....	57
3.2: tubo de corriente de aire a su paso por el área barrida por las palas de una máquina eólica.....	58
3.3: fuerza de rozamiento en un perfil interpuesto en la corriente de aire..	61
3.4: partes de un aerogenerador.....	62
3.5: torre abatible.....	64
3.6: diagrama de bloques de un aerogenerador.....	64
3.7: curva par velocidad del aerogenerador.....	66
4.1: analizador de redes trifásico Metrel MI 2092.....	68
4.2: ubicación de referencia.....	70
4.3: ubicación satelital.....	70
4.4: en la figura de la izquierda se observa diagrama de la conexión. En la de la derecha, el MI 2092 realizando mediciones en campo.....	71
4.5: tráileres vivienda del campamento.....	71
4.6: frecuencia medida en función del tiempo.....	72
4.7: tensión de la fase 1 en función del tiempo.....	72
4.8: tensión de la fase 2 en función del tiempo.....	73
4.9: tensión de la fase 3 en función del tiempo.....	73
4.10: corriente de la línea 1 en función del tiempo.....	73
4.11: corriente de la línea 2 en función del tiempo.....	74
4.12: corriente de la línea 3 en función del tiempo.....	74
5.1: medidas de un tráiler vivienda de la empresa YPF S.A.....	77
5.2: disposición de los paneles.....	78
5.3: panel solar Trina Solar TSM-330PD14.....	78
5.4: mapa de irradiación solar para el mes de Abril.....	80

5.5: promedio de irradiación anual obtenido de "Atlas Solar de la República Argentina"	81
5.6: lugares en los que se midió el ángulo óptimo.....	83
5.7: ubicación de paneles solares en forma inclinada.....	85
5.8: cálculo geométrico de la distancia entre paneles.....	86
5.9: gráfico con valores calculados para disposición de paneles.....	86
5.10: paneles solares ubicados en el ángulo óptimo.....	87
5.11: en la imagen de la izquierda, un seguidor solar de un eje. En la de la derecha, uno de doble eje.....	88
5.12: comparación de los dos sistemas analizados de instalación de paneles.....	89
5.13: disposición de los paneles en el techo del tráiler vivienda.....	90
5.14: frente del tráiler apuntando al norte.....	90
5.15: frente del tráiler apuntando al sur.....	91
5.16: área de estudio.....	92
5.17: visor del SIG Eólico.....	92
5.18: curva de potencia del aerogenerador IVS-4500.....	98
5.19: aerogenerador IVS 4500 instalado en la Antártida Argentina.....	98
5.20: curva de potencia del aerogenerador E70PRO.....	100
5.21: aerogeneradores E70 instalados en La Gauchita, Chubut.....	101
5.22: velocidad del viento media mensual del extremo noroeste.....	102
5.23: disposición del aerogenerador.....	103
5.24: inversor y cargador de baterías Enertik ICA-5K-48P.....	105
5.25: batería Fiasa 218312120.....	106
5.26: generador Huaquan HQ5GF.....	107
5.27: tablero de transferencia automática Sistelgas T10K trifásica.....	108
5.28: representación de las conexiones.....	108
5.29: diagrama eléctrico.....	109
6.1: análisis FODA.....	113
6.2: fundamentos de la eficiencia energética.....	114
6.3: plazo de recuperación.....	119

Índice de Tablas

1.1: origen y fin de la energía en la Tierra.....	21
1.2: escala Beaufort.....	31
2.1: ángulo óptimo obtenido del mapa de energía solar.....	41
2.2: comparación de sistemas de paneles solares.....	42
5.1: características principales del Trina Solar TSM-330PD14.....	79
5.2: datos de irradiación mensual.....	81
5.3: potencias de acuerdo a cantidad de tráileres utilizados.....	82
5.4: ángulos óptimos de localidades cercanas a la zona de estudio.....	83
5.5: potencia generada por cantidad de tráileres.....	87
5.6: características del extremo noreste.....	93
5.7: características del extremo noroeste.....	94
5.8: características del extremo sureste.....	95
5.9: características del extremo suroeste.....	96
5.10: características del aerogenerador IVS-4500 de INVAP.....	97
5.11: características del aerogenerador E70PRO.....	99
5.12: energía provista y factores de capacidad del IVS-4500 y E70PRO....	101
5.13: comparación potencia W/costo U\$S para los aerogeneradores IVS-4500 y E70PRO.....	102
6.1: inversión inicial en US\$.....	117
6.2: elementos de la instalación en US\$.....	117
6.3: costos actuales del sistema de generación.....	117
6.4: consumo promedio de 2 tráileres.....	117
6.5: costo de generación.....	118
6.6: ahorro estimado.....	118
6.7: análisis de rentabilidad.....	118

Resumen

En este trabajo, se proyecta la instalación de un sistema híbrido solar eólico de generación de energía, con el objetivo de alimentar tráileres vivienda de locaciones de trabajo de la industria petrolera, más específicamente en los de perforación y workover. Habitualmente, esa energía necesaria se produce utilizando generadores eléctricos impulsados por motores a combustión interna, con sus consiguientes consumos de combustibles fósiles, contaminación, y altos costos asociados. Además de lo expuesto, la generación se realiza con grandes equipos motogeneradores que cubren el total del consumo, compuesto en un elevado porcentaje por los motores del equipo de perforación/workover, y un pequeño porcentaje por los consumos de los tráileres vivienda. Si por algún motivo el equipo de perforación/workover debe pararse por un tiempo prolongado, los motogeneradores deben seguir funcionando, pero solo para alimentar los tráileres vivienda del personal de guardia, lo que resulta en un factor de carga muy bajo, y con sus correspondientes bajo rendimiento, altos consumos de combustible, y costos asociados a la amortización y mantenimiento de dichos equipos. Es por ello que la motivación del proyecto es lograr cambiar la forma de generar la energía, empleando equipos menos dañinos al medioambiente y que además contribuyan a generar un ahorro financiero a la organización.

Como primera medida se investigaron y analizaron los recursos energéticos de la región considerada para la ubicación del proyecto, así como también las restricciones que se presentan según el tipo de instalación debido a la disposición de los campamentos petroleros.

Para determinar el consumo a cubrir con las alternativas renovables, se realizaron mediciones en campo. Para el diseño de la instalación, se investigaron formas para conocer cuánta energía se puede obtener tanto del sol como del viento en la zona de interés del proyecto. Con el consumo medido, la cantidad de energía obtenida por los medios mencionados y las restricciones arquitectónicas, se realizó el diseño de la instalación.

Por último, se examinó la viabilidad y rentabilidad económica financiera del proyecto, esto llevó a analizar de forma cuantitativa pero también implicó realizar un análisis económico del contexto y de los beneficios no cuantificables. En base a esto se realizaron conclusiones sobre la viabilidad de llevar a cabo el proyecto, se propusieron mejoras en algunos aspectos y la ruta a seguir para su implementación y posible expansión hacia otros campamentos.

PALABRAS CLAVE: energía eólica, energía solar, sistema híbrido.

Abstract

In this work, a hybrid solar wind system installation is projected, with the object of feeding housing trailers from oil production industry, more specifically perforation and workover units. Habitually the needed energy is produced using electric generators powered by internal combustion engines, meaning fossil fuels consumption, polluting and expensive energy usage. Furthermore, the energy generation process is made with large motor generators that cover total power consumption, which is composed by workover/perforation equipment and a small percentage for housing trailers. If for some reason perforation or workover equipment must stop for long periods of time, motor generators must keep working, but only for energy consumption of guard trailer, this results in a small charge factor, and low performance, high fuel consumption and associated amortization and maintenance costs. That is why this project is motivated in achieving a change in the energy generation forms, using environmentally less damaging equipment and that also help the company finances by accomplishing savings.

The first step was to investigate the adequate energy generation methods for the denoted region and analyzed energetic sources in the zone, as well as the oil field architectonic restrictions faced.

To know consumption needed to cover with renewables alternatives, we made field measurements. In the pursuit of acknowledge solar and wind energy generation capacity in the demarcated region some intensive investigations efforts were required. With the attained measures on energy intake, solar and wind energy generated in the defined zone and oil field architectonic restrictions, the design of the installation was made.

Lastly, economic and financial profitability for this project was studied, this leads to analyze quantitatively and also an economic context analysis was required to know non-quantifiable benefits. Given these points conclusions over project viability and profitability were made, as well as proposals to improve some project aspects and the route to follow for its implementation and possible expansion toward other camps.

KEYWORDS: wind energy, solar energy, hybrid system.

Capítulo 1

Introducción

“Toda la gloria proviene de atreverse a comenzar.”

Eugene F. Ware, político estadounidense (1841 – 1911)

1.1 Energías Renovables

Se puede definir a las *energías renovables* como aquellas que son inagotables desde el punto de referencia del período de existencia de la humanidad, tengan o no su origen en el sol [1]. Su impacto ambiental es nulo en la emisión de gases de efecto invernadero como el CO₂. Sus beneficios van desde la diversificación de la matriz energética del país hasta el fomento a la industria nacional; y desde el desarrollo de las economías regionales hasta el impulso al turismo [2]. Es por esto, que Argentina emitió la ley 27.191 en 2015, que establece que las energías renovables deben representar el 20% del consumo de energía eléctrica nacional para el año 2025. Para cumplir esta meta, se deberán incorporar 10.000 MW en renovables, un objetivo que será acompañado de una reducción sustancial de emisiones de gas de efecto invernadero [3].

Son consideradas energías renovables las siguientes: solar, eólica, geotérmica, hidráulica, e incluso la biomasa y la energía mareomotriz [4]. Se puede resumir el origen y el fin de la energía en la tierra en la tabla 1.1.



Figura 1.1: dos tipos de energías renovables. En la imagen de la izquierda: energía geotérmica. En la imagen de la derecha: energía hidráulica.

Fuente	Efecto	Producto	Tecnología energética	Fin
Radiación solar	Evaporación	Lluvia	Energía hidráulica	Trabajo realizado + calor disipado
	Viento		Energía eólica	
		Olas	Energía de las olas	
	Fotosíntesis	Biomasa Vegetal	Combustión	
		Carbón, Gas, Petróleo	Combustión	
		Biocombustibles: Aceites, hidrocarburos, etc.	Combustión	
		Residuos orgánicos de biomasa animal y vegetal	Biogás por digestión anaerobia	
		Biomasa vegetal con alto contenido de azúcares	Etanol por fermentación alcohólica	
		Residuos sólidos agrícolas y urbanos	Gasificación	
			Pirólisis	
			Combustión	
			Energía solar térmica	
			Energía solar fotovoltaica	
Atracción solar y lunar	Mareas		Energía mareomotriz	
Calor interno terrestre	Aguas termales	Vapor en superficie	Energía geotérmica de alta entalpía	
			Energía geotérmica de baja entalpía	

Tabla 1.1: origen y fin de la energía en la Tierra.

Desde tiempos inmemorables el hombre ha desarrollado técnicas para la obtención de calor y trabajo a partir de fuentes renovables de energía. Se puede definir el concepto de *renovable* a aquel que se refiere a ritmos de consumo no superiores a los de producción o generación de manera natural. Más ampliamente se pueden considerar como *procesos renovables* a aquellos que evitan el consumo masivo de energía y materias primas si éstas pueden ser producto del reciclaje, minimizando por lo tanto los efectos provocados por la producción incontrolada de desechos.

1.2 Energía Solar Fotovoltaica

1.2.1 Efecto fotovoltaico. Célula fotovoltaica

La tecnología fotovoltaica se basa en el fenómeno físico conocido como “*efecto fotovoltaico*”. El mismo, es la conversión directa de radiación electromagnética en corriente eléctrica por medio de un dispositivo llamado *célula fotovoltaica*.

Los materiales semiconductores son el soporte de la conversión fotovoltaica. Cuando la semiconductividad no es intrínseca o propia del material debido a su peculiar estructura electrónica, puede provocarse dopando un cristal de determinados elementos químicos puros con algún otro elemento químico que contenga electrones de valencia en cantidad inferior o superior al que forma el cristal.

El silicio dopado es el semiconductor más utilizado y comercializado en el campo de la energía solar fotovoltaica. El silicio tiene cuatro electrones de valencia preparados para formar enlace covalente con otros tantos átomos de silicio u otro elemento químico compartiendo sus electrones.

Si se sumerge un cristal de silicio en una atmósfera de fósforo, a determinadas condiciones de presión y temperatura, el fósforo se difunde por el cristal ocupando posiciones en la red cristalina y estableciendo enlaces con átomos de silicio de su alrededor. Pero como el fósforo tiene cinco electrones preparados para formar enlace con los átomos de su entorno, pero sólo encuentra cuatro próximos, el quinto queda poco ligado y se sitúa en niveles energéticos más altos, es decir en niveles donadores. La incidencia de radiación solar aporta la energía suficiente para desligar completamente a este electrón y colocarlo en un nivel energético superior donde puede moverse libremente por el material (saltando a la banda de conducción) si se lo expone a campo eléctrico, lo que implicaría que el silicio se vuelva conductor en estas condiciones. De esta manera, se forma un *semiconductor tipo n o negativo*, es decir, con electrones en niveles energéticos donadores.

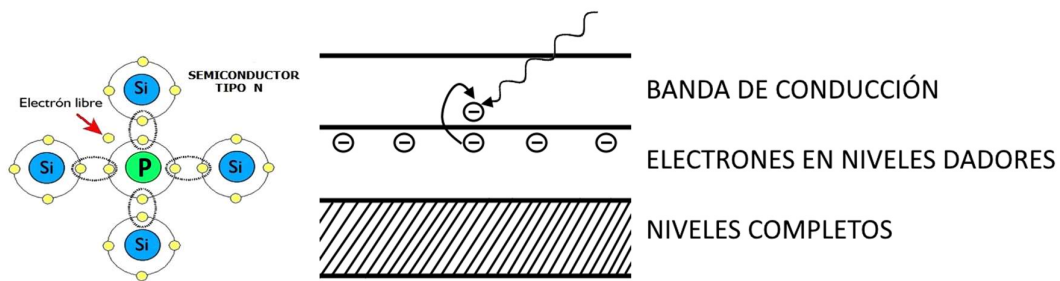


Figura 1.2: semiconductor tipo n. La conducción se produce por la liberación de electrones y su salto a la banda energética de conducción por efecto de la incidencia de la radiación solar.

De la misma manera, si se expone el cristal de silicio en un elemento químico como el boro que sólo tiene tres electrones de valencia preparados para formar enlace químico, en los lugares donde se ubica el átomo de boro aparece una carencia de un cuarto electrón necesario para compartir con los cuatro átomos de silicio, por lo que aparece un hueco situado en los niveles de energía llamados aceptores; formando así un *semiconductor tipo p o positivo*. Cuando un semiconductor de este tipo se conecta en un circuito eléctrico y se le aplica un campo magnético, aparece una conductividad debida al desplazamiento de los electrones de hueco en hueco en la dirección del polo positivo.

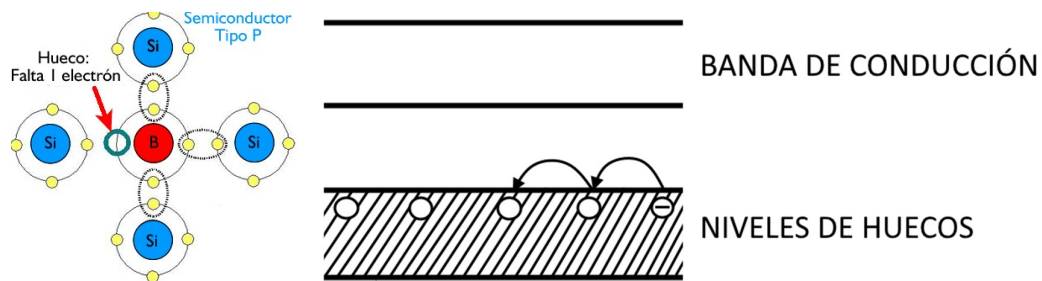


Figura 1.3: semiconductor tipo p. La conducción se produce por el desplazamiento de los electrones de hueco en hueco.

La célula fotovoltaica está formada por la “unión” de dos materiales semiconductores, uno tipo n y otro tipo p. En la interfase entre el semiconductor tipo p y el tipo n (unión p-n o unión diodo) aparece un polo positivo y un polo negativo. De este modo se forma un campo eléctrico debido a la difusión de electrones desde la zona n, donde están los electrones libres, hasta la zona p donde existen los huecos. Entonces, la carga es finalmente neutra porque las cargas negativas de los electrones se compensan siempre con las positivas de los protones de los núcleos atómicos.

Una *célula fotovoltaica* transforma la energía de la radiación solar directamente en corriente eléctrica, a este fenómeno físico se lo denomina *efecto fotovoltaico*. La corriente eléctrica generada en la célula fotovoltaica es corriente continua, y la tensión de trabajo depende de las características físico-químicas propias del material de construcción. El aumento de la temperatura produce el efecto negativo de disminuir la tensión de trabajo. La tensión de la célula fotovoltaica de silicio es del orden de 0,5 V, y la intensidad de corriente generada es en esencia, proporcional a la superficie expuesta al sol y la intensidad de la radiación incidente en ella.

Comercialmente, existen tres tipos de células de silicio en función de su estructura cristalina:

- **Silicio monocristalino:** todos los átomos están perfectamente ordenados, ya que en el proceso de cristalización los átomos se depositan sobre el cristal siempre respetando el mismo orden. Su color es azulado, oscuro y con un cierto brillo metálico.
- **Silicio policristalino:** formado por la agrupación de cristales de silicio donde las direcciones de alineamiento de los átomos cambian cada cierto tiempo durante el proceso de deposición. Tienen el aspecto de una amalgama de cristales de distintos tonos azulados y grises con brillos metálicos.
- **Silicio amorfo:** en donde ha desaparecido la estructura cristalina ordenada y el silicio se ha depositado formando una capa fina sobre un soporte transparente. El aspecto es de tonos color marrón y gris oscuro. Su uso típico es en las calculadoras.

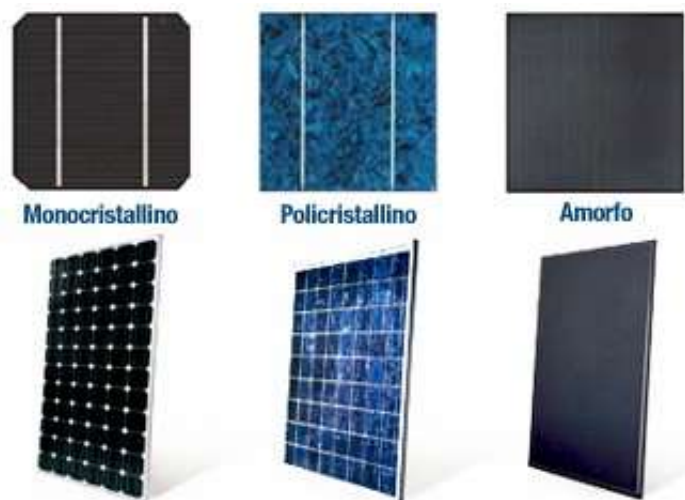


Figura 1.4: paneles monocristalino, policristalino y amorfo.

El rendimiento en la transformación de energía radiante en energía eléctrica por unidad de superficie expuesta es similar para las células de silicio monocristalino y policristalino, que está alrededor del 16%, por contra menor el del silicio amorfo que ronda 6% presentando una degeneración más rápida con el paso del tiempo, pero siendo más económico que los otros dos.

Estas células se conectan en serie para aumentar la tensión, haciendo esta interconexión mediante aleaciones de plata. En la cara delantera, los peines metálicos tienen diseños con diferentes tramas para buscar una solución de compromiso entre una superficie de contacto del metal con el semiconductor y la superficie verdaderamente expuesta a la radiación. La cara posterior lleva adherido el recubrimiento metálico en toda su superficie para favorecer la conductividad aumentando la superficie de contacto.

1.2.2 El módulo fotovoltaico

Un *módulo fotovoltaico* está formado por un conjunto de células fotovoltaicas interconectadas entre sí. Éstas se encapsulan y enmarcan mediante el sellado por la cara posterior con un encapsulante polimérico de EVA (etilenvinilacetato) y un recubrimiento, también de plástico (TEDLAR). Por la cara anterior, se recubren con un vidrio templado, muy resistente al impacto, de superficie antirreflexiva y con bajo contenido de hierro para limitar su absorbancia. La superficie exterior del vidrio debe ser lisa para evitar la acumulación e incrustación de suciedad y para facilitar la limpieza por efecto de la lluvia. El marco que le da rigidez al

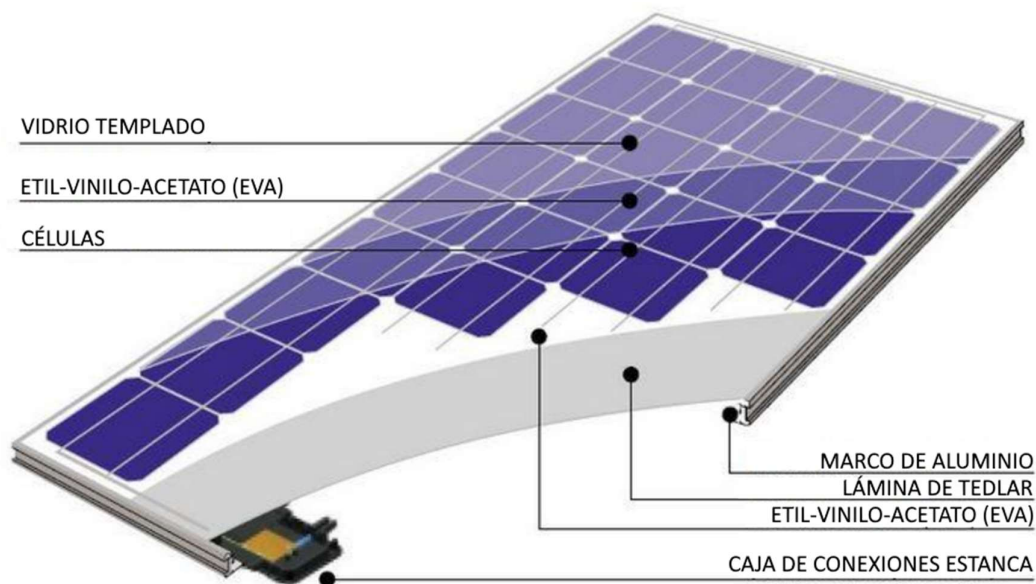


Figura 1.5: componentes de un módulo fotovoltaico.

conjunto es de aluminio anodizado, y en ocasiones, lacado. La hermeticidad del módulo es esencial para impedir la penetración de los agentes atmosféricos que favorecerían la corrosión y deterioro de los contactos metálicos. En el marco o en la lámina de TEDLAR se fija la caja de conexiones con tapa estanca que contiene a los bornes positivo y negativo. En la caja de conexiones se incorporan también unos diodos de derivación. Estos diodos de by-pass evitan que, en el caso de recibir un sombreado parcial, la célula o células sombreadas se comporten como disipadores en forma de calor de la potencia eléctrica generada por el resto de las células iluminadas, ya que si la temperatura de la célula es muy elevada pueden producirse daños irreparables en el módulo. La corriente generada por el resto de las células circula por el diodo de by-pass que en las circunstancias descritas se ha polarizado positivamente dejando pasar la corriente.

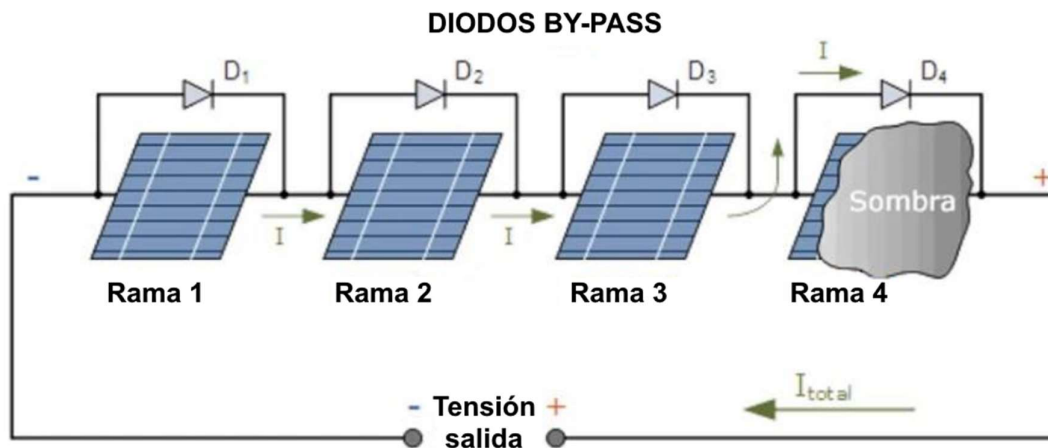


Figura 1.6: disposición habitual de los diodos de by-pass en módulos fotovoltaicos.

Para lograr una tensión nominal por panel o módulo fotovoltaico de 12 V se deben conectar en serie entre 30 y 36 células con el fin de llegar a tensiones del orden de 20 V de CC. El exceso de tensión se requiere para:

1. Compensar las caídas de tensión en los conductores.
2. Compensar las caídas de tensión en las caras o aparatos de consumo.
3. Poder cargar las baterías de 12 V nominales, ya que se requieren llegar hasta tensiones de carga del orden de 14,5 V.
4. Compensar las pérdidas de tensión entre bornes del panel debido al aumento de la temperatura por exposición a la radiación solar.

Una de las características eléctricas más importantes de las células fotovoltaicas es su curva intensidad-tensión o I-V. Los valores de la tensión y corriente del módulo dependerán de factores tales como la insolación, la temperatura de la

célula, la masa de aire que atraviese la radiación solar y la resistencia óhmica de la cara conectada.

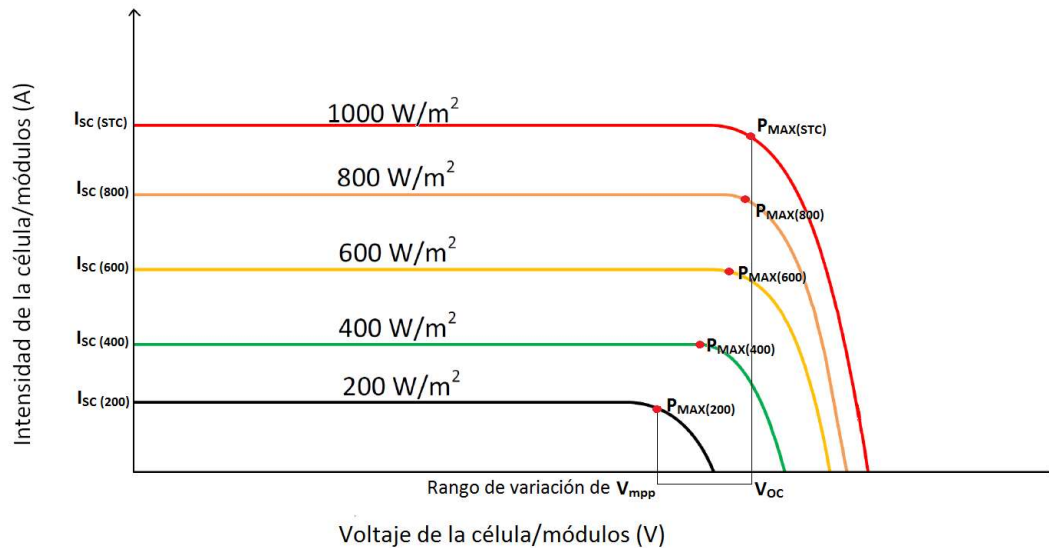


Figura 1.7: curva I-V de funcionamiento de un módulo fotovoltaico. Se observa el efecto de la irradiancia.

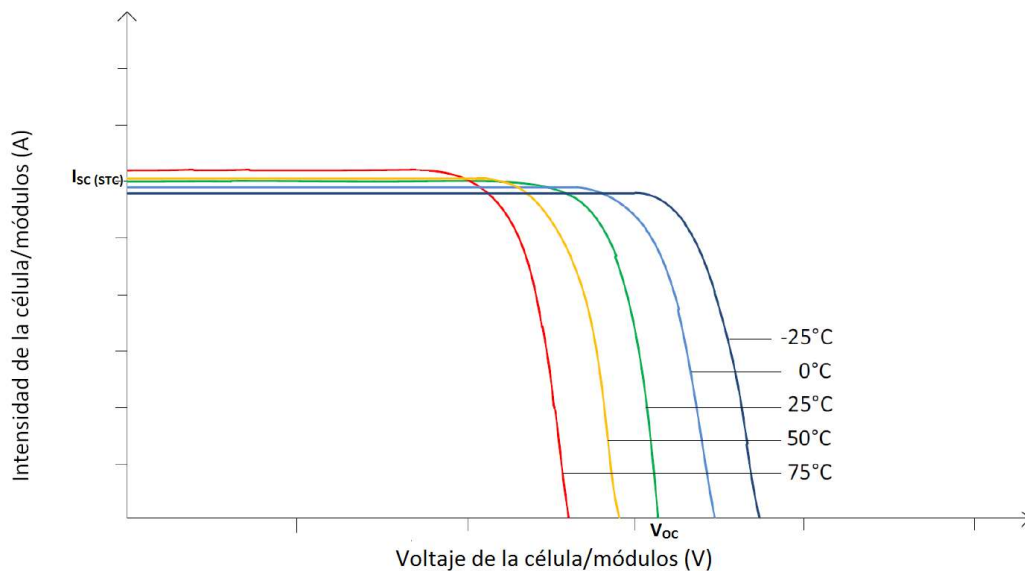


Figura 1.8: curva I-V de funcionamiento de un módulo fotovoltaico. Se observa el efecto de variación de la temperatura.

Para poder comparar unos módulos con otros se deben homogeneizar las condiciones de medida de los valores de V e I. Estas condiciones estándar de comprobación son una luz solar incidente con una intensidad de 1000 W/m^2 , una temperatura de la célula de 25°C y una distribución espectral correspondiente al de la radiación solar cuando atraviesa una MA1,5 (masa de aire 1,5); esto significa que el rayo solar a recorrido desde el momento en que penetra en la atmósfera

hasta incidir en una célula, una distancia 1,5 veces mayor que la que recorrería si su trayectoria fuera perpendicular al plano terrestre. En la curva I-V se pueden definir los siguientes valores típicos:

- Tensión de circuito abierto, v_{ca} : tensión medida entre bornes con un voltímetro cuando no hay conectada ninguna carga, la intensidad de corriente que circula es nula.
- Intensidad de cortocircuito, i_{cc} : intensidad que se genera en el panel cuando no hay conectada ninguna carga y se cortocircuitan sus bornes con un amperímetro, el valor de la tensión entre bornes es cero.
- Potencia pico, P_{pM} : potencia máxima que puede generar un módulo en las condiciones estándar de radiación incidente. La potencia pico es el producto de la tensión pico y la corriente pico:

$$P_{pM} = v_{pM} i_{pM} \quad (1.1)$$

- Intensidad pico i_{pM} y tensión pico v_{pM} : el valor de la intensidad y la tensión que hacen que la potencia sea máxima en las condiciones estándar.

1.2.3 Beneficios de la Energía Solar Fotovoltaica

Entre sus principales ventajas están la ausencia de emisores tanto a la atmósfera como a las aguas o a la tierra, la ausencia de contaminación acústica, la descentralización al permitir la producción de energía donde se necesita, su modularidad que permite ampliaciones debidas al aumento de las necesidades sin desechar los componentes previamente instalados, la gratuidad de la energía consumida una vez realizada la inversión, y el mínimo mantenimiento de las baterías si éstas pueden perder nivel de líquido o se pueden producir en las conexiones de sus bornes procesos de corrosión electroquímica.

Desarrollada en los años 50' por condicionantes de la carrera espacial – que alimenta a todos los sistemas eléctricos y electrónicos de los satélites y estaciones espaciales –, la tecnología fotovoltaica ha ido reduciendo costos y mejorando el rendimiento y confiabilidad de sus componentes, de manera que sus aplicaciones se han ido extendiendo. Además, su desarrollo se ve beneficiado gracias a la aparición de aparatos electrónicos menos exigentes en consumo de energía, la fabricación de electrónica de control y potencia de alta calidad y confiabilidad, y la mejora de los sistemas electroquímicos de acumulación de energía [1].

1.3 Energía Eólica

1.3.1 Origen del viento

La causa original por la que se provocan los movimientos de las masas de aire es la radiación solar. La cantidad de energía que cede la radiación solar depende de la latitud del lugar, es decir, del ángulo de incidencia. Es por esto, que en las regiones polares se produce menor calentamiento que en el Ecuador. El aire a mayor temperatura es menos denso, por lo que asciende, siendo desplazado por otro aire más frío y con mayor densidad. Así, se genera la circulación global de aire, correspondiente al microclima de escala planetaria. La dirección que toman estas grandes corrientes de circulaciones se encuentra influenciada por la rotación terrestre y por la disposición de los continentes.

