

UNIVERSIDAD CATOLICA DE LA SANTISIMA CONCEPCION  
Facultad de Ingeniería  
Departamento de Ingeniería Civil



**ANALISIS DE GENERACION DE ENERGIAS RENOVABLES NO  
CONVENCIONALES EN COMPLEJO TURISTICO JARDIN SALTO DEL  
LAJA, COMUNA DE CABRERO, VIII REGION DEL BIO-BIO.**

**TAMARA EVELIN MERCADO CRUZ**

INFORME DE PROYECTO DE TÍTULO PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
**INGENIERO CIVIL**

**Profesor Guía:**

Guillermo Bustamante

**Profesor Informante:**

Felipe González

Concepción, Octubre 2016

**DEDICATORIA**

Ya no importa cuál fue mi camino

Ni cuántas culpas he acumulado

Soy el dueño de mi destino

Soy el capitán de mi alma

Invictus....

## AGRADECIMIENTOS

Yo te instruiré y te enseñaré  
el camino que debes seguir,  
te aconsejaré y pondré mis ojos en ti.

Salmo 32:8

Desde el día que llego esta promesa a mi corazón supe que nunca estaría sola, que todo es parte de un plan perfecto.

Agradezco con el corazón y mi alma a:

Silvia Cruz Muñoz: por la incondicionalidad de ser la mejor mamá que Dios me pudo dar... por tu empeño, bondad, dedicación, confianza en mis logros y por tu singular manera de expresar cariño.

Juan Mercado Jara: mi papá, por demostrarme que se puede caer cien veces y pararse otras mil, porque a pesar de todo sé que estás orgulloso de mí...

Priscilla Mercado Cruz: mi hermana, eres el ejemplo de ser una persona maravillosa y esforzada, la que siempre confió y me dijo que sí se podía, la que me orientó y la que me pidió terminar un proceso que a veces parecía interminable.

Julieta Zamorano Mercado: mi hermosa princesa, la que con tu alegría y curiosidad por las cosas alegres cada pequeño momento que estamos juntas... eres mi luz y tienes mi atención y amor incondicional, mi sobrina y ahijada...

Enzo Díaz Argandoña: eres la persona que elegí para acompañar mi solitario camino, la persona que acompaña mis locuras y aventuras, el amor y compañero de vida.

Gracias Dios porque nunca me abandonaste y pusiste personas que marcaron mi vida... Jasmina, Familia Cruz, mi hermoso Valentín, Rita Andrea y muchos más... Por todo esto y mucho más....

GRACIAS TOTALES.....

### RESUMEN

En el presente proyecto de título se analiza el uso de energía solar y eólica como una forma de generar energía eléctrica a través de paneles fotovoltaicos y aerogeneradores para una casa y cuatro cabañas ubicadas en el Complejo Turístico Jardín Salto de Laja. Los diseños del sistema fotovoltaico y eólico consideran las condiciones geográficas del sector como irradiación y velocidad del viento.

El problema que surgió en el Complejo Turístico Jardín Salto del Laja fue que en los últimos años aumento considerablemente el pago por consumo de energía eléctrica a la compañía eléctrica Coelcha S.A, por lo que se evalúan alternativas de generar energía eléctrica a través de energías renovables no convencionales como son la energía solar y la energía eólica. Se comenzó por calcular el consumo promedio diario entre el periodo Septiembre 2012 a Septiembre 2014, obteniéndose como resultado que los paneles fotovoltaicos y los aerogeneradores deben generar un consumo promedio mínimo de 24kWh/día.

Los resultados indicaron para la evaluación técnico - económico de los paneles fotovoltaicos que el proyecto no era rentable ya que la inversión se recupera en 18 años.

Para el análisis de los aerogeneradores lo más importante eran los datos de la altura del aerogenerador y velocidad del viento, el promedio de velocidad del sector a una altura de 37m donde el aerogenerador está libre de obstáculos es de 4,9m/s, el resultado indico que se necesitan un máximo de 400 aerogeneradores con diámetro de hélice 1.17m y un mínimo de 3 aerogeneradores con diámetro de hélice de 14.4m para cumplir con lo requerido de 24kWh/día, pero no se cuenta con la superficie necesaria para instalar 400 aerogeneradores, por lo tanto solo si la velocidad en la zona aumentaba a 28.89 m/s se podrían instalar dos aerogeneradores de hélice de 1,17 m de diámetro, lo que hizo rechazar esta alternativa, ya que nunca se obtendría la velocidad solicitada.

Por lo tanto lo que se recomienda hacer para disminuir los costos de energía eléctrica es cambiar el tramo del tarifado actual de BT1 a BT2 donde si se mantiene el mismo consumo promedio se pueden ahorrar hasta \$360.000 al año.

## **ABSTRACT**

In this project title the use of solar and wind energy as a way to generate electricity through photovoltaic panels and wind turbines for a house and four cottages located in the “Complejo Turistico Jardin Salto del Laja”. Designs photovoltaic and wind system considering the geographical conditions in the sector as radiation and wind speed.

The problem that arose in the “Complejo Turistico Jardin Salto del Laja” was that in recent years increased considerably payment for consumption of electricity to the power company Coelcha SA, so alternatives to generate electricity are evaluated through energy are as unconventional renewable solar and wind energy. It began by calculating the average daily consumption between the period September 2012 to September 2014, resulting in the photovoltaic panels and wind turbines should generate a minimum average consumption of 24 kWh/day.

The results indicate that for technical and economic evaluation of photovoltaic panels that the project was not profitable because the investment is recovered in 18 years.

For analysis of the wind turbines the most important were the height data of the wind turbine and wind speed, average speed sector at a height of 37m where the turbine is free of obstacles is 4.9 m/s, the result indicated are needed that a maximum of 400 wind turbines helix diameter 1.17 m/s and minimum of 3 wind turbines with diameter propeller 14.4mts to meet the requirements of 24 kWh/day, but not have the area necessary to install 400 wind turbines, so only if the speed in the area increase to 28.89 m/s could install two wind turbines propeller 1.17 m in diameter, This alternative was rejected, as it never requested velocity would be obtained.

So what is recommended to reduce energy costs is to change the stretch of the current tariffed of BT1 to BT2 to which if maintained the same average consumption can save up to \$ 360.000 a year.

## INDICE DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCION.....</b>	<b>1</b>
1.1 Nomenclaturas y Abreviaciones.....	2
1.2 Planteamiento de Problema. ....	3
1.3 Objetivo General.....	4
1.4 Objetivos Específicos. ....	4
1.5 Justificación del Problema.....	4
1.6 Delimitación del Problema. ....	5
1.7 Metodología.....	5
<b>2. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.....</b>	<b>8</b>
2.1 Tipos de Radiación Solar.....	8
2.2 Tipos de Energía Solar Fotovoltaica.....	9
2.3 Ventajas y Desventajas de Instalar Paneles Fotovoltaicos. ....	10
2.3.1 Ventajas.....	10
2.3.2 Desventajas. ....	10
2.4 Aplicaciones de Paneles Fotovoltaicos.....	10
2.5 Componentes de un Sistema Fotovoltaicos. ....	11
2.5.1 Paneles Fotovoltaicos.....	11
2.5.2 Estructuras para Posicionar Paneles Fotovoltaicos. ....	13
2.5.3 Regulador .....	15
2.5.4 Baterías.....	15
2.5.5 Inversor. ....	16
2.5.6 Cables.....	16
2.5.7 Medidores de Energía. ....	16
2.6 Mantenimiento de un Sistema Fotovoltaico.....	17
2.7 Ley 20.571: Regulación en el Pago de Tarifas Eléctricas de las Generadoras Residenciales.....	17
<b>3. ENERGIA EOLICA A TRAVES DE AEROGENERADORES. ....</b>	<b>19</b>
3.1 Ventajas y desventajas de utilizar Energía Eólica. ....	19
3.1.1 Ventajas.....	19
3.1.2 Desventajas .....	20

3.2	Aplicaciones de Energía Eólica. ....	20
3.3	Vientos.....	20
3.3.1	Vientos Globales. ....	21
3.3.2	Vientos Locales. ....	21
3.4	Medición del Viento. ....	22
3.5	Potencia de un Aerogenerador. ....	23
3.5.1	Límite de Betz. ....	24
3.6	Tipos de Aerogeneradores. ....	24
3.6.1	Aerogeneradores Según su Eje de Giro. ....	25
3.6.1.1	De Eje Horizontal. ....	25
3.6.1.1.1	Rotor. ....	26
3.6.1.1.2	Chasis. ....	27
3.6.1.1.3	Caja de Variación de Velocidad. ....	27
3.6.1.2	Etapa de Generación Eléctrica en un Aerogenerador. ....	28
3.6.1.3	Emplazamiento de un Aerogenerador. ....	28
3.6.1.4	De eje Vertical. ....	29
3.6.2	Comparación entre aerogenerador de eje horizontal y vertical. ....	30
<b>4.</b>	<b>ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TECNICO ECONOMICA. ....</b>	<b>31</b>
4.1	Evaluación Técnica. ....	31
4.1.1	Descripción del Lugar de Emplazamiento: ....	31
4.1.2	Análisis de Energética Requerida ....	34
4.1.3	Evaluación de Alternativas de Paneles Fotovoltaicos. ....	36
4.1.3.1	Alternativa 1: Instalación de Paneles Fotovoltaicos ....	37
4.1.3.1.1	Estructura de Sujeción con soportes en tierra. ....	44
4.1.3.1.2	Selección del Regulador. ....	45
4.1.3.1.3	Selección de las Baterías. ....	47
4.1.3.1.4	Selección del Inversor. ....	48
4.1.3.1.5	Resumen de Equipos para Instalar Paneles Fotovoltaicos en Complejo Turístico Jardín Salto del Laja. ....	48
4.1.4	Evaluación de Alternativas de Aerogeneradores: ....	50
4.1.4.1	Alternativa 2: Instalación de Aerogeneradores. ....	51
4.2	Evaluación Económica. ....	56
4.2.1	Evaluación Económica Paneles Fotovoltaicos. ....	56
4.3	Análisis de Sensibilidad para la instalación de paneles fotovoltaicos. ....	62
4.4	Análisis de Sensibilidad para la instalación de Aerogeneradores. ....	67
4.5	Cambios del tarifado actual. ....	70

## Índice de contenido

---

4.6	Externalidades en la instalación de paneles fotovoltaicos y aerogeneradores.....	71
4.6.1	Externalidades Positivas.....	71
4.6.2	Externalidades Negativas Paneles Fotovoltaicos y Aerogeneradores.....	71
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES Y/O RECOMENDACIONES.....</b>	<b>73</b>
<b>6.</b>	<b>REVISION BIBLIOGRAFICA. ....</b>	<b>75</b>
<b>7.</b>	<b>ANEXOS. ....</b>	<b>78</b>

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Irradiación nacional. (Universidad Técnica Federico Santa María, 2013) .....	11
Tabla 2: Angulo de inclinación promedio considerado para la instalación de paneles fotovoltaicos en Chile. (Registro Solorimétrico, Universidad Técnica Federico Santa María, anexo 1).....	14
Tabla 3: Dirección del viento a escala de la tierra. (Elaboración Propia).....	21
Tabla 4: Consumo Mensual de Electricidad en Complejo Turístico Jardín Salto del Laja. (Elaboración Propia) .....	35
Tabla 5: Angulo de inclinación promedio considerado para la instalación de paneles fotovoltaicos en Chile. (Registro Solorimétrico, Universidad Técnica Federico Santa María) .....	37
Tabla 6: Anexo 1 “Tabla B56, pág. 68, unidades (MJ/m <sup>2</sup> ), Irradiación Solar en Territorios de la República de Chile”. (Registro Solorimétrico, Universidad Técnica Federico Santa María).....	38
Tabla 7: Irradiación mensual para una latitud de 52°. (Elaboración Propia) .....	38
Tabla 8: Presentación de alternativas de selección de Paneles Fotovoltaicos. (Elaboración Propia).....	42
Tabla 9: Presentación de alternativas de selección de Paneles Fotovoltaicos. (Elaboración Propia).....	43
Tabla 10: Tabla de características técnicas de la alternativa 3 del panel fotovoltaico. (Anexo 4). .....	46
Tabla 11: Equipos utilizados en las cuatro alternativas para la instalación de paneles fotovoltaicos. (Elaboración Propia) .....	50
Tabla 12: Datos de velocidad y dirección de viento para elección de Aerogeneradores. Extracto Información Anexo 3. (Elaboración Propia). .....	51
Tabla 13: Características técnicas de las alternativas de aerogeneradores. (Elaboración Propia).....	52
Tabla 14: Resumen de Área y Costos de Aerogeneradores. (Elaboración Propia).....	55
Tabla 15: Equipos y costos para implementar la instalación de paneles fotovoltaicos. (Elaboración Propia). .....	57
Tabla 16: Evaluación VAN para implementar la instalación de paneles fotovoltaicos. (Elaboración Propia). .....	59
Tabla 17: Precios de energía eléctrica para que el proyecto sea rentable según las alternativas seleccionadas. (Elaboración Propia).....	65
Tabla 18: Precios de energía eléctrica para que el proyecto sea rentable según las alternativas seleccionadas. (Elaboración Propia).....	67

**INDICE DE FIGURAS**

Figura 1: Esquema de Factibilidad Técnico – Económica. (Elaboración propia)..... 6

Figura 2: Tipos de Irradiacion que llega a la tierra a traves del sol. (Radiacion solar. [www.wikipedia.cl](http://www.wikipedia.cl). Leído 12-10-2014) ..... 9

Figura 3: Tipos de energía Fotovoltaica. (Elaboración Propia) ..... 9

Figura 4: Angulo de inclinacion considerado para instalacion de paneles fotovoltaicos (Atlas de Chile, 2014) ..... 14

Figura 5: Esquema de formacion de brisas de mar y de tierra. ([www.minenergia.cl](http://www.minenergia.cl). Leído 20-10-2015)..... 21

Figura 6: Esquema de formacion de brisas valle o de montaña.( [www.minenergia.cl](http://www.minenergia.cl). Leído 20-10-2015)..... 22

Figura 7: Ubicación de aerogeneradores. ([www.gdzsuezchile.cl](http://www.gdzsuezchile.cl). Leído 21-10-2014)..... 23

Figura 8: Aerogenerador de eje Horizontal. ([wikipedia.org](http://wikipedia.org). Leído 24-10-2014)..... 26

Figura 9: viento a barlovento. ([wikipedia.org](http://wikipedia.org). Leído 24-10-2014)..... 28

Figura 10: viento a sotavento. ([wikipedia.org](http://wikipedia.org). Leído 24-10-2014) ..... 29

Figura 11: Rotor de eje vertical Savonius y secuencia de giro del rotor. ([www.energiafutura.org](http://www.energiafutura.org). Leído 24-10-2014) ..... 29

Figura 12: Rotor de eje vertical Darrieus. ([www.energiafutura.org](http://www.energiafutura.org). Leído 24-10-2014) .. 30

Figura 13: Fotografia satelital del complejo Turistico Jardin Salto del Laja (Google Earth) ..... 31

Figura 14: Acceso Complejo Turistico Jardin Salto del Laja (Atlas de Chile)..... 32

Figura 15: Distribucion de cabañas en Comlejo Turistico Jardin Salto del Laja. (Google Earth)..... 33

Figura 16: Orientación de instalación de paneles fotovoltaicos. (Atlas de Chile, 2014)..... 37

Figura 17: Estructura de sujeción para paneles fotovoltaicos. ( [www.cintac.cl](http://www.cintac.cl). Leído 10-11-2014) ..... 45

Figura 18: Distribución Aerogeneradores en un parque eólico. ([www.eolicamonteredondo.cl](http://www.eolicamonteredondo.cl). Leído 16-11-2014)..... 54

**INDICE DE GRAFICOS**

*Grafico 1: Consumo Mensual de Electricidad en Complejo Turístico Jardín Salto del Laja. (Elaboración Propia)..... 36*

*Grafico 2: Relación de Precio / Capacidad de potencia de paneles fotovoltaicos en el mercado nacional. (Elaboración Propia)..... 43*

*Grafico 3: Relación entre el precio actual de la energía eléctrica y la proyección que se realizó para que el proyecto sea viable en cinco años. (Elaboración Propia)..... 65*

### 1. INTRODUCCION

Para la producción de energía eléctrica existe en el medio ambiente energías como el petróleo, gas natural y carbón que son energías agotables y contaminantes, y energías inagotables y no contaminantes que son el sol y el viento.