La rotación de la Tierra produce la denominada “*fuerza de Coriolis*”, que genera una componente este para los vientos norte que circulan hacia el sur, y una componente oeste para los vientos sur que circulan hacia el norte. La componente este u oeste va a ser mayor a medida que más cerca se esté de los polos, y menor cuanto más próximo se esté del Ecuador. La fuerza de Coriolis origina también movimientos ciclónicos circulares de las masas de aire que se desplazan desde zonas de altas presiones hasta otras de bajas presiones. Las zonas de depresión son sumideros de aire que generan movimientos giratorios en el sentido antihorario en el hemisferio norte, y en el sentido horario en el hemisferio sur.

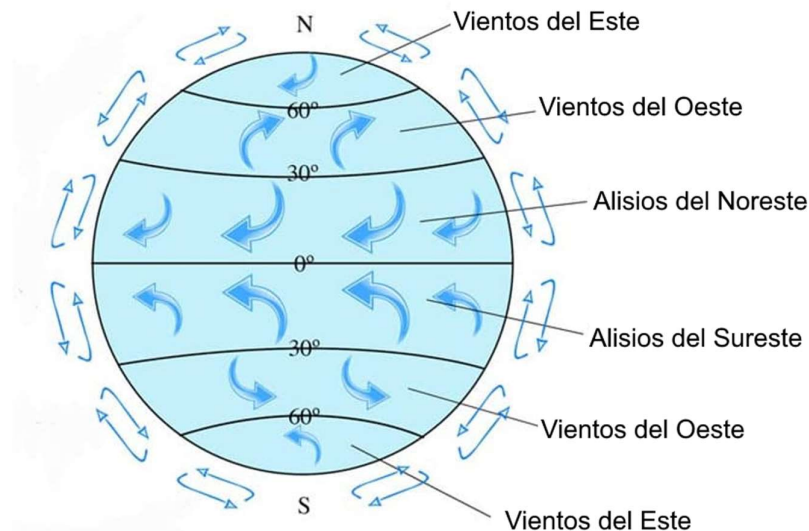


Figura 1.9: distribución de los vientos a escala planetaria.

Por otra parte, el distinto calor específico y la diferente velocidad de enfriamiento y de transmisión del calor del agua de los mares, en relación a la de la tierra de masas continentales, en su intercambio térmico con el ambiente, provoca calentamientos y enfriamientos diferenciales de las masas de aire en contacto con las zonas terrestres respecto de las que están en contacto con las acuáticas. Además, otros factores como la orografía, la humedad, el tipo de cubierta digital, la altitud, el color de la superficie terrestre, entre otros; condicionan la dirección y la fuerza de vientos más localizados, incluso vientos peculiares de pequeñas regiones con microclimas muy específicos.

1.3.2 Generalidades sobre el viento

La fuerza que un viento ejerce sobre una superficie interpuesta en su trayectoria depende de su velocidad.

La escala de Beaufort de la fuerza de los vientos es una medida empírica de la intensidad del viento basada principalmente en el estado del mar, de sus olas y de la fuerza del viento.

La escala fue creada por Sir Francis Beaufort, oficial naval e hidrógrafo irlandés alrededor de 1805. Antes de 1800, los oficiales navales hacían observaciones regulares del tiempo, pero no tenían “escala” y las mediciones resultaban subjetivas.

La escala inicial no tenía velocidades de vientos, sino que detallaba un conjunto de condiciones cualitativas de 0 a 12 de acuerdo a cómo un navío actuaría bajo cada una de ellas, desde “apenas suficiente para maniobrar” hasta “insostenible para las velas”. La escala se transformó en una parte estándar de las bitácoras para navíos de la Marina Británica a finales de los años 1830.

La escala de Beaufort se extendió en 1944, donde se agregaron las fuerzas 13 a 17. Sin embargo, las fuerzas 13 a 17 sólo se aplican en casos especiales, como en ciclones tropicales.

Dicha tabla, se muestra a continuación, con una descripción de los efectos marítimos y terrestres:

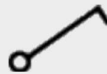
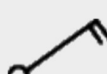
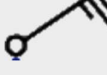
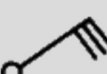
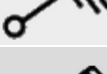
Grados Beaufort	Velocidad del viento [m/s]	Nombre típico	Simbología	Efecto marítimo	Efecto Terrestre
0	0 – 0,2	Calma		Mar calma	El humo asciende vertical
1	0,03 – 1,5	Ventolina		El mar cabrillea	El humo varía, la veleta no
2	1,6 – 3,3	Flojito		Olitas	La veleta se orienta
3	3,4 – 5,4	Flojo		Olitas, alguna espuma	Se agitan las hojas el árbol
4	5,6 – 7,9	Bonancible		Olas, más espuma	Se levanta polvo y papeles
5	8 – 10,7	Fresquito		Olas con picos, espuma	Los arbustos se mueven
6	10,8 – 13,8	Fresco		Oleaje, espuma blanca	Las ramas grandes se agitan
7	13,9 – 17,1	Frescachón		Lo anterior y mar gruesa	Difícil ir contra el viento
8	17,2 – 20,7	Duro		Grandes olas	Se rompen ramas pequeñas
9	20,8 – 24,4	Muy duro		Además poca visibilidad	Se rompen ramas grandes
10	24,5 – 28,4	Temporal		Además agua blanca	Arranca árboles
11	28,5 – 32,6	Borrasca			Destrozos generalizados
12	32,7 – 36,9	Huracán			
13	37,0 – 41,4	Huracán			
14	41,5 – 46,1	Huracán			
15	46,2 – 50,9	Huracán			
16	51,0 – 56,0	Huracán			
17	56,1 – 61,2	Ciclón			

Tabla 1.2: escala Beaufort.

Se puede observar una tabla con gráficos para explicar los efectos marítimos y terrestres por cada nivel en el Anexo 1.

La dirección del viento se indica con una veleta y se refiere nominalmente al lado de donde sopla, es decir, se dice que es de dirección este si el lado del sotavento, hacia donde sopla el viento, es el oeste.

El instrumento utilizado para determinar la velocidad del viento es el anemómetro, existiendo diversas tipologías de acuerdo a sus distintos principios de funcionamiento, habiendo: de rotación, los que se basan en la presión dinámica ejercida contra superficies interpuestas como el anemómetro de Pitot, el rotámetro, entre otros.

El tipo de gráfica utilizado para representar las características locales del viento es un diagrama polar basado en la rosa de los vientos. La rosa divide al círculo según 16 direcciones; se traza un vector en cada una de ellas cuyo módulo sea proporcional a la velocidad media, y sobre el cual se escribe el tanto por ciento en el que el viento ha soplado en esa dirección, obteniendo una información esquemática y visual de la velocidad y la dirección de los vientos predominantes en esa región determinada. Estos diagramas pueden reflejar datos horarios, diarios, mensuales, estacionales y anuales, lo que es beneficioso para evaluar la energía extraíble y la ubicación de los aerogeneradores.

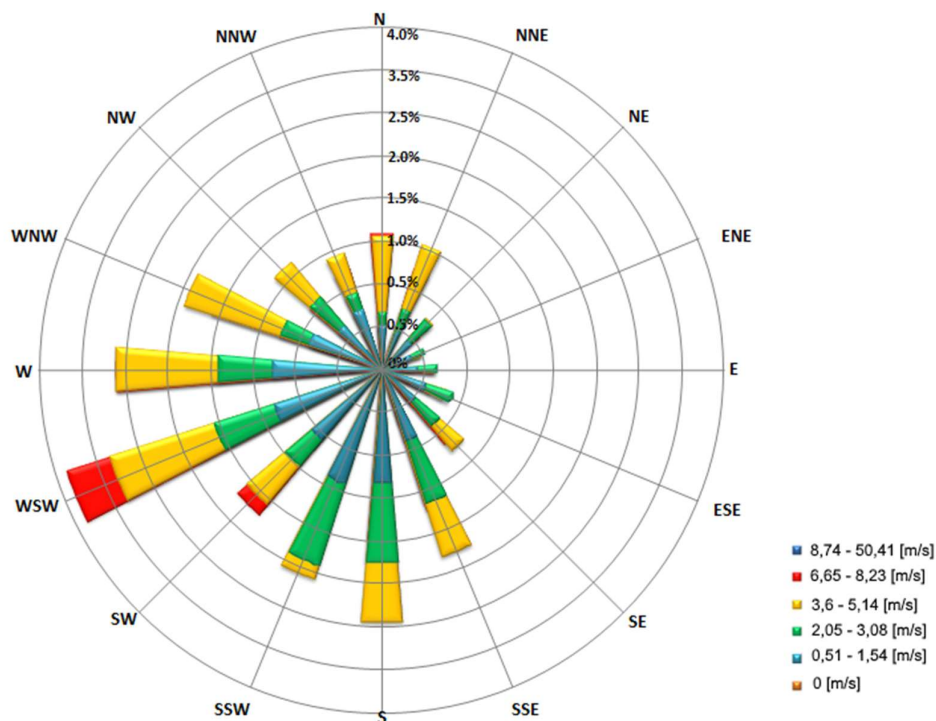


Figura 1.10: ejemplo del diagrama polar basado en la rosa de los vientos. El módulo del vector es la velocidad media en esa dirección.

Se pueden elaborar mapas eólicos realizando un análisis detallado de la velocidad y dirección de los vientos en regiones concretas, trazando líneas por zonas con vientos de igual velocidad e isostaquias¹, lo que contribuye a un mejor conocimiento del potencial eólico de la región en cuestión. Las principales candidatas son zonas cercanas al mar.

1.3.3 Clasificación de aerogeneradores y sus aplicaciones

La clasificación de los aerogeneradores es muy amplia, y varía de acuerdo a la característica que se desea distinguir.

En primer lugar, se pueden clasificar de acuerdo a su tamaño como:

- Pequeños aerogeneradores (hasta 30 kW),
- Aerogeneradores medianos (de 30 kW a 300 kW),
- Aerogeneradores grandes (más de 300 kW).



Figura 1.11: en la imagen de la izquierda, un aerogenerador pequeño de 1 kW instalado en una vivienda. En la del centro, un aerogenerador mediano de 100 kW. En la imagen de la derecha, un aerogenerador grande de 1 MW.

También, se pueden clasificar según su localización en:

- On-land (en tierra),
- Off-shore (en el mar).

Estos últimos, son de gran uso en Europa, teniendo un 1,5% de la potencia eólica instalada en esta condición.

¹ Son los perfiles que presentan los fluidos newtonianos al alcanzar los gradientes de cantidad de movimiento en los fluidos.



Figura 1.12: aerogeneradores instalados off-shore en el Reino Unido.

Es posible distinguirlos por su aplicación como:

- Stand-alone (autónomos, utilizados en pequeños pueblos, aldeas rurales, granas, lugares remotos como antenas repetidoras, refugios, etcétera),
- Grid-connected o tied grid (conectado a la red, estos aerogeneradores operan generando energía e inyectándola a una red eléctrica).

Según la dirección del eje de giro se pueden clasificar como:

- HAWT (Horizontal Axis Wind Turbine) turbinas de eje horizontal,
- VAWT (Vertical Axis Wind Turbine) turbinas de eje vertical.



Figura 1.13: aerogeneradores de eje vertical.

De acuerdo a la velocidad de funcionamiento, se dividen como:

- De velocidad fija,
- De velocidad variable.

Según el tipo de control de potencia, se pueden clasificar en:

- Passive Stall Control (entrada en pérdida pasiva): estos aerogeneradores tienen paso fijo. Cuentan como ventajas su simplicidad, que son robustos, de bajo costo y bajo mantenimiento. Como desventajas: menor eficiencia, mayor estrés mecánico, mayores fluctuaciones de potencia hacia la red.
- Active Stall Control (entrada en pérdida activa, por aumento del ángulo de ataque): en este caso, el paso es variable. Sus ventajas son: mayor eficiencia, mejor calidad de la potencia generada, alta velocidad de respuesta comparado con Pitch Control. Sus desventajas son: costo elevado, mayor estrés mecánico comparado con Pitch Control, mayor mantenimiento, más complejos.
- Pitch Control (por disminución del ángulo de ataque): estos aerogeneradores también son de paso variable. Sus ventajas son: mayor eficiencia, mejor calidad de la potencia generada, menor estrés mecánico comparado con Active Stall Control. Sus desventajas son: costo elevado, mayor mantenimiento, más complejos, baja velocidad de respuesta comparado con Active Stall Control.

Finalmente, se pueden clasificar de acuerdo a los generadores eléctricos más utilizados como:

- Asíncronos de inducción:
 - SCIG (jaula de ardilla),
 - RWIG (generador de inducción de rotor bobinado).
- Sincrónicos:
 - RWIG (generador de inducción de rotor bobinado),
 - PMSG (generador sincrónico de imanes permanentes) [5].

1.4 Motivación del Proyecto

A partir de la investigación realizada sobre las energías renovables y las condiciones favorables actuales del país para la implementación de las mismas, se plantea en conjunto con la empresa YPF S.A. la posibilidad de aplicar dichos mecanismos de generación de energía en sus campamentos de perforación y workover. La gran particularidad de este proyecto, es que los campamentos van variando continuamente su posición, por lo que se debe plantear la instalación de dichos dispositivos en acoplados móviles, realizando los estudios sobre una zona (especificada por la empresa) y no sobre un punto específico, como se hace por lo general para las instalaciones fijas.

Este Proyecto Integrador se centrará en el estudio de los mecanismos actuales de generación de energía, en el análisis de la zona propuesta por la empresa para

realizar el proyecto, y en la posterior selección del equipamiento adecuado para tal fin, con las modificaciones necesarias para que puedan ser instalados en los acoplados móviles. Finalmente, se realizará el estudio económico y financiero para verificar si es conveniente la instalación propuesta.

El desarrollo de este Proyecto Integrador tiene lugar en el campamento del equipo de perforación SAI-601 en la localidad de Cañadón Seco, Provincia de Santa Cruz, donde se realizarán las mediciones de consumo de potencia de los equipos de interés; y en la Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco donde se cuenta con la bibliografía necesaria y con el asesoramiento del Mgter. Gerardo Ahrtz del Grupo de Investigación en Control y Electrónica de Potencia (GICEP).

1.5 Organización del texto

Para facilitar la lectura del presente trabajo, se considera necesario mencionar brevemente el contenido de los capítulos siguientes.

En el Capítulo 2 se desarrollará un análisis teórico de la energía solar, con especial énfasis en las herramientas y ecuaciones necesarias para el cálculo y diseño de una instalación con paneles fotovoltaicos.

En el Capítulo 3 se hará un análisis teórico de la energía eólica, y de las ecuaciones y herramientas para el diseño de una instalación con un aerogenerador.

En el Capítulo 4, se darán detalles sobre la locación donde se realizaron las mediciones, del instrumento utilizado para tal fin y un análisis de los resultados obtenidos, en especial la potencia que se desea generar con energías renovables.

En el Capítulo 5, se utilizará la teoría desarrollada en los Capítulos 2 y 3 para diseñar la instalación, con la elección apropiada de los dispositivos a partir de los disponibles en el mercado, finalizando el capítulo con el diagrama eléctrico propuesto.

En el Capítulo 6, se realizará el análisis económico y financiero para verificar si es rentable la propuesta y si cumple con el indicador económico establecido por la empresa.

Finalmente, en el Capítulo 7 se realizarán las conclusiones del trabajo y propuestas para mejoras en un trabajo futuro.

Capítulo 2

Energía Solar

“Incluso la noche más oscura terminará con la salida del sol.”

Víctor Hugo, poeta francés (1802 – 1885)

2.1 Historia de la Energía Solar

La energía solar es utilizada desde tiempos inmemoriales para secar productos agrícolas, proveer calor en temporadas frías o crear ventilación en hogares, aplicaciones que siguen siendo utilizadas en algunos países en vías de desarrollo. Dos mil años atrás, Herón de Alejandría construyó una fuente que fluía por acción de los rayos solares y luego Arquímedes de Siracusa construyó espejos solares para incendiar la flota romana.



Figura 2.1: espejos solares de Arquímedes de Siracusa.

Estos ejemplos sirven para conocer la importancia de los equipos que trabajan con energía solar a lo largo de los años y el beneficio que puede generar el desarrollo de los mismos y su utilización.

En la actualidad, mediante el desarrollo teórico de la energía solar, se clasifican por tipo de tecnologías utilizadas y por su uso correspondiente como:

- Energía solar pasiva: utiliza el calor del sol sin necesidad de mecanismos o sistemas mecánicos.
- Energía solar térmica: para producir agua caliente de baja temperatura para uso sanitario y calefacción.
- Energía solar fotovoltaica: se utiliza para producir electricidad mediante placas de semiconductores que reciben radiación solar.
- Energía solar termoeléctrica: produce electricidad con un ciclo termodinámico convencional a partir de un fluido calentado a alta temperatura.
- Energía solar híbrida: combina la energía solar con la energía obtenida de una central térmica, energía eólica, biomasa o de combustibles fósiles.

En este trabajo se utilizará una combinación de energía solar fotovoltaica y energía eólica, es por ello que se puede decir que el sistema será híbrido como fue descrito anteriormente.

2.2 Energía Solar: movimiento del Sol y la Tierra

La Tierra sigue una trayectoria en forma de elipse alrededor del sol con una excentricidad de un 3%. La línea imaginaria que representa la órbita descrita es llamada eclíptica, y esta órbita está contenida en un plano que se llama plano de la eclíptica. Además de esto, la tierra da vueltas sobre su propio eje norte-sur inclinado respecto de la eclíptica en un ángulo constante de $23,45^\circ$.

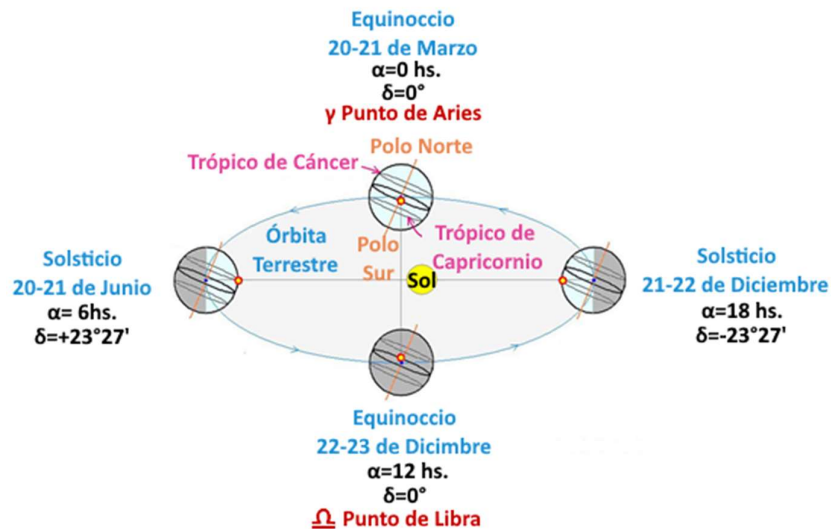


Figura 2.2: órbita eclíptica terrestre.

Como se puede observar en la imagen anterior, el clima de la tierra está condicionado por la inclinación de su eje de giro que provoca la variación anual del ángulo de declinación. Esto quiere decir que, según la época del año y la latitud, el ángulo de incidencia de los rayos solares sobre la superficie terrestre será mayor o menor. Cuanto más aumenta la latitud del lugar en valor absoluto los rayos inciden con menos perpendicularidad.

El ángulo que forman los rayos solares con el plano tangente a la superficie es llamado *ángulo cenital* y es definido como

$$\theta_z = L - \delta \quad (2.1)$$

Donde L es la latitud del lugar, que se define como el ángulo que forma el radio de la tierra que pasa por ese lugar con el plano del Ecuador, y δ es la declinación.

En una superficie la energía recibida por la incidencia de la radiación solar depende del ángulo de incidencia de la radiación sobre esa superficie como se puede ver en la siguiente ecuación

$$I = I_0 \cdot \cos \theta \quad (2.2)$$

Donde I_0 es la intensidad de radiación que llega formando un ángulo sobre un plano dado por su normal n .

Encontrar el ángulo en el cual el sol incide con la mayor perpendicularidad posible es fundamental para lograr absorber la mayor cantidad de energía posible. También es importante tener en cuenta para la ubicación de los paneles solares:

- El ángulo de altitud solar: es el ángulo que forma la línea imaginaria que une el sol con la superficie de la tierra (la trayectoria del rayo del sol) con el plano tangente a dicha superficie, llamado plano del horizonte.
- El ángulo de azimut: es el ángulo que forma la proyección sobre el plano del horizonte de la línea que une el sol con el punto sobre la superficie terrestre con el eje norte-sur.

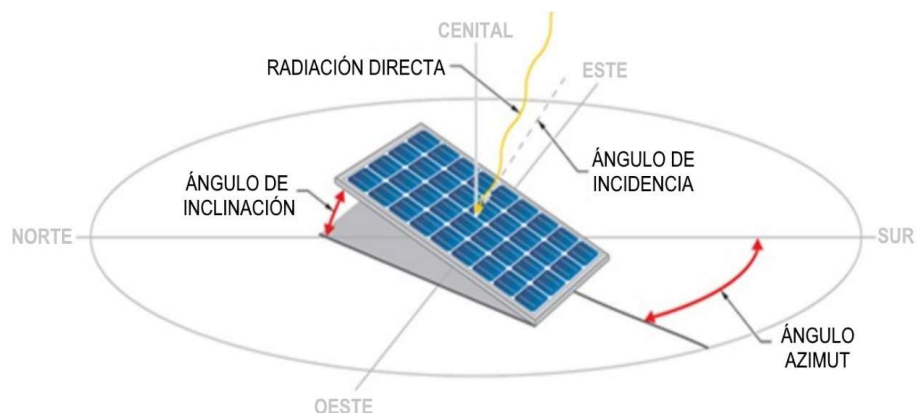


Figura 2.3: diagrama de ángulos necesarios para ubicar un panel solar.

Ambos ángulos varían con la hora del día, con el día del año y con la latitud de la ubicación. Es importante conocer esos datos para saber de qué forma se debe orientar cada uno de los paneles para aprovechar al máximo la cantidad de energía del sol.

2.3 Tipos de Paneles Solares

2.3.1 Ubicación de Paneles Fotovoltaicos Fijos

El primer análisis que debe realizarse es como se ubicarán los paneles para lograr el aprovechamiento máximo de cada uno de ellos, de manera tal que se pueda generar la mayor cantidad de energía posible y maximizar su rendimiento.

Para ello se pueden considerar dos opciones, una de ellas es instalar paneles solares fijos que se acomoden en un ángulo óptimo a través del cual lograrán obtener el mayor rendimiento posible, es decir captar la mayor cantidad de energía posible para un panel fijo.

Ese ángulo óptimo fue calculado en nuestro país a partir de los datos tomados de la *Red Solarimétrica Argentina*, creada con el objetivo de evaluar la energía solar con vistas en su aprovechamiento energético. Para ello se tomaron varios parámetros como la irradiación y la altura, y se tuvieron en cuenta distintos puntos del país. De ese estudio se obtiene que el ángulo óptimo de inclinación de un panel solar en cercanías de Comodoro Rivadavia es de $-37,33^\circ$ [6].

Estación	Longitud	Latitud	Energía anual	Ángulo óptimo anual
C. Rivadavia	-67,50	-45,85	1,67 MWh/m ²	-37,33°

Tabla 2.1: ángulo óptimo obtenido del mapa de energía solar.

2.3.2 Seguidores Solares

La mejor forma de captar la máxima cantidad de energía brindada por el sol en un panel solar es utilizando los paneles solares con un seguidor solar. Estos seguidores solares son sistemas mecánicos automáticos que tienen la capacidad de seguir al sol desde el este en la alborada hacia el oeste en la puesta y permiten de esa manera aumentar la cantidad de horas de sol aprovechables por los módulos respecto de aquellos que son fijos, por lo tanto, lograrán un mayor rendimiento, sobre todo en la época de verano.

Pueden ser de varios tipos:

- En dos ejes: la superficie del panel siempre se mantiene perpendicular al sol.
 - Monoposte: un único apoyo central.
 - Carrousel: varios apoyos distribuidos a lo largo de una superficie circular.
- En un eje polar: la superficie se ajusta en todo momento para que coincida siempre con el meridiano terrestre que contiene al sol.
- En un eje azimutal: la superficie gira sobre un eje vertical, el ángulo de la superficie es constante e igual a la latitud. Se ajusta el giro para que la normal a la superficie coincida con el meridiano local que contiene al sol.
- En un eje horizontal: la superficie gira en un eje horizontal y se ajusta el giro para que la normal de la superficie coincida con el meridiano terrestre que contiene al sol.

2.3.3 Sistema fijo versus seguidor solar

Es necesario realizar una comparación de ambos sistemas:

	Sistema Fijo	Seguidor Solar
Rendimiento	Menor	Mayor (sobre todo en verano)
Costo económico	Menor	Mayor (depende del tipo de sistema mecánico)
Mantenimiento	Menor	Mayor (depende del tipo de sistema mecánico)

Tabla 2.2: comparación de sistemas de paneles solares.

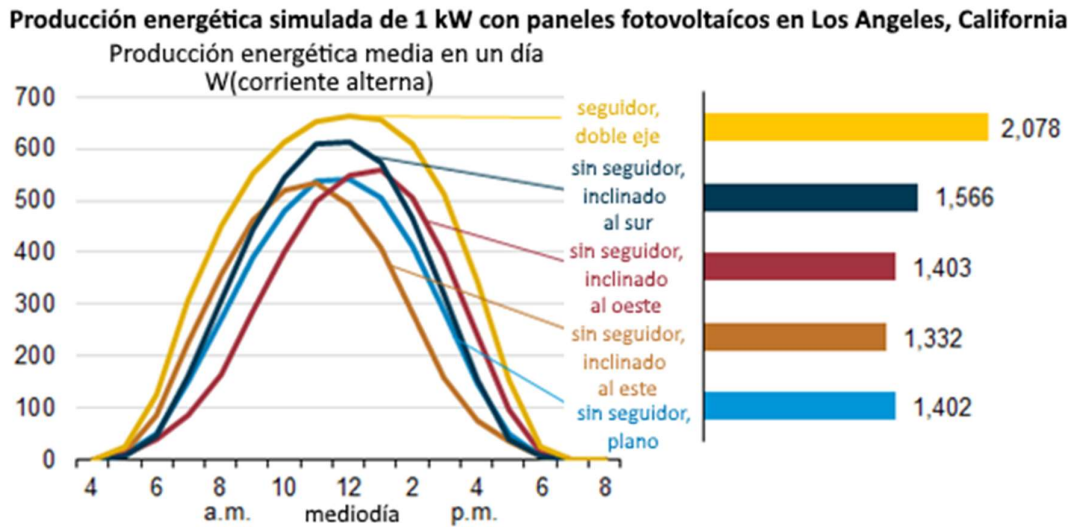


Figura 2.4: ejemplo de producción energética de paneles fotovoltaicos de acuerdo a su orientación [7].

2.4 Aprovechamiento de la Energía Solar

La cantidad de horas que un panel fotovoltaico está expuesto a la radiación solar no es tan relevante en el cálculo y diseño de las instalaciones. Esto se debe a que esa radiación puede no producir el mayor rendimiento de los equipos. Es por ello que existe un parámetro llamado *HSP (Hora Solar Pico)* que define el tiempo en horas en el que se produce el mejor índice de irradiación solar en un día.

Una *Hora Solar Pico* es una unidad que mide la irradiación solar y se define como la energía por unidad de superficie que se recibiría con una hipotética irradiancia solar constante de 1000 W/m^2 . Por lo tanto, una hora solar pico equivale a $3,6 \text{ MJ/m}^2$ o, lo que es lo mismo, 1 kWh/m^2 [8]. A continuación, se demuestra la conversión:

$$1 \text{ HSP} = \frac{1000 \text{ W} \cdot 1 \text{ h}}{\text{m}^2} \times \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} \times \frac{1 \text{ J/s}}{1 \text{ W}} = 3,6 \text{ MJ/m}^2 \quad (2.3)$$

La irradiación real sobre una superficie varía a lo largo del día por lo que la HSP se interpreta de forma gráfica como una función de valor constante que encierra el mismo área que la distribución de la irradiación diaria. A continuación, se muestra un gráfico que sirve de ejemplo sobre lo afirmado.

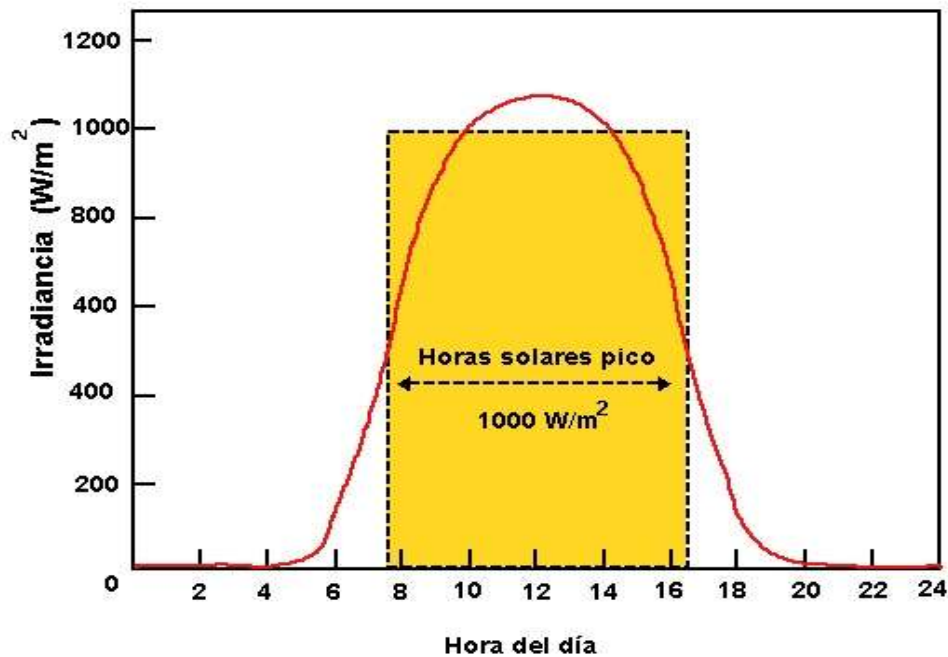


Figura 2.5: interpretación gráfica de la hora solar pico.

Realizar el cálculo de la cantidad de horas pico no es tarea llana debido a que se deben poseer gran cantidad de datos de mediciones reales sobre el área particular en la cual se desea realizar la instalación de los equipos solares. Esa tarea es ardua y escapa muchas veces al presupuesto mediante el cual se pretende realizar el diseño y cálculo de una instalación real. Es por ello que se recurren a otras herramientas que muchas veces facilitan organismos estatales de cada país, encargados de financiar el desarrollo de las energías renovables.

En la actualidad existe un “*Atlas de Energía Solar de la República Argentina*”[9], trabajo financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología en conjunto con la Universidad Nacional de Luján que permite conocer un valor estimado de la irradiación del sol en la superficie de toda la República Argentina por mes, así como también permite conocer la heliofanía² mensual sobre esa misma superficie. Es necesario destacar que el trabajo se basa en medir la cantidad de irradiación existente sobre un plano horizontal, por lo cual la cantidad de energía aprovechada por un panel solar podría llegar a ser mayor a la estimada con este

² Representa la cantidad del brillo del sol y está ligada al hecho de que el instrumento utilizado para su medición, el heliógrafo, registra el tiempo que recibe la radiación solar directa.

Atlas si los mismos se colocan en un ángulo de inclinación tal que permita lograr que reciban la mayor cantidad de energía posible.

Para la medición de las cantidades mencionadas se utilizan dos tipos de instrumentos, el piranómetro que permite medir la irradiación solar y el heliógrafo que permite medir la heliofanía.



Figura 2.6: piranómetro para medir irradiación solar (izquierda) y heliógrafo de Campbell-Stokes para medir heliofanía (derecha).

El *piranómetro* es un sensor diseñado para medir la densidad del flujo de radiación solar en un campo de 180°. Generalmente utiliza tres medidas de radiación: semiesférica total, difusa y directa. Para las medidas de radiación difusa y semiesférica, la radiación directa se suprime utilizando un disco parasol. El principio físico utilizado generalmente en la medida es un termopar sobre el que incide la radiación a través de dos cúpulas semiesféricas de vidrio.

En cuanto a los *heliógrafos*, se distinguen dos tipos principales de acuerdo a su principio de funcionamiento: los que utilizan la rotación de la tierra como base de tiempo y los que emplean algún mecanismo de relojería. Entre los del primer grupo, el modelo más difundido es el de Campbell-Stokes.

La forma en la que el Atlas muestra los datos mencionados se mostrará en el siguiente grupo de imágenes.

En el mes de Enero se puede observar lo siguiente:

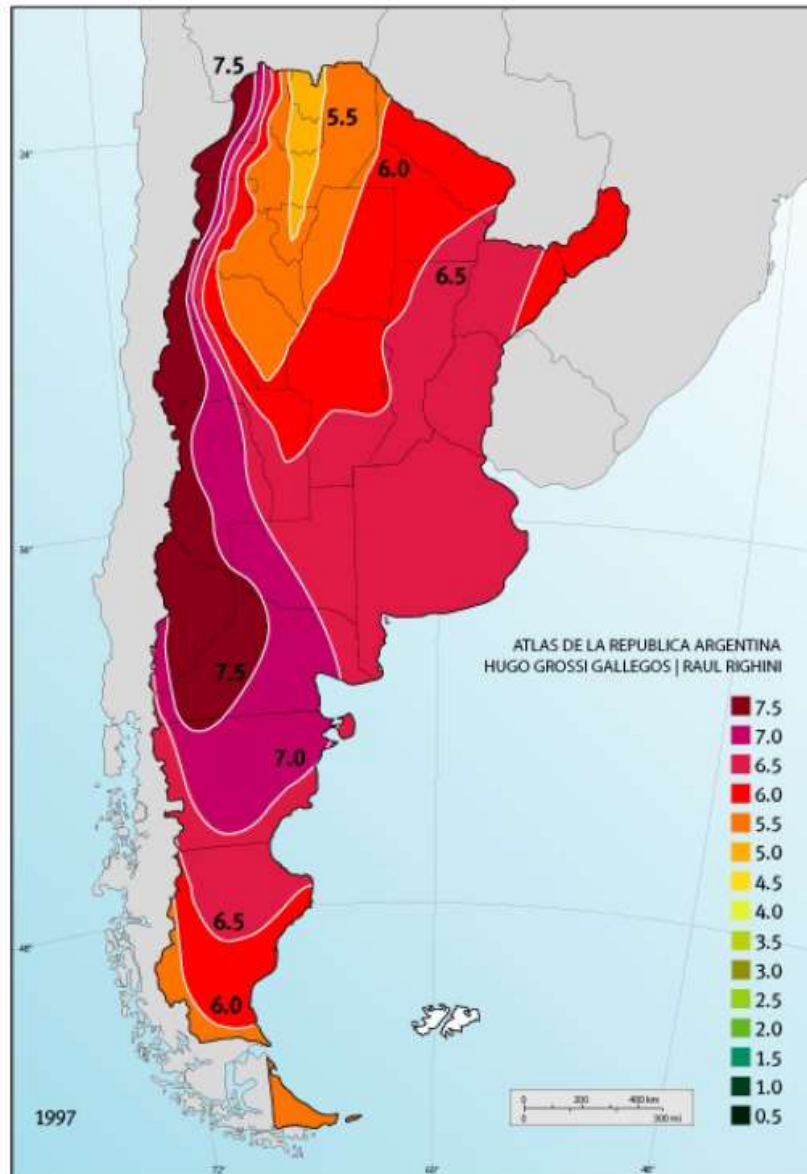


Figura 2.7: distribución espacial del promedio de irradiación solar global diaria (kWh/m²) correspondiente al mes de Enero.

En el mapa de irradiación se puede observar un promedio de la irradiación solar recibida en la superficie del territorio argentino.

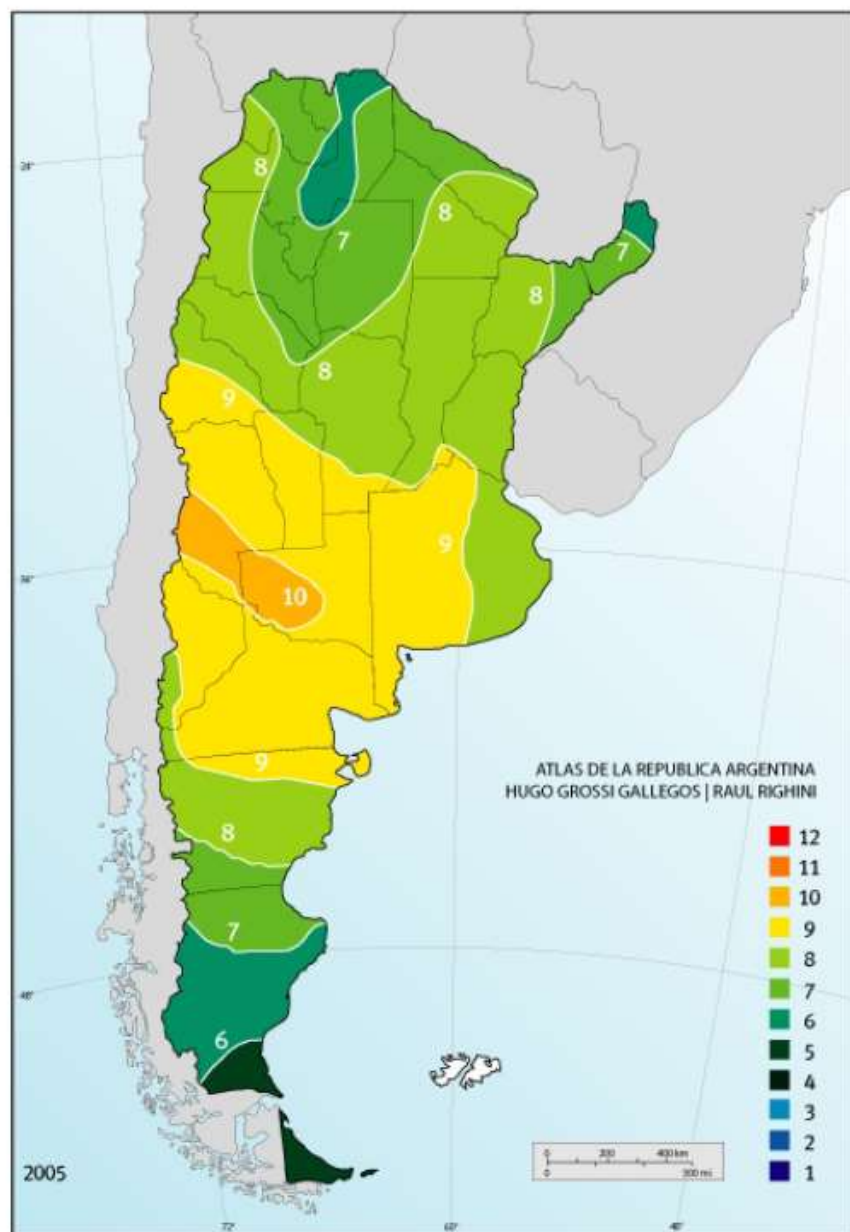


Figura 2.8: distribución espacial del promedio de la heliofanía efectiva (horas) correspondiente al mes de Enero.

En el mapa anterior se denota la cantidad de horas de brillo solar promedio del mes de Enero medida a partir de un heliógrafo.

El Atlas Solar extiende ese análisis a todos los meses de un año y es de esa manera que pueden obtenerse los datos necesarios para realizar los cálculos correspondientes a las instalaciones solares.

Utilizando el Atlas se puede estimar el valor de la HSP para lograr estimar la cantidad de energía que se podrá obtener de la radiación solar en una determinada región del país. Por consiguiente, también se podrá calcular la cantidad de paneles fotovoltaicos necesarios para lograr producir una cantidad de energía determinada de acuerdo a los requerimientos. Otra utilidad de este tipo de mapas es conocer las zonas en las que la energía solar tendrá el mejor rendimiento y poder de esa manera decidir qué región tiene el mayor potencial en vistas de lograr generación de energía suficiente.

Para lograr captar la mayor cantidad de energía, los paneles deben estar inclinados en un ángulo determinado de acuerdo a la ubicación geográfica en la que se encuentran instalados, además la orientación de los paneles debe ser siempre hacia el norte desde el hemisferio sur, o si están instalados en una ubicación en el hemisferio norte se debe instalar orientados hacia el sur. Esto se debe a que el sol se mueve de este a oeste alrededor del Ecuador.

Tomando en cuenta que se desea aprovechar al máximo la energía, se calcula el valor de irradiación sobre una placa inclinada y consecuentemente el valor de la hora solar pico.

Conocido el valor de la HSP para una placa plana horizontal se puede conocer el valor de la HSP para una placa inclinada en el valor del ángulo óptimo previamente mencionado. Para ello se utiliza la siguiente ecuación [10] que da la irradiación media anual sobre una superficie con inclinación:

$$G_a(\beta_{opt}) = \frac{G_a(0^\circ)}{1 - 4,46 \cdot 10^{-4} \cdot \beta_{opt} - 1,19 \cdot 10^{-4} \cdot \beta_{opt}^2} \quad (2.4)$$

Donde:

- $G_a(0^\circ)$ es el valor medio anual de irradiación sobre la superficie horizontal.
- $G_a(\beta_{opt})$ es el valor medio anual de irradiación global sobre la superficie con inclinación óptima.
- β_{opt} es el ángulo de inclinación óptimo.

De esta manera, se puede obtener un valor de la irradiación media anual en kWh/m². Luego, dividiendo ese dato por 1000 W/m², puede obtenerse la hora solar pico anual media para la zona.

En el caso que no se cumpla con el ángulo óptimo debido a factores como la integración arquitectónica de los paneles en la construcción, la resistencia al viento, la acumulación de aire, etcétera, puede calcularse un *factor de irradiación*, denotado FI , que tiene en cuenta la diferencia entre la inclinación real y la óptima.

$$FI = 1 - (1,2 \cdot 10^{-4} \cdot (\beta - \beta_{opt})^2 + 3,5 \cdot 10^{-5} \cdot \alpha) \text{ || para } 15^\circ < \beta < 90^\circ \quad (2.5)$$

$$FI = 1 - (1,2 \cdot 10^{-4} \cdot (\beta - \beta_{opt})^2) \text{ || para } \beta \leq 15^\circ \quad (2.6)$$

Donde

- β_{opt} es la inclinación óptima de la superficie.
- β es la inclinación real de la superficie.
- α es el azimut de la superficie.

Finalmente, la radiación anual incidente sobre la superficie inclinada real se calcula como:

$$G_a(\alpha, \beta) = FI \cdot G_a(\beta_{opt}) \quad (2.7)$$

2.5 Elementos de una Instalación Fotovoltaica

Además de los paneles fotovoltaicos, las instalaciones de energía solar requieren otros elementos necesarios de acuerdo a las necesidades que desean cubrirse y a cómo se diseñan.

Los elementos que pueden utilizarse son:

- Regulador de carga,
- Inversor,
- Baterías o acumuladores.

Regulador de Carga

La misión de este elemento es evitar situaciones de carga y sobredescarga de las baterías, con el fin de alargar el tiempo de vida útil de las mismas. Es por esto que el mismo trabaja en dos zonas. En la zona de carga tiene la misión de garantizar que el acumulador tenga la carga suficiente y evitar las situaciones de sobrecarga, y en la parte de descarga el regulador se ocupa de asegurar el suministro eléctrico necesario y evitar la descarga excesiva de la batería.

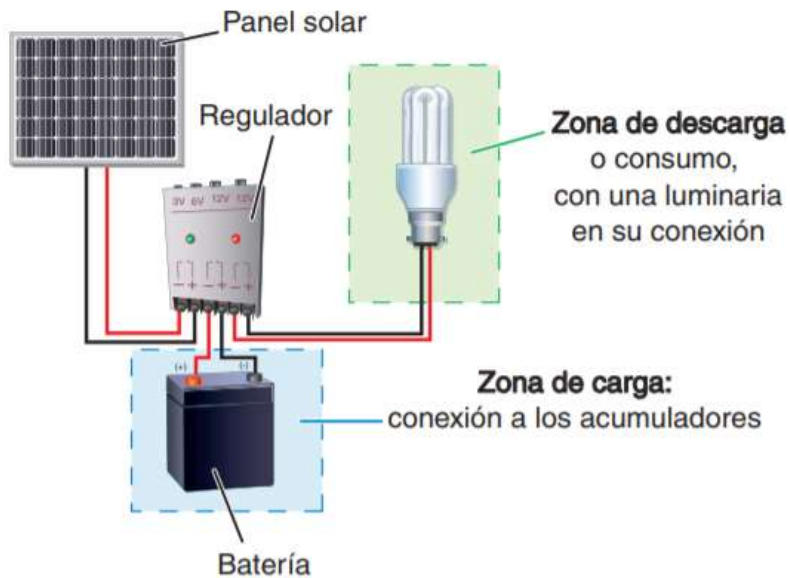


Figura 2.9: esquema de conexión de un regulador en una instalación fotovoltaica.

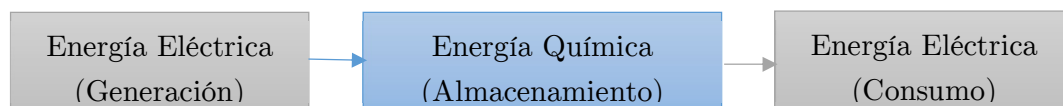
Los paneles fotovoltaicos por lo general tienen tensiones nominales mayores a las de una batería por lo que de no utilizarse el regulador, podrían darse situaciones de sobrecarga.

Siempre se calcula una instalación solar para lograr un suministro adecuado incluso en las peores condiciones climáticas, como sucede en invierno. En esa estación, la irradiación que produce el sol es mucho menor; por esta razón se toman como referencia los valores de invierno. Esto puede provocar que en verano la energía aportada por los módulos solares sea en ocasiones casi el doble de los cálculos estimados, por lo que, si no se conecta el regulador entre los paneles y las baterías, el exceso de corriente podría llegar incluso a quemar las baterías.

Baterías o acumuladores

Muchos hechos climáticos producen que la cantidad de energía generada tenga variaciones aleatorias y por eso es necesario utilizar acumuladores o baterías para asegurar el suministro de energía en momentos en que la radiación recibida no sea suficiente para hacer que la instalación funcione en los valores diseñados.

Las baterías son dispositivos capaces de transformar la energía química en eléctrica. El funcionamiento en una instalación será:



Los objetivos de las baterías se pueden resumir en 3 funciones básicas:

- Almacenar energía durante un determinado número de días.
- Proporcionar una potencia instantánea elevada.
- Fijar la tensión de trabajo de la instalación.

Uno de los parámetros más importantes es la *capacidad de la batería*. Esta se define como la cantidad de electricidad que puede lograrse en una descarga completa del acumulador partiendo de un estado de carga total del mismo. Se mide en ampere hora [Ah] y es el producto de la intensidad de descarga de la batería por el tiempo que está actuando.

$$C = I \cdot t \quad (2.8)$$

Inversor

Su función es convertir la corriente continua producida por la instalación fotovoltaica en corriente alterna de acuerdo a la que se utiliza en la red eléctrica donde se desea inyectar la energía producida.

Es un elemento fundamental tanto en la utilización para instalaciones autónomas, como en las instalaciones que se deben conectar a una red eléctrica. Los esquemas para ambos casos se pueden observar a continuación:

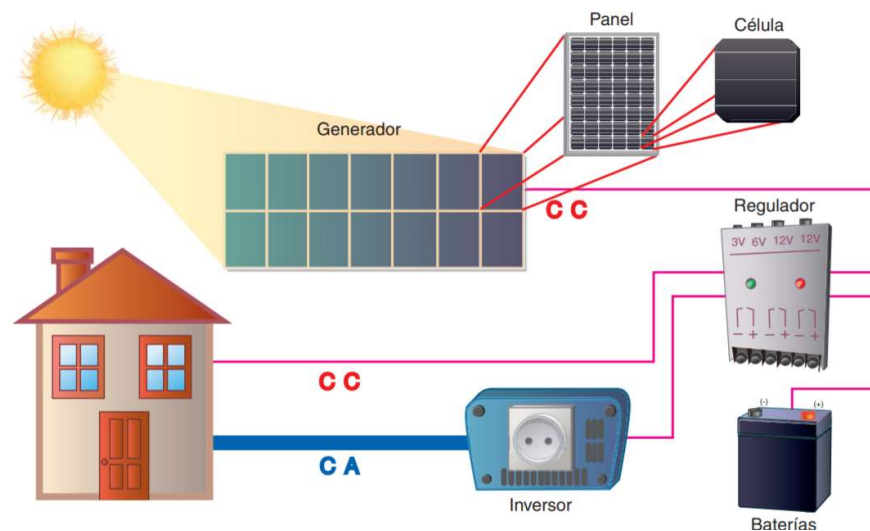


Figura 2.10: esquema de instalación de un inversor en una red autónoma.

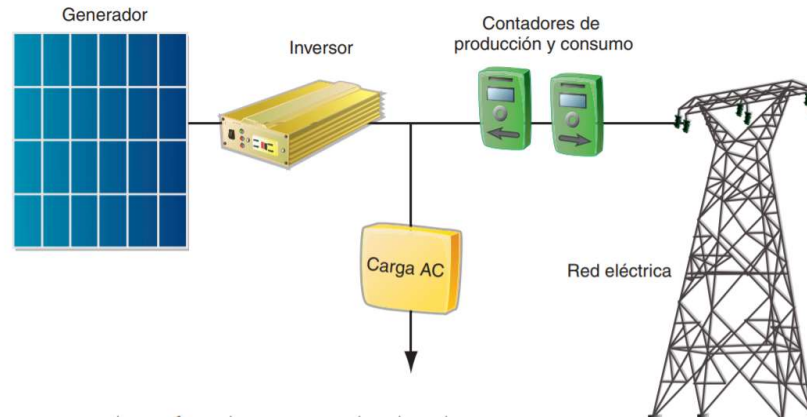


Figura 2.11: esquema de instalación de un inversor en instalación conectada a la red.

La principal diferencia entre las dos instalaciones es que en las autónomas se cuenta con baterías para el almacenamiento de energía y los reguladores de carga de las mismas, mientras que en las instalaciones conectadas a la red eléctrica la energía no se almacena, sino que se pone a disposición de los usuarios a través de la red eléctrica según se produce.

2.6 Cálculo y Diseño de una Instalación Fotovoltaica

Como corolario de este capítulo se desarrollará como realizar el diseño de una instalación de energía solar tomando en cuenta todo lo desarrollado anteriormente y teniendo en cuenta los requerimientos de este trabajo, es decir teniendo en cuenta cuáles son los parámetros medidos y cuáles necesitan ser calculados.

A partir de las mediciones realizadas (detalladas en el Capítulo 4) se obtendrá la energía que es necesaria suministrar con la instalación de energías renovables. Esa energía servirá para comparar con la cantidad de energía que pueden brindar la totalidad de los paneles instalados, teniendo en cuenta que la cantidad de los mismos estará restringida por las dimensiones que es posible ocupar en una instalación como la que se va a realizar.

Siendo n la cantidad de paneles que es posible instalar y P_p la potencia nominal que pueden suministrar los mismos, se obtiene la potencia total que es posible suministrar en máximo rendimiento como:

$$P_T = P_p \cdot n \quad (2.9)$$

Luego se calcula una cantidad promedio de HSP utilizando los mapas del Atlas de Energía Solar de la República Argentina, en particular se deben utilizar los mapas que contienen el promedio de irradiación solar diaria y buscar en ellos el dato numérico de acuerdo a la región en la cual se esté desarrollando el diseño. Esto se indica en la siguiente imagen tomando como ejemplo la región en la que se encuentra Comodoro Rivadavia:

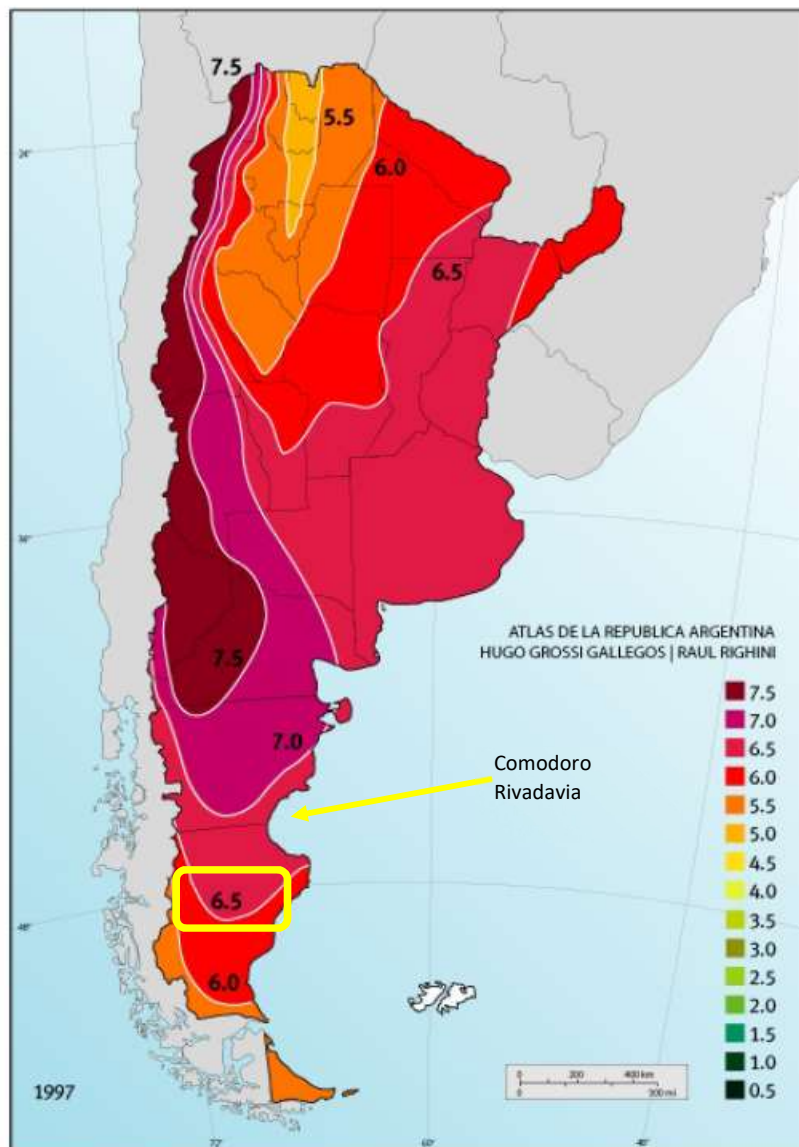


Figura 2.12: mapa de distribución espacial promedio de irradiación solar de Enero.
Dato para región de Comodoro Rivadavia.

Basándose en esos datos mensuales se calcula un promedio de hora solar pico como se muestra a continuación

$$HSP = \frac{\sum_{i=1}^{12} I_i}{12} \quad (2.10)$$

Donde I_i es la irradiación en la zona de cálculo cada mes.

Luego, se calcula la cantidad de energía total que será posible entregar con la cantidad de paneles n , con la potencia total calculada previamente y tomando en cuenta la cantidad de horas solares pico como:

$$E_T = HSP \cdot P_T \quad (2.11)$$

El resultado de E_T está dado en unidades de energía kWh lo cual permite realizar una comparación con la cantidad energía consumida E_C por aquellos equipos sobre los cuales se pretende utilizar las fuentes de energía renovables. A partir de esa comparación se podrá concluir si es necesario instalar una cantidad mayor de paneles o utilizar un sistema híbrido que permita compensar la cantidad de energía que no logran entregar los paneles fotovoltaicos, con el objetivo de lograr alimentar toda la instalación.

Capítulo 3

Energía Eólica

“Dios es como el viento, que todo lo toca.”

El niño que domó el viento (2019)

3.1 Origen de la Energía Eólica

El hombre ha aprovechado para sus fines industriales la energía contenida en el viento desde tiempos inmemorables. Entre las técnicas más antiguas de aprovechamiento de la energía de los fluidos atmosféricos están el desplazamiento y transporte, la molienda de grano, la extracción de aceites, el prensado de materia vegetal, el aserrado de madera, la elevación y trasiego de agua para el regadío y el abastecimiento humano y animal.

Los molinos más antiguos eran de eje vertical y fueron originados en Persia hace unos 3700 años. En la misma época, se desarrolló también en China un molino de eje vertical.

Existe una leyenda, atribuida a Al-Tabari, sobre un molino de viento mandado a construir por el califa de Bagdad, Omar III, en el año 644, basándose en tradiciones orales traídas desde Oriente por un esclavo, leyenda que sugiere la posibilidad de que la invención del molino de viento sea anterior a la época islámica. Otros autores posteriores como Ibn Hawqal, que revisó la obra de Abu-Al-Istakri y Al-Mukadassi, encargado de introducir los molinos en la España árabe han dejado abundantes textos en lo que se hace constante referencia a estas máquinas eólicas [11].

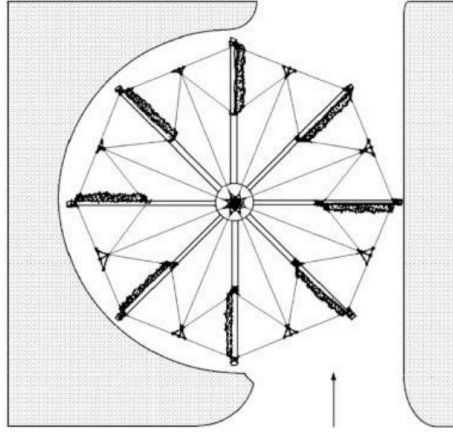


Figura 3.1: molino persa de eje vertical utilizado para moler grano.

La penetración del molino de viento en Europa no se produjo hasta pasados más de 2000 años desde su invención, durante la Edad Media, y muy probablemente, mejorado por la técnica árabe y transformado ya en el molino de eje horizontal conocido actualmente. La aplicación primordial de estos molinos de viento era la sustitución del trabajo animal y humano para la molienda de grano. Por otro lado, el desarrollo de la técnica de los engranajes para transmitir el movimiento giratorio variando la posición del eje, fue necesaria para el desarrollo tecnológico de la energía eólica.

3.2 Teorema de Betz

Considerando un tubo de corriente de fluido, en este caso aire, y suponiendo que éste es incomprensible, es decir que mantiene la densidad constante, se cumple que el caudal que atraviesa cualquier sección de la vena de fluido es en todo momento constante:

$$Q_1 = Q = Q_2 \quad (3.1)$$

$$\frac{V_1}{t} = \frac{V}{t} = \frac{V_2}{t} \quad (3.2)$$

$$\frac{S_1 e_1}{t} = \frac{S e}{t} = \frac{S_2 e_2}{t} \quad (3.3)$$

Siendo Q el caudal, V el volumen, S el área y e el espesor.

Esto es lo mismo que decir que el producto de la sección por la velocidad (v) en cualquier punto es constante. Esta ley llamada *teorema de continuidad* fue enunciado por Leonardo da Vinci y se expresa como:

$$S_1 v_1 = S v = S_2 v_2 = cte. \quad (3.4)$$

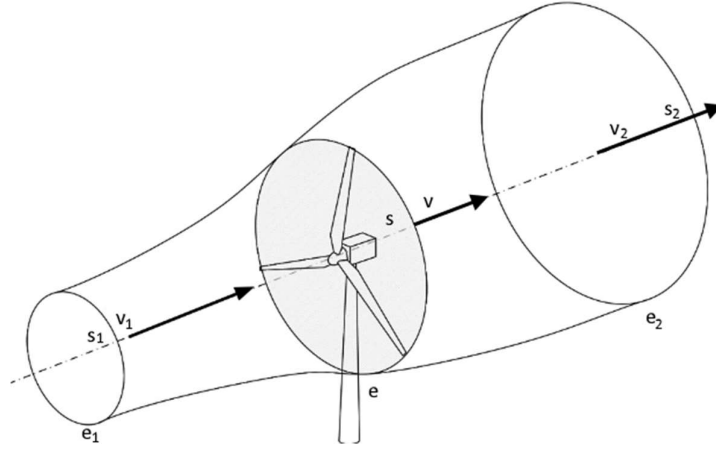


Figura 3.2: tubo de corriente de aire a su paso por el área barrida por las palas de una máquina eólica.

La energía contenida en una masa de aire en circulación es la debida a su movimiento y a la altura a la que se encuentre (*teorema de Bernoulli*). Por lo tanto, suponiendo que el aire circula horizontalmente sin variar la altura, la energía extraíble es cinética.

La *energía cinética* se refiere al trabajo que ha sido necesario desarrollar para que el cuerpo alcance una velocidad determinada; en el caso del viento, este trabajo lo aporta la energía de la radiación solar.

La energía cinética que posee una masa de aire de densidad ρ (considerada normalmente entre 1,25 a 1,27 kg/m³) y volumen V , es:

$$E_c = \frac{1}{2} \rho V v^2 \quad (3.5)$$

Y, si este volumen de aire atraviesa el área barrida por las palas de un aerogenerador disminuyendo su velocidad, la energía cedida en los álabes será la diferencia entre la energía cinética antes y después según:

$$E_{c1} - E_{c2} = \frac{1}{2} \rho V (v_1^2 - v_2^2) \quad (3.6)$$

en donde v_1 y v_2 son las velocidades del aire antes y después de interaccionar con las palas.

Como el volumen V , que atraviesa el área barrida S , en un tiempo t , es el caudal Q , y al mismo tiempo el caudal es la sección del mismo área S , por la velocidad del aire v , a su paso por las palas del generador:

$$Q = \frac{V}{t}; Q = S v \rightarrow V = Q t = S v t \quad (3.7)$$

Y dado que la potencia desarrollada por el viento sobre el aeromotor es la energía cedida entre el tiempo durante el que la cede:

$$P = \frac{E_{c1} - E_{c2}}{t} \quad (3.8)$$

Entonces según las expresiones anteriores la potencia absorbida por la máquina será:

$$P = \frac{1}{2} \rho S v (v_1^2 - v_2^2) \quad (3.9)$$

Enfocando el problema desde otro punto de vista, y determinando la fuerza que ejercen los álabes contra la vena de aire que los atraviesa, se tiene:

$$F = ma = \rho V \frac{(v_1 - v_2)}{t} = \rho S v \frac{(v_1 - v_2)}{t} = \rho S v (v_1 - v_2) \quad (3.10)$$

Y como la potencia desarrollada puede definirse también como el producto de esta fuerza por la velocidad v del aire a su paso por las palas:

$$P = Fv \quad (3.11)$$

Entonces:

$$P = \rho S v^2 (v_1 - v_2) \quad (3.12)$$

Igualando las dos expresiones de la potencia absorbida dadas por las expresiones 3.9 y 3.12, se tiene:

$$\frac{1}{2} \rho S v (v_1^2 - v_2^2) = \rho S v^2 (v_1 - v_2) \quad (3.13)$$

de donde se deduce que:

$$\frac{(v_1^2 - v_2^2)}{2} = v(v_1 - v_2) \quad (3.14)$$

y que:

$$v = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2} = \frac{(v_1 + v_2)(v_1 - v_2)}{2(v_1 - v_2)} = \frac{v_1 + v_2}{2} \quad (3.15)$$

Con lo que sustituyendo el valor de v en la expresión 3.9, se tiene:

$$P = \frac{1}{4} \rho S (v_1 + v_2)(v_1^2 - v_2^2) \quad (3.16)$$

Y si se supone la velocidad del aire antes de incidir sobre el aerogenerador v_1 , constante, entonces la potencia absorbida será máxima para n valor dado de la velocidad v_2 , después de atravesar el área barrida por las palas, este valor será el que hace nula la primera derivada de la potencia respecto de v_2 :

$$\frac{dP}{dv_2} = 0 \quad (3.17)$$

$$\frac{1}{4}\rho S(v_1^2 - 2v_1v_2 - 3v_2^2) = 0 \quad (3.18)$$

$$-3v_2^2 - 2v_1v_2 + v_1^2 = 0 \quad (3.19)$$

Aplicando a esta última expresión la solución para las ecuaciones de segundo grado se tiene:

$$v_2 = \frac{-(-2v_1) \pm \sqrt{(-2v_1)^2 - 4(-3)v_1^2}}{2(-3)} \quad (3.20)$$

Obteniendo dos soluciones, una sin sentido físico al ser v_2 , igual a $-v_1$, y la otra:

$$v_2 = \frac{v_1}{3} \quad (3.21)$$

Si se sustituye este valor en la expresión 3.16, se obtiene:

$$P_{max} = \frac{1}{2}\rho S v_1^3 \frac{16}{27} \quad (3.22)$$

Expresión que es la *fórmula de Betz*, y para cuya obtención se ha supuesto el fluido incomprensible y moviéndose sin rozamiento (*régimen de Bernoulli*) al pasar a través del área barrida por los álabes de la eólica. La fórmula de Betz representa el límite de la potencia teórica máxima extraíble de un fluido de densidad constante. Entonces, el límite teórico máximo establecido por Betz es del 59,26%. Las máquinas reales tienen un rendimiento mecánico y eléctrico, luego la potencia real obtenible será siempre menor que la establecida por Betz.

Con las fórmulas 3.4, 3.15 y 3.21, podemos despejar S en función de S_l , y sustituyendo en la fórmula de Betz se deduce que:

$$P_{max} = \frac{8}{9} \left(\frac{1}{2} \rho S_l v_1^3 \right) \quad (3.23)$$

Expresión que representa la potencia máxima en función de la potencia ficticia contenida en la masa de aire antes de interaccionar con la eólica.