Se denomina energía renovable a la energía que se obtiene de fuentes naturales inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales. Entre las energías renovables se encuentra la eólica, geotérmica, hidroeléctrica, mareomotriz, solar, la biomasa y los biocombustibles (*F. Jarabo y otros, 1988. El libro de las energías renovables*).

La energía renovable se clasifica en energía renovable convencionales (ERC) y en energía renovable no convencionales (ERNC) según sea el desarrollo de la tecnología para generación eléctrica, en la energía renovable convencional destacan las hidroeléctricas debido a su gran equipamiento para generar energía y en la energía renovable no convencional se destaca y estudiaremos la energía solar y eólica.

La energía solar y su aprovechamiento energético de una u otra forma están presentes en las actividades agrícolas, industriales y urbanas de las personas y como fuente de energía presenta como característica una elevada calidad energética inagotable y un nulo impacto ecológico a escala humana. Como dificultades principales asociadas al aprovechamiento de este tipo de energía cabe destacar la variabilidad con la que esta energía llega a la tierra como consecuencia de aspectos geográficos, climáticos o estacionales (*Manual del Arquitecto, Energía solar Térmica, Junta de Castilla y León*).

La energía eólica es el cambio de energía cinética del viento en energía reutilizable. El viento se produce por diferencias de temperatura entre distintas masas de aire en la atmosfera terrestre al calentarse por el sol, por esto se considera al viento como una forma indirecta de energía solar.

La tecnología utilizada para el desarrollo de la energía eólica como fuente energética, no produce emisiones contaminantes durante su operación y consiste, principalmente, en turbinas que transforman la energía cinética del viento en energía mecánica, que luego se convierte en energía eléctrica por medio de un generador.

La Comisión Nacional de Energía (CNE) realizó un estudio de proyección eléctrica hasta el año 2030 y el resultado indicó que: “Aun cuando se cumpla en un 100% el plan de obras que elabora la CNE, el sistema eléctrico no tendrá toda la energía suficiente que necesita para abastecer el incremento de la demanda que el país requerirá hacia fines del 2030. Se registrará un déficit cercano al 33% de esa demanda extra y de acuerdo con las estimaciones, existirá un desequilibrio entre la oferta y la demanda, debido a la falta de nuevos proyectos, lo que hace imposible abastecer los 2.700 megawatts (MW) adicionales que se requerirán al 2030 para asegurar el suministro del principal sistema eléctrico del país, el sistema interconectado central (SIC), que va desde Taltal hasta Chiloé, y que abastece a más del 90% de la población. Para el periodo 2014-2030 se tiene previsto que la demanda eléctrica crecerá a una tasa anual compuesta de 5,3%. (*Seminario eléctrico Elecgas. <http://elecgas.elecgas.cl/elecgas/>. Leído 02-10-2014*)

Estas proyecciones de déficit se realizan en base a condiciones normales de lluvia anuales porque si hay escasez de lluvia el déficit considerado para el año 2030 se triplica. Es necesaria la generación de energía eléctrica debido a un desajuste de oferta-demanda energética, ya que no se están construyendo nuevos proyectos y la demanda sigue creciendo por lo que el sistema está cada vez más congestionado lo que conlleva a precios más elevados, por lo que se seguirá generando energía a través de generadores diésel o gas natural que son fuentes contaminantes y no se aprovechará la energía solar como fuente de energía renovable e inagotable por falta de proyectos.

Es por todas estas razones y como una manera de ayudar al abastecimiento energético chileno, que se evaluarán las alternativas de generación eléctrica a través de la instalación de paneles fotovoltaicos y/o aerogeneradores en complejo turístico Jardín Salto del Laja, comuna de Cabrero, región del Bío-Bío.

### **1.1 Nomenclaturas y Abreviaciones.**

- **ERC**: Energías renovables convencional.
- **ERN**: Energías renovables no convencionales.
- **CNE**: Comisión nacional de energía.

- **SIC**: Sistema interconectado central.
- **COELCHA**: Sociedad cooperativa de consumo de energía eléctrica Charrúa Ltda.
- **Potencia**: La potencia de una máquina, aparato de consumo o equipo generador eléctrico es la capacidad que tiene para consumir o generar electricidad en un momento determinado, la potencia, es independiente del tiempo y se mide en Watt (W).
- **Energía**: Es la capacidad de generar trabajo. La energía consumida o generada por un aparato eléctrico es igual a su potencia multiplicada por el número de unidades de tiempo de funcionamiento. Así, un televisor de 80W de potencia que funcione 4 horas en un día, habrá consumido  $80W \times 4h = 320 \text{ Wh/día}$ . La unidad de medida es Watt-hora (W-h) o su múltiplo kWh = 1000Wh.
- **Potencia de un panel fotovoltaico**: La potencia de una placa fotovoltaica, que se expresa en watt (W), representa la potencia que puede generar en condiciones muy concretas una intensidad de irradiación de  $1000W/m^2$  y una temperatura del panel fotovoltaico de  $25^{\circ}C$ .

### 1.2 Planteamiento de Problema.

Debido a la proyección de escasez energética para el año 2030 que realizó la CNE por la falta de proyectos de generación eléctrica y a modo de ayudar al planeta mínimamente y aprovechar una fuente de energía renovable no convencional como es la energía solar y la energía eólica, debido al considerable aumento del consumo de energía eléctrica que se registró durante dos años en el complejo turísticos Jardín Salto del Laja, comuna de los ángeles, VIII región del Bio-Bio, se evaluarán las siguientes alternativas para disminuir los costos de electricidad.

- Factibilidad técnico-económica para la instalación de paneles fotovoltaicos.
- Factibilidad técnico-económica para la instalación de aerogeneradores.
- Cambio de tramo en el tarifado del suministro de energía eléctrica actual.

### **1.3 Objetivo General.**

El objetivo general del presente estudio es:

- Evaluar si el estudio de factibilidad Técnico - Económico para la generación de electricidad a través de energías renovables no convencionales en complejo turístico Jardín Salto del Laja, resulta viable en relación a la situación actual de estar en el tarifado BT1.

### **1.4 Objetivos Específicos.**

Para lograr el objetivo general se debe:

- Determinar cuál ha sido el consumo promedio de energía en los últimos dos años y cuanto se ha pagado a la compañía de electricidad por prestar este servicio.
- Analizar las variables de sensibilidad y externalidad de instalar paneles fotovoltaicos y aerogeneradores, estableciendo si los costos asociados al suministro, instalación y mantención se podrán amortizar en un periodo de cinco años.
- Evaluar si el cambio en el tramo de tarifa actual es más rentable que la instalación de paneles fotovoltaicos o aerogeneradores en un periodo de cinco años.

### **1.5 Justificación del Problema.**

En los últimos años la creciente demanda de energía eléctrica para satisfacer el bienestar de las personas ha provocado daño en el planeta, es por esto que se han estudiado diversas formas de generación de energía para poder satisfacer el desarrollo de los países.

Principalmente la generación de energía en Chile se realiza con gas natural y petróleo, estos provienen en su mayoría de la importación desde Argentina, en la última década la construcción de proyectos de generación eléctrica a través de hidroeléctricas ha suplido hasta el momento la demanda eléctrica, siendo de vital importancia solucionar el problema energético a través de energías renovables.

Además de aumentar el consumo de energía eléctrica ha aumentado el precio de la energía debido a que se ha tenido que invertir en nueva implementación de tecnologías para generar electricidad.

Es por esto y en conciencia con los futuros problemas de generación de energía se evaluara la mejor alternativa para la instalación de paneles fotovoltaicos o aerogeneradores según la disponibilidad de suministro del mercado chileno, esta evaluación puede significar un ahorro considerable para el complejo turístico Jardín Salto del Laja en el pago de energía eléctrica a su abastecedor “SOCIEDAD COOPERATIVA DE CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA CHARRUA LTDA”, en adelante COELCHA.

### **1.6 Delimitación del Problema.**

Este estudio se basa en evaluar el costo económico del suministro de paneles fotovoltaicos y aerogeneradores con todos los implementos necesarios para su instalación que pueda ofrecer el mercado chileno a un total de cinco cabañas ubicadas en complejo turístico jardín salto del laja , en un periodo de retorno de cinco años para recuperar la inversión.

### **1.7 Metodología**

Se evaluarán dos alternativas de energía renovable no convencional; una de generación solar a través de la instalación de paneles fotovoltaicos y otra de generación eólica a través de aerogeneradores, teniendo en cuenta que en poco tiempo se ha desarrollado la tecnología para que el costo de suministro e implementación no sea tan alto y se pueda generar energía eléctrica con el sol y el viento, este proyecto de título se estructura de la siguiente forma:

Capítulo 1: Se realiza la introducción donde se indica porque se debe considerar la generación de energía renovable como la instalación de paneles fotovoltaicos como una manera de ayudar al medio ambiente. También se plantea el problema, se desarrolla el objetivo general, objetivo específico.

Capítulo 2: Se desarrolla la historia, tipos, ventajas y desventajas, aplicaciones, componentes y las consideraciones de instalación que se deben tener en cuenta con los paneles solares fotovoltaicos.

Capítulo 3: Se desarrolla la historia, ventajas y desventajas, aplicaciones, detalle de los tipos de viento que se deben utilizar, medición, orientación, clasificación y cálculo de potencia de un aerogenerador donde se destacan los aerogeneradores de tipo horizontal sobre los verticales.

Capítulo 4: Se genera el estudio de pre-factibilidad técnico económico, respecto a la generación de energía eléctrica para el complejo turístico jardín salto del laja, se utiliza la siguiente metodología que se esquematiza a continuación.

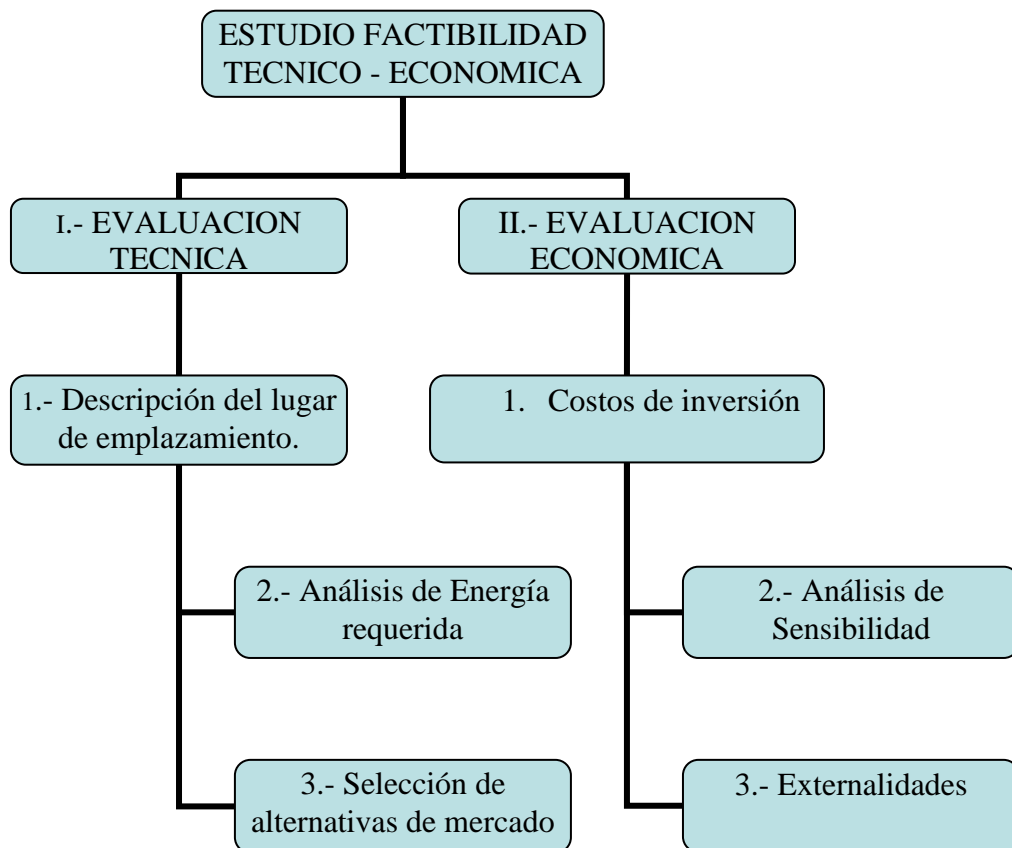


Figura 1: Esquema de Factibilidad Técnico – Económica. (Elaboración propia)

- Estudio de factibilidad técnico económica.

### I.- evaluación Técnica

1.- Descripción del lugar de emplazamiento: se describirá cual es la ubicación del complejo jardín salto del laja y sus alrededores.

2.-Análisis de Energética requerida: se determinara el consumo promedio mensual de energía del complejo turístico jardín salto del laja a través del promedio de cuentas de luz pagadas en los últimos dos años.

3.- Selección de alternativas de mercado: Esto consiste evaluar las mejores alternativas entregadas por el mercado nacional tanto para paneles fotovoltaicos como para aerogeneradores, que satisfagan las necesidades de consumo.

### II.- evaluación Económica

1.- Costos de inversión: se desarrollan las alternativas elegidas y se realiza una proyección financiera, a través del VAN y TIR. La mejor proyección se compara con la alternativa de cambiar el tramo del tarifado actual por otro más conveniente.

2.- Análisis de sensibilidad: se miden alternativas que modifican los costos para observar cambios en el presupuesto, como por ejemplo aumentar el precio del kWh/día para hacer rentable el proyecto de instalar paneles fotovoltaicos en cinco años o determinar la velocidad del viento necesaria en cada alternativa para la instalación de aerogeneradores.

3.- Externalidades: se evalúan los impactos positivos y negativos del proyecto que generara a terceras personas.

Capítulo 5: En este capítulo se analizan los resultados obtenidos y se llega a una conclusión y/o recomendaciones.

Capítulo 6: Revisión Bibliográfica.

Capítulo 7: Anexos.

## 2. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.

La energía solar es la fuente principal de la vida en la tierra, dirige los ciclos biofísicos, geofísicos y químicos que mantienen la vida en el planeta, es el origen de la mayoría de las fuentes de energía renovables, tanto de la energía eólica, la hidroeléctrica, la biomasa, de las olas y corrientes marinas.

La energía solar fotovoltaica es la conversión de luz en electricidad. El proceso se realiza con células fotovoltaicas que poseen la propiedad de atraer fotones y emitir electrones, cuando los electrones libres son capturados, el resultado es una corriente eléctrica que se utiliza como electricidad (*“Energía fotovoltaica”*, [www.wikipedia.cl](http://www.wikipedia.cl). Leído 7-10-2014).

En 1954 se construye el primer panel fotovoltaico en los laboratorios Bell, luego una sucesión de procesos industriales, junto con la expansión del mercado de consumo, permitió una drástica reducción de los costos de producción y una masificación de los paneles fotovoltaicos.

A través de las células fotovoltaicas, la radiación solar se transforma directamente en electricidad, aprovechando las propiedades del silicio. Una célula fotovoltaica tiene un espesor entre 0,25 y 0,35 mm y está formada por silicio mono o policristalino. Generalmente es de forma cuadrada y sus dimensiones más comunes son 100x100mm o 150x150mm.