Por otro lado, y en cuanto a la aerodinámica de la hélice, Newton estableció una fórmula aproximada para evaluar la fuerza de rozamiento que aparece en el movimiento de un cuerpo inmerso en un fluido. Esta fuerza F_R , puede deducirse si se supone un cilindro de base S , que se mueve en un fluido de densidad ρ , con una velocidad v , de dirección perpendicular a su base, en su movimiento debe desplazar una masa de aire m , que ocupa un volumen V , en una longitud e , para la que necesita comunicarle una energía cinética definida por:

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} V \rho v^2 = \frac{1}{2} S e \rho v^2 \quad (3.24)$$

El cilindro realiza un trabajo W , que depende de la magnitud de su desplazamiento e , según:

$$W = F_R e \quad (3.25)$$

Y como el trabajo realizado y la energía cinética aportada deben ser iguales, entonces se deduce, igualando las dos expresiones anteriores, que:

$$F_R = \frac{1}{2} \rho v^2 S \quad (3.26)$$

Para otro cuerpo diferente, el valor de esta fuerza dependerá de su geometría, esta dependencia se refleja en el llamado coeficiente de forma C , y la expresión queda como:

$$F_R = \frac{1}{2} C \rho v^2 S \quad (3.27)$$

Según lo anterior, interaccionan el álabo de una máquina eólica y la corriente fluida de aire, y aparece una *fuerza de rozamiento* F_R , que por definición es perpendicular a la cuerda del perfil en el punto de aplicación.

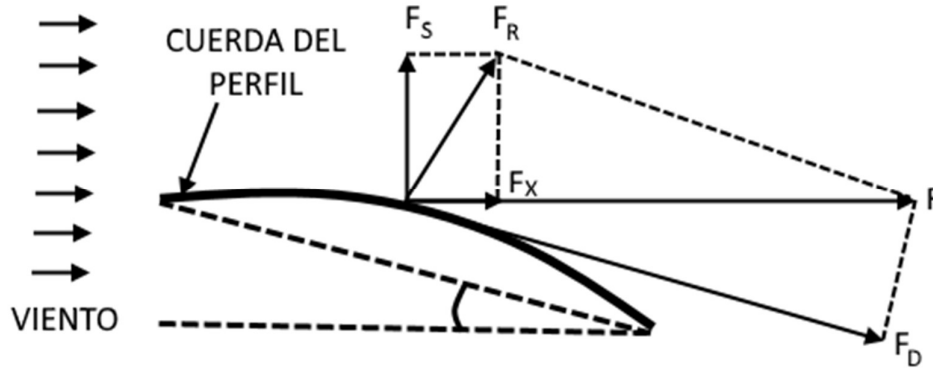


Figura 3.3: fuerza de rozamiento en un perfil interpuesto en la corriente de aire.

Esta fuerza de rozamiento puede desagregarse en dos componentes, siendo una la *fuerza* F_S , o *sustentación*, y otra la F_X , o *arrastre*, que para un ala real se definen como:

$$F_R = \frac{1}{2} C_R \rho v^2 S \quad (3.28)$$

$$F_X = \frac{1}{2} C_X \rho v^2 S \quad (3.29)$$

$$F_S = \frac{1}{2} C_S \rho v^2 S \quad (3.30)$$

Donde intervienen los coeficientes aerodinámicos adimensionales típicos de cada perfil y que dependen del ángulo de ataque i . El valor de estos coeficientes se determina experimentalmente y se representan gráficamente en función del ángulo

i , formando unas curvas llamadas polares. Por el *teorema de Pitágoras* se deduce que:

$$F_R^2 = F_X^2 + F_S^2 \quad (3.31)$$

Y por lo tanto, se deduce también que:

$$C_R^2 = C_X^2 + C_S^2 \quad (3.32)$$

3.3 Diagrama de Bloques de un Aerogenerador

Las partes principales de un aerogenerador se pueden ver en la siguiente figura:

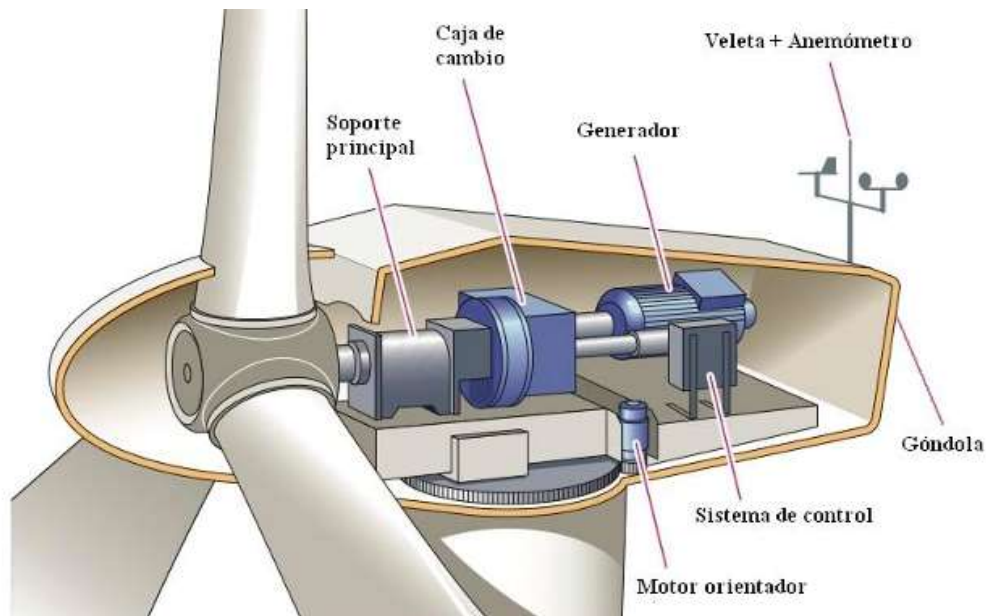


Figura 3.4: partes de un aerogenerador.

Palas: aspas rotatorias.

Rotor: elemento donde van acopladas las aspas. Normalmente, en los aerogeneradores más habituales, dos o tres palas van conectadas a un rotor.

Góndola: habitáculo donde se encuentran los elementos que forman parte del generador eléctrico.

Anemómetro: un dispositivo que mide la velocidad del viento. Sirve para poner en funcionamiento o detener el aerogenerador, pues éste sólo funciona en un rango de velocidad del viento. A poca o demasiada velocidad del viento, las palas se detienen.

Veleta: aparte de la velocidad, algunos aerogeneradores pueden saber la dirección del viento y orientarse respecto a ella.

Buje: conecta el rotor con el eje de baja velocidad.

Eje de baja velocidad: entre el buje y la caja multiplicadora. Cuenta con un sistema hidráulico que hace funcionar los frenos aerodinámicos.

Caja multiplicadora: situado entre los dos ejes. Como su nombre indica, es la responsable de que el eje de alta velocidad gire cincuenta veces más rápido que el eje de baja velocidad.

Generador: transforma la energía mecánica en energía eléctrica.

Controlador: analiza las condiciones del viento y otras variables para aumentar la eficiencia del aerogenerador.

Unidad de refrigeración: tienen un ventilador eléctrico utilizado para enfriar el generador eléctrico. También lleva aceite para enfriar el aceite del multiplicador. Algunas turbinas tienen generadores refrigerados por agua.

Torre: soporta la góndola y el rotor. Mientras más alta sea la torre se producirá una mayor cantidad de energía. La torre también evita las turbulencias de aire de aire que podrían existir cerca del piso, debidas a obstrucciones como colinas. Existen dos tipos de torres: las autoportantes y las retenidas, siendo estas las más habituales para usos residenciales. Estas son más baratas y pueden consistir en secciones estructurales o tubulares, dependiendo del diseño y los soportes para los cables de retenida. Sin embargo, el radio para sostener las retenidas debe ser la mitad o tres cuartos de la altura de la torre, por lo que se debe tener suficiente espacio para fijarlas. Las torres abatibles son más caras, pero le permiten al consumidor poder llevar a cabo más fácilmente el mantenimiento en turbinas pequeñas de bajo peso, usualmente de 5 kW o menos. Son de nuestro interés éste último tipo de torre [12].

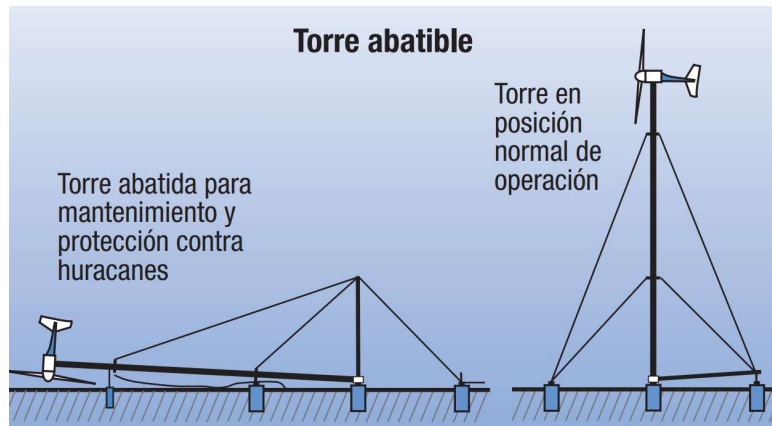


Figura 3.5: torre abatible.

A partir de esto, es posible realizar el diagrama de bloques del aerogenerador como:

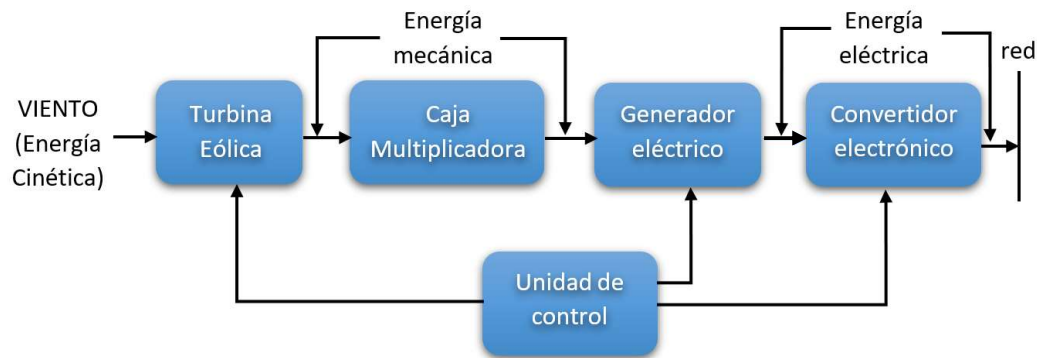


Figura 3.6: diagrama de bloques de un aerogenerador [5].

3.4 Diseño de una instalación eólica para generación de electricidad

3.4.1 Potencia suministrada por el viento

La energía por unidad de tiempo o potencia del viento, cuando pasa a través de un área S perpendicular a la dirección del viento es:

$$P_v = S \frac{1}{2} \rho x^3 \quad (3.33)$$

Siendo $S = \pi r^2$ el área barrida por las palas del aerogenerador de longitud r , ρ la densidad del aire y x la velocidad del viento.

Se calcula el valor medio de P_v directamente de las medidas de la velocidad del viento o de la tabla de velocidades y frecuencias como:

$$\langle P \rangle = S \frac{1}{2} \rho \sum_{i=1}^N x_i^3 \quad (3.34)$$

$$\langle P \rangle = S \frac{1}{2} \rho \sum_{i=1}^N f_j x_j^3 \quad (3.35)$$

Si se establece un modelo estadístico que describa las medidas de las velocidades y sus frecuencias mediante una función continua $f(x)$, el valor medio de la potencia para la *función de distribución de Weibull* es:

$$\langle P_v \rangle = S \frac{1}{2} \rho \int_0^{\infty} x^3 f(x) dx = S \frac{1}{2} \rho \frac{6 \langle x \rangle^3}{\pi} \quad (3.36)$$

3.4.2 Energía suministrada por el aerogenerador

Si $P_e(x)$ es la función que describe la potencia del aerogenerador en función de la velocidad x , entonces la potencia media $\langle P_w \rangle$ producida por el aerogenerador se obtiene como:

$$\langle P_w \rangle = \int_0^{\infty} P_e(x) f(x) dx \quad (3.37)$$

Se puede calcular este dato a partir de tablas de velocidad del viento x_j y sus correspondientes frecuencias f_j como:

$$\langle P_w \rangle = \sum_{j=1}^m f_j P_e(x_j) \quad (3.38)$$

Finalmente, se puede calcular la potencia media por unidad de área que produce un aerogenerador con el régimen de vientos de un determinado mes en una determinada localidad como:

$$\langle P_w \rangle = \int_{x_0}^{x_r} P_e(x) f(x) dx + P_r \int_{x_r}^{x_1} f(x) dx \quad (3.39)$$

La energía generada por el aerogenerador debe ser como mínimo igual a la energía consumida. Se parte, entonces, como en el procedimiento de cálculo y diseño de una instalación fotovoltaica, de la evaluación de las necesidades energéticas diarias E_d . Por otro lado, si se conoce el viento disponible en términos anuales, se necesita saber la velocidad media del viento mes a mes. Se debe elegir para el cálculo el mes con menor velocidad media de viento. Se comprueba que ésta sea superior a

la mínima necesaria para superar el par de arranque de los aerogeneradores de los catálogos comerciales, e inferior a la de parada por exceso de viento.

Si se define la velocidad normalizada o relativa como:

$$\lambda = \frac{v_{tg\ máx}}{v_{viento}} = \frac{\omega R_{máx}}{v_{viento}} \quad (3.40)$$

siendo $v_{tg\ máx}$ la velocidad tangencial máxima, v_{viento} la velocidad del viento, ω la velocidad angular de la turbina y $R_{máx}$ el radio máximo del aerogenerador.

Además,

$$P_{turbina} = \omega_{turbina} T_{turbina} \rightarrow T_{turbina} = \frac{P_{turbina}}{\omega_{turbina}} \quad (3.41)$$

Obteniendo la familia de curvas par-velocidad de una turbina:

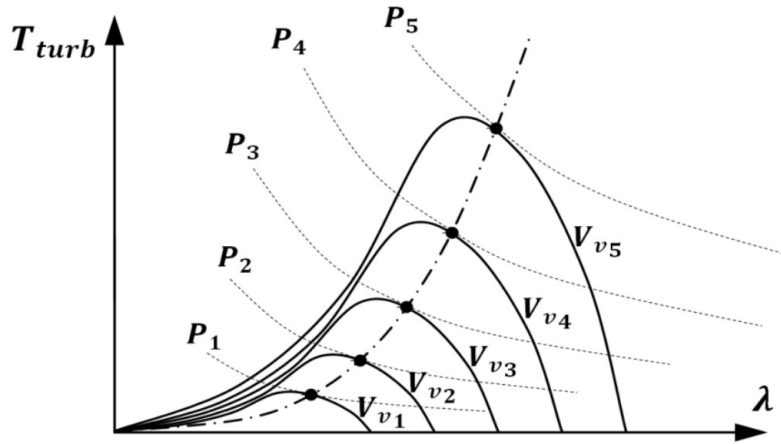


Figura 3.7: curva par-velocidad del aerogenerador.

Los esquemas tipo de las instalaciones eólicas de generación de electricidad son idénticos a los de instalaciones fotovoltaicas, sólo que sustituyendo los módulos por el aerogenerador.

Capítulo 4

Mediciones

“Medir es determinar la relación de una cantidad respecto a otra que es invariable o se presume tal. Esta invariabilidad, o al menos la legitimidad de su presunción, es una condición sine qua non de toda medición. Sólo si tal presunción es admisible se podrán determinar las variaciones a medir.”

Ludwig von Mises, economista austriaco (1881 - 1973)

4.1 Mediciones de Energía: Analizador de Redes Trifásico

Como se detalló anteriormente, es menester obtener datos del consumo de los equipos a los cuales se pretende cambiar su fuente de alimentación.

Para lograr tal cometido, se utilizó el *Analizador de Redes Trifásico Metrel MI 2092*. El mismo, es un instrumento portable multifunción utilizado para la medición y análisis de las tres fases de los sistemas de potencia.



Figura 4.1: analizador de redes trifásico Metrel MI 2092.

Sus características principales son:

- Monitorización, grabación y análisis integral en tiempo real de sistemas de potencia de 3 fases.
- Amplia gama de funciones:
 - Voltaje rms verdadero,
 - Corriente rms verdadera,
 - Potencia (Watt, VAR y VA),
 - Factor de potencia,
 - Energía,

- Osciloscopio de potencia,
 - Análisis de armónicos.
- Monitoreo de interrupciones de la tensión y potencia de alimentación con análisis de los datos registrados.
- En el modo grabación, los valores medidos se almacenan para su posterior análisis.
- Cálculo de valor mínimo, promedio y máximo de cantidades registradas, con varios informes prediseñados.
- Modo osciloscopio para mostrar formas de onda, tanto en tiempo real como en el software a partir de datos almacenados.
- Análisis de distorsión de armónicos hasta el 63° armónico, tanto en línea como en el software con datos guardados.
- Seguimiento y análisis energético.
- Baterías internas recargables.
- Puerto de comunicación RS232 para conexión a PC.
- Software compatible con Windows para análisis de datos y control de instrumentos.

Sus especificaciones técnicas pueden ser consultadas en el Anexo 2 [13].

4.2 Locación utilizada como muestra

En conjunto con el Ing. Silvio Maldonado de YPF S.A., se eligió como locación modelo el campamento del equipo de perforación del SAI-601, ubicado en la localidad de Cañadón Seco, Provincia de Santa Cruz.

Las coordenadas fueron medidas con un GPS siendo las siguientes:

46° 34' 32"S 67°32'28"O Elevación 314 m.

En la siguiente imagen se puede observar su ubicación espacial, y, en la subsiguiente su ubicación satelital, donde se puede apreciar tanto la cercanía como la gran cantidad de pozos perforados en la zona (puntos claros).

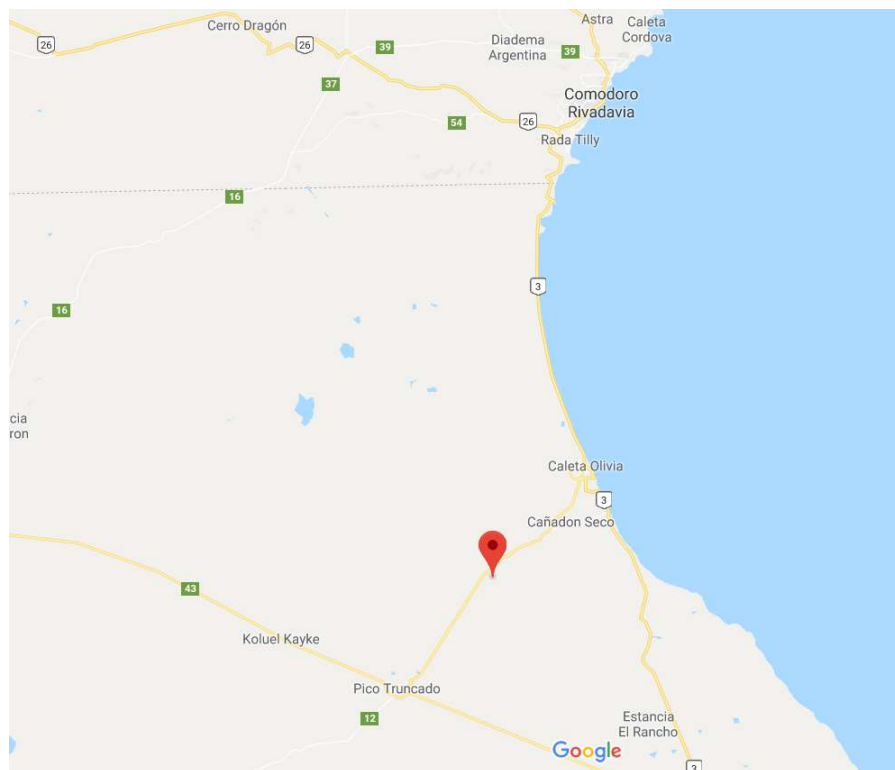


Figura 4.2: ubicación de referencia.

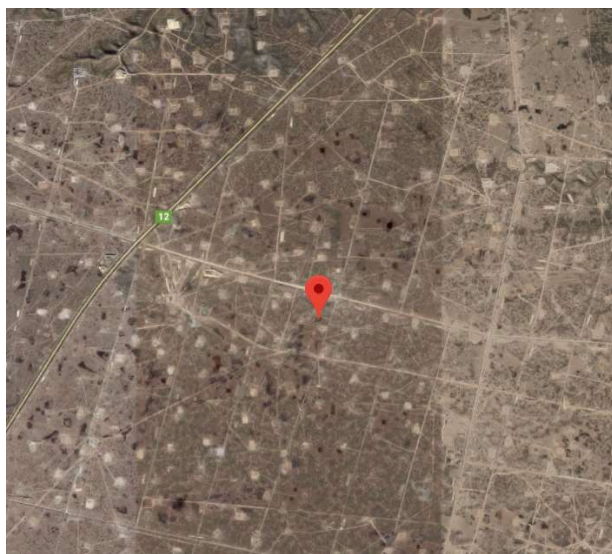


Figura 4.3: ubicación satelital.

Las mediciones fueron realizadas el día 20 de Abril de 2018 entre las 11:21:00 hs y las 16:24:20 hs. Las mismas fueron hechas en las líneas de alimentación eléctrica de todos los tráileres vivienda del campamento.

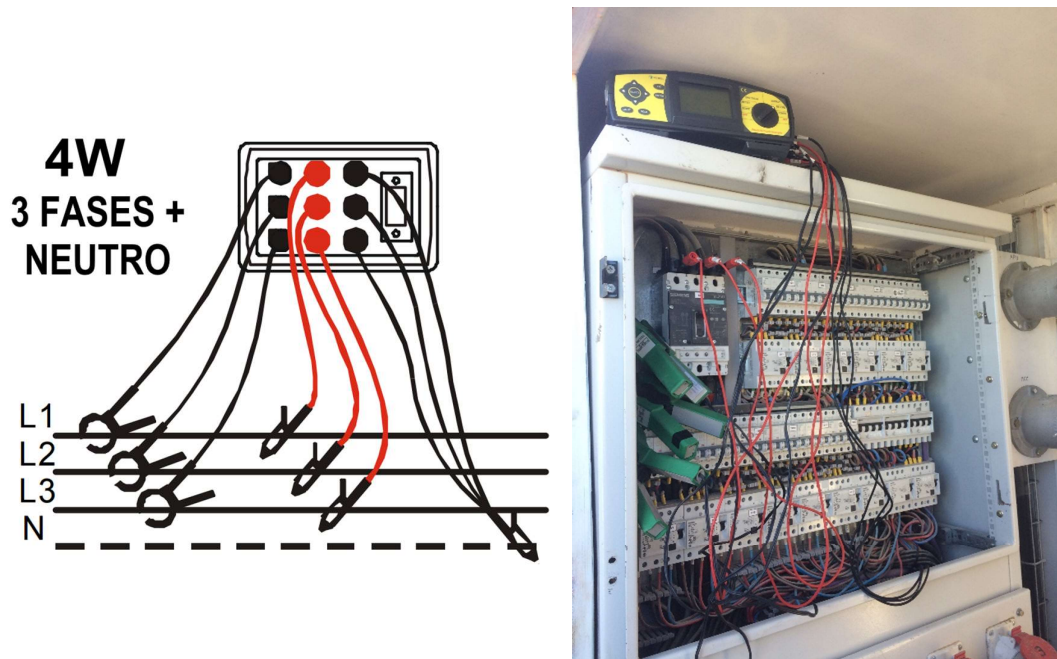


Figura 4.4: en la figura de la izquierda se observa diagrama de la conexión. En la de la derecha, el MI 2092 realizando mediciones en campo.



Figura 4.5: tráileres vivienda del campamento.

Se pueden observar más imágenes de la visita en el Anexo 3.

4.3 Datos Medidos

Los datos medidos por el analizador de redes trifásicas fueron:

- Frecuencias máximas y mínimas.

- Tensiones de cada fase máximas y mínimas.
- Corrientes de cada línea máximas y mínimas.

Como no se pudo medir la potencia activa y reactiva debido a problemas en el equipo, y teniendo en cuenta los electrodomésticos instalados en los tráileres vivienda, se supuso:

$$\text{Factor de Potencia} \rightarrow \cos \varphi = 0,8$$

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

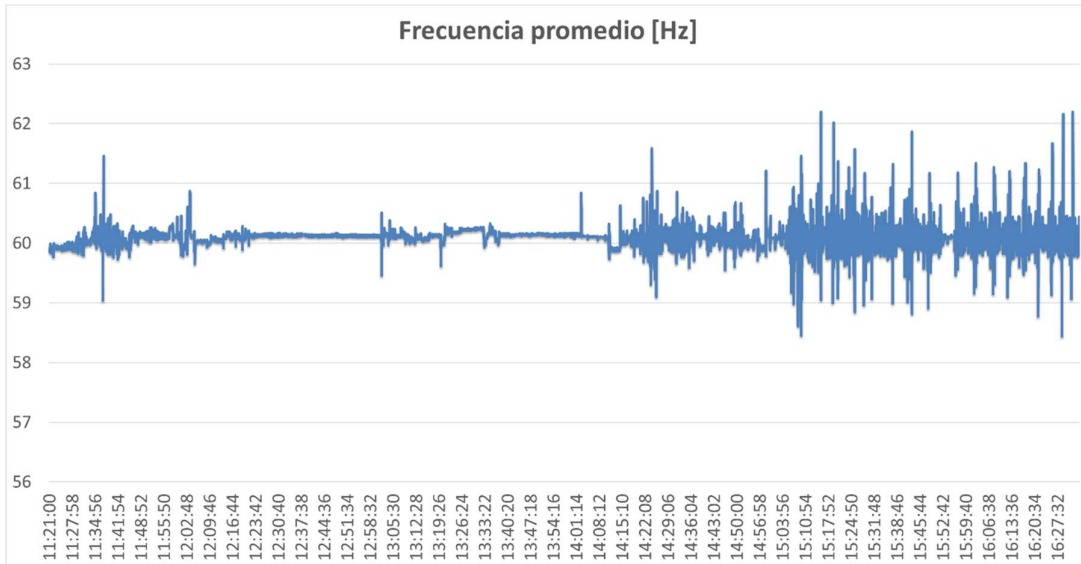


Figura 4.6: frecuencia medida en función del tiempo.

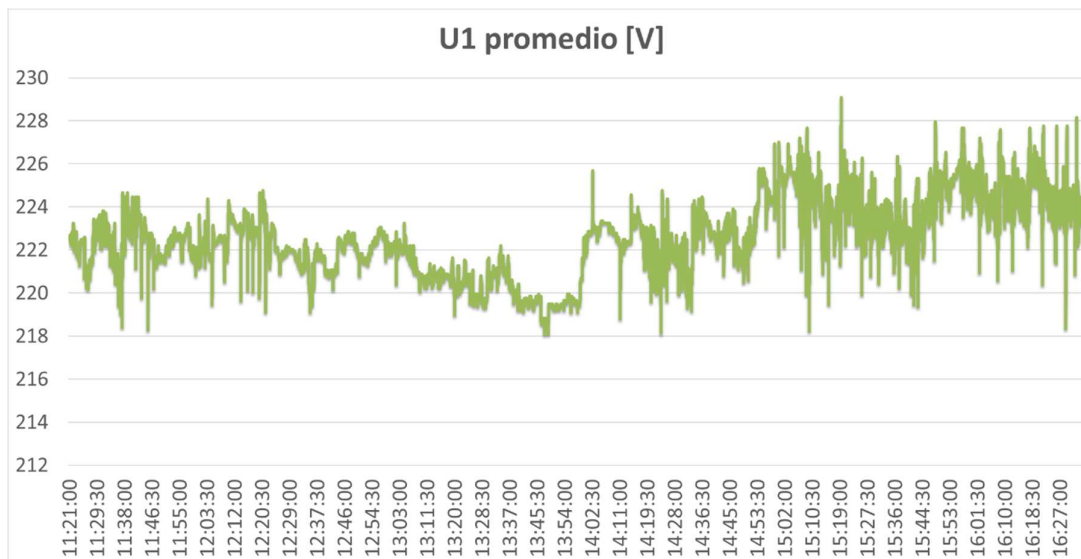


Figura 4.7: tensión de la fase 1 en función del tiempo.

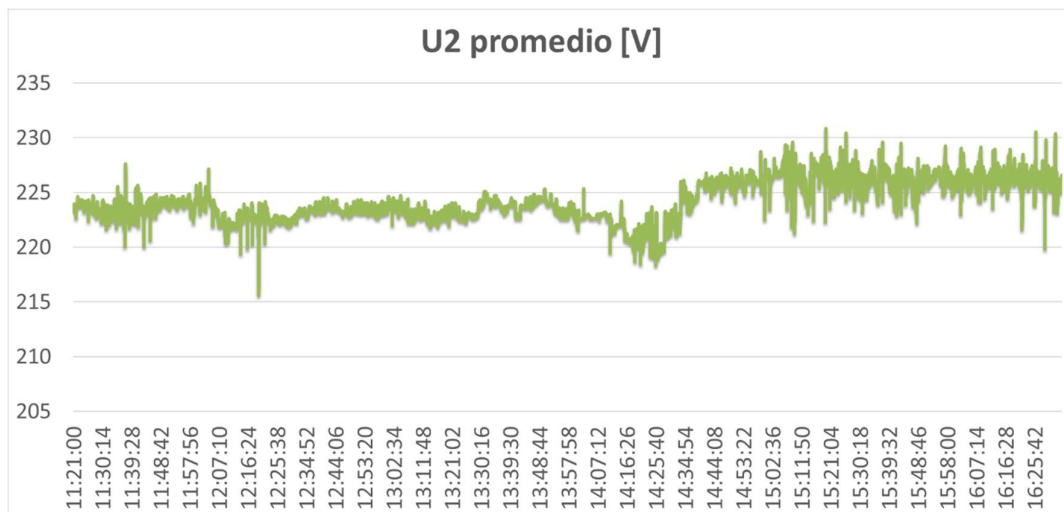


Figura 4.8: tensión de la fase 2 en función del tiempo.

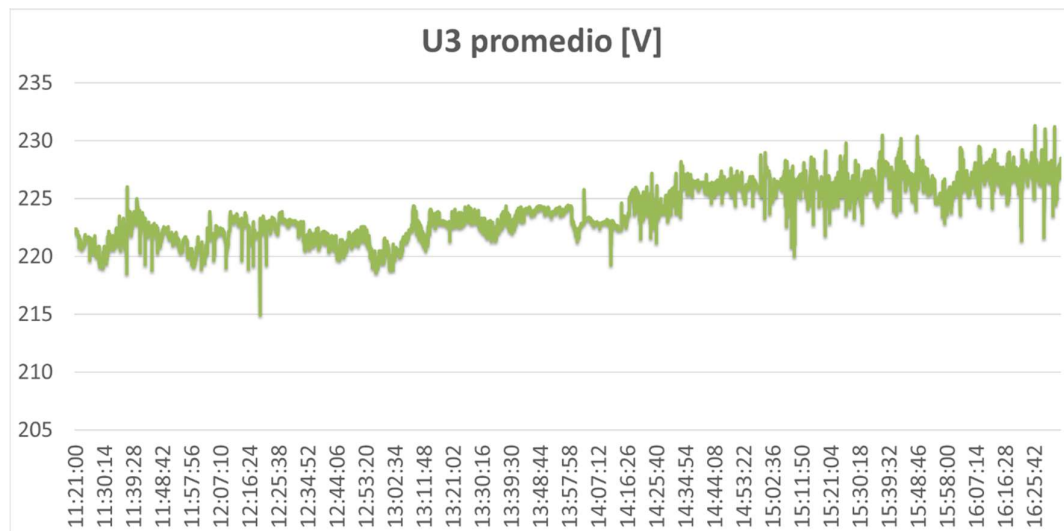


Figura 4.9: tensión de la fase 3 en función del tiempo.

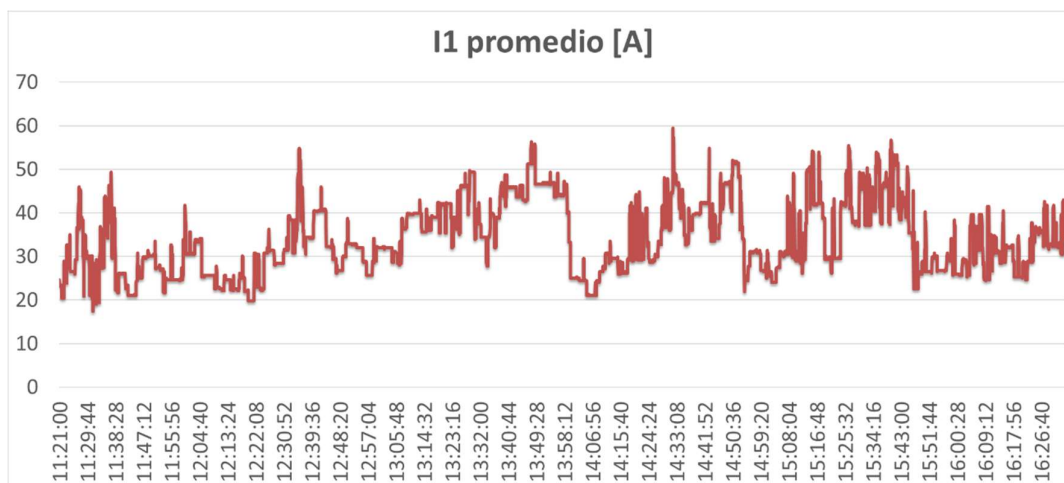


Figura 4.10: corriente de la línea 1 en función del tiempo.