### 2.1 Tipos de Radiación Solar.

La radiación solar es el flujo de energía que se recibe del sol en forma de ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias (luz visible, infrarroja y ultravioleta).

La radiación solar se mide normalmente con un instrumento denominado piranómetro o solorímetro. En función de cómo reciben la radiación solar los objetos situados en la superficie terrestre, se pueden distinguir los siguientes tipos de radiaciones.

- **Radiación directa:** llega directamente del sol sin haber sufrido cambio alguno en su dirección.

- **Radiación Difusa:** Parte de la radiación que atraviesa la atmósfera es reflejada por las nubes o absorbida por éstas, va en todas las direcciones.
- **Radiación Reflejada:** Es aquella reflejada por la superficie terrestre.
- **Radiación global:** Es la suma de las tres radiaciones.

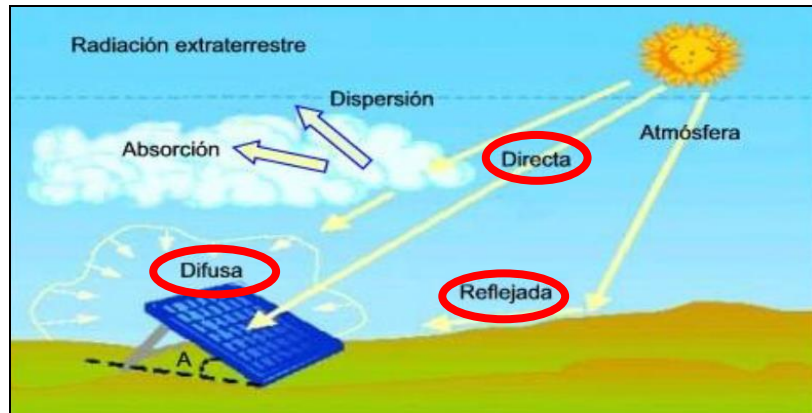


Figura 2: Tipos de Irradiación que llega a la tierra a través del sol. (Radiación solar.

[www.wikipedia.cl](http://www.wikipedia.cl). Leído 12-10-2014)

## 2.2 Tipos de Energía Solar Fotovoltaica.

Existen dos tipos energía solar fotovoltaica:

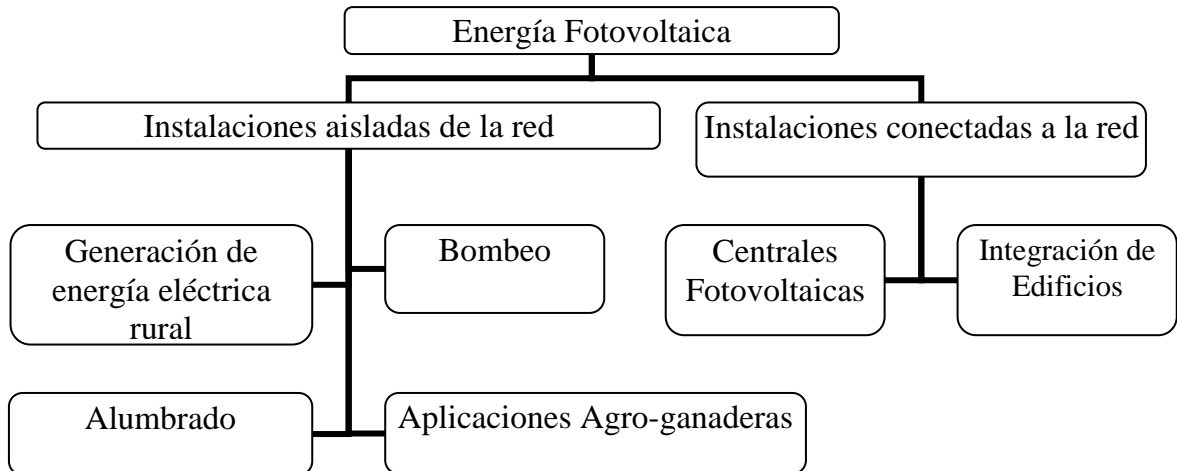


Figura 3: Tipos de energía Fotovoltaica. (Elaboración Propia)

### **2.3 Ventajas y Desventajas de Instalar Paneles Fotovoltaicos.**

Dentro de las ventajas y desventajas de instalar un panel fotovoltaico se puede observar lo siguientes:

#### **2.3.1 Ventajas.**

- Es una energía no contaminante e inagotable.
- Los sistemas solares fotovoltaicos conectados a la red eléctrica introducen una energía limpia generada por la irradiación solar contribuyendo a la reducción de gases contaminantes de efecto invernadero.

#### **2.3.2 Desventajas.**

- Para la instalación de paneles fotovoltaicos se requiere una alta inversión, ya que la tecnología para convertir la energía solar en electricidad es muy cara.
- La energía no se recibe de forma constante debido a la nubosidad, precipitación, variación en el ángulo de recepción.

### **2.4 Aplicaciones de Paneles Fotovoltaicos.**

En Chile, la energía solar es utilizada comúnmente en la zona norte del país, en donde existe uno de los niveles de radiación más altos del mundo, específicamente entre la Región de Arica y Parinacota y la de Coquimbo. No obstante, en todo Chile la energía solar es lo suficientemente intensa para poder aprovecharla de forma económica y eficiente, (Energía Solar, [www.teknosol.cl](http://www.teknosol.cl). Leído 10-10-2014).

Como se observa en la tabla 1 la Irradiación solar diaria de la octava región es de 3.475 Kcal./m<sup>2</sup>/día, un buen promedio de radiación para proyectar una instalación de paneles fotovoltaicos.

Región	Radiación Solar (Kcal./m <sup>2</sup> /día)	Región	Radiación Solar (Kcal./m <sup>2</sup> /día)
I	4.554	VIII	3.475
II	4.828	IX	3.076
III	4.346	X	2.626
IV	4.258	XI	2.603
V	3.520	XII	2.107
VI	3.676	RM	3.570
VII	3.672	Antártica	1.563

Tabla 1: Irradiación nacional. (Universidad Técnica Federico Santa María, 2013)

En una proyección de energía realizada por el Ministerio de energía para el año 2030 se va a tener una demanda del 73,6% del Sistema Interconectado Central (SIC) y un 26,4% Sistema Interconectado del Norte Grande (SING) con generación principalmente solar y eólica. Para llegar a estas cifras el año 2030, el gobierno y las municipalidades chilenas están promoviendo el Programa de Electrificación Rural (PER), donde se han instalado paneles fotovoltaicos en sistemas para alumbrado y electrificación de viviendas.

## 2.5 Componentes de un Sistema Fotovoltaicos.

Un sistema de suministro eléctrico autónomo basado en la transformación fotovoltaica de la energía solar está formado por los equipos necesarios para producir, regular, acumular, transformar y cuantificar la energía eléctrica.

Los componentes esenciales son: paneles fotovoltaicos, regulador, baterías, Inversor, sistemas de protección, contadores de energía y cables.

### 2.5.1 Paneles Fotovoltaicos

Están compuestos de células fotovoltaicas capaces de convertir la luz en electricidad. Todas las células de los paneles están unidas ente si, para poder sumar su potencia y alcanzar conjuntamente el potencia nominal del panel fotovoltaico.

La potencia de un panel fotovoltaico se mide en watts (W), que es la potencia que puede generar cuando está sometida a la intensidad máxima que es más o menos el sol de mediodía de un día claro.

Para determinar el número de paneles que se necesitan en una instalación dependiente solamente de energía solar con paneles fotovoltaicos se debe seguir la siguiente secuencia:

- Determinar la demanda de consumo diario en una casa se puede hacer de las siguientes dos formas:

1.- Anotar todos los aparatos eléctricos e indicar su potencia, ejemplo

Consumidor	Cantidad	Potencia c/u (W)	Potencia (W)	Horas de uso	Consumo (Wh/día)
Ampolleta	7	15	105	6	630
Computador	1	300	300	1	300
Lavadora	1	395	395	1	395
Refrigerador	1	108	108	1	108
Microonda	1	1100	1100	0,5	550
Total			2008		1983

Obteniéndose un consumo diario de 1.983 Wh/día.

2.- Buscar las boletas de luz pagadas en el último año a la compañía suministradora de energía eléctrica y considerar el mes de mayor consumo, luego dividir en 30 días para obtener el consumo diario en Wh/día.

- Se debe determinar el área necesaria de instalación, para eso ya determinado el mes de mayor consumo, se debe encontrar el mes de menos radiación según lo indicado en *tabla B56 "Irradiación Solar en Territorios de la República de Chile", pág. 68, Registro Solorimetrico, universidad Técnica Federico Santa María (anexo 1).*

Entonces:

$$\text{Area}_1 = \frac{\text{Consumo Wh/día}}{\text{Radiación Wh/m}^2/\text{día}}$$

Esta superficie se obtiene considerando un rendimiento del 100%.

- Luego se debe determinar el rendimiento real de un panel fotovoltaico disponible en el comercio, se deben evaluar varios paneles de distintas características

$$\text{Rendimiento real (\%)} = \eta_{\text{real (\%)}} = \frac{\text{Potencia Eléctrica (W)}}{1000 \text{ W/m}^2 \times \text{área}_2 \text{ (m}^2\text{)}} \times 100$$

- Una vez que se obtiene el Area1 y el rendimiento real del panel se debe encontrar el Área que refleje el rendimiento real calculado, para eso:

$$\text{Area}_3 = \frac{\text{Area}_1 \text{ con rendimiento 100\%}}{\eta_{\text{real (\%)}}}$$

- Para obtener el número total de paneles necesarios según el área del panel elegido se debe:

$$\text{N}^\circ \text{ Paneles Necesarios} = \frac{A_3}{A_2}$$

### 2.5.2 Estructuras para Posicionar Paneles Fotovoltaicos.

Este componente de instalación tiene la función de mantener los paneles fotovoltaicos en una posición correcta, fijar los paneles fotovoltaicos a una estructura sólida y garantizar la integridad de los paneles contra la acción del viento, los cambios de temperatura, el robo y la destrucción.

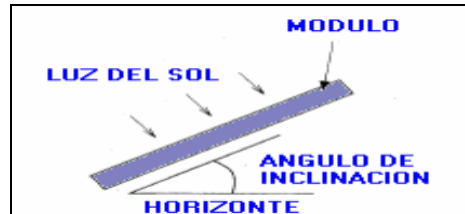
En el comercio chileno existe una gran variedad de sistemas de sujeción para paneles fotovoltaicos dependiendo del tipo de instalación que se requiera, entre los cuales se destaca:

Sistema con soporte diseñado para paneles que requieren mayor inclinación que la propia del techo de la casa.

Sistema adherido a la arquitectura específico para instalaciones donde se puede aprovechar la inclinación de la casa.

Sistema con soportes en tierra estructura diseñada para instalar grandes superficies de paneles fotovoltaicos, como por ejemplo parques solares.

Para calcular el ángulo de inclinación de un panel fotovoltaico con el cual se debe instalar en una estructura de fijación, se mide entre el panel solar y el plano horizontal como lo indica la figura 14.



*Figura 4: Angulo de inclinacion considerado para instalacion de paneles fotovoltaicos (Atlas de Chile, 2014)*

Para cada latitud existe un ángulo de inclinación óptimo como lo indica la siguiente tabla.

Latitud (Grados)	Angulo de Inclinación
0° a 15°	15°
15° a 25°	La misma latitud
25° a 30°	Latitud más de 5°
30° a 35°	Latitud más de 10°
35° a 40°	Latitud más de 15°
40° a mas	Latitud más de 20°

*Tabla 2: Angulo de inclinación promedio considerado para la instalación de paneles fotovoltaicos en Chile. (Registro Solorimetrico, universidad Técnica Federico Santa María, anexo 1)*

Los límites de Chile continental son: por el norte con Perú 17° 29' 57" latitud sur y por el sur con Argentina 58° 21' 1" de latitud sur y posee como eje central el meridiano 70° longitud oeste.

### 2.5.3 Regulador

Este dispositivo tiene como función regular la carga y la descarga de las baterías, deben tener un indicador de alarma (sonoro o luminoso) para avisar que el estado de carga de las baterías empieza a ser demasiado bajo y se debería reducir el consumo.

Para determinar que regulador se puede utilizar se debe considerar lo siguiente:

- El panel fotovoltaico elegido que se utilizara en la instalación fotovoltaica trae características propias, como la corriente de corte de circuito (A), con este dato se puede calcular la corriente que debe soportar el regulador de la siguiente manera.

Corriente del regulador =  $R_{\text{regulador}}$  = Corriente de corte de circuito (A) x N° paneles

### 2.5.4 Baterías.

La capacidad de almacenaje de energía de una batería depende de la velocidad de descarga. La capacidad nominal que caracterizan a las baterías corresponde a un tiempo de descarga de 10 horas. Cuanto mayor es el tiempo de descarga, mayor es la cantidad de energía que la batería almacena.

Para seleccionar la mejor alternativa de batería se debe considerar lo siguiente:

- Capacidad de Carga en Amperes por Hora (Ah), para eso:

$$\text{Capacidad de carga} = I_{\text{batería}} (A) = \frac{\text{Consumo/día (W/día)}}{\text{Tensión batería (V)}}$$

La capacidad de carga calcula anteriormente considera que todos los días la batería se cargara completamente y esto no siempre es así debido a las nubes, lluvias, etc. Por esto se debe calcular una autonomía mínima para las baterías, pueden ser 3 días (considerando que en 3 días no abra sol).

$$I_{\text{batería 3 días}}(A) = I_{\text{batería}}(A) \times 3 \text{ días}$$

- Profundidad de descarga, en instalaciones solares se permite hasta un 80% de descarga.

$$I_{\text{batería 80\%}}(A) = I_{\text{batería 3 días}}(A) \times 1,8$$

- Para calcular el número de baterías necesarias se debe considerar la capacidad de carga calculada anteriormente:

$$N_{\text{baterías}} = \frac{I_{\text{batería } 80\%}}{I_{\text{capacidad de carga de una batería}}}$$

### 2.5.5 Inversor.

La energía generada por los paneles fotovoltaicos y la acumulada por las baterías es corriente continua, normalmente a bajos voltajes (por lo general 12, 24, 48 volts). Sin embargo, las casas alimentadas por el sistema interconectado central utilizan corriente alterna a 220 Volts, debido a esto en las instalaciones de paneles fotovoltaicos hay que utilizar un inversor para transformar la corriente continua (12,24,48 V) en corriente alterna (220 V).

Esta transformación no es gratuita, ya que la eficiencia del inversor es inferior al 100% e incluso a veces debajo del 90%, lo que significa que no toda la corriente continua que entra saldrá en forma de corriente alterna, una parte se perderá en forma de calor. Para elegir el tipo de inversor que se debe considerar el consumo máximo en Watts de todos los elementos que podrían ser utilizados a la misma vez, y elegir uno con una mayor potencia.

### 2.5.6 Cables.

Cada tipo de instalación de paneles fotovoltaicos presenta particularidades que hacen necesarios diseños específicos de cables capaces de soportar temperaturas extremas, humedades, acciones químicas, servicios móviles, etc. Todo ello garantizando las máximas prestaciones de seguridad en caso de incendio.

### 2.5.7 Medidores de Energía.

Registran la energía que pasa por un circuito determinado, si se colocan entre el regulador y el consumo medirán la energía consumida por el usuario, si se colocan entre el regulador y el panel fotovoltaico se medirá la energía que genera el campo fotovoltaico.

## **2.6 Mantenición de un Sistema Fotovoltaico.**

Las instalaciones fotovoltaicas en su conjunto son fáciles de mantener. No tienen motores ni partes susceptibles de desgaste, no es necesario cambiar piezas, ni aceite, etc. Por eso hay que realizar mantenimientos a corto plazo para evitar problemas. Hay tareas de mantenimiento que de no llevarse a cabo conducirán a una disminución del rendimiento de la instalación.