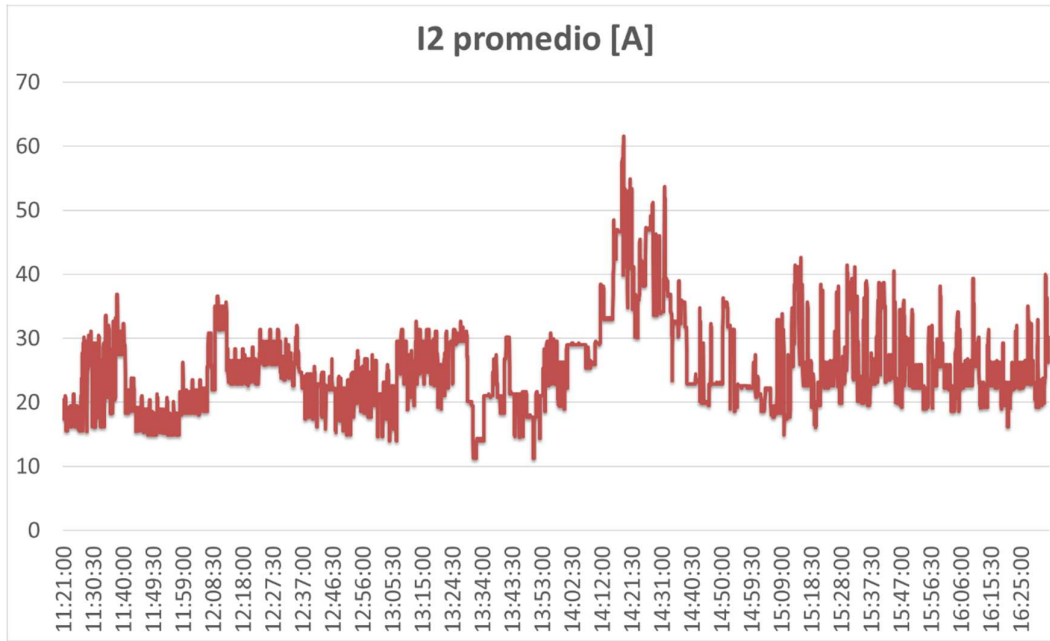


Figura 4.11: corriente de la línea 2 en función del tiempo.

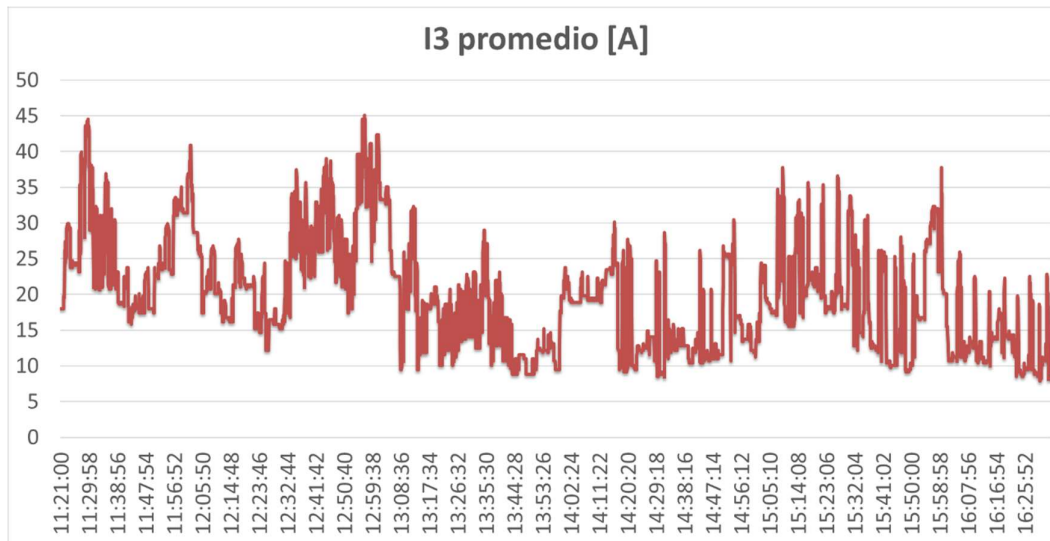


Figura 4.12: corriente de la línea 3 en función del tiempo.

Con estos datos, se calcula la potencia promedio por día:

$$P_{prom/día} = U_1 I_1 \cos \varphi + U_2 I_2 \cos \varphi + U_3 I_3 \cos \varphi \quad (4.1)$$

Dando como resultado 14,11 kW para 9 tráileres vivienda.

Finalmente, se decide por realizar el estudio para alimentar los dos tráileres más importantes de la locación: el del Jefe de Equipo y el del Company Man. Esto es debido a la demanda de la empresa, que comunicó que 22 días al año las operaciones se detienen por días festivos (4 días) y paros (18 días). Por lo tanto, se debe mantener uno de sus tres generadores de 3 MW encendidos sólo para

alimentar el consumo de dos tráileres vivienda. Es por esto, que se tomará como consumo:

$$P = \frac{14,11 \text{ kW}}{9} * 2 = \mathbf{3,13 \text{ kW}} \quad (4.2)$$

Esta es la potencia promedio que se deberá cubrir con las alternativas renovables.

Capítulo 5

Cálculos y Diseño de la Instalación

“Cambiar a energías renovables, no es sólo la mejor opción. Es nuestra única opción.”
World Wildlife Fund WWF (1961 – actualidad)

5.1 Consideraciones necesarias para la Instalación

A partir de lo desarrollado en los capítulos precedentes, se desarrollarán en este capítulo los cálculos necesarios para lograr una instalación eficiente que permita cubrir la demanda necesaria de suministro eléctrico, teniendo en cuenta las limitaciones presentadas por el terreno sobre el que se trabaja y las condiciones del equipo de perforación sobre el cual se quiere realizar el cambio de fuentes de energía.

Primero se plantean las limitaciones a tener en cuenta sobre las cuales se deberá trabajar.

Se debe tener en cuenta:

- Cada uno de los tráileres de la instalación mide 2,5 m de ancho por 9,2 m de largo. Esto quiere decir que la superficie sobre la cual se pueden instalar paneles es de 23 m². De esta manera tenemos un límite respecto a tamaño y cantidad de paneles fotovoltaicos que pueden ser instalados.
- La cantidad de tráileres en cuyo techo se colocarán paneles solares está limitada a cuatro, ya que esa es la mínima cantidad de tráileres que hay en una locación de perforación o workover como la que utilizamos como base de este trabajo.
- La demanda de electricidad en un equipo como el visitado es muy superior a la que es factible alimentar con energías renovables, debido a la cantidad de equipos que se utilizan. Es por esta razón que se define como única carga a alimentar con el sistema híbrido propuesto, a los dos tráileres más importantes de la locación, el del Jefe de Equipo y el del Company Man.
- El peso y el espacio son factores fundamentales a la hora de transportar todos los equipos necesarios para las tareas de perforación y workover, por ello la instalación diseñada no debería representar un cambio muy

importante en los factores mencionados. Esto quiere decir que se debe tener en cuenta la cantidad de elementos necesarios para la instalación, sobre todo a la hora de realizar un cálculo de baterías, ya que las mismas pueden demandar una gran cantidad de espacio.

- Se debe considerar que el clima invernal en la zona de estudio es muy hostil y la cantidad de irradiación que reciben los paneles es muy baja, lo cual implica que la cantidad de energía que llegan a generar puede no alcanzar para lograr el suministro eléctrico. Aquí es necesario analizar la posibilidad de instalar un sistema híbrido que incluya la utilización de energía producida por el viento. De esa manera se puede obtener la cantidad de energía necesaria para lograr suministrar los tráileres.
- Para la instalación de energía eólica se deben utilizar aerogeneradores, los cuales producen un alto nivel de ruido de acuerdo a su masividad y además deben cumplir con medidas de seguridad para evitar accidentes. Todo ello implica que, de acuerdo a su tamaño, deben colocarse a una distancia adecuada de la locación para evitar inconvenientes.
- Sabiendo que la instalación debe poseer facilidades de movilización debido a las características de los equipos y la distancia a la que se deben transportar por rutas públicas nacionales y provinciales, se debe considerar la posibilidad de ubicar el aerogenerador abatido sobre los tráileres para facilitar su transporte.

El diseño de la instalación para determinar la disposición de los elementos de la misma se realizará utilizando el software *SketchUp*.

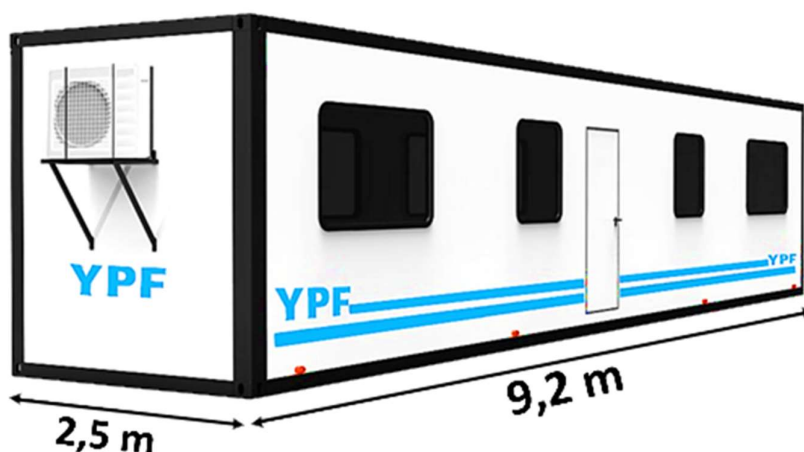


Figura 5.1: medidas de un tráiler vivienda de la empresa YPF S.A.

5.2 Cálculos y diseño de la Instalación Fotovoltaica

Para empezar a realizar los cálculos es necesario comenzar tomando en cuenta las limitaciones mencionadas en la sección anterior. La primera limitación fundamental es el espacio en el cual se pueden colocar los paneles fotovoltaicos. Teniendo en cuenta que las medidas del tráiler son 9,2 m de largo y 2,5 m de ancho, y también evitando que se ocupen espacios por fuera de los 2,5 m de ancho del tráiler debido a factores de seguridad durante su transporte (ya que es el ancho máximo permitido por el tamaño de la vía de la calle), se obtiene que la cantidad de paneles solares de 2 m x 1 m son 10 en dos filas de 5.

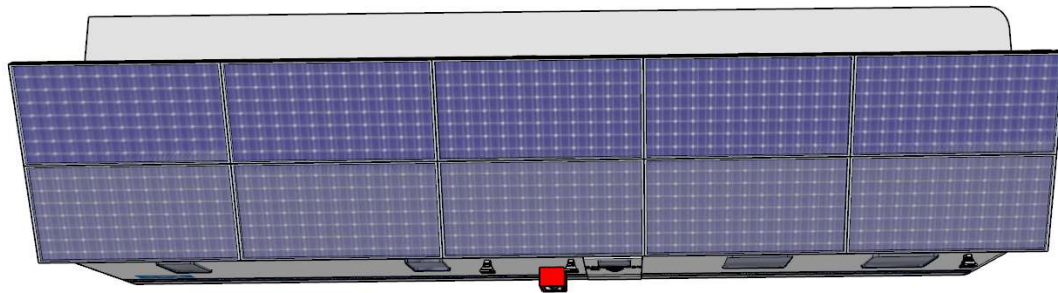
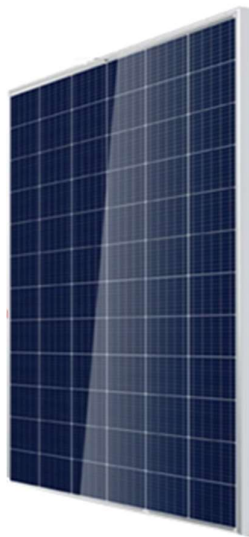


Figura 5.2: disposición de los paneles.

Para realizar los cálculos de potencia se toma la decisión de elegir los paneles que serán utilizados. El panel fotovoltaico elegido es *Trina Solar TSM-330PD14-330W* que se puede observar en la siguiente imagen:



*Figura 5.3: panel solar
Trina Solar TSM-330PD14.*

Las características principales del panel son las siguientes:

Potencia nominal- $P_{m\acute{a}x}(W_p)$	330
Voltaje en el punto máximo $V_{MPP}(V)$	37,4
Corriente máxima – $I_{MPP}(A)$	8,83
Peso (kg)	22,5
Dimensiones (mm)	1960 x 992 x 40
Precio	US\$ 250

Tabla 5.1: características principales del Trina Solar TSM-330PD14.

Las especificaciones técnicas del panel solar se encuentran en el Anexo 4.

Tomando en cuenta estos valores se pueden realizar los cálculos de potencia necesarios para conocer cuánta energía eléctrica se podrá suministrar con la instalación diseñada.

Con 10 paneles por tráiler se puede calcular la potencia máxima que podrá ser generada por cada tráiler como:

$$P_{tm\acute{a}x} = 330\ W * 10 = 3300\ W \quad (5.1)$$

5.2.1 Potencia obtenida – Paneles en Disposición Horizontal

Sabiendo que el Atlas Solar mide la cantidad de energía que genera el sol sobre un plano horizontal, se calcula la potencia real que genera la instalación de paneles colocados de forma horizontal sobre el techo de cada tráiler, utilizando la cantidad de horas solares pico de la región obtenidas del “*Atlas de Energía Solar de la República Argentina*”, a partir de la irradiación medida en la zona de interés de nuestra instalación. La zona analizada es la parte norte de la Provincia de Santa Cruz y el sur de la Provincia de Chubut.

En el mapa de la siguiente figura se observa, a modo de ejemplo, la irradiación en el mes de Abril para la zona de interés mencionada:

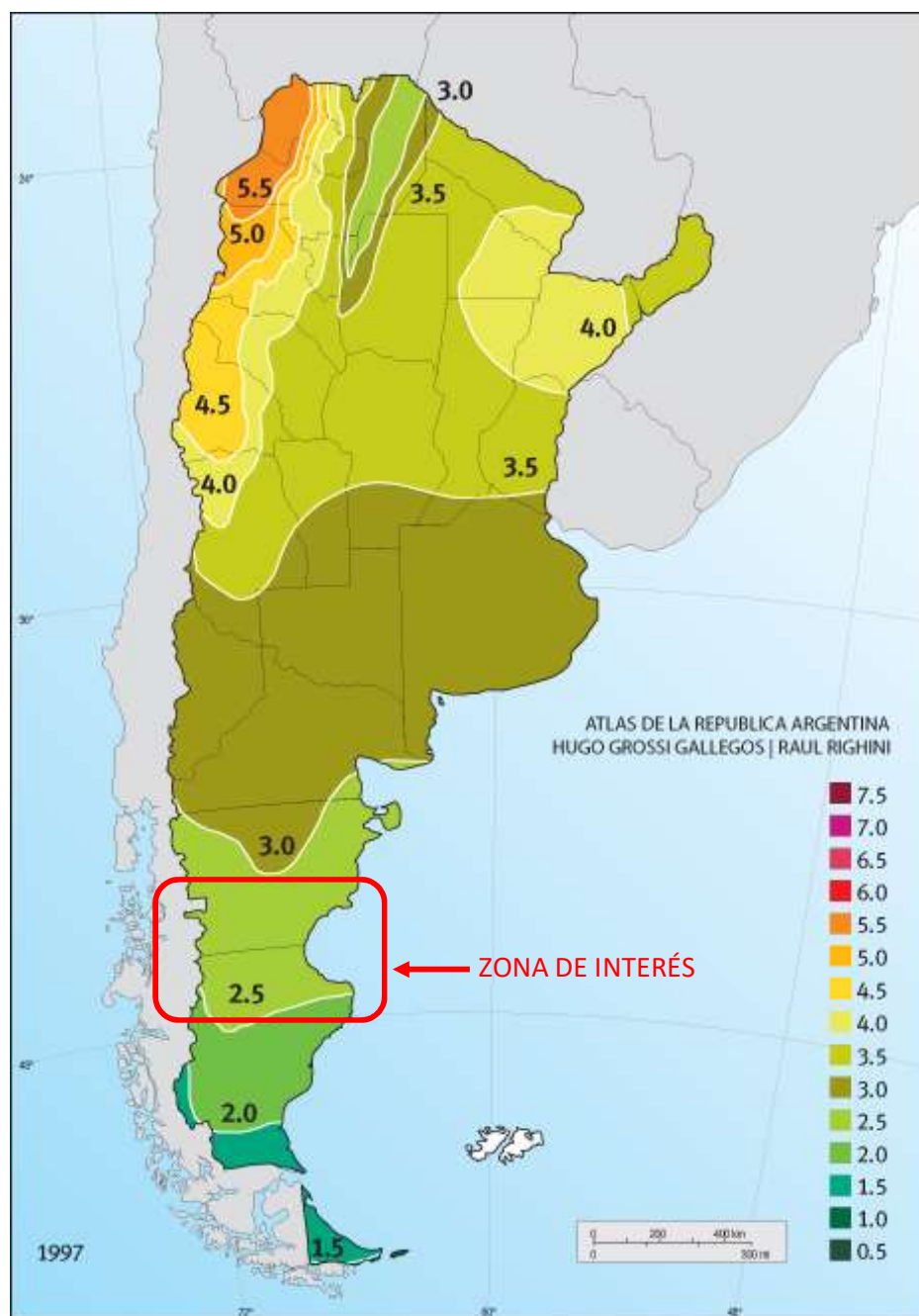


Figura 5.4: mapa de irradiación solar para el mes de Abril.

Los siguientes son los datos mensuales de la irradiación solar para cada mes:

Irradiación [kWh/m ²]	Meses
6,5	Enero
5,5	Febrero
4	Marzo
2,5	Abril
1	Mayo
1	Junio
1	Julio
2	Agosto
3,5	Septiembre
5	Octubre
6	Noviembre
6,5	Diciembre

Tabla 5.2: datos de irradiación mensual.

La distribución se puede observar en el siguiente gráfico:

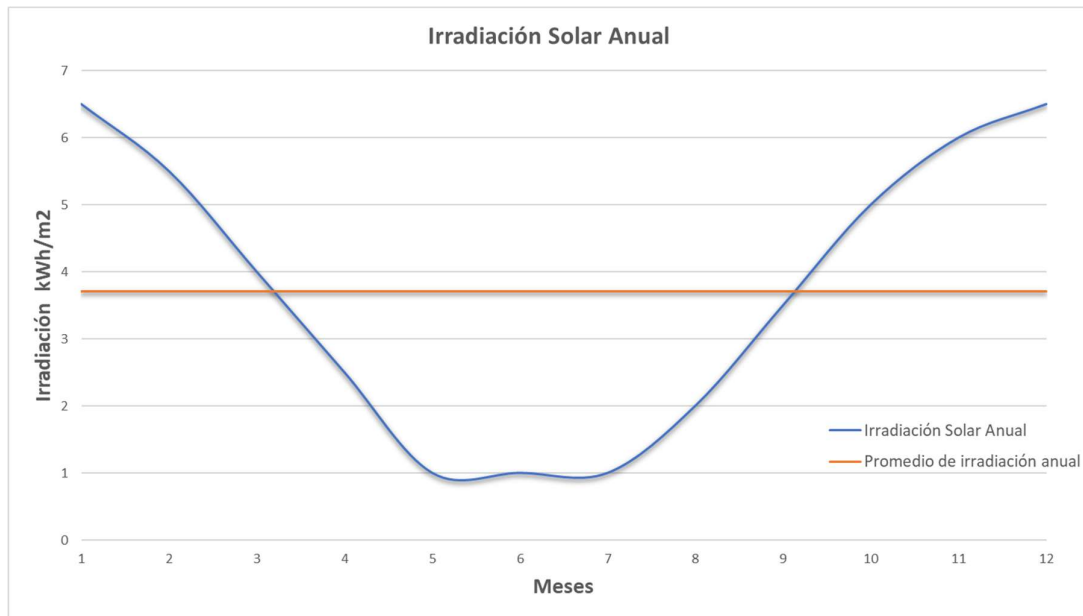


Figura 5.5: promedio de irradiación anual obtenido de "Atlas Solar de la República Argentina".

De los datos obtenidos se realiza el cálculo para conocer el valor del HSP promedio anual para la zona a partir de los datos de tabla y utilizando la ecuación (2.10):

$$HSP = \frac{6,5 + 5,5 + 4 + 2,5 + 1 + 1 + 1 + 2 + 3,5 + 5 + 6 + 6,5}{12} \quad (5.2)$$

$$HSP = 3,7083 \text{ h}$$

Cuyo valor también se puede observar como una línea en el gráfico anterior.

De esa manera se puede obtener la energía promedio por día producida por los 10 paneles de cada tráiler como:

$$E = P_{\text{máx}} \cdot HSP = 3300 \text{ W} \cdot 3,7083 \text{ h} = 12,237 \text{ kWh/día} \quad (5.3)$$

Luego, se obtiene la potencia promedio que puede suministrar la instalación de 10 paneles solares de cada uno de los tráileres utilizados:

$$P_h = \frac{12,237 \text{ kWh}}{24 \text{ h}} = 509,8 \text{ W por tráiler} \quad (5.4)$$

Como máximo se podrán instalar paneles hasta en 4 techos de tráileres, por lo tanto, las potencias promedio obtenidas, con los paneles en posición horizontal serán:

Cantidad de tráileres	Potencia	Unidad
1	509,8	W
2	1019,78	W
3	1529,67	W
4	2039,57	W

Tabla 5.3: potencias de acuerdo a cantidad de tráileres utilizados.

5.2.2 Potencia obtenida – Paneles con Inclinación de Ángulo Óptimo

Teniendo en cuenta que cuanto más perpendicular incide la radiación solar sobre la superficie de los módulos fotovoltaicos, mayor será la cantidad de energía producida, se realizan cálculos que permiten conocer la cantidad de energía que se puede recibir utilizando la inclinación del ángulo óptimo.

El primer paso es conocer el ángulo óptimo con el cual se deben inclinar los paneles. Para ello se recurre al trabajo *“Mapa de Energía Solar colectada anualmente por un plano inclinado. Un ángulo óptimo en la República Argentina”*. En el mismo se realizaron mediciones de los ángulos óptimos de varios puntos en el país, entre los que se examinan los más cercanos a la zona de estudio.

Estos puntos son:

- Comodoro Rivadavia, Chubut,
- Puerto Deseado, Santa Cruz,
- Cabo Blanco, Santa Cruz.

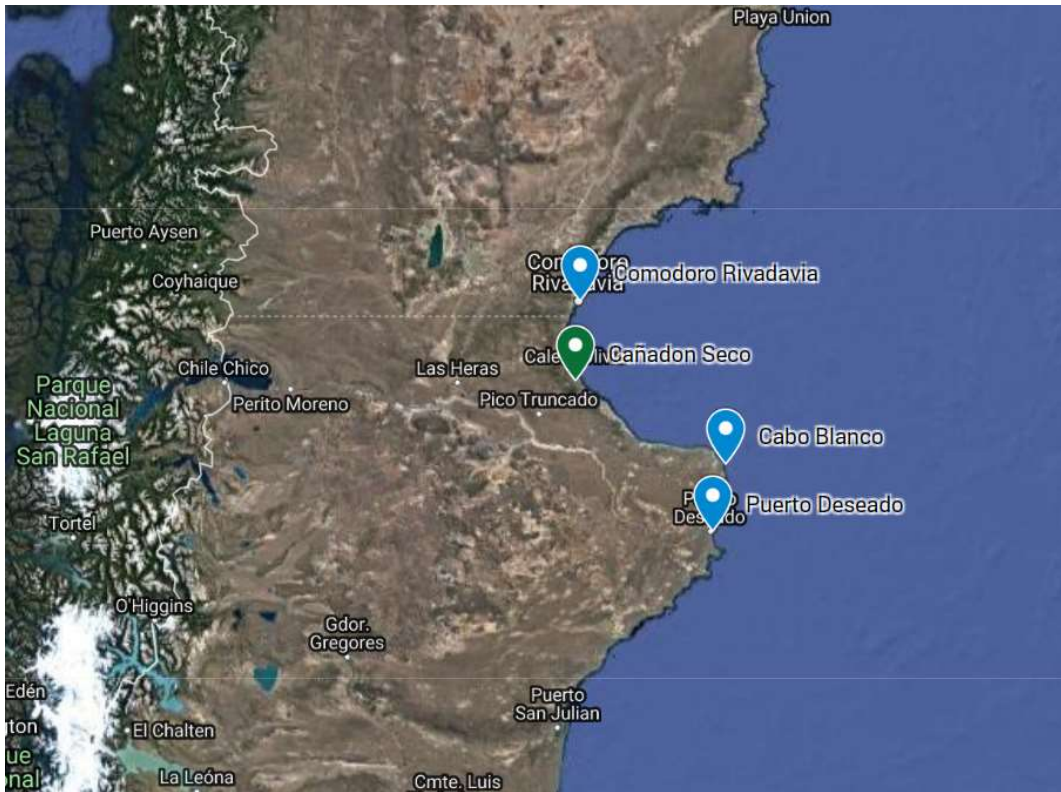


Figura 5.6: lugares en los que se midió el ángulo óptimo.

Los datos extraídos son los siguientes:

Lugar	Longitud	Latitud	Ángulo óptimo anual [°]
Comodoro Rivadavia	-67,50	-45,85	-37,33
Puerto Deseado	-65,92	-47,73	-38,04
Cabo Blanco	-65,73	-47,20	-38,61

Tabla 5.4: ángulos óptimos de localidades cercanas a la zona de estudio.

A partir de los datos obtenidos se puede estimar que el ángulo óptimo se encontrará entre esos valores si tomamos la zona cercana a Cañadón Seco. También analizando el mapa se determina que el ángulo óptimo estará más cercano al valor de la ciudad de Comodoro Rivadavia, por lo tanto, el valor estimado como ángulo óptimo será de:

$$\beta_{OPT} = -37.5^\circ \quad (5.5)$$

De esta manera, se calcula nuevamente la hora solar pico, energía y potencias.

Primero se calcula la hora solar pico con el ángulo óptimo y con la ecuación (2.4):

$$G_a(\beta_{opt}) = \frac{3,7083}{1 - 4,46 \cdot 10^{-4} \cdot (-37.50) - 1,19 \cdot 10^{-4} \cdot (-37.50)^2} \quad (5.6)$$

Donde $G_a(0^\circ)$ es equivalente a la HSP para los paneles sin inclinación cuyo valor es $G_a(0^\circ)=3,7083$ h.

La hora solar con el ángulo óptimo es:

$$G_a(\beta_{opt}) = 4,3658 \text{ h}$$

Es por esto, que la energía y la potencia promedio tienen como resultado:

$$E = P_{tm\acute{a}x} \cdot HSP = 3300 \text{ W} \cdot 4,3658 \text{ h} = 14,407 \text{ kWh} \quad (5.7)$$

Luego, se obtiene la potencia promedio que puede suministrar la instalación de 10 paneles solares de cada uno de los tráileres utilizados:

$$P_h = \frac{14,407 \text{ kWh}}{24h} = 600,309 \text{ W por tráiler}$$

Cabe concluir que se obtendría mayor cantidad de energía del sol utilizando el ángulo óptimo.

Instalación de dos filas de cinco paneles

Se debe tener en cuenta que, al estar los paneles inclinados, no deben producir perjuicios sobre la captación de energía de los paneles que se encuentran detrás de ellos. Como se determinó que se instalarán 2 filas de 5 paneles, se debe considerar qué sucede con los 5 paneles traseros con respecto al sol.

A continuación, se puede observar como los paneles requieren una distancia entre sí para evitar producir sombra a los paneles traseros. Esa distancia es dI en la siguiente imagen:

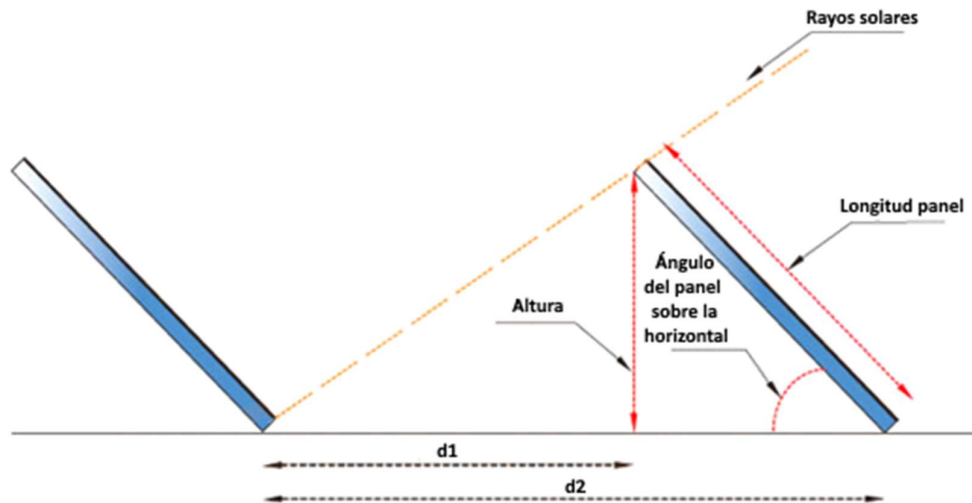


Figura 5.7: ubicación de paneles solares en forma inclinada.

Por lo tanto, se requiere una distancia adecuada de instalación entre los módulos solares. Se debe considerar que:

- El techo de los tráileres es de 2,5 m de ancho,
- La anchura de los paneles es de 1 m,
- Siempre deben orientarse hacia el norte.

Con estos datos se pueden realizar cálculos geométricos para determinar la distancia $d1$ necesaria entre los paneles.

Primero se debe calcular la altura del obstáculo:

$$h = L \cdot \sin \theta \quad (5.8)$$

Siendo

- h la altura,
- θ el ángulo de inclinación,
- L la anchura del panel.

$$h = 1m \cdot \sin 37,5 = 0,6 m$$

Teniendo en consideración que la distancia máxima entre los paneles $d1$ puede ser 0,5 m por las limitaciones de espacio del techo de los tráileres, se puede calcular el ángulo con el que debe incidir el sol en las placas para lograr que no haya sombra. Siendo:

$$\tan \alpha = \frac{h}{d1} \quad (5.9)$$

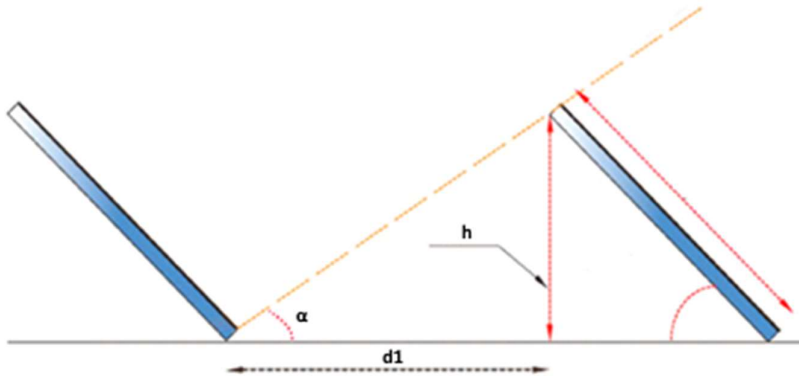


Figura 5.8: Variables de cálculo geométrico de la distancia necesaria entre paneles.

Sabiendo que la distancia $d1$ máxima es de 0,5 m y la altura de 0,6 m es el ángulo de incidencia del sol para evitar la sombra sobre los paneles traseros, entonces:

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{h}{d1}\right) = 50,19^\circ$$

Por lo tanto, el sol deberá incidir con 50° o un ángulo mayor para evitar afectar la cantidad de energía que reciben los paneles ubicados en la parte trasera del techo.

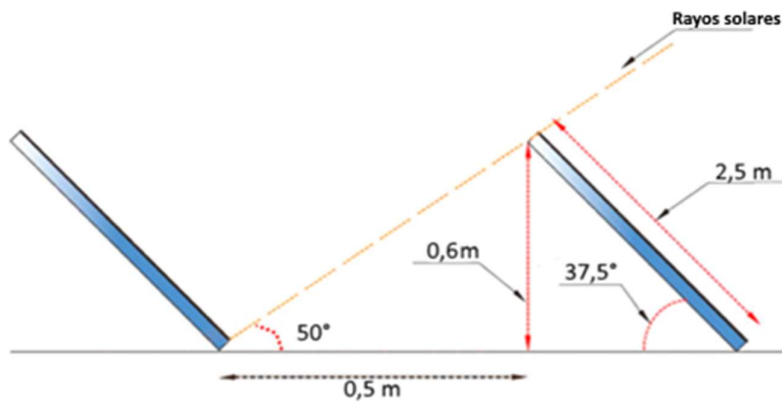


Figura 5.9: gráfico con valores calculados para disposición de paneles..

Se puede concluir que la instalación de 2 filas de paneles de forma inclinada, con el ángulo de inclinación óptimo no es adecuada para las características del trabajo realizado, debido a que gran parte del tiempo el ángulo de incidencia del sol sobre los paneles sería menor a 50° afectando enormemente la producción de energía, sobre todo en la época invernal, debido a que el sol, al estar más cerca de la tierra, realiza una trayectoria más baja (por eso hay menor cantidad de horas de luz en

invierno respecto al verano). Incluso hay ángulos de incidencia para los cuales los paneles traseros serán completamente tapados por los delanteros y no producirán energía.

Una fila de diez paneles juntos inclinados en el ángulo óptimo

A diferencia del caso anterior, esta opción es más posible debido a que al juntar los 10 paneles en una sola fila y levantarlos todos en el ángulo óptimo, se lograría un mayor rendimiento de la instalación y se evitaría producir sombra sobre algunos de los paneles, evitando también disminuir el rendimiento de los mismos.

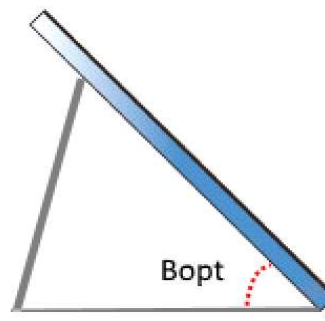


Figura 5.10: paneles solares ubicados en el ángulo óptimo.

De esa manera, los cálculos serían los mismos que los realizados al inicio de esta sección. La HSP tiene como resultado:

$$G_a(\beta_{opt}) = 4,3658 h$$

Luego la energía y la potencia obtenidas son:

$$E = P_{tm\acute{a}x} \cdot HSP = 3300 W \cdot 4,3658 h = 14,407 kWh$$

$$P_h = \frac{14,407 kWh}{24h} = 600,309 W \text{ por tráiler}$$

En la tabla a continuación se observa la cantidad de potencia promedio que se puede generar de acuerdo a la cantidad de tráileres utilizados.

Cantidad de tráileres	Potencia	Unidad
1	600,309	W
2	1200,62	W
3	1800,93	W
4	2401,2	W

Tabla 5.5: potencia generada por cantidad de tráileres.

5.2.3 Potencia obtenida – Paneles con Seguidores Solares

El último caso a considerar es el caso de la instalación con la inclusión de un seguidor solar. Por cuestiones económicas, de espacio, de rendimiento y de falta de disponibilidad para el tipo de instalación, se descarta la inclusión de seguidores solares.

Los seguidores solares en la actualidad tienen aplicación en granjas de energía solar en las que hay mucho espacio disponible y además donde es redituable realizar la inversión en un seguidor solar que incluye elementos mecánicos y electrónica de control que hace que tenga un precio elevado.

Los seguidores solares para paneles individuales no son muy utilizados porque el costo de los elementos utilizados para su fabricación no alcanza a justificar el aumento de la producción de los mismos.

En las imágenes posteriores se pueden ver los dos tipos de seguidores utilizados y las bases necesarias sobre las cuales deben ser montados.



Figura 5.11: en la imagen de la izquierda, un seguidor solar de un eje. En la de la derecha, uno de doble eje.

Los fabricantes realizan seguidores solares grandes de mucha capacidad, es decir que permiten montar una cantidad importante de paneles, eso se debe a que buscan aprovechar al máximo el seguidor solar y todos los elementos involucrados en su instalación y funcionamiento. Por estas razones se deben instalar con bases cementadas que imposibilitan su colocación en una instalación como la prevista en este trabajo. Es por todo ello que se descartan los seguidores solares.

5.2.4 Potencia obtenida – Comparación entre casos

Finalmente se realiza una comparación entre los diferentes casos sobre los cuales se obtuvieron datos. Tomando como base el cálculo de potencia y la cantidad

producida mes a mes se realiza el siguiente gráfico que permite observar una comparación clara y precisa sobre los dos sistemas.

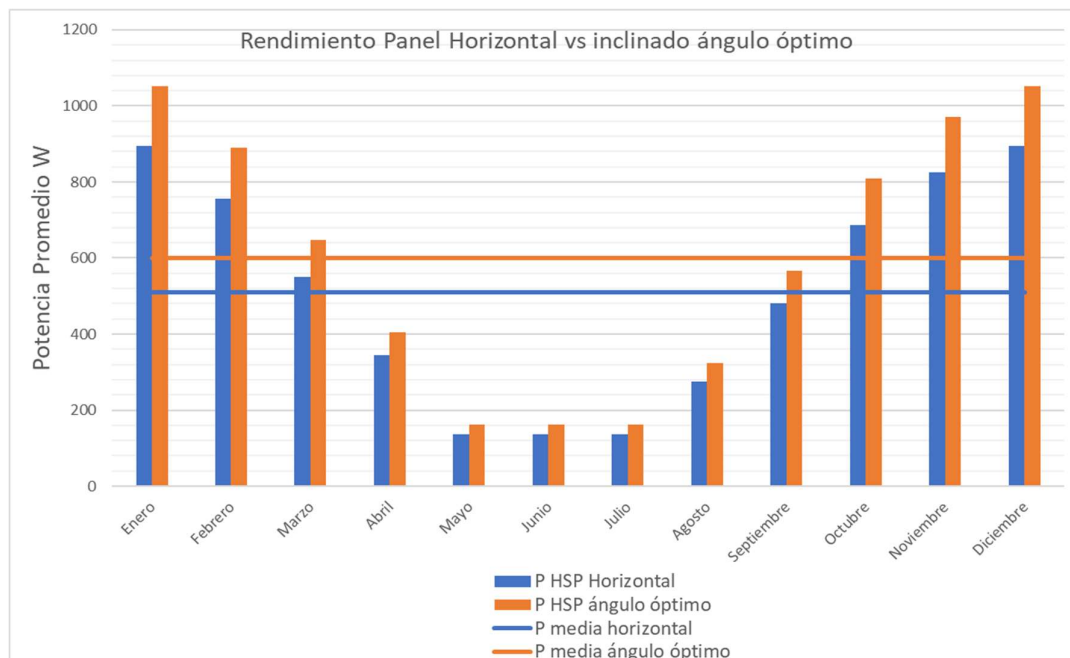


Figura 5.12: comparación de los dos sistemas analizados de instalación de paneles.

En la figura se puede ver la producción de un panel solar ubicado de forma horizontal en color azul y luego el mismo panel solar ubicado con el ángulo óptimo en anaranjado. Es clara la diferencia que se obtiene utilizando la inclinación de los paneles ya que permite obtener un valor de potencia más elevado en todos los meses y una media mayor en el promedio anualizado, mientras que el rendimiento de los paneles ubicados de forma horizontal es notoriamente menor.

Es por ello que es conveniente seleccionar la forma de instalación inclinada utilizando el ángulo óptimo de los paneles, de forma tal que se pueda obtener el mayor rendimiento posible para la instalación.

5.2.5 Sistema de ubicación de los Paneles

De acuerdo al estudio hecho previamente, se puede concluir que lo más conveniente es contar con un sistema mecánico para colocar los paneles en $\pm 37,5^\circ$ o dejarlos en posición horizontal de acuerdo hacia donde apunten los tráileres vivienda. Entonces, para su transporte, para días ventosos, o cuando el frente de los mismos esté apuntando al este o al oeste, se deberán colocar como se muestra en la siguiente imagen:

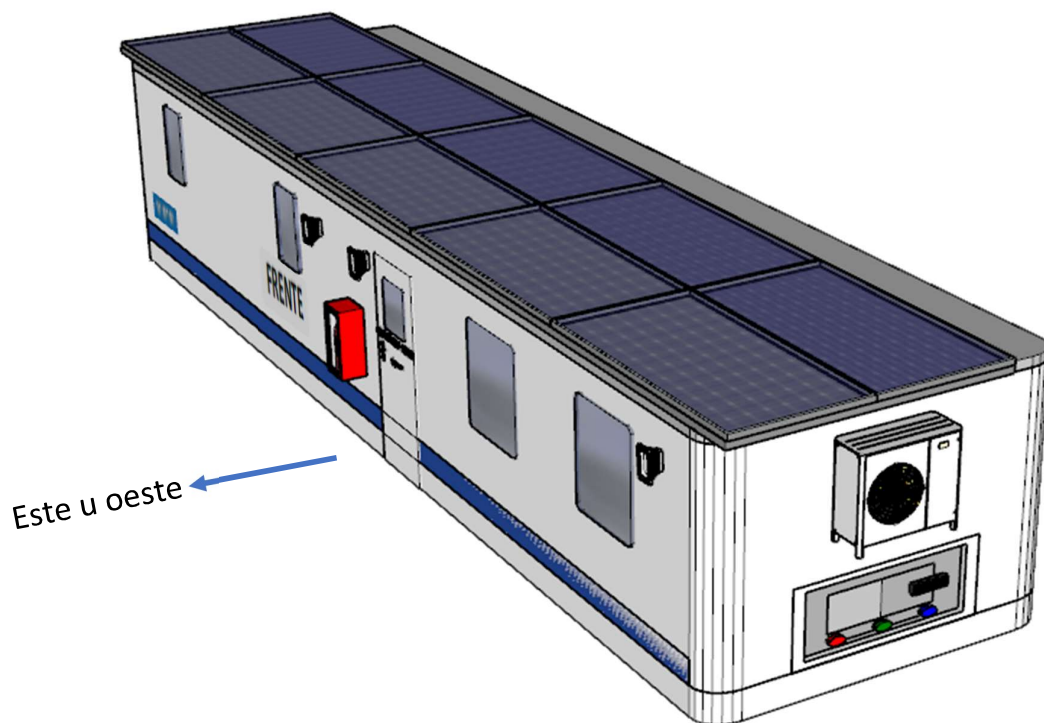


Figura 5.13: disposición de los paneles en el techo del tráiler vivienda.

Si se colocan los tráileres de manera tal que su frente apunta al norte, se contará con un sistema mecánico para poder colocarlos a $37,5^\circ$ por un operador, quedando de la siguiente manera:

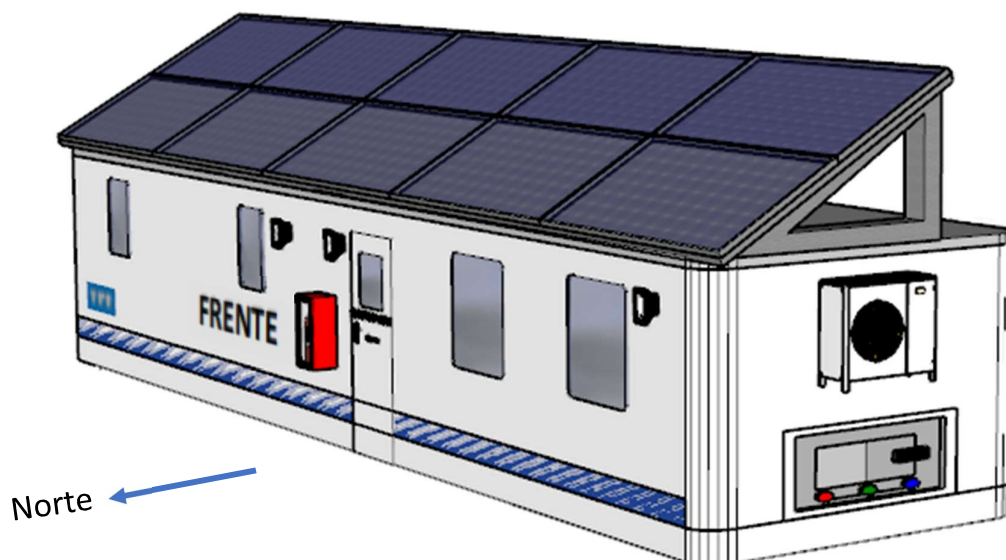


Figura 5.14: frente del tráiler apuntando al norte.

En caso de que el frente de los tráileres quede apuntando al sur, el mecanismo deberá ser colocado por un operador a $-37,5^\circ$ como se ilustra en la siguiente imagen:

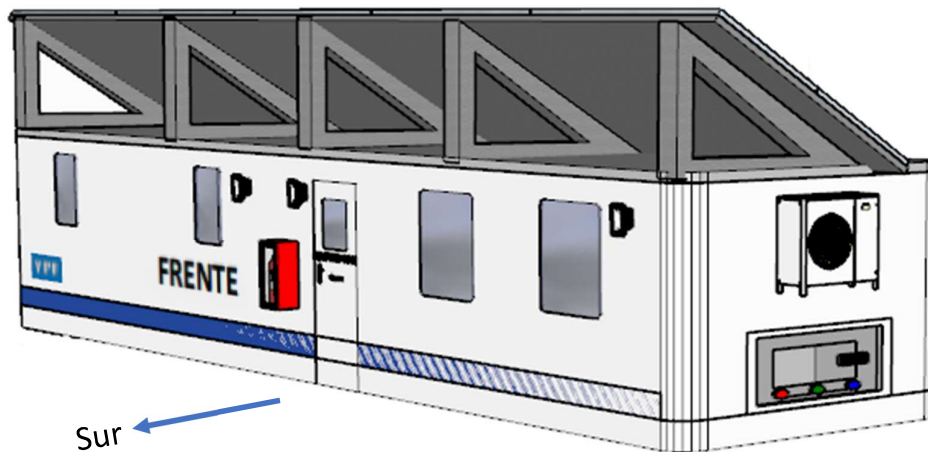


Figura 5.15: frente del tráiler apuntando al sur.

5.3 Análisis y selección del Aerogenerador

A partir del estudio realizado en la sección anterior, y teniendo en cuenta que sólo se cuenta con el espacio para colocar paneles solares en cuatro tráileres, es necesario recurrir a otra fuente de energía para cumplir con nuestro objetivo. Por lo tanto, se recurre a la energía eólica para complementar a la energía solar. Se tienen como consideraciones:

- Al moverse los campamentos cada aproximadamente dos semanas, se presenta la necesidad de que sea fácilmente transportable. Es por eso, que se decide optar por colocar el aerogenerador en el techo del tráiler en donde se colocarán las baterías, inversores y regulares; en conjunto con un posible generador pequeño a gasoil como reserva.
- De acuerdo a la consideración anterior, se debe optar por aerogeneradores de pequeño tamaño con torre abatible para poder transportarlo en posición horizontal. Es por esto que también se recurrirá a la colocación de un malacate para facilitar la instalación del mismo.
- Los vientos de la zona son Clase I según la IEC 61400-2³.

³ Velocidad de referencia: 50 m/s. Velocidad promedio: 10 m/s.

5.3.1 Área de estudio seleccionada

A partir de las coordenadas dadas por la empresa YPF S.A. en las cuales se realizan sus operaciones, se toma como área de interés de estudio la siguiente:

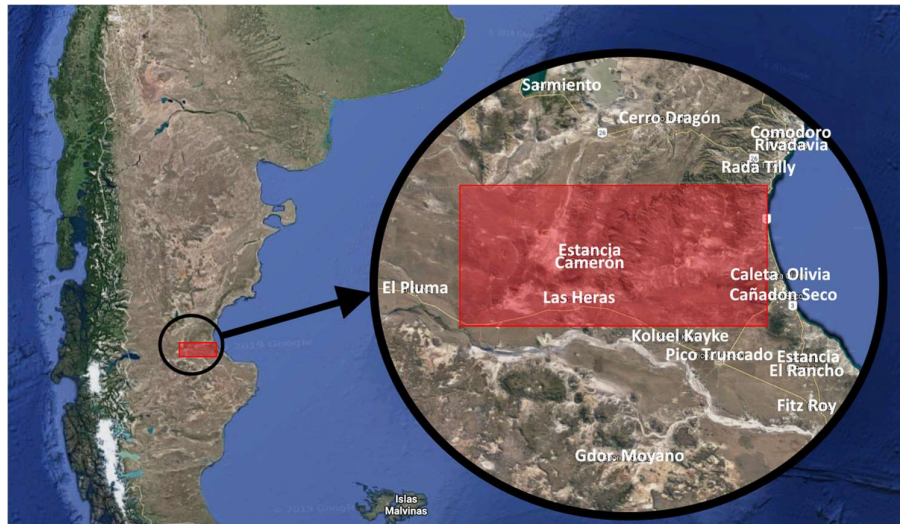


Figura 5.16: área de estudio.

Se utilizará la herramienta *SIG (Sistema de Información Geográfica) Eólico* de la Subsecretaría de Energías Renovables y Eficiencia Energética para obtener los datos de interés de los extremos del área seleccionada de estudio. El *SIG Eólico* está compuesto por un mapa y herramientas de identificación y predicción energética preliminar de sitios con potencial eólico. El visor del *SIG Eólico* es el siguiente:

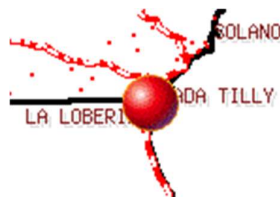


Figura 5.17: visor del SIG Eólico.

Los datos provistos por el *SIG Eólico* son calculados con las ecuaciones de la sección 3.4 [14].

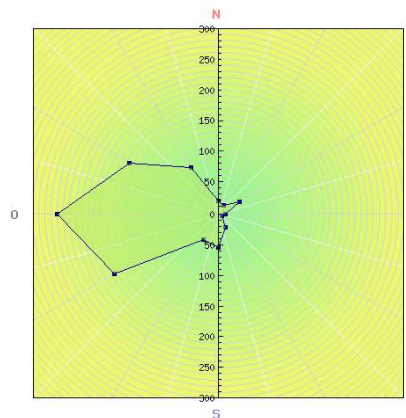
Extremo Noreste

Ubicación



Latitud	-46°0'50'' Y=4903469
Longitud	-67°37'5'' X=606976
ASNM ⁴	119 m
Densidad de Potencia	844,35 W/m ²
Temperatura Media	8,9°C
Weibull A	8,34
Weibull k	1,95
Velocidad Media	8,22 m/s
Densidad del Aire	1,234 kg/m ³

Rosa de los Vientos



Frecuencia de Velocidades

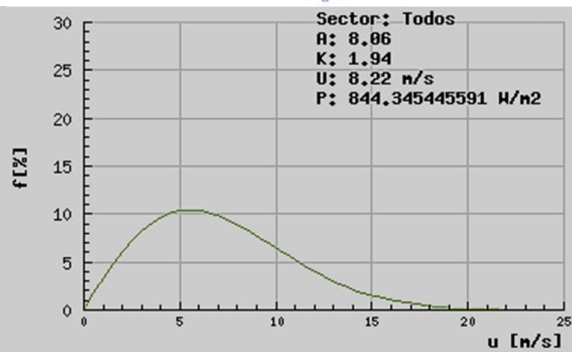
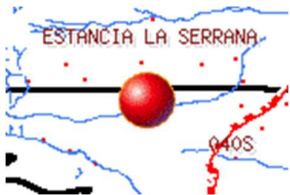


Tabla 5.6: características del extremo noreste.

⁴ Relación entre la altura sobre el nivel del mar.

Extremo Noroeste

Ubicación	
Latitud	-46°2'57'' Y=4898533
Longitud	-71°0'42'' X=344364
ASNM	789 m
Densidad de Potencia	1763,38 W/m ²
Temperatura Media	6,1°C
Weibull A	10,39
Weibull k	1,9
Velocidad Media	10,27 m/s
Densidad del Aire	1,148 kg/m ³

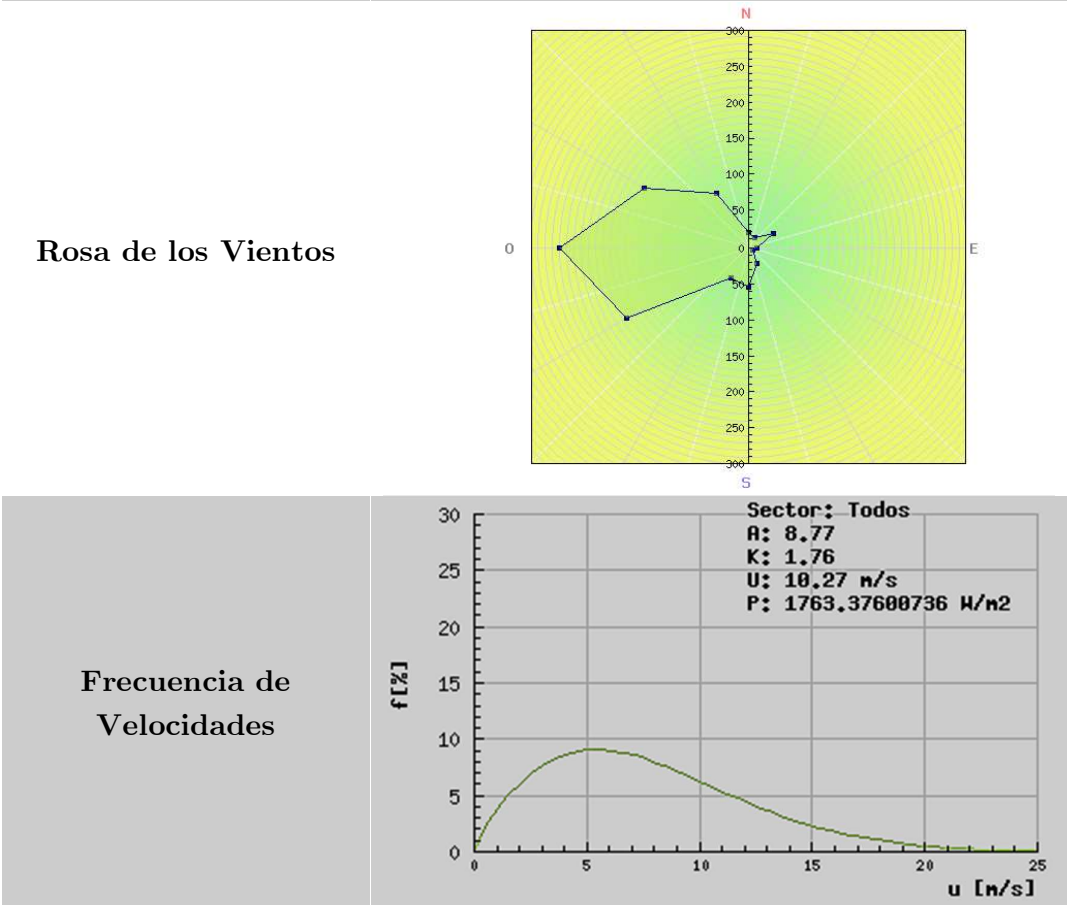
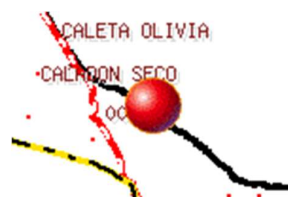


Tabla 5.7: características del extremo noroeste.

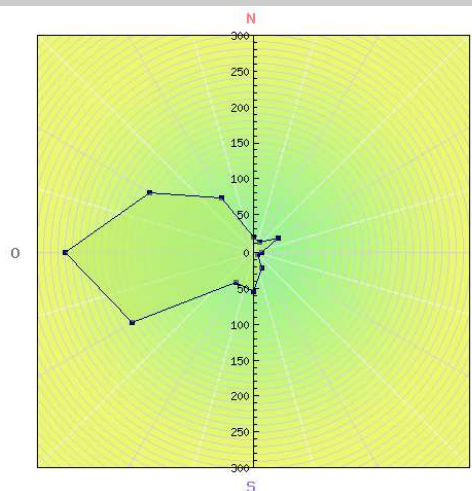
Extremo Sureste

Ubicación



Latitud	-46°42'40'' Y=4825224
Longitud	-67°7'22'' X=643492
ASN	41 m
Densidad de Potencia	882,27 W/m ²
Temperatura Media	9,1°C
Weibull A	8,48
Weibull k	1,95
Velocidad Media	8,41 m/s
Densidad del Aire	1,245 kg/m ³

Rosa de los Vientos



Frecuencia de Velocidades

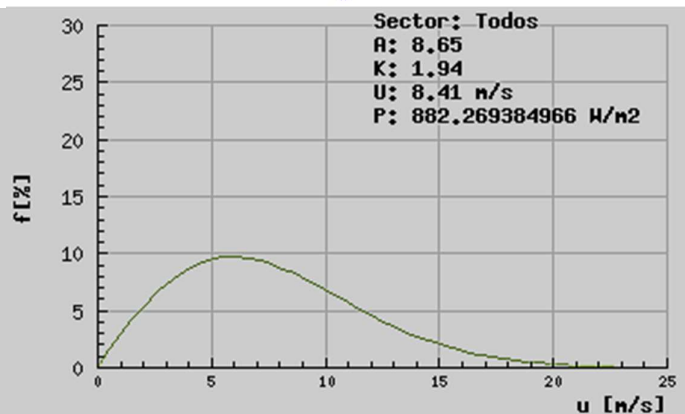
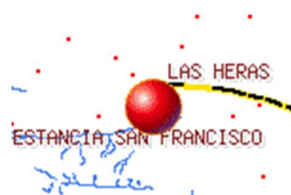


Tabla 5.8: características del extremo sureste.

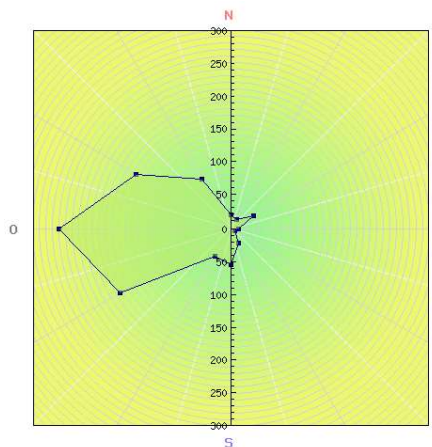
Extremo Suroeste

Ubicación



Latitud	-46°37'56'' Y=4835705
Longitud	-68°59'26'' X=500729
ASNM	247 m
Densidad de Potencia	821,38 W/m ²
Temperatura Media	7,7°C
Weibull A	8,2
Weibull k	1,94
Velocidad Media	8,09 m/s
Densidad del Aire	1,22 kg/m ³

Rosa de los Vientos



Frecuencia de Velocidades

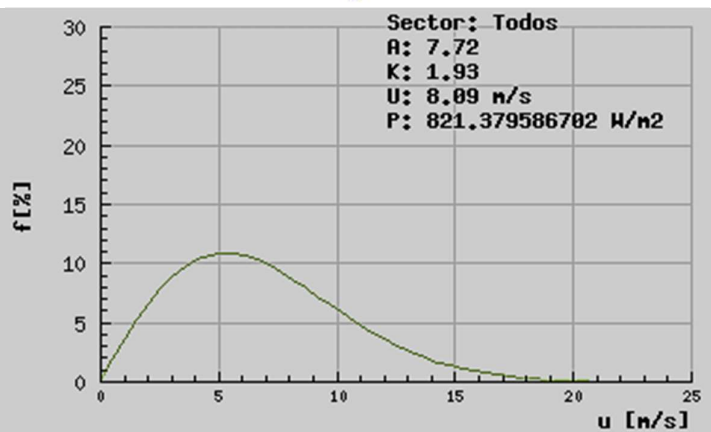


Tabla 5.9: características del extremo suroeste.

5.3.2 Aerogeneradores Propuestos

Los aerogeneradores seleccionados a partir de la necesidad energética, teniendo en consideración que sean asequibles en el mercado nacional y considerando las condiciones climatológicas del área son:

- INVAP IVS 4500,
- ENAIR E70PRO

INVAP IVS 4500

Este equipo fue diseñado y fabricado por la empresa nacional INVAP, siendo el más grande de los aerogeneradores de baja potencia construidos por la empresa. Estos dan potencia en sitios totalmente aislados a sistemas de telefonía, de protección catódica de grandes estructuras como cañerías, ductos y pozos de agua. También se utilizan para proveer iluminación, electricidad y calefacción a escuelas rurales, destacamentos de seguridad y pequeños asentamientos rurales [15].

Características del INVAP IVS-4500	
Potencia nominal	4,5 kW
Velocidad de viento nominal	12,5 m/s (45 km/h)
Tensión (corriente continua)	12, 24 o 48 V
Tipo de hélice	Bipala
Perfil alar de la hélice	FX 62-137
Diámetro de la hélice	4,5 m
Control de velocidad	Inclinación hélice
Peso (sin torre)	152 kg
Precio	U\$S 9525

Tabla 5.10: características del aerogenerador IVS-4500 de INVAP.

Su curva de potencia es la siguiente [16]:

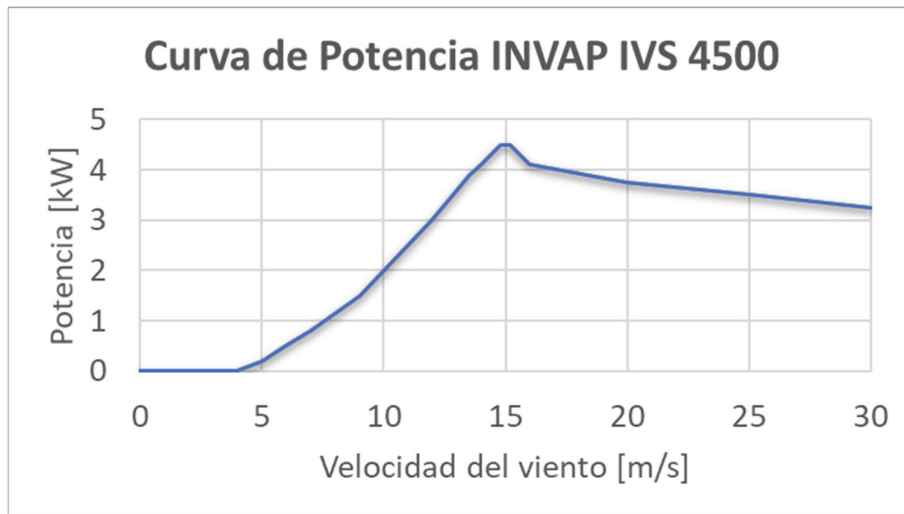


Figura 5.18: curva de potencia del aerogenerador IVS-4500.

Entre sus principales ventajas cabe destacar:

- Cuenta con servicio técnico y repuestos en la ciudad de Bariloche, Provincia de Río Negro (a unos 840 km).
- El aerogenerador es diseñado especialmente para la Patagonia, soportando los fuertes vientos y siendo probado en la región con éxito.
- Es un diseño realizado a medida, por lo que el tamaño de la torre puede ser especificado al fabricante para su realización.
- Es el único fabricante nacional de aerogeneradores de estas características, que además ofrece el servicio post-venta.
- Tiene convenio con YPF S.A. para reducir precios en el caso de adquirir más de un aerogenerador.



Figura 5.19: aerogenerador IVS 4500 instalado en la Antártida Argentina.

ENAIR E70PRO

El aerogenerador está diseñado para cubrir las demandas energéticas de cualquier vivienda habitual, gasolinera, granja o pequeño comercio. Su alta eficiencia permite generar energía con muy bajo viento y a su vez soportar de forma eficiente la generación bajo fuertes vientos. La producción se sitúa en más de 80 kWh/día con vientos entre 8 y 12 m/s. Atiende estrictamente la norma IEC 61400-2, usando para su diseño técnicas como la Dinámica Computacional de Fluidos.

Características del ENAIR E70PRO	
Número de palas	3
Material palas	Fibra de vidrio con resinas y núcleo de poliuretano
Generador	250 rpm nominales imanes de neodimio
Potencia	5500 W
Potencia nominal	4000 W (IEC 61400-2)
Tensión	24/48/220 V
Clase de viento	Clase 1 (IEC 61400-1/NVN I-A)
Diámetro	4,3 m
Sentido de giro	Horario
Área de barrido	14,5 m ²
Peso	165 kg
Aplicaciones	Carga de baterías de 24 o 48 V y conexión a la red
Viento de arranque	2 m/s
Velocidad nominal	11 m/s
Velocidad regulación del paso variable	12 m/s
Velocidad de supervivencia	60 m/s
Rango de generación eficiente	De 2 a 60 m/s
Tipo	Rotor de eje horizontal a barlovento
Orientación	Sistema pasivo con timón de orientación
Control de potencia	Sistema de paso variable centrífugo con dos velocidades de actuación
Transmisión	Directa
Freno	Eléctrico por cortocircuito y aerodinámico por paso variable
Controlador	Carga de baterías y conexión a la red

Inversor	Eficiencia 97%, Algoritmo MPPT ⁵
Ruido	48 dB. Reducción al mínimo debido al diseño de las palas y las bajas revoluciones. 1% más que el ruido ambiente del viento.
Protección anti-corrosión	Hermético, pintura epoxi del secado al horno de alta temperatura, generando un recubrimiento plástico.
Torre	Celosía, presilla, tubular. Abatibles o fijas de alturas variables según condiciones.
Precio	U\$S 9810 [17]

Tabla 5.11: características del aerogenerador E70PRO.