## **2.7 Ley 20.571: Regulación en el Pago de Tarifas Eléctricas de las Generadoras Residenciales.**

El año 2012 fue aprobada la ley 20.571 que regula el pago de las tarifas eléctricas de las generadoras residenciales de hasta 100 kW, o ley de net metering, que estimula la participación de las ERNC en la matriz energética chilena.

Esta ley fue promulgada el 20 de febrero del 2012 y publicada el 22 de marzo del 2012, para que la ley entrara en vigencia se necesitaba de un reglamento que fue proceso de análisis y desarrollo del ministerio de energía, después de dos años de este proceso la ley entró en vigencia el 22 de octubre del 2014 (anexo2).

Esta ley está dirigida a quienes tengan equipos de generación de energía renovable no convencional (solar, eólica, mareomotriz, geotérmica) y una capacidad instalada de generación máxima de 100 kw. Estos consumidores podrán inyectar la energía que no utilicen al sistema interconectado central y cobrar por ella.

Si una persona decide hacer su instalación eléctrica e inyectar energía, deberá asumir el costo de las obras adicionales necesarias para inyectar la energía producida e instalar el medidor que determine cuánto está inyectando. Para resguardar este proceso está la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC).

El reglamento, plantea que sólo pueden utilizarse equipos debidamente certificados por la SEC. Este organismo, además, autorizará a laboratorios de ensayo y organismos de certificación habilitados para que certifiquen equipos.

La compañía distribuidora pagará al cliente un valor por cada kWh inyectado al SIC menor que el precio del cliente paga. Para un cliente BT1 o Residencial (Medición de energía cuya potencia conectada sea inferior a 10 kW o la demanda sea limitada a 10 kW)

significa que los excedentes tendrán un valor de tan solo un 50% aproximadamente del valor al cual compra la electricidad a la distribuidora.

La energía inyectada al SIC será descontada de la facturación correspondiente al mes en el cual se realizaron dichas inyecciones. De existir un remanente a favor del cliente, el mismo se imputará y descontará en la o las facturas subsiguientes.

A continuación se detallan los pasos que se deben realizar para poder conectarse al SIC:

- Una vez que se tiene el proyecto y las características de los paneles fotovoltaicos que se quieren instalar se debe solicitar la conexión a la empresa distribuidora, el consumidor da las características de lo que quiere instalar y la empresa en no más de 20 días debe responder si el consumidor se puede conectar directamente a la red o necesita modificar la instalación, la empresa de electricidad no se puede negar a hacer esta evaluación y posterior conexión.
- SI hay que modificar la red el consumidor tiene seis meses para realizar la modificación.
- Si se autoriza la instalación, el consumidor debe inscribir sus equipos en la SEC y luego pedir conexión a la distribuidora de electricidad.
- La distribuidora especificara en boletas separadas cuanta energía se consumió y cuanto se generó.

### **3. ENERGIA EOLICA A TRAVES DE AEROGENERADORES.**

La energía eólica es la energía que posee el viento, es un tipo de energía limpia renovable no convencional, se produce por el movimiento de las masas de aire debido a la diferencia de presiones existentes en distintos lugares, moviéndose de alta a baja presión.

La energía eólica es una de las energías renovables que más se ha desarrollado tecnológicamente y que ha mejorado fuertemente su competitividad frente a los combustibles fósiles.

Una de las características de la energía eólica es su condición de variabilidad, ya que depende de condiciones atmosféricas, esto lleva a que se requieran exhaustivas mediciones de viento para una precisa evaluación del potencial energético necesario para la instalación de un aerogenerador.

Los aerogeneradores funcionan bajo el principio de la fuerza de sustentación que se desarrolla en la hélice debido a su diseño aerodinámico, de forma similar al de un avión. El rendimiento máximo de conversión viene dado por el límite de Betz 59,3%, es decir, solo se puede extraer del viento como máximo el 59,3% de su energía.

La gran mayoría de los aerogeneradores funcionan a partir de velocidades del viento alrededor de 3 a 4 m/s y alcanzan su capacidad de generación máxima entre los 12 y 15 m/s, por lo tanto, se busca aumentar la altura de los aerogeneradores ya que la velocidad del viento crece con la altura respecto al suelo.

#### **3.1 Ventajas y desventajas de utilizar Energía Eólica.**

Las principales ventajas y desventajas de la energía eólica son:

##### **3.1.1 Ventajas**

- Es una energía limpia sin problemas de contaminación.
- Al finalizar la vida útil de la instalación, el desmantelamiento no deja huellas.

### 3.1.2 Desventajas

- Aumenta el nivel de ruido en los alrededores.
- Se producen interferencias con transmisiones electromagnéticas, el rotor puede producir interferencias con el campo electromagnético de la televisión, radio, etc.
- Se debe tener espacio suficiente para instalar un aerogenerador, ya que se debe dejar una distancia entre sí que minimice los efectos de interferencia.
- El viento es aleatorio y variable, tanto en velocidad como en dirección, por lo tanto no todos los lugares son adecuados para la producción de energía eléctrica.
- Desde el punto de vista estético, la energía eólica produce un impacto visual inevitable, por lo tanto la producción de energía eólica a gran escala, puede producir una alteración clara sobre el paisaje.

### 3.2 Aplicaciones de Energía Eólica.

Las aplicaciones de la energía eólica son principalmente:

- Parques eólicos Terrestres (Onshore)
- Parques eólicos Marinos (Offshore)
- Generación de electricidad en viviendas aisladas

### 3.3 Vientos

El viento es aire en movimiento, que se origina por las diferencias de temperatura que provoca la radiación solar sobre la tierra, la diferencia de presión y densidades originadas por las variaciones de temperaturas causan el movimiento de las masas de aire.

Los vientos se clasifican en:

### 3.3.1 Vientos Globales.

Los vientos globales se encuentran desde los 1000m desde el nivel de la superficie, son influenciados por las diferencias de temperaturas y las depresiones.

Las direcciones del viento global según su latitud son:

Intervalo de latitud	90 - 60 °N	60 - 30 °N	30 - 0 °N	0 -30 °S	30 -60 °S	60 -90 °S
Dirección Dominante	NE	SO	NE	SE	NO	SE

Tabla 3: Dirección del viento a escala de la tierra. (Elaboración Propia)

### 3.3.2 Vientos Locales.

Los vientos locales siempre determinan los sistemas eólicos a gran escala, debido a que la dirección del viento es influenciada por la suma de los efectos globales y locales.

Aunque los vientos globales son importantes las condiciones climáticas locales pueden influir en las direcciones del viento como:

Brisas de mar y de tierra: Este fenómeno se observa en las proximidades de las costas, alcanza una distancia máxima al interior del mar de unos 20 km, la velocidad del viento no sobrepasa los 5,5 m/s. En general las brisas de tierra son más débiles que las del mar

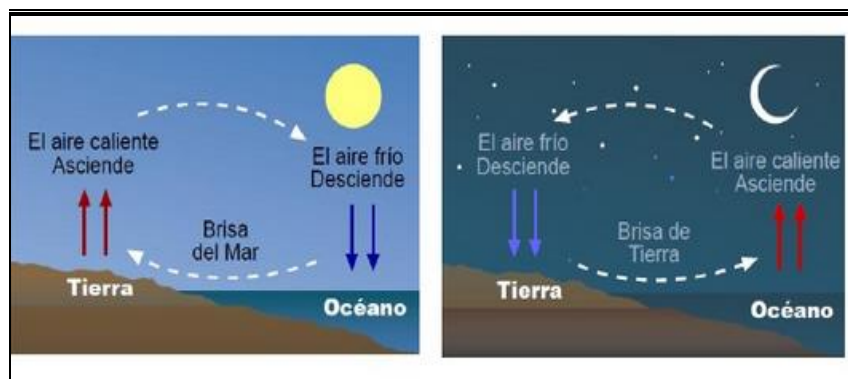
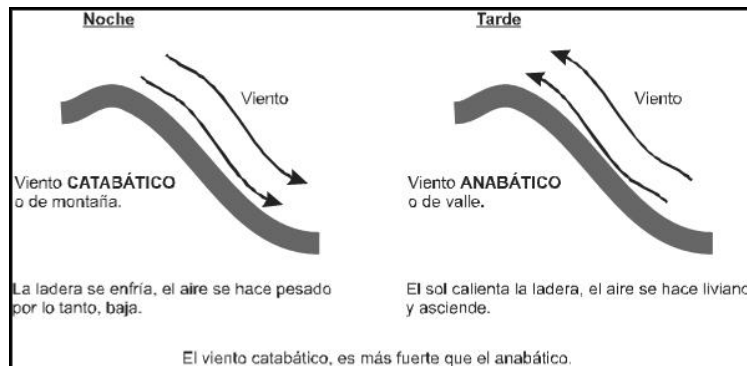


Figura 5: Esquema de formación de brisas de mar y de tierra. (www.minenergia.cl. Leído 20-10-2015)

Brisas de valle y de montaña: En la noche el aire en contacto con el terreno más elevado se enfría más rápidamente que el aire situado en una planicie, por lo que tiende a descender, denominado viento catabático. En el día y por efecto de radiación solar, el proceso se invierte y es el viento en contacto con la planicie tiende a ascender, denominado viento anabático.



*Figura 6: Esquema de formación de brisas valle o de montaña. ( www.minenergia.cl. Leído 20-10-2015)*

### 3.4 Medición del Viento.

La velocidad del viento se mide con un anemómetro y la dirección con una veleta. Se deben colocar en lugares despejados, sin obstáculos en los alrededores.

La velocidad del viento se puede medir como:

- Anemómetro Mecánico.
- Medición por diferencias de presión
- Medición por ultrasonido, laser.

La medición del viento con anemómetro debe ser en un lugar despejado. Libre de perturbaciones provocadas por obstáculos, ya que modifican notablemente la velocidad y dirección del viento.

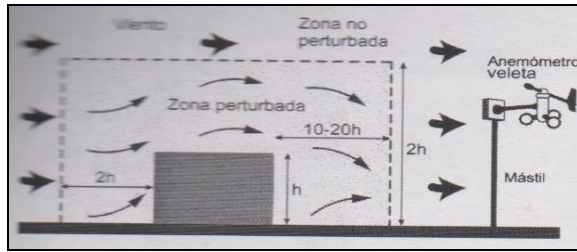


Figura 7: Ubicación de aerogeneradores. (www.gdzsuechile.cl. Leído 21-10-2014)

### 3.5 Potencia de un Aerogenerador.

La potencia de un aerogenerador se refiere a la cantidad de energía que se puede extraer del viento y que depende de:

- Densidad del aire.
- Área transversal del viento (área que describe el rotor).
- Velocidad del viento.
- Potencia disponible del viento.

La potencia eólica disponible es proporcional a la densidad del aire, al área expuesta perpendicularmente al flujo del viento y al cubo de la velocidad. La potencia eólica disponible es la máxima potencia que se podría obtener del viento si se pudiera extraer toda la energía cinética, pero existe el límite de Betz que solo permiten en la práctica aprovechar como máximo un 59,3% de la potencia eólica disponible.

La potencia disponible por unidad de área está dada por:

$$\frac{P_d}{A} = \frac{1}{2} \rho v^3$$

De esta expresión se observa:

- La potencia disponible depende del cubo de la velocidad: si la velocidad aumenta un 10% la potencia disponible crece un 33%, por esto es importante elevar el rotor del aerogenerador a mayor altura sobre el nivel del suelo, dado que la velocidad tiende a crecer con la altura.
- Dada la variación de la potencia con respecto a la velocidad, es muy importante para decidir la instalación de un aerogenerador, disponer de medidas confiables de

velocidad a la altura del rotor. Errores en estas medidas pueden ocasionar desviaciones de energía.

- La potencia eólica disponible es directamente proporcional al área (A) considerada, es decir, al cuadrado del diámetro del círculo barrido por las hélices del aerogenerador, por lo tanto si se duplica el diámetro del rotor la energía se multiplica por cuatro.
- La potencia disponible depende linealmente de la densidad del aire, un aire frío tiene una densidad de potencia superior a uno más caliente. Así mismo, un lugar situado a nivel del mar presenta una potencia disponible mayor que otro a mayor latitud, dado que la densidad del aire disminuye con la altura.

### 3.5.1 Límite de Betz.

El límite de betz establece un límite máximo para la potencia que puede extraerse del flujo del viento con velocidad (v).

Las leyes de la física, impiden que se pueda extraer toda la potencia disponible en el viento a su paso por el rotor de un aerogenerador. El viento se frena, saliendo con una velocidad menor que con la que entro.

Esta expresión constituye el teorema de Betz, según el cual la energía máxima que teóricamente puede ser aprovechada del viento es solo 59,3% de la energía disponible, por lo tanto el valor máximo de  $C_p$  es 0,593.

$$C_p = \frac{P_{\max}}{P_d}$$

### 3.6 Tipos de Aerogeneradores.

Se pueden clasificar según los siguientes criterios:

Según la disposición del eje de giro:

- Eje Horizontal: casi el total de aerogeneradores son de este tipo.
- Eje Vertical: las aplicaciones son muy escasas.

Según el número de hélices:

- Monohélices y bihélices: existe un número pequeño de estos tipos.

- Trihélice: son la mayoría de los aerogeneradores dedicados a la producción eléctrica.
- Multihélice: tienen un número variable de hélices entre 16 a 24, utilizadas generalmente para el bombeo de agua.

Según su emplazamiento:

- Aerogeneradores para emplazamientos terrestres (Onshore).
- Aerogeneradores para emplazamientos marinos (Offshore).

Según su conexión con la red eléctrica:

- Sistemas eólicos aislados
- Sistemas eólicos interconectados con la red eléctrica.

### **3.6.1 Aerogeneradores Según su Eje de Giro.**

Como existen tantos aerogeneradores disponibles en el mercado, lo más común es clasificarlo según su eje de giro como:

#### **3.6.1.1 De Eje Horizontal.**

Su eje de rotación es paralelo a la dirección del viento, es el tipo de aerogenerador más utilizado para la producción eléctrica, tienen un número pequeño de hélices de una a tres.

Existen aerogeneradores para producción eléctrica que cubren una amplia gama de potencias, desde unos pocos wats hasta varios kW.

En 1980, un aerogenerador de potencia de 30 kW tenía un diámetro de unos 15m y actualmente un gran aerogenerador de 5000 kW tiene un diámetro de unos 125m.

Los aerogeneradores de eje horizontal están formados por los siguientes elementos:

1. Base y fundación
2. Punto de conexión a la estación transformadora de baja tensión.
3. Torre de sustentación.
4. Escalera interior para acceso al aerogenerador.
5. Sistema de orientación del rotor hacia el viento.
6. Chasis.

7. Generador eléctrico.
8. Anemómetro y veleta.
9. Freno para fijación de rotor.
10. Caja multiplicadora de velocidad.
11. Hélice o alabe del rotor.
12. Punto de inserción de la hélice en el buje.
13. Buje a nariz del aerogenerador.

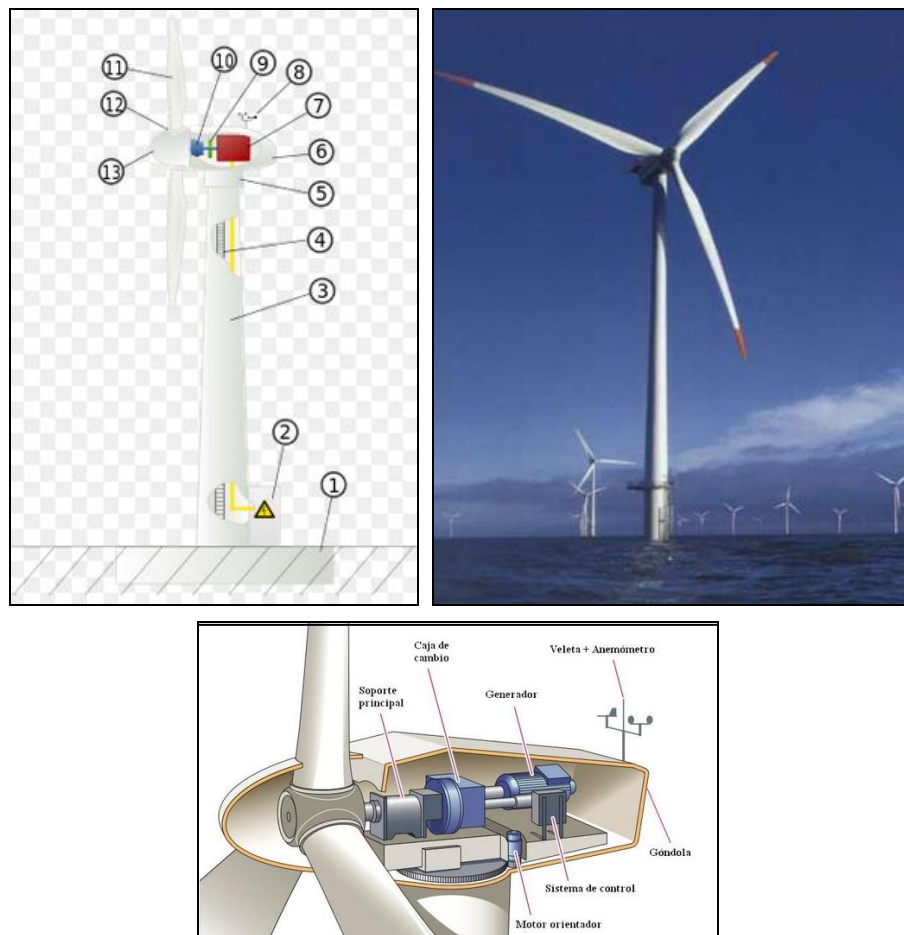


Figura 8: Aerogenerador de eje Horizontal. (wikipedia.org. Leído 24-10-2014)

### 3.6.1.1.1 Rotor.

Convierte la energía cinética del viento en energía cinética de rotación de su eje. Está formado por hélices, buje y nariz.

Hélices: el rotor suele tener dos o tres hélices, los de tres hélices tienen menos oscilaciones y producen menor impacto sonoro. Los de dos hélices son más livianos, de menor costo y más fácil de instalar.

Las hélices tienen un diseño aerodinámico y están construidas con materiales ligeros y resistentes como fibras de vidrio con resinas epoxicas o fibra de carbono. En grandes aerogeneradores las hélices pueden llegar hasta los 50m. Las hélices se insertan en el buje.

Buje: es el elemento al cual se unen las hélices. A través del cual la potencia eólica captada por el rotor se transfiere a la caja de variación de velocidad.

Nariz: es la cubierta metálica con forma cónica que se enfrenta al viento y lo desvía hacia el tren del motor. Tiene forma aerodinámica para evitar la formación de turbulencias.

### **3.6.1.1.2 Chasis.**

Es la parte donde se ubica el generador eléctrico, la caja multiplicadora y los sistemas de control, regulación, orientación y frenado. Está formada por una estructura metálica, colocada en la parte superior de la torre.

En la parte posterior del chasis se ubica el anemómetro y la veleta. Sus medidas se utilizan para dar órdenes al aerogenerador como la conexión a partir de la velocidad de arranque del viento que es alrededor de unos 4 m/s o el paro del rotor cuando la velocidad del viento alcanza la velocidad de corte, alrededor de unos 25 m/s.

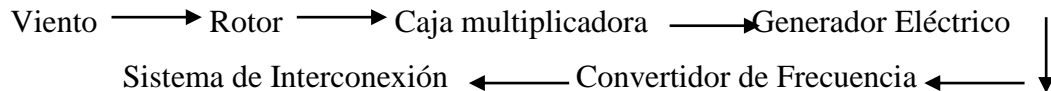
### **3.6.1.1.3 Caja de Variación de Velocidad.**

El acoplamiento entre el eje del rotor y el generador eléctrico no es directo si no que se realiza a través de una caja de engranajes o variador de velocidad.

El sistema está sometido a momentos de torsión elevados por lo tanto la elección de su tecnología depende básicamente de la potencia eólica.

### 3.6.1.2 Etapa de Generación Eléctrica en un Aerogenerador.

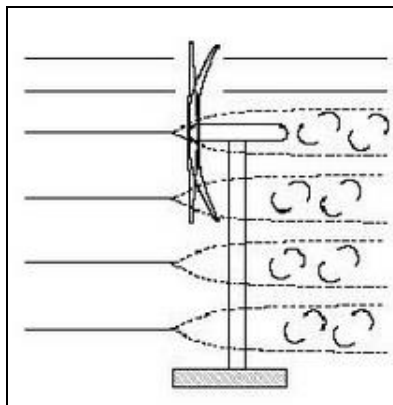
El viento llega al rotor eólico que convierte la energía cinética del viento en energía cinética de rotación. La caja multiplicadora cambia la velocidad de giro, de forma que en el eje de conexión con el rotor se tiene una velocidad baja. La caja multiplicadora actúa como un transformador mecánico para adecuar la velocidad de accionamiento del generador eléctrico a la producción de una tensión eléctrica a la frecuencia requerida por la red.



### 3.6.1.3 Emplazamiento de un Aerogenerador.

A fin de aprovechar la energía del viento, el plano de rotación del rotor debe mantenerse perpendicular al viento, el rotor puede situarse de dos formas:

Delante del aerogenerador a barlovento: el viento incide directamente sobre el rotor ubicándose la torre a tras de él. No es auto orientable y debe incorporar algún sistema de orientación. Es el sistema de ubicación más frecuente



*Figura 9: viento a barlovento. (wikipedia.org. Leído 24-10-2014)*

Detrás del aerogenerador a sotavento: el rotor se ubica atrás de la torre, elimina la necesidad del sistema de orientación por lo que el sistema es auto orientable.

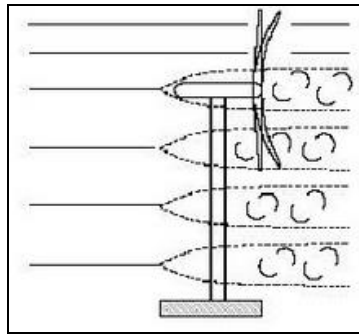


Figura 10: viento a sotavento. (wikipedia.org. Leído 24-10-2014)

### 3.6.1.4 De eje Vertical.

Los aerogeneradores de eje vertical se utilizan menos que los de eje horizontal por razones técnicas y económicas. De los cuales se destacan:

- Rotor de arrastre diferencial, con o sin pantalla (Savonius): El rotor Savonius está formado por dos semicilindros cuyos ejes están desplazados entre sí.

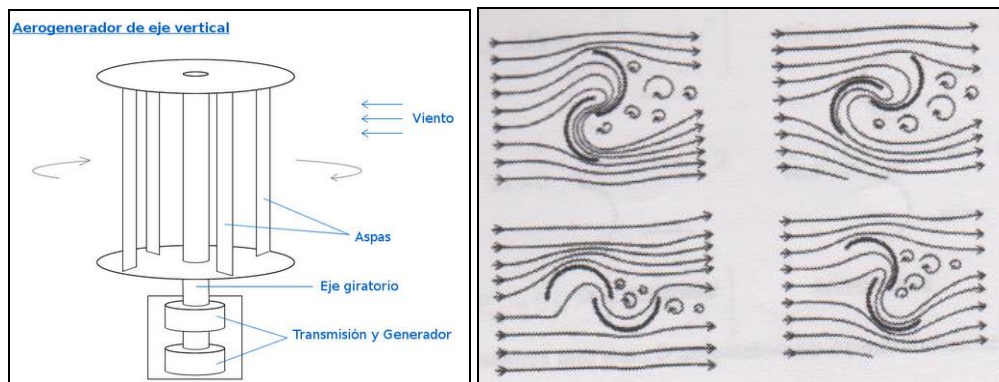


Figura 11: Rotor de eje vertical Savonius y secuencia de giro del rotor.

(www.energiafutura.org. Leído 24-10-2014)

- Rotor de variación cíclica de incidencia (Darrieus): El rotor está formado por un conjunto de alabes que pueden girar alrededor de un eje vertical y cuya sección recta tiene forma de un perfil aerodinámico. La partida del rotor Darrieus es pequeña, y se requiere de un arranque auxiliar.



*Figura 12: Rotor de eje vertical Darrieus. (www.energiafutura.org. Leído 24-10-2014)*

La principal ventaja que presenta el rotor Savonius frente al rotor Darrieus es la sencillez de su construcción y un mayor arranque a baja velocidad. El rotor Darrieus permite alcanzar potencias mayores que el Savonius.

### **3.6.2 Comparación entre aerogenerador de eje horizontal y vertical.**

Los aerogeneradores de eje horizontal son mucho más utilizados que los de eje vertical.

Las ventajas de los aerogeneradores de eje horizontal y vertical son:

- Las de eje horizontal permiten barrer mayores superficies que las de eje vertical, por lo que desarrollan potencias mucho mayores.
- Los de eje horizontal aprovechan el efecto de aumentar la velocidad del viento con la altura respecto al suelo. Los de eje vertical impiden alcanzar alturas elevadas y por lo tanto no pueden aprovechar este efecto.
- Las de eje vertical no necesitan sistemas de orientación o mecanismos para colocarse en posición favorable del viento.
- Los de eje vertical tienen una mantención sencilla, dada su menor altura respecto al suelo.

## 4. ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TECNICO ECONOMICA.

### 4.1 Evaluación Técnica.

#### 4.1.1 Descripción del Lugar de Emplazamiento:

Complejo turístico jardín Salto del Laja se encuentra ubicado a 500m de la cascada principal del salto del Laja, a 25 Km al norte de la ciudad de Los Ángeles, límite sur de la comuna de Cabrero en la VIII Región del Bio-Bío, Chile.

Los Saltos del Laja están formados por cuatro espectaculares caídas de agua del río Laja, de entre 40 y 55 m de altura. Aguas arriba de las cascadas el río es tranquilo y muy bajo y aguas abajo se reduce a un profundo y angosto cañón de unos 4 km de largo por 20 m de ancho. Desde allí recorre otros 29 km antes desembocar sus aguas al río Bio-Bío.

El paisaje circundante está constituido por vegetación tipo estepa con especies de boldo, espino, quillay, y árboles como álamos, eucaliptos y sauces entre otros.

El Salto del Laja es una de las grandes atracciones turísticas para los viajeros de la Ruta CH-5. Antiguamente era posible ver las cascadas desde la misma carretera, en el puente que atraviesa el río del Laja, pero luego de la concesión de la ruta a la empresa Autopista del Bosque S.A., se hizo una variante en ese tramo. En el Salto existen una serie de servicios turísticos, como hoteles, campings, restaurantes, zonas de picnic, artesanía, etc.

Las coordenadas del complejo jardín salto del Laja son el paralelo 37° 20' S y el meridiano 72° 38' O con una altura de 135 m.s.n.m, como lo indica la figura 36



Figura 13: Fotografía satelital del complejo Turístico Jardín Salto del Laja (Google Earth)

Para acceder al Complejo Turístico Jardín Salto del Laja desde:

El Norte: en el trayecto de la ruta 5 sur se pasa por el cruce Yumbel-Laja, continua por la ruta 5 Sur y se encuentra el by pass a los Saltos del Laja, se continua por la carretera hasta llegar a la antigua ruta 5 sur, desde ahí avanzar 200 metros en un camino de tierra hasta llegar a las cabañas.

El sur: en el trayecto de la ruta 5 sur se debe pasar la ciudad de Los Ángeles, luego la señalización muestra el desvío hacia el peaje lateral de ingreso a los Saltos del Laja se debe cruzar el puente de los Saltos del Laja doblar a mano derecha y seguir por un camino de tierra que se encuentra en forma paralela a la carretera y seguir derecho para llegar a las cabañas.

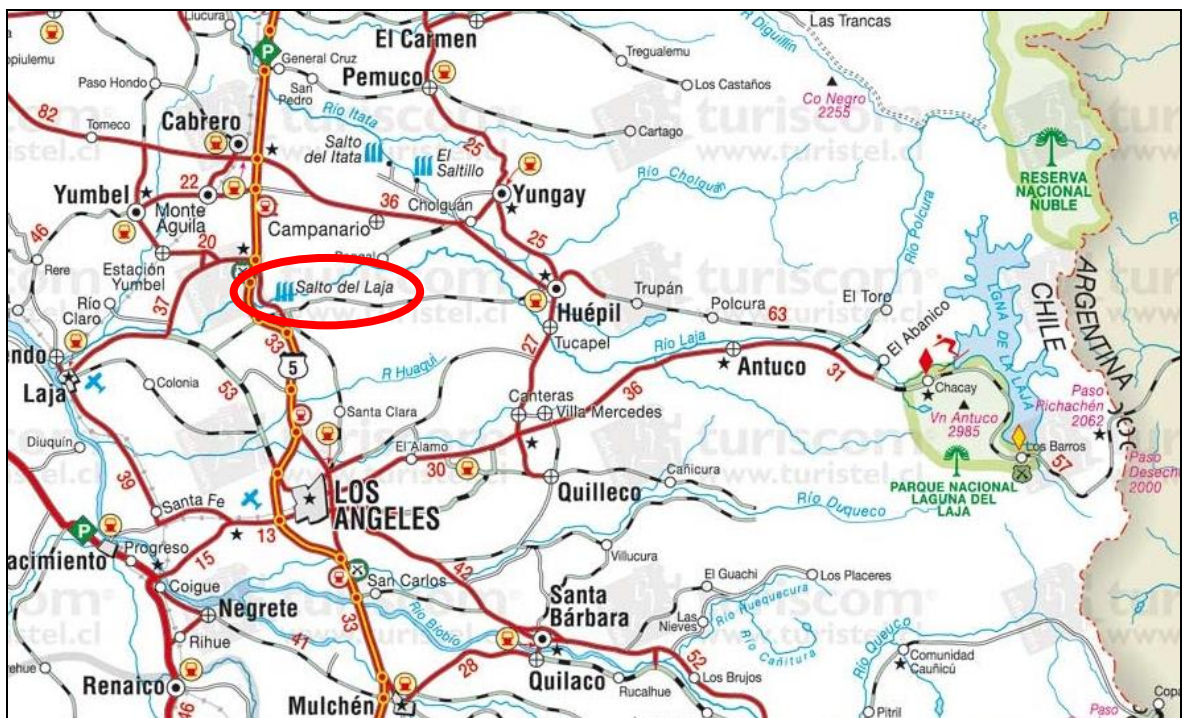


Figura 14: Acceso Complejo Turístico Jardín Salto del Laja (Atlas de Chile)

La temperatura del sector se mantiene constante durante los meses de noviembre a marzo con temperaturas alrededor de las 27 grados promedio, en abril y mayo las temperaturas descienden notablemente variando a los 16 grados, entre los meses de junio y agosto se registran los meses más lluviosos y las temperaturas más bajas con 12 grados, en septiembre y octubre las temperaturas comienzan a aumentar alrededor de los 18 grados.

En general la topografía de este sector presenta condiciones y características similares en toda su superficie, son suelos de texturas gruesas formados a partir de arenas gruesas basálticas, presentan una rápida permeabilidad, aun cuando hay sectores que presentan un nivel freático alto. El uso del suelo es agrícola aunque se ocupa en su mayoría para uso turístico.