Su curva de potencia se puede ver a continuación:

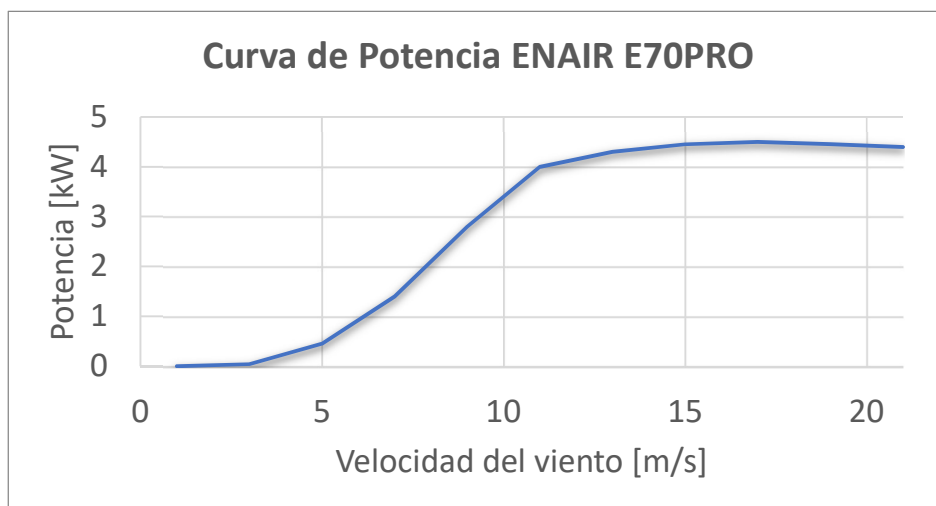


Figura 5.20: curva de potencia del aerogenerador E70PRO.

Sus principales ventajas son:

- El fabricante es español, pero cuenta con un distribuidor en Argentina y servicio técnico en Ciudadela, Buenos Aires (1470 km).
- Este modelo de aerogenerador también fue probado e instalado con éxito en la Patagonia Argentina (Río Mayo, Chubut).
- Cuenta con servicio post-venta y garantía.

⁵ Seguimiento del pico de potencia máximo.



Figura 5.21: aerogeneradores E70 instalados en La Gauchita, Chubut.

5.3.3 Potencia entregada por los Aerogeneradores

El *SIG Eólico*, es una interesante y útil herramienta para calcular cuánta potencia pueden proveer los aerogeneradores en un punto específico del país. Para tal fin, es necesario cargar los siguientes datos del aerogenerador:

- Potencia nominal,
- Diámetro de pala,
- Altura del rotor,
- Curva de potencia.

A partir de estos datos, y con la teoría desarrollada en la sección 3.4, se calcula cuánta energía provee el aerogenerador por año y su factor de capacidad.

Como se cuenta con un área de interés y no con un punto específico, se realiza el estudio para los cuatro puntos extremos descriptos en la sección 5.3.1. Se pueden resumir los resultados de interés a continuación:

		IVS-4500	E70PRO
Extremo Noreste	Energía [MWh/año]	10,76	8,93
	Factor de Capacidad [%]	27,31	25,49
Extremo Noroeste	Energía [MWh/año]	10,11	8,73
	Factor de Capacidad [%]	25,66	24,92
Extremo Sureste	Energía [MWh/año]	11,33	9,34
	Factor de Capacidad [%]	28,74	26,65
Extremo Suroeste	Energía [MWh/año]	10,3	8,59
	Factor de Capacidad [%]	26,12	24,51

Tabla 5.12: energía provista y factores de capacidad del IVS-4500 y E70PRO.

Tomando al extremo en donde se genera menos energía eólica (extremo noroeste para el IVS-4500 y el extremo suroeste para el E70PRO) se calcula cuánta energía

podrían generar en las peores condiciones, para verificar si abastecen lo que se debe cubrir en conjunto con los paneles solares.

$$Potencia\ IVS - 4500 = 10,11 \frac{MWh}{año} * \frac{1\ año}{8760\ horas} = 1,15\ kW \quad (5.10)$$

$$Potencia\ E70PRO = 8,59 \frac{MWh}{año} * \frac{1\ año}{8760\ horas} = 0,98\ kW \quad (5.11)$$

Siendo entonces la relación de interés precio U\$S/potencia kW:

Aerogenerador	IVS-4500	E70PRO
Precio U\$S/Potencia W	8,28 U\$S/W	10,01 U\$S/W

Tabla 5.13: comparación potencia W/costo U\$S para los aerogeneradores IVS-4500 y E70PRO.

De esta manera se observa, por un lado, que se logra llegar a cubrir (en conjunto con los paneles solares) la demanda energética. Por otro lado, analizando la relación potencia/costo y las ventajas de cada uno de los aerogeneradores, se concluye que es conveniente elegir al IVS-4500 de INVAP.

La velocidad del viento media de la zona menos favorable para el IVS-4500 se observa en la siguiente gráfica:

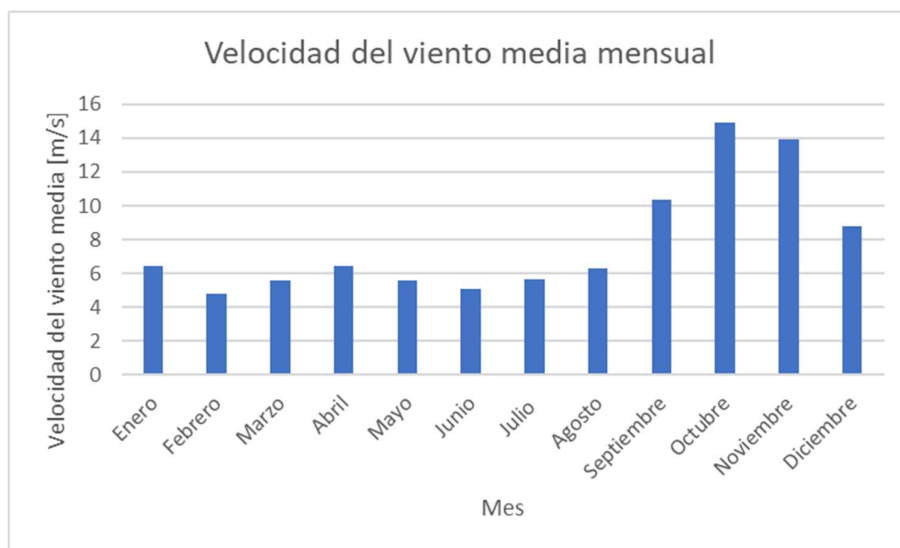


Figura 5.22: velocidad del viento media mensual del extremo noroeste.

Se concluye que el mes con la velocidad media de viento más alta es Octubre con 14,95 m/s; y el mes con la velocidad de viento media más baja es Junio, con 5,63 m/s.

El aerogenerador IVS-4500 quedará dispuesto en un tráiler o contenedor específico para su transporte, en conjunto con los demás elementos de la instalación

requeridos para tal fin. El mismo, deberá colocarse al menos a 30 m de distancia del resto del campamento, por cuestiones de seguridad. El tráiler o contenedor no debe contar con ruedas ya que el sistema de suspensión de las mismas puede resultar peligroso en caso de presentarse gran cantidad de viento. Se puede observar la disposición del aerogenerador en la siguiente imagen:

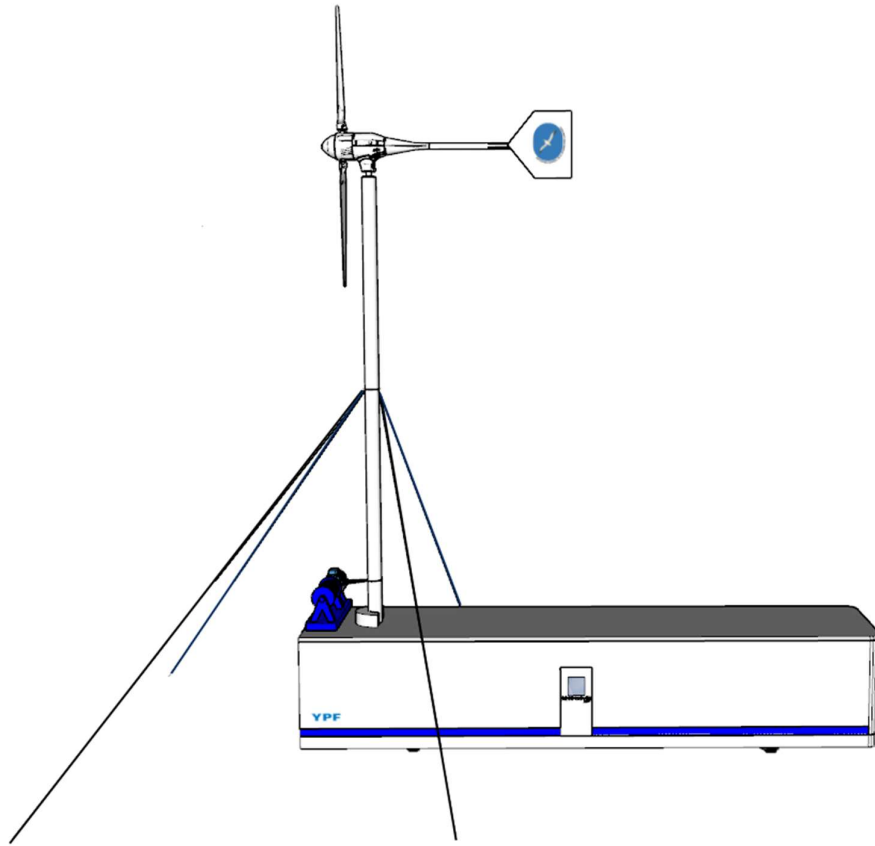


Figura 5.23: disposición del aerogenerador.

Se transportaría entonces la torre en el techo del tráiler de manera horizontal, y en el momento de montarlo se le colocarían las aspas y la veleta, y con la ayuda de un malacate se subiría hasta la posición vertical. Luego, se sujetaría al suelo con la ayuda de tensores.

5.4 Selección de los elementos necesarios para la Instalación

Los elementos necesarios para la instalación son los siguientes:

- Regulador eólico, resistencia de carga e interruptor de frenado,
- Inversores-reguladores-cargadores,
- Baterías de ciclo profundo,
- Generador auxiliar,
- Tablero de transferencia automática.

Regulador eólico, resistencia de carga e interruptor de frenado

Los mismos son provistos por la empresa INVAP, diseñados específicamente para el IVS-4500. La salida del regulador eólico para carga de baterías es de 48 V.

Estos elementos funcionan en conjunto cuando el banco de baterías está cargado y ya no puede acumular más energía, entonces el regulador de carga envía automáticamente la energía eléctrica a un disipador de energía, en este caso la resistencia que se calienta. Esto es importante para frenar al aerogenerador siendo un sistema de freno eléctrico.

El regulador además regula la tensión de continua a la salida del sistema para cargar las baterías, entregándole un voltaje levemente superior al de las mismas.

Inversores-reguladores-cargadores

Estos se utilizan para recibir la energía provista por los paneles fotovoltaicos, regulando la tensión en continua de salida de los mismos para cargar las baterías, y a su vez recibir la energía provista por las baterías en continua para transformarla a alterna, y así alimentar a la carga trifásica. Estos equipos se pueden conectar en paralelo, necesitando en total cuatro, es decir, uno para cada conjunto de paneles dispuestos en el techo como se mostró en la sección 5.2.

Los inversores-reguladores-cargadores elegidos son los Enertik ICA-5K-48P:



Figura 5.24: inversor y cargador de baterías Enertik ICA-5K-48P.

Las especificaciones del mismo se encuentran en el Anexo 5.

Baterías de ciclo profundo

Las baterías de ciclo profundo son las que tienen la aptitud de descargarse por completo cientos de veces. Se llama *ciclo de una batería* a una carga y descarga en cualquier porcentaje. Hay tres tipos de ciclos según la profundidad de descarga (cantidad de descarga de la batería comparada a su capacidad): pequeño, moderado y profundo. El pequeño indica que sólo un pequeño porcentaje del total de la capacidad de la batería es descargado, y así sucesivamente con los otros dos. Los ciclos de vida que soporte una batería cíclica dependen de factores como el mantenimiento, el porcentaje de descarga, la temperatura de la batería, entre otros.

Dentro de las baterías de ciclo profundo, pueden haber de distintos materiales como de plomo o de ion de litio. Dentro de las de plomo, se destacan las baterías líquidas o las tipo VRLA (batería de ácido-plomo regulada por válvula). Y dentro de las VRLA pueden haber baterías de gel o tipo AGM.

Teniendo en cuenta las condiciones extremas a las que se someterían las baterías, se considera que las mejores para esta aplicación son las de gel. En estas baterías “selladas”, el ácido tiene la forma de gel. Su gran ventaja es que no hay líquido que se pueda perder, son cerradas y funcionan en cualquier posición. La corrosión

es reducida y son muy resistentes a bajas temperaturas. Su vida es mucho mayor que la de las baterías líquidas y comparado con otras, son las menos afectadas en casos de descargas profundas. Las desventajas son una resistencia interna un poco más alta que reduce el flujo máximo de la corriente, son algo más delicadas para cargar y llevan un precio mayor. Estas baterías, por su larga vida, se usan frecuentemente en la industria y las telecomunicaciones [18].

Las baterías de gel elegidas para este proyecto son las FIASA 218312120:



Figura 5.25: batería Fiasa 218312120.

Estas baterías de gel de ciclo profundo fueron especialmente diseñadas para energía solar y eólica. Su capacidad es de 12 V y 120 Ah. Se encuentran selladas y diseñadas para un funcionamiento que no requiera mantenimiento, el diseño las hace no derramables. Son de alta calidad y fiabilidad. La flexibilidad de diseño la torna apta para múltiples posiciones de instalación.

Para el consumo que se necesita cubrir (37,6 kWh), es decir, considerando que las baterías abastecerían 12 horas (medio día) en caso de que no se presenten condiciones para generar energía solar y eólica (día nublado sin viento), se necesitarían:

$$\text{número de baterías} = \frac{37,6 \text{ kWh}}{12 \text{ V} * 120 \text{ Ah} * 0,8} \cong 32 \text{ baterías} \quad (5.12)$$

La máxima descarga que soportaría una batería de ciclo profundo es del 80%, es por eso que se incluye el factor de 0,8.

Generador Auxiliar

Considerando que sólo se cubre medio día de consumo independiente del sistema principal, se torna conveniente instalar un grupo electrógeno auxiliar de 6 kW para abastecer los tráileres sin necesidad de encender los generadores principales

en caso de que el equipo se encuentre fuera de funcionamiento. El mismo debe ser trifásico y trabajar a 60 Hz. Se elige el siguiente:



Figura 5.26: generador Huaquan HQ5GF.

El generador es el Huaquan HQ5GF de 5 kW. Sus especificaciones técnicas se encuentran en el Anexo 6.

Tablero de Transferencia Automática

El tablero de transferencia automática es un conmutador, que elige en este caso como fuente de energía principal a las alternativas renovables, y como secundaria, al generador principal. El mismo, se encarga de distribuir la energía de la red eléctrica a una fuente de energía de reserva en caso de notar la ausencia de tensión de la fuente principal. Así, el interruptor de transferencia detecta la falla de alimentación para efectuar la conmutación automática necesaria sin necesidad de accionamiento de un individuo de forma manual.

El tablero de transferencia automática elegido es el Sistelgas T10K trifásica:



Figura 5.27: tablero de transferencia automática Sistelgas T10K trifásica.

Se pueden representar las conexiones de los elementos en el siguiente esquema representativo:

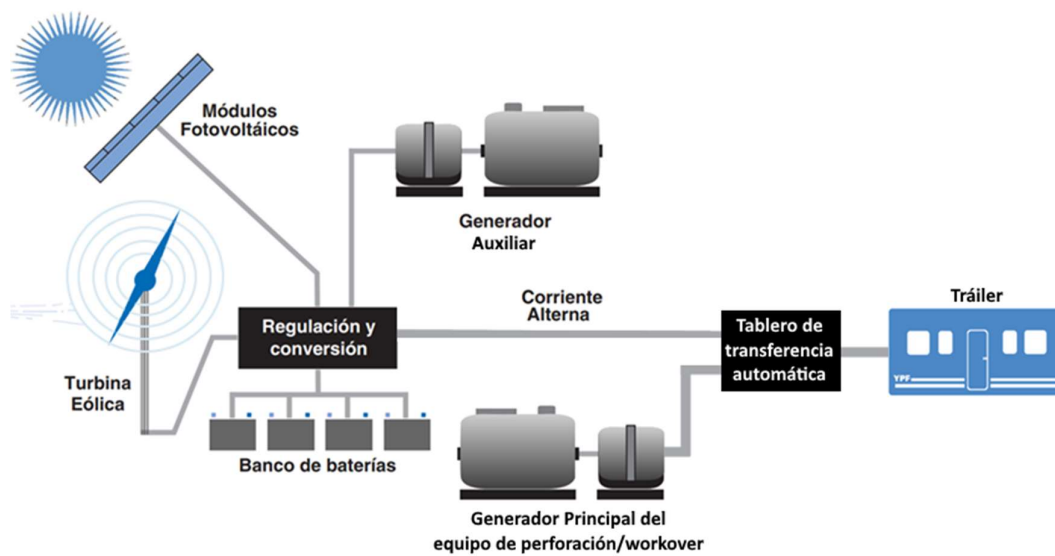


Figura 5.28: representación de las conexiones.

Obteniendo finalmente el siguiente diagrama eléctrico:

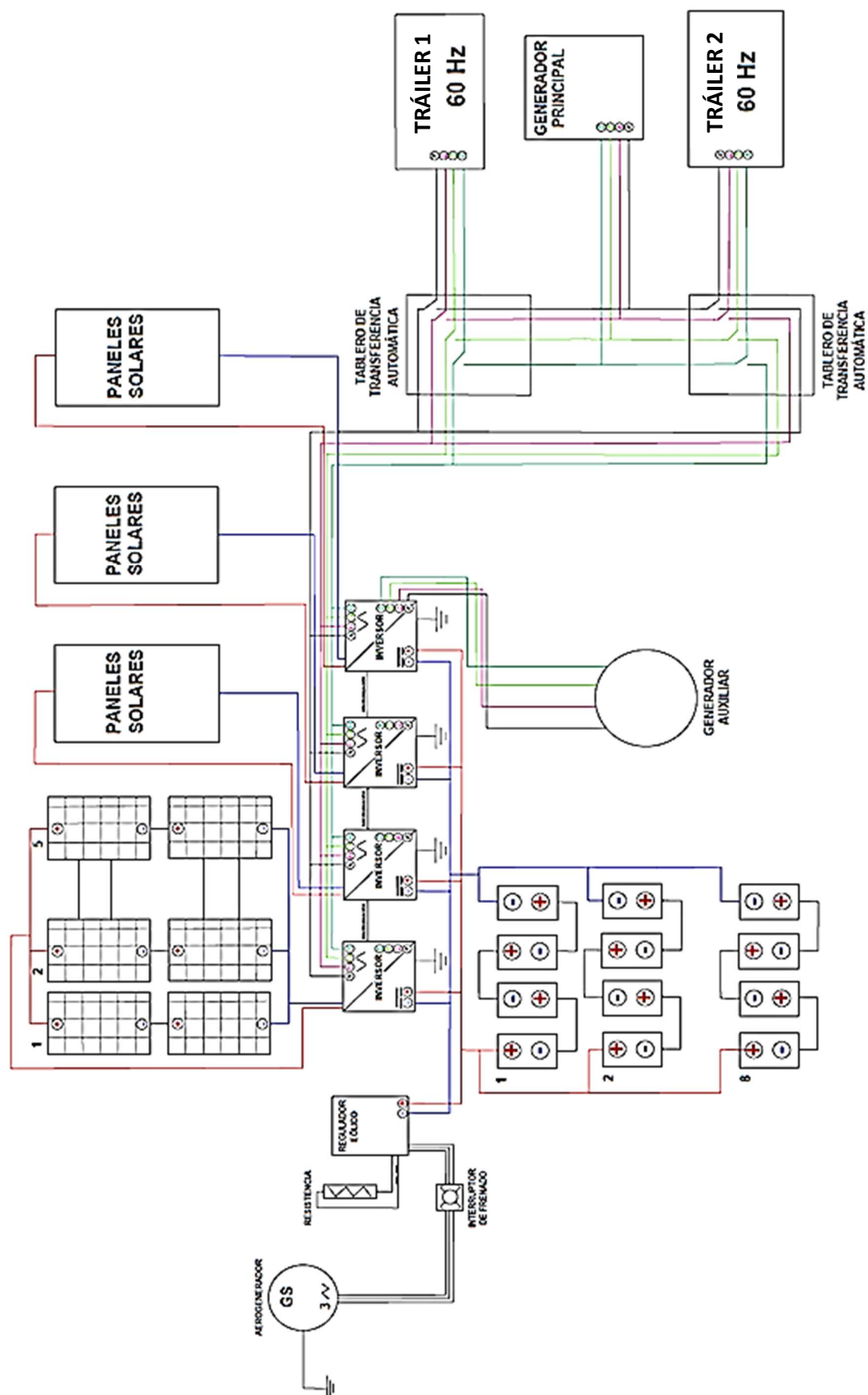


Figura 5.29: diagrama eléctrico.

Como se puede observar en el diagrama eléctrico, la salida del regulador eólico se conecta en paralelo a los inversores-cargadores, y cargan las baterías que siendo cuatro en serie de 12 V, llegan a 48 V. Se requiere para abastecer medio día, de ocho filas de baterías conectadas en paralelo. A su vez, se colocan por techo cinco arreglos en paralelo, de dos paneles en serie cada arreglo. Cada uno de los conjuntos de paneles de cada techo ingresa a un inversor-cargador, teniendo en total cuatro de estos equipos. Los inversores cargadores se conectan en paralelo entre sí, conectándose a uno de ellos el generador auxiliar. La salida de los inversores cargadores se conecta a los tableros de transferencia automática, habiendo uno para cada tráiler vivienda. La entrada principal de los tableros de transferencia automática es entonces, la salida de los inversores, y la secundaria, el generador principal. Finalmente, cada tablero se conecta a su carga, es decir, al tráiler vivienda correspondiente.

Capítulo 6

Evaluación Económica y Financiera

“Toda frase breve acerca de la economía es intrínsecamente falsa.”

Alfred Marshall, economista británico (1842-1924)

6.1 Introducción

La evaluación económica financiera del proyecto es un método de análisis útil para adoptar decisiones racionales frente a las alternativas presentadas. Es común confundir el análisis financiero con el análisis económico. El análisis financiero solo toma en cuenta los flujos monetarios relativos a la rentabilidad del proyecto en su totalidad. Un análisis económico toma en cuenta también las mejoras en la vida de un grupo o sociedad. Se puede decir entonces que una evaluación económica es: *“un análisis comparativo de las acciones alternativas tanto en términos de costes como de beneficios”*.

El análisis económico de un proyecto se hace considerando la sociedad como un todo. Se asume que la realización del proyecto contribuirá al desarrollo de la economía y su contribución social y al medio ambiente justifica la utilización de los recursos necesarios. Entonces considera valoración de costos y beneficios sociales del proyecto, a diferencia del análisis financiero que considera solo el análisis del flujo de fondos, gastos y utilidades.

En este proyecto se tendrán en cuenta el análisis económico y el análisis financiero para realizar el estudio más amplio sobre las ventajas, desventajas, riesgos y oportunidades a tener en cuenta.

6.2 Análisis Económico-Contextual

Primero se realiza un análisis económico estudiando los factores de riesgo, las oportunidades, amenazas y fortalezas del proyecto. Para ello se utiliza el análisis FODA que permite analizar las características internas indicando debilidades y fortalezas, y la situación externa utilizando las amenazas y las oportunidades.



Figura 6.1: análisis FODA.

Fortalezas

Uno de los aspectos muy positivos a tener en cuenta es que al realizar este cambio en las fuentes de energía se generará un ahorro importante en los costos presentes y futuros de mantener un conjunto de tráileres como los analizados. Además, se puede analizar a futuro la posibilidad de realizar cambios mayores siguiendo la misma línea, es decir alimentar una parte mayor de la locación utilizando la misma tecnología y ahorrando aún más dinero, o aplicando este proyecto a más locaciones del país.

Otro aspecto fundamental a analizar es que utilizar los recursos naturales disponibles en la región sobre la cual trata este proyecto permite a la empresa tomar la iniciativa en cuanto a la eficiencia energética y sostenibilidad de sus operaciones, destacándose respecto a las demás y proyectando una imagen positiva frente a la sociedad, todo eso con un valor alto pero incuantificable en términos financieros.

Oportunidades

Es muy importante destacar las ventajas que genera el cambio de fuentes de energía en una instalación como la mencionada. La industria petrolera genera una degradación irreversible en el medioambiente, tanto mediante la extracción del petróleo como en los demás procesos que componen ese tipo de actividad. Esa degradación se ha ido atenuando a lo largo de los años por la utilización de nuevas

técnicas de extracción y tratamiento de sus residuos, pero a pesar de los esfuerzos sigue produciendo contaminación. El petróleo sigue siendo la fuente primordial de energía en el mundo y se puede comprender por el prematuro desarrollo de otros tipos de tecnología de generación que se siga utilizando de forma masiva.

Este proyecto pretende generar una disminución de la degradación realizando un cambio de fuentes de energía, evitando quemar combustibles en generadores que produzcan mayor cantidad de emisiones de CO₂, y utilizando energías renovables como la energía solar y eólica, más amigables con el medioambiente.

También es importante destacar el fuerte impulso que se le está dando a las energías renovables en el mundo debido a que van de la mano de la eficiencia energética. El objetivo de la *eficiencia energética* es reducir la cantidad de energía requerida para proporcionar productos y servicios. La reducción del uso de energía reduce los costos de la misma y puede generar un ahorro financiero para los consumidores, si ese ahorro compensa el costo adicional de implementar una tecnología de eficiencia energética. También se reduce la emisión de gases de efecto invernadero al reducir el uso de energía.

La eficiencia energética y la energía renovable son pilares fundamentales en las políticas de energía sostenible. La energía sostenible es un principio según el cual el uso humano de la energía *“satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”*.



Figura 6.2: fundamentos de la eficiencia energética.

Los beneficios de todo lo anteriormente mencionado son difíciles de cuantificar en un proyecto, es decir de realizar un análisis financiero al respecto. Solo puede realizarse un buen análisis sobre el ahorro posible de energía si se utilizan fuentes renovables, realizando mediciones de cantidad de energía consumida, pero no es posible conocer exactamente los beneficios financieros que se pueden lograr con la disminución de la contaminación emitida.

Debilidades

Las principales debilidades que podemos identificar son las inversiones que se deben realizar con el objetivo de reemplazar las fuentes de energía ya instaladas, debido a que las instalaciones necesarias requieren equipos de valor elevado y además se necesitan algunas modificaciones importantes para lograr adecuarlos a cada tráiler que se utilice. Para los paneles debe realizarse un sistema mecánico para lograr inclinarlos de la forma adecuada para poder captar la mayor cantidad de energía del sol, mientras que para el aerogenerador es necesario un sistema que permita abatirlo y erigirlo.

Otro punto importante es que tanto módulos fotovoltaicos como aerogeneradores deben adecuarse al transporte para poder utilizarlos en las distintas locaciones entre las que se mueven los equipos de perforación y workover, lo cual lleva a necesitar mayores recaudos a lo hora de realizar el diseño de la instalación considerando el cumplimiento de normas de seguridad.

Amenazas

La amenaza fundamental es el clima extremo de la región, que puede deteriorar algunos equipos a pesar de contar con todas las protecciones, tanto para vientos como lluvias, nevadas y otros posibles fenómenos climáticos. Todo eso puede atentar contra la instalación y evitar su correcto funcionamiento. Se hace necesario un mantenimiento mínimo en los paneles solares ya que la zona es muy ventosa y esto produce que se deposite una gran cantidad de polvo sobre los mismos, afectando el rendimiento.

6.3 Análisis Económico-Financiero

En esta sección se realizará el análisis de la información contable, mediante la utilización de indicadores y razones financieras. De esta forma se puede reflejar la realidad financiera del proyecto, permitiendo estimar los costos en los que incurrirá la empresa y los ingresos obtenidos en caso de llevarlo a cabo. El análisis es una herramienta primordial de diagnóstico que permite evaluar la viabilidad, estabilidad y rentabilidad del proyecto.

Los parámetros de análisis que se utilizaran son:

- Plazo de recuperación o repago: es el plazo que le toma a un proyecto recuperar el dinero que se invirtió para ponerlo en marcha, es decir lo que tarda en recuperarse la inversión inicial. Es una medición simple que no considera depreciación, costos de mantenimiento y otros factores.
- TIR (Tasa interna de Retorno): la tasa interna de retorno es la media geométrica de los rendimientos futuros esperados de una inversión y esto implica por cierto el supuesto de una oportunidad de reinversión. Sirve como indicador de la rentabilidad de un proyecto, sabiendo que cuanto mayor es la TIR, mayor será la rentabilidad del mismo.

En términos simples si el valor de la TIR es alto indica que la inversión dará un retorno de la inversión que no se encontrará en el mercado de otra forma.

- VAN (Valor actual Neto): este parámetro permite conocer el valor presente de los flujos de efectivo netos del proyecto, siendo los flujos efectivos netos aquellos calculados como la diferencia entre los ingresos obtenidos y los egresos, en un período. Para actualizar los flujos se usa una tasa que es una medida de la rentabilidad mínima exigida por el proyecto que permite recuperar la inversión, cubrir los costos y obtener beneficios. En términos simples si el VAN es mayor a cero nos indica que recuperaremos la inversión inicial y tendremos más capital que el logrado a través de otra inversión de renta fija.

6.3.1 Análisis de Costos

El primer paso es analizar cuáles son los costos de obtener un sistema híbrido como el propuesto en este trabajo, para ello se recaban todos los valores de los elementos necesarios para la instalación.

En la siguiente tabla se pueden ver los costos en dólares de la inversión inicial.

Inversión Inicial	
1 aerogenerador más electrónica de potencia	\$ 12.700,00
40 paneles solares	\$ 8768,60
Otros elementos de la instalación	\$ 20.882,29
Total	\$ 42.350,89

Tabla 6.1: inversión inicial en US\$.

Los elementos de la instalación mencionados son los siguientes:

Elementos de la instalación		Costo
Inversor-Cargador Solar ICA 5K-48P	4	\$ 7.195,16
Baterías	32	\$ 12.148,10
Generador 5 kW HO POWER	1	\$ 600
Tablero de transferencia automática	2	\$ 939,04

Tabla 6.2: elementos de la instalación en US\$.

Para realizar una necesaria comparación entre el sistema utilizado actualmente y el sistema de generación de energía que se pretende instalar es necesario considerar los costos del sistema actual. La empresa YPF S.A. accedió a brindar los costos necesarios del generador utilizado para la alimentación de los tráileres vivienda que hay en cada locación.

Sistema de Generación utilizado actualmente		
Costo de Gas Oil	\$ 180	US\$/día
Costo de mantenimiento	\$ 260,30	US\$/día

Tabla 6.3: costos actuales del sistema de generación.

Luego, como se van a alimentar 2 tráileres mediante el sistema híbrido, para realizar la comparación se calcula el costo de generación de energía mediante el sistema actual para esa cantidad de tráileres. Para ello se utiliza la cantidad de energía consumida por día que se obtuvo de las mediciones realizadas en la locación:

Consumo para 2 tráileres		
Consumo promedio hora	3,13	kWh/día
Consumo promedio día	75,12	kWh/día

Tabla 6.4: consumo promedio de 2 tráileres.

Mediante los datos brindados se puede obtener el costo de generación diario y el costo de la energía del sistema de generación utilizado por la empresa. Los costos mencionados son los siguientes:

Costo de generación		
Por kWh	\$ 5,86	US\$/kWh
Por día	\$ 440,30	US\$/día

Tabla 6.5: costo de generación.

Consecuentemente, considerando los datos de consumo y de costo de generación se puede calcular el ahorro de dinero que se obtiene al dejar de utilizar este tipo de fuente de energía. El ahorro calculado es:

Ahorro		
Diario	\$ 18,35	US\$/día
Anual	\$ 6.696,23	US\$/año

Tabla 6.6: ahorro estimado.

6.3.2 TIR, VAN y Plazo de Repago

Para analizar la viabilidad y rentabilidad del proyecto se recurren a las herramientas mencionadas en la introducción de este capítulo.

La rentabilidad del proyecto se debe evaluar respecto a una tasa de corte, que marca la rentabilidad mínima exigida, por esa razón se toma en cuenta la tasa de corte que marca YPF S.A. para todos los proyectos, cuyo valor es 12%.

Las consideraciones realizadas para el cálculo de VAN y TIR son las siguientes:

- La tasa de corte de 12%.
- La vida útil de paneles solares y aerogenerador están estimadas en 20 años.
- Las baterías necesitan ser reemplazadas cada un estimado de 8 años.

El flujo de fondos se calcula para 20 períodos que equivalen a 20 años.

Como resultado del análisis se obtiene:

Análisis de rentabilidad	
TIR	13%
VAN	\$ 1.332,29

Tabla 6.7: análisis de rentabilidad.

La Tasa Interna de Retorno es mayor a la Tasa de Corte requerida por la empresa de 12% y el Valor Actual Neto es mayor a cero por lo que se puede concluir que el proyecto desarrollado en este trabajo es rentable.