Complejo Turístico Jardín Salto del Laja, cuenta con cuatro cabañas para ofrecer a los turistas la comodidad deseada y con una casa principal donde viven los dueños del lugar, la ubicación de las cabañas es la siguiente:



*Figura 15: Distribucion de cabañas en Complejo Turístico Jardín Salto del Laja. (Google Earth)*

#### **4.1.2 Análisis de Energética Requerida**

Según lo expuesto en la página 18 para calcular cuántos paneles fotovoltaicos se necesitan para abastecer de energía eléctrica al Complejo Turístico Jardín Salto del Laja se necesita determinar el consumo de electricidad diaria, para eso se analizó el consumo mensual realizado en los últimos dos años, periodo comprendido entre septiembre 2012 a septiembre 2014 como lo indica la tabla 5.

Como se observa en la tabla 5 el mayor consumo de electricidad que supera el consumo promedio mensual de 691 kWhmes son los meses de vacaciones (enero-febrero-marzo-julio-septiembre), en un total de 24 meses solo 8 meses superaran el promedio mensual de 691 kWhmes, es por esta razón que en los cálculos para determinar cuántos paneles fotovoltaicos son necesarios se considerara solo el consumo promedio mensual. En los meses donde se supere ese promedio mensual se utilizara el suministro eléctrico de Coelcha S.A.

Para calcular el consumo diario se divide el consumo promedio mensual en 30 días, dando como resultado un consumo promedio diario de 24 kWhdía.

Para determinar cuánto se ha pagado por el consumo de electricidad a la empresa abastecedora de energía Coelcha S.A entre el periodo septiembre 2012 a septiembre 2014 se considera la tarifa neta por kWhmes publicada por ellos en su página de internet [www.coelcha.cl/tarifas](http://www.coelcha.cl/tarifas), calculando el resultado muestra que durante dos años se ha pagado un total de \$ 1.972.597.

**Consumo Eléctrico Mensual Jardín Salto del Laja**  
**Periodo Septiembre 2012 a Septiembre 2014**

Mes	Consumo kW/mes	Consumo mensual mayor al promedio	Precio Energía Base (\$ mes/kW)	Total Energía Base \$
sep-12	715	> Consumo Promedio	117,99	84.363
oct-12	547		118,07	64.585
nov-12	583		118,18	68.899
dic-12	511		118,30	60.452
ene-13	730	> Consumo Promedio	118,37	86.411
feb-13	1182	> Consumo Promedio	118,44	139.997
mar-13	650		118,36	76.934
abr-13	676		118,49	80.100
may-13	557		118,62	66.072
jun-13	597		118,86	70.960
jul-13	827	> Consumo Promedio	118,82	98.265
ago-13	647		118,99	76.987
sep-13	659		119,11	78.494
oct-13	594		119,34	70.888
nov-13	666		119,28	79.441
dic-13	665		119,39	79.395
ene-14	765	> Consumo Promedio	119,43	91.364
feb-14	1070	> Consumo Promedio	118,93	127.256
mar-14	741	> Consumo Promedio	119,29	88.394
abr-14	689		119,97	82.660
may-14	604		120,21	72.607
jun-14	595		120,20	71.519
jul-14	755	> Consumo Promedio	120,48	90.963
ago-14	545		120,35	65.591
<b>Consumo Promedio Mensual (kWh/mes)</b>	<b>691</b>		<b>Total Pagado en Energía Base (\$)</b>	<b>\$ 1.972.597</b>
<b>Consumo Promedio Diario (kWh/día)</b>	<b>24</b>			

*Tabla 4: Consumo Mensual de Electricidad en Complejo Turístico Jardín Salto del Laja. (Elaboración Propia)*

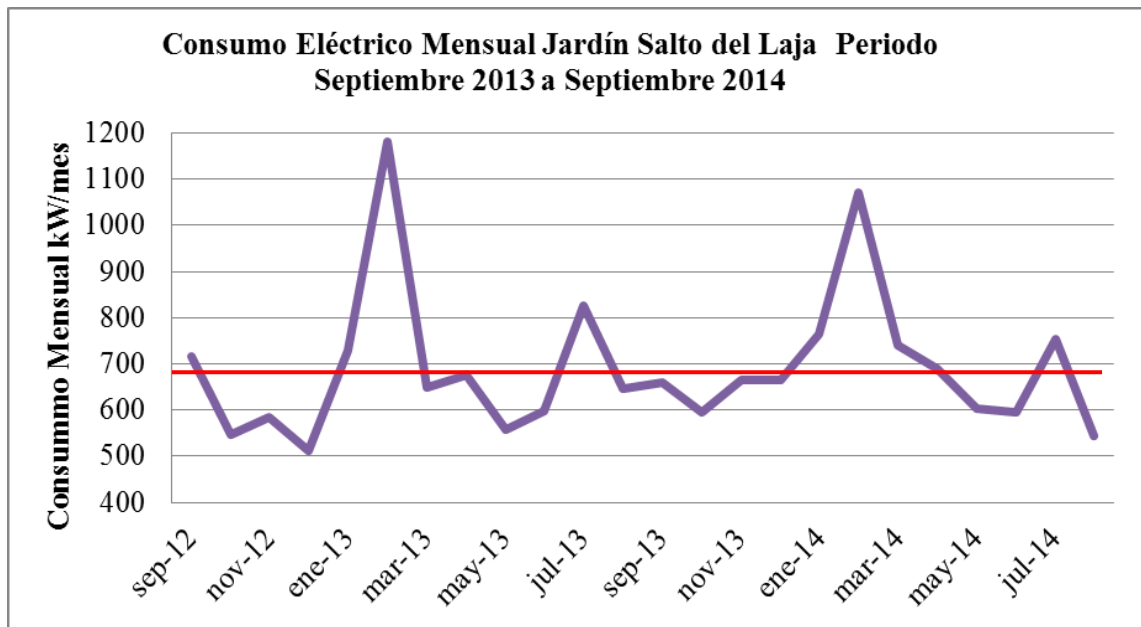


Grafico 1: Consumo Mensual de Electricidad en Complejo Turístico Jardín Salto del Laja. (Elaboración Propia)

En el grafico 2 se observa que la cantidad de paneles fotovoltaicos que se calculen abastecerá los meses de consumo inferiores a 691 kWh/mes y cuando se aumente este consumo se comprara energía eléctrica a la abastecedora de energía del sector COELCHA S.A.

#### 4.1.3 Evaluación de Alternativas de Paneles Fotovoltaicos.

Ya se conoce el consumo diario de electricidad en Complejo Turístico Jardín Salto del laja, con cinco casas en el área de estudio, donde se evaluara la alternativa de instalar paneles fotovoltaicos en un Sector del Complejo Turístico y desde ahí repartir electricidad teniendo un solo punto de generación.

#### 4.1.3.1 Alternativa 1: Instalación de Paneles Fotovoltaicos

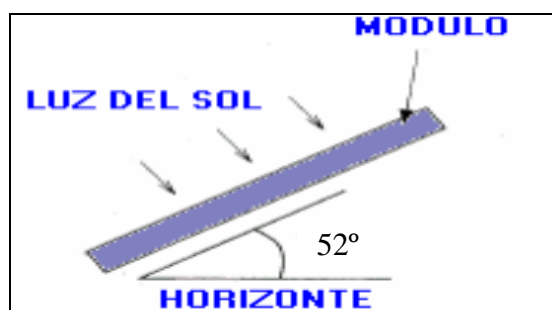
Para determinar la cantidad necesaria de paneles fotovoltaicos que se necesitan en una instalación para un consumo promedio determinado se necesita saber el ángulo de inclinación de la instalación para determinar la irradiación del sector requerido, como se explicó en el subcapítulo 2.5.2, en este caso la latitud del Complejo Turístico Jardín Salto del Laja es 37° 20' S, de la tabla 6 se obtiene que:

$$\text{Ángulo de inclinación} = 37^\circ + 15^\circ = 52^\circ$$

Latitud (Grados)	Angulo de Inclinación
0° a 15°	15°
15° a 25°	La misma latitud
25° a 30°	Latitud más de 5°
30° a 35°	Latitud más de 10°
35° a 40°	Latitud más de 15°
40° a mas	Latitud más de 20°

*Tabla 5: Angulo de inclinación promedio considerado para la instalación de paneles fotovoltaicos en Chile. (Registro Solorimétrico, Universidad Técnica Federico Santa María)*

La orientación de los paneles fotovoltaicos tendrá una azimut de 180° norte con una inclinación de 52°, como lo muestra la figura 40.



*Figura 16: Orientación de instalación de paneles fotovoltaicos. (Atlas de Chile, 2014)*

Determinado el ángulo de inclinación de la instalación y como la latitud del sector donde se van a instalar los paneles fotovoltaicos es similar a la del Lago Laja, se puede calcular la Irradiación mensual, desde el Anexo 1, obteniéndose los siguientes datos:

**TABLA B56** IRRADIACION GLOBAL MENSUAL Y ANUAL EN DIFERENTES INCLINACIONES Y AZIMUT (MJ/m<sup>2</sup>)

LOCALIDAD: LAGO LAJA  
LATITUD: 37,38 [GRADOS] SUR

Az	INCL	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
180 al Norte	27	743,8	657,6	631,4	476,3	269,6	226,1	279,9	411,6	565,7	626,4	694,4	689,0	6271,9
	37	696,3	633,0	629,1	491,8	282,0	240,2	296,7	428,2	571,5	609,2	655,0	641,4	6174,3
	47	634,0	594,4	612,8	495,6	288,3	248,8	306,7	434,9	564,0	578,5	602,3	580,8	5941,0
	57	559,2	543,6	582,2	487,9	288,2	251,9	309,5	431,6	543,7	536,3	537,0	509,4	5580,4
	90	334,5	333,8	417,5	397,7	248,9	225,5	274,4	361,7	411,1	348,9	321,6	315,1	3990,8

Tabla 6: Anexo 1 “Tabla B56, pág. 68, unidades (MJ/m<sup>2</sup>), Irradiación Solar en Territorios de la República de Chile”. (Registro Solorimétrico, universidad Técnica Federico Santa María)

La inclinación de la instalación es de 52° y en la tabla se muestran inclinaciones de 47° y 57°, se busca el mes de mayor y menor irradiación para cada inclinación como lo muestra la tabla 8.

Mes	47°	57°	Unidad
Enero	634,0	559,2	MJ/m <sup>2</sup>
Junio	248,8	251,9	MJ/m <sup>2</sup>

Tabla 7: Irradiación mensual para una latitud de 52°. (Elaboración Propia)

Se elige la alternativa más desfavorable en el mes de junio donde hay menor irradiación para una inclinación de 47°, obteniéndose una irradiación de 248,8 MJ/m<sup>2</sup>. Esta irradiación considera los cambios atmosféricos a lo largo del día con valores mínimos en el amanecer y atardecer y valores máximos al medio día.

Para los cálculos se necesita la irradiación en kWh/m<sup>2</sup> para eso se hace la siguiente transformación:

$$3,6 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2} = 1 \frac{\text{Kwh}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Irradiación mensual} = \frac{248,8 \text{ MJ/m}^2}{3,6 \text{ MJ/m}^2} \times \frac{\text{Kwh}}{\text{m}^2} = 69,111 \frac{\text{Kwh}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Irradiación diaria} = \frac{69,111 \times 1000 \text{ wh}}{30 \text{ día}} = \frac{2.304 \text{ wh}}{\text{m}^2 \text{ día}}$$

Una vez conocida la Irradiación diaria más desfavorable del sector y para poder determinar el número de paneles fotovoltaicos necesarios para abastecer el consumo diario mínimo de 24kWh/día se deben seguir los siguientes pasos:

- Elegir un panel fotovoltaico disponible en el mercado nacional, en este caso analizaremos 4 alternativas con distinta potencia:

Alternativa 1: Panel Solar 200W “Gama Solar”.

Alternativa 2: Panel Solar HSL 60, 240W “Poly Hanwha Solar”.

Alternativa 3: Panel Solar CSUN250-60P, 250W “Csun Technology for Life”.

Alternativa 4: Panel Solar JASOLAR 260W POLICRISTALINO “JA Solar”.

- Determinar la superficie necesaria para un consumo de 24kWh/día y una irradiación de 2.304 kWh/m<sup>2</sup>/día. Esta superficie será la misma para las cuatro alternativas de paneles fotovoltaicos, ya que relaciona las variables fijas de consumo diario e irradiación del sector.

$$\text{Área}_1 = \frac{\text{Consumo Wh/día}}{\text{Irradiación Wh/m}^2/\text{día}}$$

$$\text{Área}_1 = \frac{24.000 \text{ Wh/día}}{2.304 \text{ Wh/m}^2/\text{día}}$$

$$\text{Área}_1 = 10,417\text{m}^2$$

- Determinar la superficie de irradiación que tiene cada panel fotovoltaico, esta superficie depende de las características geométricas de cada panel fotovoltaico, Largo x Ancho.

Alternativa 1: Área 2 = 0,55m x 1,20m = 0,66m<sup>2</sup>

Alternativa 2: Área 2 = 0,98m x 1,63m = 1,59m<sup>2</sup>

Alternativa 3: Área 2 = 0,99m x 1,64m = 1,62m<sup>2</sup>

Alternativa 4: Área 2 = 0,99m x 1,65m = 1,64m<sup>2</sup>

Las superficies calculadas para cada panel fotovoltaico están determinadas para un rendimiento teórico según las condiciones ideales de irradiación de 1000 W/m<sup>2</sup> y temperaturas de 25°C. Por lo tanto se debe calcular el rendimiento real de cada panel fotovoltaico, considerando su potencia eléctrica y el área que ocupa.

$$\text{Rendimiento real (\%)} = \eta_{\text{real (\%)}} = \frac{\text{Potencia Eléctrica (W)}}{1000 \text{ W/m}^2 \times \text{área de panel (m}^2)} \times 100$$

$$\text{Alternativa 1: } \eta_{\text{real (\%)}} = \frac{200 \text{ (W)}}{1000 \text{ W/m}^2 \times 0,66\text{m}^2} \times 100 = 31\%$$

$$\text{Alternativa 2: } \eta_{\text{real (\%)}} = \frac{240 \text{ (W)}}{1000 \text{ W/m}^2 \times 1,59\text{m}^2} \times 100 = 15\%$$

$$\text{Alternativa 3: } \eta_{\text{real (\%)}} = \frac{250 \text{ (W)}}{1000 \text{ W/m}^2 \times 1,62\text{m}^2} \times 100 = 16\%$$

$$\text{Alternativa 4: } \eta_{\text{real (\%)}} = \frac{260 \text{ (W)}}{1000 \text{ W/m}^2 \times 1,64\text{m}^2} \times 100 = 16\%$$

- Se determinó la superficie necesaria según el consumo diario y la irradiación del sector (Área 1) y el rendimiento de cada panel en condiciones ideales ( $\eta_{\text{real (\%)}}$ ), por lo tanto ahora se debe calcular la superficie necesaria considerando condiciones del sector y características de los paneles fotovoltaicos para esto:

$$\text{Area}_3 = \frac{\text{Area}_1}{\eta_{\text{real (\%)}}}$$

$$\text{Alternativa 1: } \text{Area}_3 = \frac{10,417\text{m}^2}{31\%} = 33,7\text{m}^2$$

$$\text{Alternativa 2: } \text{Area}_3 = \frac{10,417\text{m}^2}{15\%} = 69,5\text{m}^2$$

$$\text{Alternativa 3: } \text{Area}_3 = \frac{10,417\text{m}^2}{16\%} = 65,2\text{m}^2$$

$$\text{Alternativa 4: } \text{Area}_3 = \frac{10,417\text{m}^2}{16\%} = 65,2\text{m}^2$$

- En el punto anterior se determinó la superficie necesaria para cumplir con el consumo requerido de 24 kWh/día, con esto se puede determinar el número de paneles necesarios para la instalación de paneles fotovoltaicos.

$$\text{N}^\circ \text{ Paneles Necesarios} = \frac{A_3}{A_2}$$

$$A_2$$

$$\text{Alternativa 1: N}^\circ \text{ Paneles Necesarios} = \frac{33,7\text{m}^2}{0,66\text{m}^2} = 51,06 \approx 52 \text{ paneles de 200W}$$

$$\text{Alternativa 2: N}^\circ \text{ Paneles Necesarios} = \frac{69,5\text{m}^2}{1,59\text{m}^2} = 43,67 \approx 44 \text{ paneles de 240W}$$

$$\text{Alternativa 3: N}^\circ \text{ Paneles Necesarios} = \frac{65,2\text{m}^2}{1,62\text{m}^2} = 40,2 \approx 41 \text{ paneles de 250W}$$

$$\text{Alternativa 4: N}^\circ \text{ Paneles Necesarios} = \frac{65,2\text{m}^2}{1,64\text{m}^2} = 40,0 \approx 40 \text{ paneles de 260W}$$

- Como una forma de comprobar la cantidad de paneles fotovoltaicos que se deben utilizar se puede aplicar la siguiente formula:

$$\text{N}^\circ \text{ Paneles Necesarios} = \frac{\text{Consumo diario}}{\text{Irradiación x Potencia del panel}}$$

$$\text{Irradiación x Potencia del panel}$$

$$\text{Alternativa 1: N}^\circ \text{ Paneles Necesarios} = \frac{24000}{2,304 \times 200} = 52 \text{ paneles de 200W}$$

$$\text{Alternativa 2: N}^\circ \text{ Paneles Necesarios} = \frac{24000}{2,304 \times 240} = 44 \text{ paneles de 240W}$$

$$\text{Alternativa 3: N}^\circ \text{ Paneles Necesarios} = \frac{24000}{2,304 \times 250} = 41 \text{ paneles de 250W}$$

$$\text{Alternativa 4: N}^\circ \text{ Paneles Necesarios} = \frac{24000}{2,304 \times 260} = 40 \text{ paneles de 260W}$$

Como se observa la elección de la cantidad total de paneles para cada alternativa de paneles fotovoltaicos esta correcta.