Se calcula también el plazo de recuperación de la inversión para conocer en cuanto tiempo se puede recuperar lo invertido al inicio y el resultado es que entre el año 7 y el año 8 se podría recuperar la inversión y a partir del año 8 comienzan a obtenerse ganancias respecto a la utilización del sistema original de alimentación, como se puede ver en la siguiente figura.

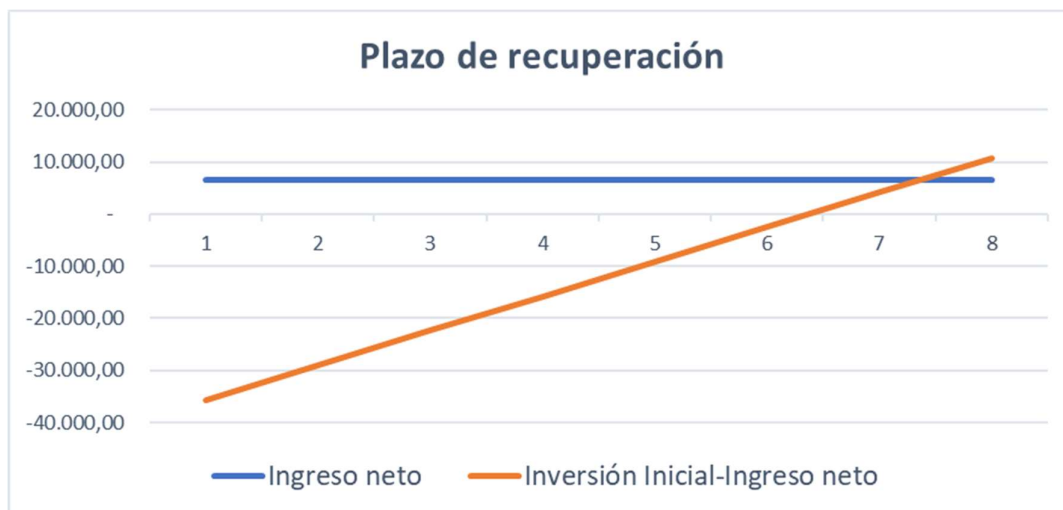


Figura 6.3: plazo de recuperación.

Este último cálculo refuerza la viabilidad del proyecto debido a que la inversión realizada a 20 años se recupera mucho antes de la misma y luego se pueden obtener ganancias sobre el ahorro realizado respecto a los costos de mantener un equipo de generación a combustible como el que utilizan actualmente.

También se debe tener en cuenta que YPF S.A. cuenta con 40 equipos aptos para realizar este tipo de instalaciones, lo cual indica que se pueden escalar los beneficios obtenidos de realizar este proyecto y los resultados pueden ser aún más satisfactorios.

Capítulo 7

Conclusiones

“Grande es el arte de comenzar, pero aún mayor es el arte de concluir.”
Henry Wadworth Longfellow, poeta estadounidense (1807-1182)

Como conclusión de este trabajo se puede afirmar con seguridad que los objetivos planteados al inicio del mismo se cumplieron satisfactoriamente. Es necesario destacar los resultados obtenidos, describir las posibles mejoras a realizar y los posibles inconvenientes que se pueden presentar. A continuación, se extraen las conclusiones más importantes del proyecto:

- Uno de los desafíos del proyecto consistía en poder estimar la cantidad de energía que es posible generar de recursos renovables en la región, eso fue logrado a través de la investigación exhaustiva. Se hallaron herramientas muy útiles que permitieron estimar de buena manera la cantidad de energía que puede ser obtenida del sol y de los vientos.
- Otro logro de este proyecto es realizar el diseño de un sistema híbrido de generación de energía utilizando los recursos eólicos y solares, a pesar de las dificultades presentadas por la necesidad de movilidad del equipo y por las restricciones. Para ello se utilizaron todas las herramientas para lograr que el transporte e instalación de los equipos sea lo más sencilla y menos costosa posible.
- Tratando de no dejar ningún aspecto al azar y sabiendo lo desfavorable que puede ser el clima patagónico, se tuvieron presentes todos los posibles inconvenientes que podrían surgir en un sistema de este tipo y se plantearon soluciones adecuadas para que en ningún momento falte por completo la energía.
- En el aspecto económico y financiero también se obtuvieron resultados favorables conociendo los resultados de los análisis de Tasa Interna de Retorno (TIR), Valor Actual Neto (VAN) y el plazo de recuperación. Además, es importante hacer hincapié en los beneficios no medibles o cuantificables que genera el utilizar energía renovable, que va de la mano con el concepto de eficiencia energética y energía sostenible.

- Por último, es importante destacar la cantidad de conocimientos obtenidos acerca de las formas de energía estudiadas, de las instalaciones requeridas para este tipo de energías y las herramientas disponibles.

Futuro y Recomendaciones

Es menester mencionar algunas cuestiones que no fueron consideradas en este proyecto. A continuación, se hará una breve mención de ellas:

- Las empresas petroleras cuentan con una cantidad importante de este tipo de equipos por lo que podrían utilizarse a futuro este tipo de instalaciones en más de un equipo de perforación o workover, generando así mayor rentabilidad a la empresa y amplios beneficios económicos en general.
- También se puede analizar qué hacer con la energía excedente en caso de que las baterías estén cargadas completamente y el sistema híbrido siga obteniendo energía. Teniendo en cuenta que la resistencia de carga se calienta al disipar la energía, se podría colocar adentro de un termotanque para calentar agua.
- Una cuestión a tener en cuenta es que si se quieren alimentar más de 2 tráileres será necesario generar mayor cantidad de energía y esto será difícil de lograr solo utilizando energía solar, ya que se requeriría utilizar más espacio y la cantidad de tráileres es limitada, por lo tanto, se deben buscar otras alternativas como la colocación de un segundo aerogenerador o la utilización de otros tipos de energías renovables.

Bibliografía

- [1] M. O. Rodríguez, Energías Renovables, Madrid, España: Thomson Paraninfo, 2007.
- [2] I. S. Kind, «Argentina,» Ministerio de Hacienda, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/que-son-las-energias-renovables>.
- [3] M. Iezzi, «Energías Renovables en Argentina» PwC Argentina, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.pwc.com.ar/es/publicaciones/assets/energias-renovables-en-Argentina.pdf>.
- [4] «Twenergy,» Edesur, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://twenergy.com/energia/energias-renovables>.
- [5] G. Ahrtz, Unidad 9: Aplicaciones: Sistemas de Conversión de Energía Eólica. Cátedra de Electrónica Industrial, Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, 2018.
- [6] R. R. -. H. G. Gallegos, «Mapa de Energía Solar colectada anualmente por un plano inclinado. Un ángulo óptimo en la República Argentina.» 2011.
- [7] Gobierno de EEUU, «U.S Energy Information Administration». Disponible en <https://www.eia.gov/>.
- [8] D. T. d. e. Activa, «Interpretación de las horas de Sol en el PER 2005-2015» 11 11 2014. [En línea]. Disponible en: https://suelosolar.com/newsolares/Informe_horas_sol.pdf.
- [9] H. G. G. -. R. Righini, Atlas de Energía Solar de la República Argentina, Luján, Buenos Aires.: Universidad Nacional de Luján, 2007.
- [10] Y. Blasco, «CALCULATIONSOLAR BLOG» [En línea]. Disponible en: <http://calculationsolar.com/blog/?cat=2>.
- [11] P. F. Díez, «Evolución de los Molinos Eólicos».
- [12] D. d. E. d. E. Unidos, «Sistemas Eólicos Pequeños para Generación de Electricidad» Septiembre 2007. [En línea]. Disponible en: <https://www.nrel.gov/docs/fy07osti/42070.pdf>.
- [13] METREL, «Power Harmonics Analyser MI 2092» 2000...2007.
- [14] «SIG Eólico» Subsecretaría de Energías Renovables y Eficiencia Energética, [En línea]. Disponible en: <https://sigeolico.energia.gob.ar/>.
- [15] INVAP, Aerogenerador IVS-4500, [En línea]. Disponible en: <http://www.invap.com.ar/es/2014-05-12-14-44-54/area-industrial-y-energias-alternativas/presentacion/429-aerogenerador-ivs-4500.html>.
- [16] I. Sagardou, «Análisis del Ciclo de Vida Aerogenerador IVS 4500» Abril 2012. [En línea]. Disponible en: https://www.inti.gob.ar/e-renova/erEO/pdf/Tesis_energia_eolica_Ing_Ignacio_Sagardoy.pdf.

- [17] Enair, Aerogenerador E70PRO, [En línea]. Disponible en: <https://www.enair.es/es/aerogeneradores/e70pro>.
- [18] «Delta Volt» Baterías para sistemas solares y eólicos [En línea]. Disponible en: <https://deltavolt.pe/energia-renovable/baterias>.

Agradecimientos

*“Agradece a la llama su luz, pero no olvides el pie
del candil que paciente sostiene.”*

Rabindranath Tagore, poeta bengalí (1861 - 1941)

Agradecemos en conjunto a las siguientes personas por su ayuda brindada para la realización de este Proyecto de Final de Carrera:

- Al Mgter. Gerardo Ahrtz por brindarnos bibliografía y enseñarnos todo lo necesario de energías renovables, por guiarnos a lo largo de todo el trabajo, darnos ideas y estar siempre disponible para evacuar las dudas que se nos presentaban.
- Al Ing. Silvio Maldonado por presentarnos la idea y confiar que podíamos desarrollar alguna alternativa renovable para generar energía, pensando siempre en el concepto de P+L (Producción más Limpia).
- A la Cont. Lucía Valagao Sancho por brindarnos sus conocimientos y aportar su ayuda para la realización del Capítulo 6 de este trabajo.
- Al Ing. Francisco Pujana por colaborar con sus conocimientos técnicos en el área de los aerogeneradores, ayudándonos a interpretar datos y hacer los cálculos necesarios para el diseño de la instalación.
- Al Mgter. Duilio Pelusso, al Company Man Roberto Molina y al Téc. Carlos Maunás por permitirnos hacer la visita al yacimiento y ayudarnos con las mediciones del Capítulo 5.

Agradecimientos de Sol Maldonado Betanzo:

En primer lugar, quiero agradecer a mi familia: mi mamá Silvia, mi papá Mario, y mis hermanos Silvio y Jeremías, por estar siempre a mi lado en cada logro y también en cada fracaso, por darme siempre palabras de aliento y confiar en que podía llegar a este momento.

A mi novio Guillermo, por ayudarme académicamente cada vez que lo necesitaba, por acompañarme todos estos años y brindarme su apoyo y amor.

A mis cuñadas Julieta y Karina, por preocuparse por cómo me iba siempre que rendía un examen, por festejar conmigo todos los aprobados y por alentarme cada vez que me desanimaba ante alguna dificultad.

A mi compañero de proyecto y carrera Mario, por tolerar mi buen humor y también mi mal humor, por darme su compañía todos los días, por ayudarme cuando algo no me salía y por compartir conmigo (casi) todos los años de la carrera.

A los docentes de la Facultad de Ingeniería, por la pasión que ponen en su profesión, una pasión inspiradora que te alienta a querer ir siempre por más; por la paciencia que tienen con cada uno de nosotros y por brindarnos todos sus conocimientos para formar a los profesionales del futuro.

A mis amigos Agustín, Nicolás y Facundo, que desde la secundaria me apoyan en todas las locuras que se me ocurren, y que a pesar de la distancia su amistad me acompaña todos los días.

A mis compañeros de la Universidad, con los que formamos grupos de estudio para despejar dudas y estudiar en conjunto, con la finalidad de llegar al tanpreciado objetivo.

A Dios, porque siempre que necesitaba un “milagro” o quería que me vaya realmente bien en algo, la oración siempre me tranquilizó y fue un método que nunca dejó y espero que nunca deje de funcionar.

Y como no, ¡a Juancito!, el mejor pañolero que el Departamento de Electrónica pueda haber tenido. Por ayudarme siempre con absolutamente todo lo que le pedía, desde un componente para hacer un circuito, hasta un marcador o un ibuprofeno.

Agradecimientos de Mario Valagao Sancho:

Primero quiero agradecer a mi familia mi mamá Irma, mi papá Mario y mi hermana Lucía por apoyarme todo este tiempo, en cada paso que di y en cada decisión que tomé ayudándome siempre en todo lo que pudieron y dándome tranquilidad para afrontar esta carrera.

A mi compañera de la universidad y del proyecto Sol por ayudarme en todo y compartir todos estos años de carrera conmigo, trabajando juntos y siempre tirando para adelante en todas las materias, en todos los exámenes y en la vida en general, compartiendo un montón de actividades juntos y pasándola bien a pesar de éxitos o fracasos.

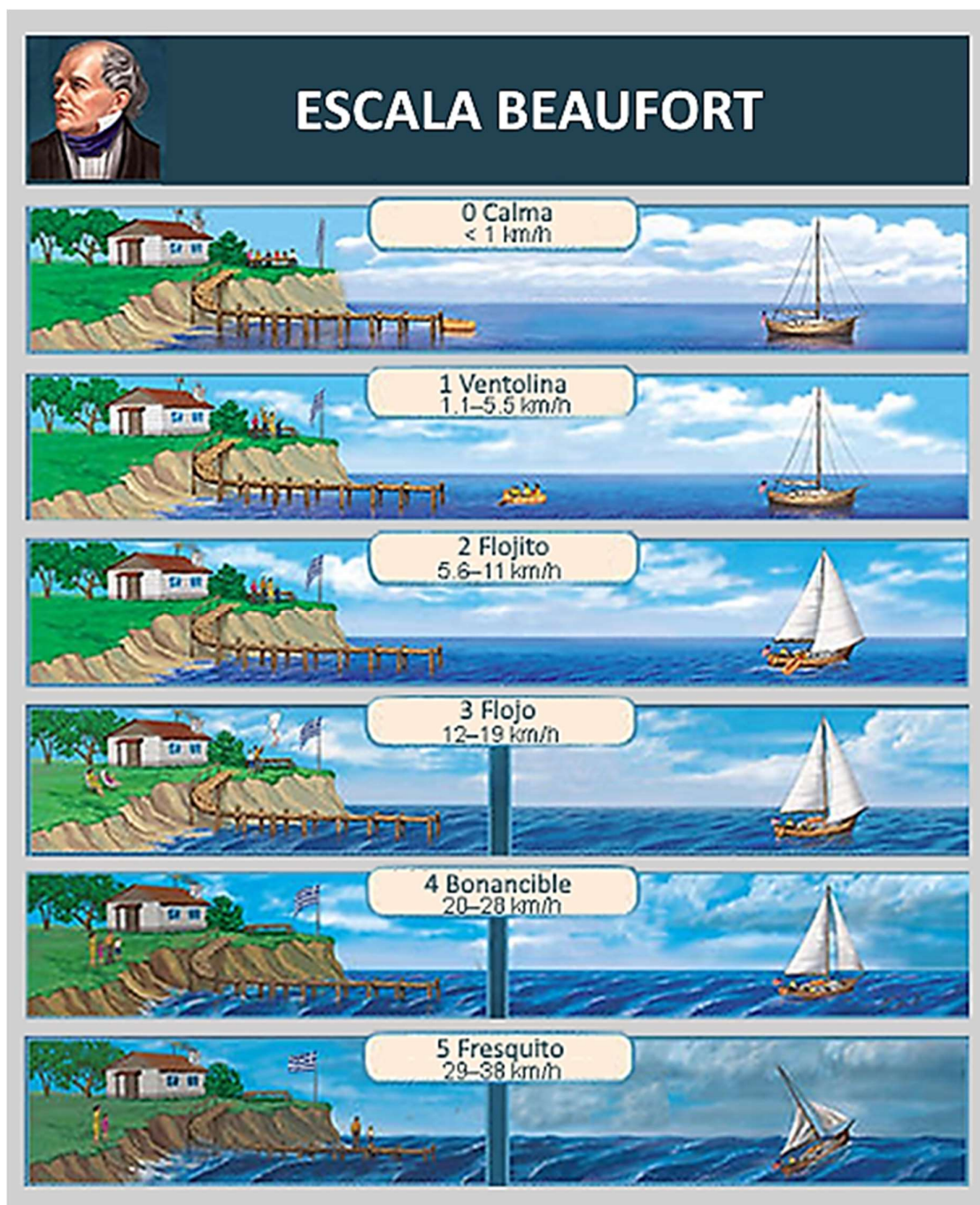
A todos los profesores de la Facultad de Ingeniería que me brindaron su apoyo y sus enseñanzas a lo largo de estos años, siempre siendo considerados e invirtiendo todo el tiempo posible en poder ayudar a que mejore en todos los aspectos como como profesional.

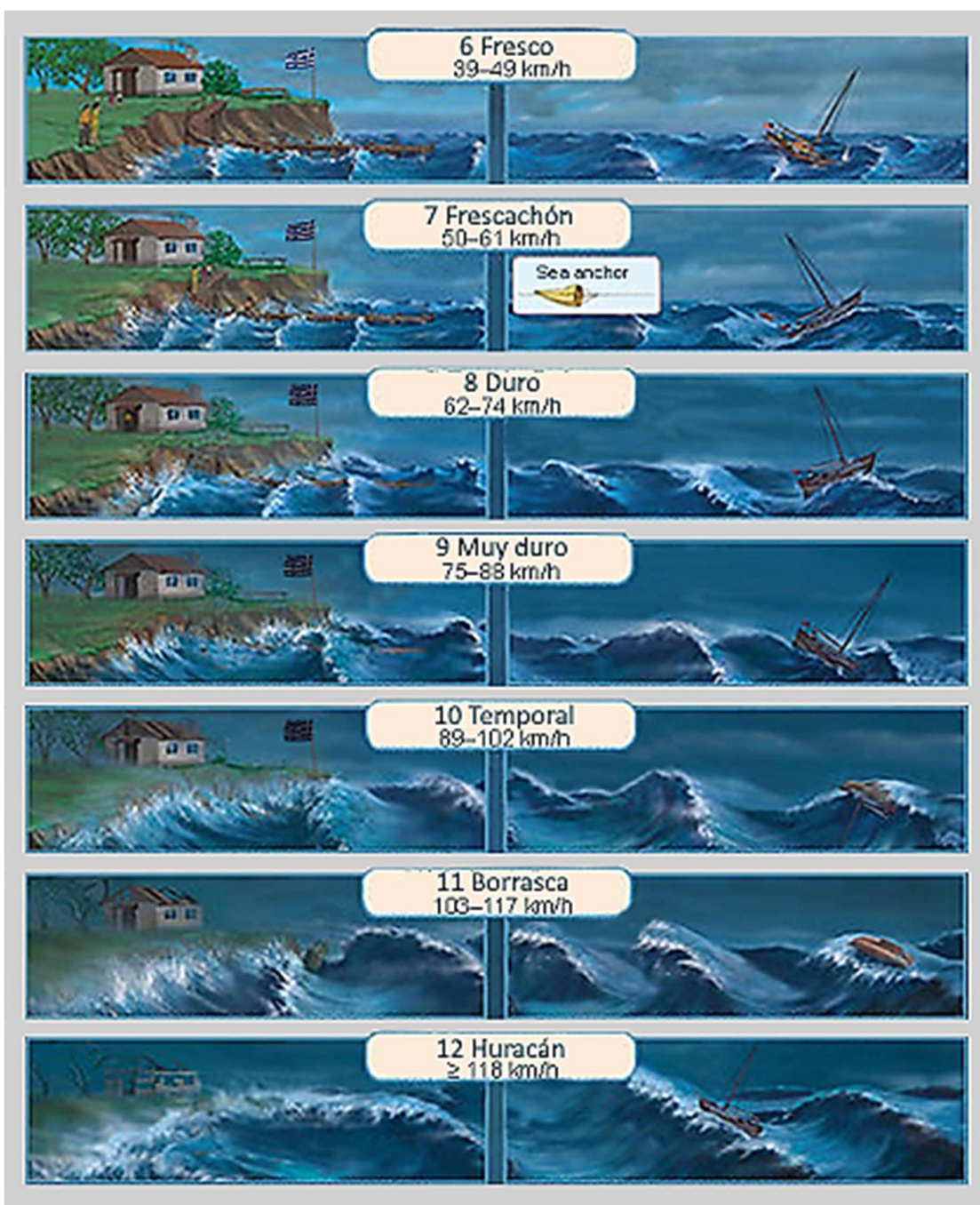
También a Juan, que siempre con la mejor onda me ayudo siempre en todo lo que podía.

A mis compañeros de la universidad con los que estudié y compartí muchos momentos y muchas risas, también realizamos trabajos juntos, laboratorios y despejamos dudas.

Anexo 1

Escala de Beaufort





Anexo 2

Especificaciones técnicas MI 2092

Entradas

Voltajes CA

El instrumento cuenta con una entrada de voltaje de CA trifásica (3 entradas diferenciales, $L_1 - N_1$, $L_2 - N_2$, $L_3 - N_3$).

La medición de tensión es directa con divisores de tensión internos. No hay fusibles interiores en las entradas de tensión.

- **Categoría III 600 V, 300 V a GND**
- Rango de entrada: 10 – 550 Vrms ($0,02 U_n - U_n$)
- Sobrecarga admisible: 600 Vrms
- Resolución: 0,1 V
- Precisión: $\pm 0,5$ % de lectura ± 2 dígitos
- Factor de pico máximo: 1,4
- Rango de frecuencia: 43.-68 Hz fundamental

Corrientes AC

El instrumento cuenta con tres entradas de corriente de CA, adecuadas para pinzas amperométricas u otros sensores de corriente.

- Rango de entrada: 0,02 – 1 Vrms ($0,02 I_n - I_n$).
Equivalente a 20 – 1000 A con pinzas.
- Resolución: 0,3 mV (0,3 A con pinzas).
- Precisión: $\pm 0,5$ % de lectura más ± 6 dígitos de la presión del transformador de corriente.
- Factor de pico: 2,5.
- Máxima sobrecarga admisible: 150 % I_n (corriente sinusoidal).
- Máximo voltaje de entrada: 1 Vrms.
- Precisión de la pinza amperométrica: 1% (20 A – 1000 A) error de fase 2 -0.5.
- **Usa pinzas amperométricas Categoría III 600 B con doble aislamiento y/o transformadores de corriente.**

Condiciones de Referencia

- Voltaje CA para mediciones de potencia 0,02 U_n ... U_n .

• Corriente CA	0,02 I_n ... I_n .
• Factor de potencia	Cuatro cuadrantes (1,00 _{cap} ... 0,00 ... 1,00 _{ind}).
• Frecuencia	45 ... 65 Hz.
• Forma de onda	Voltaje y corriente CA sinusoidal.
• Factor de distorsión	<2 %.
• Fuente de alimentación auxiliar	230 V $\pm$ 10%.
• Temperatura ambiente	23°C $\pm$ 15 %.

Salidas

Comunicación

Interfaz serie RS232 para conexión a PC, totalmente opto-aislado. Tasa de símbolos seleccionable entre 2400 – 57600 baudios. Conector de 9 pines tipo D. Cable de comunicación suministrado.

Alimentación

Alimentación CA

Rango de operación: 230 V CA + 10% - 20%, Categoría III sobrevoltaje, 45 – 65 Hz, 8 VA.

Fusible: F2 T100 mA (250 V en el compartimento de la batería).

Alimentación CD

Cuatro baterías internas x 1,2 V NiCd o NiMh recargables IEC LR14 provistas para operar por 5 horas.

Cargador interno de baterías, tiempo aproximado de carga: 10 horas.

Fusible: F1 T630 mA (250 V en el compartimento de la batería).

Memoria no-volátil

2048 KB SRAM, batería respaldada.

Medición de Armónicos

El instrumento computa armónicos o señales muestreadas con un conversor A/D.

Rango	Límites de Error		Resolución
I_r , U_r	THD	HD	En LCD y PC
2 ... 100%	0,2 % x U_r/U (I_r/I)	0,2 % x U_r/U (I_r/I)	0,1 %

Nota: THD Distorsión Armónica Total

HD Distorsión Harmónica

U_r U_{rango}

I_r I_{rango}

Especificaciones digitales de hardware

Conversor A/D 14 bits con 128 muestras por canal por período (43 – 68 Hz).

Especificaciones Generales

Rango de temperatura de trabajo	-10°C ... +45°C
Rango de temperatura de almacenamiento	-20...70°C
Máxima humedad	85% RH (0÷40°C)
Grado de contaminación	2
Clasificación de protección	Doble aislamiento
Categoría de sobrevoltaje	Voltajes de entrada: Categoría III 600 V, 300 V a GND.
Grado de protección	IP 64
Dimensión	265 x 110 x 18.5 mm
Peso (sin accesorios)	2 kg

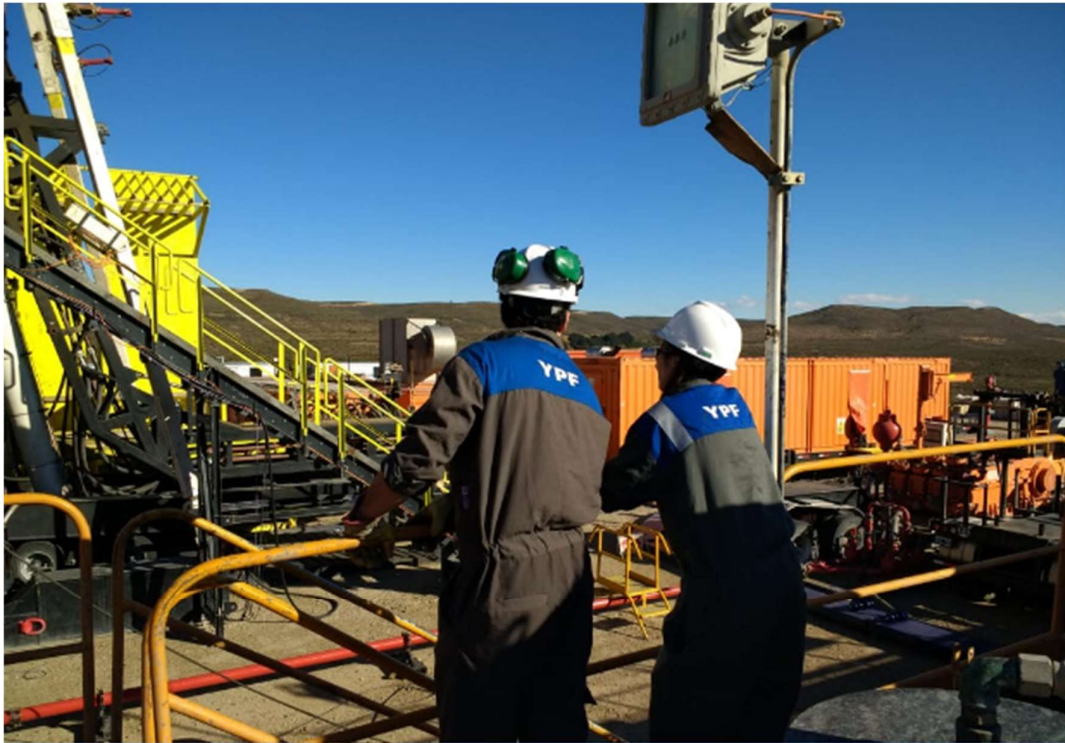
Anexo 3

Visita al equipo de perforación SAI-601









Anexo 4

Panel Solar Fotovoltaico TSM-330PD14

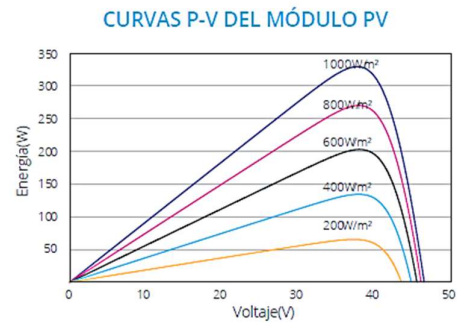
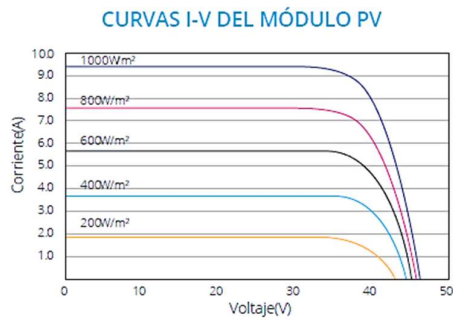
Datos eléctricos (STC ⁶)	
Potencia nominal P _{máx} (W _p)	330
Tolerancia de potencia nominal – P _{máx} (W)	0 -+5
Voltaje en el punto máximo – V _{mpp} (V)	37,4
Corriente máxima I _{mpp} (A)	8,83
Voltaje en circuito abierto V _{oc} (V)	45,8
Corriente en cortocircuito – I _{sc} (A)	9,28
Eficiencia del módulo η_m (%)	17

Datos Mecánicos	
Celdas solares	Multicristalino 156,75 x 156,75 mm
Distribución de celdas	72 celdas (6x12)
Dimensiones del módulo	1960x992x40mm
Peso	22,5kg
Vidrio	3,2 mm, Alta transmisión, AR vidrio templado recubierto
Capa trasera	Blanca
Marco	Aleación de aluminio anonizado
Caja de conexiones	IP 67 o IP 68
Cables	Cable de tecnología fotovoltaica 4,0 mm ² , 1200 mm
Conector	MC4 compatible o Amphenol H4/UTX
Clasificación de incendio	Tipo 1 o tipo 2

⁶ STC: irradiancia de 1000 W/m², temperatura de celda 25°C, masa de aire AM 1,5.

Límites de temperatura	
NOCT (temperatura nominal de celda)	44 °C ($\pm 2^\circ$)
Coeficiente de Temperatura Pmax	-0,41%/°C
Coeficiente de Temperatura Voc	-0,32%/°C
Coeficiente de Temperatura Isc	0,05%/°C

Limites operativos	
Temperatura de operación	-40~+85°C
Voltaje máximo del sistema	1000 V DC(IEC) 1000 V DC(UL)
Capacidad máxima del fusible	15 A



Anexo 5

Inversor Cargador Enertik ICA-5K-48P

VENTAJAS

- 0 ms de transferencia online, que además de mantener la calidad y estabilidad de la energía entregada, evita los microcortes por transferencia asegurando la compatibilidad con cualquier grupo electrógeno.
- Funcionamiento en paralelo hasta 9 unidades.
- Panel remoto LCD incluido.
- Regulador solar MPPT incorporado.
- Cargador automático de 3 etapas.
- Diseño para operación continua las 24 horas.
- Rango de voltaje de entrada seleccionable.
- Función de arranque en frío.
- Diseño apto para operar bajo condiciones severas.
- Diseño de alta eficiencia para ahorrar energía.
- Ecuación de la batería para optimizar el rendimiento y ciclo de vida de la misma.
- Monitoreable vía Bluetooth.
- Aplicación Android descargable desde Play Store.
- Pueden funcionar sin baterías.
- Permite guardar reportes de funcionamiento en pendrive USB.
- Coolers de rápida remoción para limpieza o recambio.

PROTECCIONES DEL EQUIPO

- Cortocircuito
- Sobrecarga
- Alta tensión de entrada
- Baja tensión de entrada
- Sobre temperatura

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Modelo	ICA-5K-48P
Potencia continua	5000 VA/5000 W
Entrada	
Voltaje nominal	230 VCA
Rango de voltaje aceptable	110~280 VCA
Frecuencia	50/60 Hz (reconocimiento automático)
Salida	
Regulación de voltaje (modo inversor)	230 VCA $\pm$ 5%
Potencia de pico	10000 VA
Tiempo de transferencia	0 ms
Forma de onda	Senoidal pura
Batería	
Voltaje de batería	48 VCC
Tensión de flote	54 VCC
Protección de sobrecarga	66 VCC
Cargador y regulador solar	
Tipo	MPPT
Potencia máxima de panel	4000 W
Voltaje de entrada MPPT	60 VCC~ 115 VCC
Corriente máxima – regulador solar	80 A
Corriente máxima – cargador	60 A
Corriente máxima – cargador (CA)	140 A
Eficiencia	93 %
Ambiente	
Temperatura de operación	0~ 55°C
Humedad relativa	5 ~ 95% (sin condensación)
Especificaciones físicas	
Dimensiones (mm)	140 x 303 x 525
Peso neto (kg)	13,5

Anexo 6

Generador Huaquan HQ5GF

Datos generales

Modelo	HQ5GF
Potencia	5kw
Voltaje nominal	220/380V,230/400V,110/220V
Frecuencia	50 Hz/60 Hz
Velocidad	1500/1800rpm
Fases	1 fase
Factor de potencia	0.8
Ajuste transitorio de voltaje nominal	$\pm 20\text{-}15\%$
Tiempo de establecimiento del voltaje	1.5s
Fluctuaciones del voltaje nominal	$\leq 1\%$

Datos del alternador

Frecuencia del alternador	50/60Hz
Voltaje del alternador	220/380 una fase/tres fases
Tasa de distorsión del voltaje de línea	$\leq 3\%$
Grado de protección	IP22/IP23
Grado de aislación	H
Modelo de ventilación	Ventilación por aire



Departamento de Electrónica - Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco - Ciudad Universitaria km 4 - 9005
Comodoro Rivadavia - Chubut - Argentina
Tel: +54-297-4558816 - www.ing.unp.edu.ar/