Ahora se presenta un resumen de las alternativas analizadas:

<b>Resumen Alternativas para Generación de Energía Eléctrica a través de Paneles Fotovoltaicos</b>				
Consumo Diario	24.000	Wh/día		
Irradiación diaria	2.304	Wh/m <sup>2</sup> /día		
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Potencia (W)	200	240	250	260
Área <sub>1</sub> (m <sup>2</sup> )	10,417	10,417	10,417	10,417
Área <sub>2</sub> (m <sup>2</sup> )	0,660	1,634	1,624	1,634
$\eta_{\text{real}}$ (%)	31	15	16	16
Área <sub>3</sub> (m <sup>2</sup> )	33,700	69,500	65,200	65,200
Nº Paneles Necesarios	52	44	41	40
Valor por Panel Fotovoltaico	\$ 178.000	\$ 161.010	\$ 167.000	\$ 205.650
Valor Total de Paneles Fotovoltaico	\$ 9.256.000	\$ 7.084.440	\$ 6.847.000	\$ 8.226.000

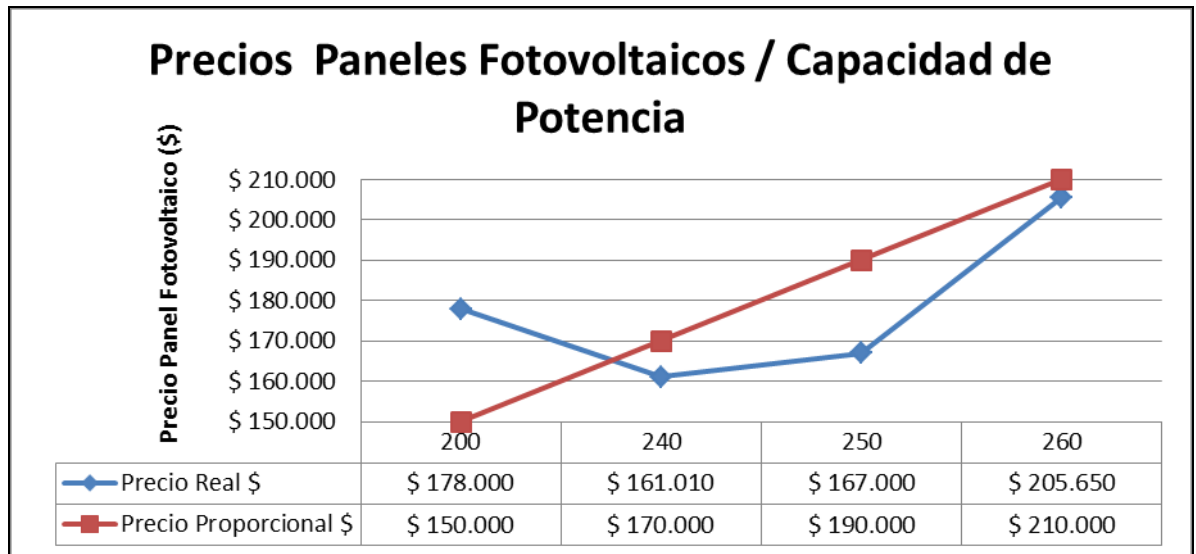
*Tabla 8: Presentación de alternativas de selección de Paneles Fotovoltaicos.*

*(Elaboración Propia)*

En la tabla 9 se observa que al momento de tomar una decisión para elegir el panel fotovoltaico más adecuado según la capacidad de carga no existe mucha diferencia entre los paneles fotovoltaicos de 240, 250 y 260 W, donde el área de instalación es similar, la mayor diferencia existe con el panel fotovoltaico de 200W de potencia, donde se utiliza una superficie menor pero tiene un mayor precio.

Entonces para elegir un panel fotovoltaico se descartan las variables potencia y área, y se analiza la variable de precio, como se observa en la tabla 9, los valores de las alternativas presentadas son sensibles al valor comercial, ya que depende del proveedor, en el mercado nacional existe una amplia competencia debido al incremento en la instalación de paneles fotovoltaicos, debido a la conciencia de la gente en utilizar energías renovables no convencionales. Como los valores de los paneles fotovoltaicos varían cada cierto tiempo y depende de los ofertas de cada proveedor y tomar la decisión de que panel fotovoltaico

utilizar dependiendo de la oferta de uno u otro vendedor chileno, no resulta confiable por lo que se aproximaran los valores de cada panel fotovoltaico como se muestra en el gráfico 2.



*Gráfico 2: Relación de Precio / Capacidad de potencia de paneles fotovoltaicos en el mercado nacional. (Elaboración Propia)*

<b>Resumen Alternativas para Generación de Energía Eléctrica a través de Paneles Fotovoltaicos con Precios Comerciales Corregidos.</b>				
Consumo Diario	24.000	Wh/día		
Irradiación diaria	2.304	Wh/m <sup>2</sup> /día		
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Potencia (W)	200	240	250	260
Área <sub>1</sub> (m <sup>2</sup> )	10,417	10,417	10,417	10,417
Área <sub>2</sub> (m <sup>2</sup> )	0,660	1,634	1,624	1,634
$\eta_{\text{real}}$ (%)	31	15	16	16
Área <sub>3</sub> (m <sup>2</sup> )	33,700	69,500	65,200	65,200
N° Paneles Necesarios	52	44	41	40
Valor por Panel Fotovoltaico	\$ 150.000	\$ 170.000	\$ 190.000	\$ 210.000
Valor Total de Paneles Fotovoltaico	\$ 7.800.000	\$ 7.480.000	\$ 7.790.000	\$ 8.400.000

*Tabla 9: Presentación de alternativas de selección de Paneles Fotovoltaicos. (Elaboración Propia)*

La tabla 10 muestra que con los valores corregidos de los paneles fotovoltaicos se puede tomar una mejor decisión respecto a la selección de la alternativa, la alternativa 1 paso de ser muy cara a ser similar a la alternativa 3. La alternativa 2 resulto ser la más económica pero ocupa mayor superficie de instalación que las alternativas 3 y 4.

Para apreciar realmente la diferencia en la instalación de paneles fotovoltaicos se analizaran en conjunto las 4 alternativas de seleccionadas anteriormente.

#### **4.1.3.1.1 Estructura de Sujeción con soportes en tierra.**

La estructura de sujeción será fija, de aluminio, anticorrosiva, resistente al viento, como se muestra en la figura 39. La estructura debe soportar el peso de:

$$\text{Peso Estructura} = \text{N}^\circ \text{ Paneles} \times \text{Peso Panel (kg)}$$

Alternativa 1: Peso Estructura = 52 x 17,5 kg = 910,0 kg. Precio Estructura \$ 450.000

Alternativa 2: Peso Estructura = 44 x 19,0 kg = 836,0 kg. Precio Estructura \$ 420.000

Alternativa 3: Peso Estructura = 41 x 19,1 kg = 783,1 kg. Precio Estructura \$ 380.000

Alternativa 4: Peso Estructura = 40 x 18,7 kg = 748,0 kg. Precio Estructura \$ 360.000

La distribución de paneles fotovoltaicos en la estructura de sujeción se realizara como:

Alternativa 1: 4 filas de 13 paneles, cubriendo una superficie de 33,7 m<sup>2</sup>.

Alternativa 2: 4 filas de 11 paneles, cubriendo una superficie de 69,5 m<sup>2</sup>.

Alternativa 3: 4 filas de 9 paneles y 1 fila de 5 paneles fotovoltaicos, cubriendo una superficie de 65,2 m<sup>2</sup>.

Alternativa 4: 5 filas de 8 paneles, cubriendo una superficie de 65,2 m<sup>2</sup>.

El ángulo de inclinación se determinó anteriormente resultando de 47° con orientación norte. Esta estructura fue cotizada en la empresa CINTAC ([www.cintac.cl](http://www.cintac.cl)), ya que tiene prestigio nacional en la fabricación de estructuras de este tipo de soportes.



*Figura 17: Estructura de sujeción para paneles fotovoltaicos. ( www.cintac.cl. Leído 10-11-2014)*

#### **4.1.3.1.2 Selección del Regulador.**

Para determinar el regulador necesario para la instalación de paneles fotovoltaicos, hay que buscar el ítem “Short Circuit Current –  $I_{sc}$  (A) en la ficha técnica del panel fotovoltaico como lo muestra la tabla 10. Con los datos de Intensidad de corte  $I_{sc}$  y número de paneles se puede determinar los amperes del regulador, en el mercado nacional se encuentran reguladores de hasta 85A, en este proyecto se utilizaran reguladores de 45A y 80A, por lo tanto se deben hacer circuitos de paneles fotovoltaico donde el número de paneles multiplicado por la intensidad de corte no sobrepase los 45A y 80A, para ello se instalaran y calcularan según los siguientes circuitos:

$$I_{max} = I_{sc} \times NP$$

$I_{max}$ : Corresponde a la intensidad de corte del circuito, con esta información se puede buscar el regulador más adecuado para la instalación.

$I_{sc}$  : Corresponde a la información entregada en la ficha técnica del panel fotovoltaico (Short Circuit Current)

NP: Corresponde al número total de paneles fotovoltaicos del Proyecto.

Electrical characteristics at Standard Test Conditions (STC)		
Module type	CSUN 250-60M	CSUN 245-60M
Maximum Power - P <sub>mpp</sub> (W)	250	245
Positive power tolerance	0~3%	
Open Circuit Voltage - Voc (V)	37.3	37.2
Short Circuit Current - Isc (A)	8.78	8.69
Maximum Power Voltage - V <sub>mpp</sub> (V)	30.1	30.0
Maximum Power Current - I <sub>mpp</sub> (A)	8.31	8.17
Practical module efficiency	17.44%	17.09%
Module efficiency	15.40%	15.09%

Electrical data relates to standard test conditions (STC) : irradiance 1000 W/m<sup>2</sup> ; AM 1.5 ; cell temperature 25°C measuring uncertainty and UL 1703

Tabla 10: Tabla de características técnicas de la alternativa 3 del panel fotovoltaico.  
(Anexo 4).

Alternativa 1: 4 filas de 13 paneles	$I_{\max} = 5,38 \text{ (A)} \times 13 = 69,94 \text{ A} \approx 70 \text{ A}$
Alternativa 2: 4 filas de 11 paneles	$I_{\max} = 6,97 \text{ (A)} \times 11 = 76,67 \text{ A} \approx 77 \text{ A}$
Alternativa 3: 4 filas de 9 paneles	$I_{\max} = 8,78 \text{ (A)} \times 9 = 79,02 \text{ A} \approx 80 \text{ A}$
1 fila de 5 paneles	$I_{\max} = 8,78 \text{ (A)} \times 5 = 43,90 \text{ A} \approx 44 \text{ A}$
Alternativa 4: 5 filas de 8 paneles	$I_{\max} = 8,99 \text{ (A)} \times 8 = 71,92 \text{ A} \approx 72 \text{ A}$

Por lo tanto se necesitan para cada alternativa:

Alternativa 1: 4 Reguladores de 80A Phocos MPS80 12/24/48V

Alternativa 2: 4 Reguladores de 80A Phocos MPS80 12/24/48V

Alternativa 3: 4 Reguladores de 80A Phocos MPS80 12/24/48V

1 Reguladores de 45A Phocos MPS45 12/24/48V

Alternativa 4: 5 Reguladores de 80A Phocos MPS80 12/24/48V

Las cotizaciones se realizaron online en el sitio [www.digishop.cl](http://www.digishop.cl). El costo de inversión total por alternativa se muestra en la tabla 11.

Alternativa	Tipo de regulador	Cantidad	Valor Unidad	Valor Total
1	Phocos MPS80 12/24/48V	4	\$ 179.000	\$ 716.000
2	Phocos MPS80 12/24/48V	4	\$ 179.000	\$ 716.000
3	Phocos MPS80 12/24/48V	4	\$ 179.000	\$ 716.000
3	Phocos MPS45 12/24/48V	1	\$ 139.000	\$ 139.000
4	Phocos MPS80 12/24/48V	5	\$ 179.000	\$ 895.000

Tabla 11: En la tabla se muestra la inversión necesaria en reguladores para la instalación de panel fotovoltaico. (Elaboración Propia)

#### 4.1.3.1.3 Selección de las Baterías.

Para determinar el cálculo del banco de batería que se debe usar para almacenar la energía generada de los paneles fotovoltaicos se considera el consumo de 24.000 (W/día) y una tensión de batería de 12V, calculada de la siguiente forma

$$\text{Capacidad de carga} = I_{\text{batería}} = \frac{\text{Consumo/día (W/día)}}{\text{Tensión batería (V)}}$$

$$I_{\text{batería}} = \frac{24.000 \text{ (w/día)}}{12 \text{ (V)}}$$

$$I_{\text{batería}} = 2000 \text{ A}$$

Se necesitan 8 baterías de 12 V y 250A.

La carga de batería calculada considera que todos los días las baterías se cargan completamente pero esto no siempre es así porque llueve, hay nubes, etc. Por lo tanto se calcula una autonomía mínima para las baterías, en este caso se considerara que en dos días no abra sol, por lo tanto la intensidad de la batería a los dos días se calcula:

$$I_{\text{batería 2 días}} = I_{\text{batería}} \text{ (A)} \times 2 \text{ días}$$

$$I_{\text{batería 2 días}} = 2.000\text{A} \times 2 \text{ días}$$

$$I_{\text{batería 2 días}} = 4.000 \text{ A}$$

Ahora se necesita una banco de baterías de 4000 A. En las baterías utilizadas en almacenar energía de paneles fotovoltaicos se permite una descarga máxima del 40%, por lo tanto:

$$I_{\text{batería 40\%}} = I_{\text{batería 2 días}} \text{ (A)} \times 1,4$$

$$I_{\text{batería 40\%}} = 4000 \text{ A} \times 1,4$$

$$I_{\text{batería 40\%}} = 5.600 \text{ A}$$

Considerada la autonomía necesaria para las baterías y la descarga máxima de un 40%, se puede calcular el número de baterías que se necesitaran:

$$N_{\text{baterías}} = \frac{I_{\text{batería 40\%}}}{I_{\text{batería}}}$$

$$N_{\text{baterías}} = \frac{5.600 \text{ A}}{250 \text{ A}}$$

$$N_{\text{baterías}} = 22,4 \approx 23$$

Por lo tanto se necesitan 23 baterías de 250A y 12V. Se utilizara el mismo banco de baterías para todas las alternativas ya que deben almacenar la misma energía de 24.000 Wh/día.

Las baterías seleccionadas son “Batería CURTISS 250AH 12V AGM CICLO PROFUNDO (CT122500)” cotizada en línea en el sitio de internet [www.solarshop.cl](http://www.solarshop.cl), con un costo total por las 23 baterías de \$ 6.624.000.

#### **4.1.3.1.4 Selección del Inversor.**

Se elige según el consumo máximo en Watt de todos los elementos que podrían estar funcionando juntos, en este caso como son 5 cabañas que se conectarán a un solo punto donde se repartirá la energía, se supondrá que 3 cabañas van a estar funcionando simultáneamente. El consumo diario de las 5 cabañas es de 24 kW y de las tres cabañas sería de  $((24\text{kW}/5) \times 3)$  14,4 kW. En el mercado ofrecen un inversor “Kac0 18 kW Trifásico”, cotizada en línea en el sitio de internet [www.solarshop.cl](http://www.solarshop.cl), con un costo total de \$ 2.800.000. Se utilizara el mismo inversor en las 4 alternativas ya que el principio de funcionamiento es el mismo para cada una.

#### **4.1.3.1.5 Resumen de Equipos para Instalar Paneles Fotovoltaicos en Complejo Turístico Jardín Salto del Laja.**

Se resumen los equipos que se utilizarán en la instalación de los paneles fotovoltaicos, como se muestra en la tabla 12, en la cual se especifican los equipos considerados para la instalación, la descripción, la cantidad y las capacidades de los equipos cotizados en el mercado chileno.

**Alternativa 1**

Ítem	Equipo	Descripción	Cantidad	Capacidad	Unidad
1	Panel Fotovoltaicos	Panel Solar 200W “Gama Solar”	52	200	W
2	Estructura de Sujeción	Cintac	1	-	-
3	Regulador	Phocos MPS80 12/24/48V	4	80	A
5	Batería	Batería CURTISS 250AH 12V AGM CICLO PROFUNDO (CT122500)	23	250	Ah
6	Inversor	“Kac0 18 kW Trifásico	1	18	kW

**Alternativa 2**

Ítem	Equipo	Descripción	Cantidad	Capacidad	Unidad
1	Panel Fotovoltaicos	Panel Solar 240W “Poly Hanwha Solar”.	44	240	W
2	Estructura de Sujeción	Cintac	1	-	-
3	Regulador	Phocos MPS80 12/24/48V	4	80	A
5	Batería	Batería CURTISS 250AH 12V AGM CICLO PROFUNDO (CT122500)	23	250	Ah
6	Inversor	“Kac0 18 kW Trifásico	1	18	kW

**Alternativa 3**

Ítem	Equipo	Descripción	Cantidad	Capacidad	Unidad
1	Panel Fotovoltaicos	Panel Solar CSUN250- 60P “Csun Technology for Life”	41	250	W
2	Estructura de Sujeción	Cintac	1	-	-
3	Regulador	Phocos MPS80 12/24/48V	4	80	A
4	Regulador	Phocos MPS45 12/24/48V	1	45	A
5	Batería	Batería CURTISS 250AH 12V AGM CICLO PROFUNDO (CT122500)	23	250	Ah
6	Inversor	“Kac0 18 kW Trifásico	1	18	kW

**Alternativa 4**

Ítem	Equipo	Descripción	Cantidad	Capacidad	Unidad
1	Panel Fotovoltaicos	Panel Solar 260W “JA Solar”.	40	260	W
2	Estructura de Sujeción	Cintac	1	-	-
4	Regulador	Phocos MPS80 12/24/48V	5	80	A
5	Batería	Batería CURTISS 250AH 12V AGM CICLO PROFUNDO (CT122500)	23	250	Ah
6	Inversor	“Kac0 18 kW Trifásico	1	18	kW

*Tabla 11: Equipos utilizados en las cuatro alternativas para la instalación de paneles fotovoltaicos. (Elaboración Propia)*

**4.1.4 Evaluación de Alternativas de Aerogeneradores:**

Para el cálculo de energía eléctrica a través de aerogeneradores lo más importante son los datos de orientación y velocidad del viento, como se explicó en el capítulo 3, estos datos deben tener como mínimo 30 años de registros para ser significativos y no se cuenta con esta información en el sector donde se quiere instalar los aerogeneradores, pero existe un software utilizado a nivel mundial para la generación del recurso eólico, que es el modelo WRF (Weather Research and Forecasting) versión 3.2, desarrollado por NCAR (National Center for Atmospheric Research), adaptado en Chile por el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile, cuya adaptación ha sido utilizada en varios proyectos del norte grande del país por el ministerio de energía.

Para utilizar el programa solo se necesita la ubicación del sector (latitud) y la altura donde se requiere conocer la velocidad y densidad del viento como se muestra en la tabla 13, donde se muestran los siguientes resultados, obtenidos del anexo 3:

Datos de Viento para una latitud de 37,21 °S para el Sector Salto del Laja								
Densidad del viento = $\rho = 1,23 \text{ kg/m}^3$				Dirección del Viento				
Altura (m)	Velocidad Diaria (m/s)			Anual	Estacional			
	Mínima	Media	Máxima		Otoño	Invierno	Primavera	Verano
6	1,2	2,6	4,2	Sur	Sur	Norte	Sur	Sur
17	1,8	3,8	5,9	Sur	Sur	Norte	Sur	Sur
37	2,4	4,9	7,5	Sur	Sur	Norte	Sur	Sur
47	2,5	5,2	8	Sur	Sur	Norte	Sur	Sur
58	2,7	5,5	8,5	Sur	Sur	Norte	Sur	Sur
125	3,4	6,9	10,6	Sur	Sur	Norte	Sur	Sur

Tabla 12: Datos de velocidad y dirección de viento para elección de Aerogeneradores. Extracto Información Anexo 3. (Elaboración Propia).

En la tabla se observa que la dirección dominante del viento es desde el sur para las estaciones de otoño, primavera y verano y de dirección norte en invierno, para la ubicación del aerogenerador se puede cambiar la orientación de las hélices en este periodo. Para elegir la altura más apropiada analizando las características del lugar donde existen arboles de más de 20 metros de altura, se consideraran torres de 37m desde el nivel del suelo al eje del rotor.

#### 4.1.4.1 Alternativa 2: Instalación de Aerogeneradores.

Se estudiara el cálculo de aerogeneradores de eje horizontal, ya que son los únicos que se venden en el mercado nacional. Para el cálculo de que aerogenerador se puede utilizar se deben seguir los siguientes pasos:

- Se eligen tres alternativas para la instalación de aerogeneradores:

Alternativa 1: Aerogenerador BORNAY 6 kW.

Alternativa 2: Aerogenerador Air 1 kW.

Alternativa 3: Aerogenerador Windon 30 kW.

Las características de cada alternativa seleccionada se resumen a continuación:

Alternativa	Potencia (W)	Voltaje (V)	Diámetro Rotor (m)	Velocidad de inicio (m/s)	Velocidad Promedio (m/s)	Peso (kg)
1	6.000	24	5,00	3,50	12,0	171
2	1.000	12	1,17	3,58	17,2	80
3	30.000	24	14,4	2,50	15,0	1.500

Tabla 13: Características técnicas de las alternativas de aerogeneradores.

(Elaboración Propia)

Los aerogeneradores seleccionados son todos instalados a sotavento, es decir la torre recibe el viento y el rotor se ubica atrás.

- Anteriormente se seleccionó la mejor altura de un aerogenerador para las condiciones del Complejo Turístico Jardín Salto del Laja, esta es de 37m, donde se tienen las características de una densidad del aire de 1,23kg/m<sup>3</sup>, una velocidad mínima de 2,4 m/s, velocidad media de 4,9 m/s y velocidad máxima de 7,5 m/s. Se debe calcular la potencia eólica disponible, que es la transformación de la velocidad del viento en energía, utilizando la velocidad media promedio del viento de 4,9m/s:

$$P_d = \frac{1}{2} \rho v^3 A$$

$$\text{Alternativa 1: } P_d = \frac{1 \times 1,23 \text{ (kg)} \times 4,9^3 \text{ (m/s)}^3 \times \pi \times 5,00^2 \text{ m}^2}{2} = 1,42 \text{ kW}$$

$$\text{Alternativa 2: } P_d = \frac{1 \times 1,23 \text{ (kg)} \times 4,9^3 \text{ (m/s)}^3 \times \pi \times 1,17^2 \text{ m}^2}{2} = 0,08 \text{ kW}$$

$$\text{Alternativa 3: } P_d = \frac{1 \times 1,23 \text{ (kg)} \times 4,9^3 \text{ (m/s)}^3 \times \pi \times 14,4^2 \text{ m}^2}{2} = 11,78 \text{ kW}$$

- Luego la potencia eólica debe ser convertida en energía mecánica de rotación para el eje del rotor eólico (P) es:

$$P = C_p P_d$$

Los valores de  $C_p$  se encuentran en cada ficha técnica, como la eficiencia del rotor.

Alternativa 1: con  $C_p = 85\%$   $P = 0,85 \times 1,42 \text{ kW} = 1,21 \text{ kW}$

Alternativa 2: con  $C_p = 80\%$   $P = 0,80 \times 0,08 \text{ kW} = 0,07 \text{ kW}$

Alternativa 3: con  $C_p = 89\%$   $P = 0,89 \times 11,78 \text{ kW} = 10,48 \text{ kW}$

- Esta potencia corresponde al eje del rotor eólico, es decir es la que se aplica a la entrada de la caja multiplicadora de velocidad, la potencia de salida de esta caja es la potencia de accionamiento utilizada para mover el alternador, los valores de  $\eta_c$  se encuentran en cada ficha técnica, los que se calcula de la siguiente forma:

$$P_{acc} = \eta_c P$$

Alternativa 1: con  $\eta_c = 98\%$   $P_{acc} = 0,98 \times 1,21 \text{ kW} = 1,19 \text{ kW}$

Alternativa 2: con  $\eta_c = 98\%$   $P_{acc} = 0,98 \times 0,07 \text{ kW} = 0,06 \text{ kW}$

Alternativa 3: con  $\eta_c = 98\%$   $P_{acc} = 0,98 \times 10,48 \text{ kW} = 10,27 \text{ kW}$

- La potencia eléctrica final se obtiene en los bordes de la salida del alternador ( $P_e$ ) es:

$$P_e = \eta_e P_{acc}$$

Alternativa 1: con  $\eta_e = 96\%$   $P_e = 0,96 \times 1,19 \text{ kW} = 1,13 \text{ kW}$

Alternativa 2: con  $\eta_e = 96\%$   $P_e = 0,96 \times 0,06 \text{ kW} = 0,06 \text{ kW}$

Alternativa 3: con  $\eta_e = 96\%$   $P_e = 0,96 \times 10,27 \text{ kW} = 9,86 \text{ kW}$

Esta energía será almacenada directamente en un banco de baterías.

- El rendimiento del sistema puede definirse como la relación entre la energía eléctrica almacenada en el banco de baterías y la disponible en el viento. Calculándose como  $\eta_g$ :

$$\eta_g = \frac{P_e}{P_d}$$

Alternativa 1: con  $\eta_g = \frac{1,13}{1,42} = 79,57 \%$

Alternativa 2: con  $\eta_g = \frac{0,06}{0,08} = 75,0 \%$

Alternativa 3: con  $\eta_g = \frac{9,86}{11,78} = 83,7\%$

- Por lo tanto para un consumo diario de 24kW para cinco Cabañas del Complejo Turístico Jardín Salto del Laja se necesitan los siguientes aerogeneradores:

$$\text{Numero Aerogeneradores (NA)} = \frac{\text{Consumo Diario (kW)}}{P_e \text{ (kW)}}$$

Alternativa 1:  $NA = \frac{24 \text{ (kW)}}{1,13 \text{ (kW)}} = 21,23 \approx 22$

Alternativa 2:  $NA = \frac{24 \text{ (kW)}}{0,06 \text{ (kW)}} = 400$

Alternativa 3:  $NA = \frac{24 \text{ (kW)}}{9,86 \text{ (kW)}} = 2,43 \approx 3$

Para determinar el área que ocuparan los aerogeneradores se debe optimizar la disposición para la superficie aprovechable, por una parte los aerogeneradores deben separarse entre sí una distancia que impidan la influencia entre ellos mismos de las sombras eólicas o de las propias turbulencias que generen (efecto estela) y que disminuirán la producción del parque eólico, pero por otra conviene que estén próximos entre sí para optimizar la superficie y minimizar los costos de la red de tensión y las pérdidas de energía.

Generalmente se utiliza en la dirección del viento una separación de 5 a 9 veces el diámetro del rotor y en dirección perpendicular al viento una separación de 3 a 5 veces el diámetro del rotor como lo muestra la figura 40

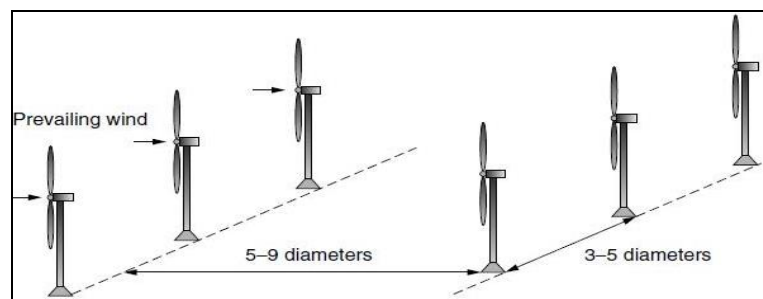


Figura 18: Distribución Aerogeneradores en un parque eólico.  
(www.eolicamonteredondo.cl. Leido16-11-2014)

Para determinar el área que usaran los aerogeneradores, se supone que se distribuirán en fila para optimizar el espacio, ocuparan un ancho de 4 m, con 2m para cada lado desde el eje del aerogenerador en sentido del viento, calculándose de la siguiente forma:

$$\text{Área Utilizada} = 4 \times \{NA \times d + 4 \times d \times (NA-1)\}$$

Alternativa 1: Área Utilizada = 4 x {22 x 5 + 4 x 5 x (21)}= 2.120 m<sup>2</sup>

Alternativa 2: Área Utilizada = 4 x {400 x 1,17 + 4 x 1,17 x (399)}= 9.342 m<sup>2</sup>

Alternativa 3: Área Utilizada = 4 x {3 x 14,4 + 4 x 14,4 x (2)}= 634 m<sup>2</sup>

El área a utilizar por los aerogeneradores es muy grande y el área del sector del Complejo turístico Jardín Salto del Laja disponible para ubicarlos donde no exista interferencia para capturar el viento es mucho menor, ya que la mayoría del área está rodeada de grandes árboles, construcción, juegos de niños, etc. además el costo por instalar los aerogeneradores sin contemplar el banco de baterías, el inversor y el regulador es mucho mayor a la alternativa de instalar paneles fotovoltaicos donde solo se utiliza una superficie máxima de 69,5m<sup>2</sup>, por lo tanto se descarta la evaluación económica de esta alternativa por su inviabilidad espacio- económico.

Si la velocidad del viento fuera mayor a 4,9 m/s el aerogenerador entregaría mayor potencia al banco de baterías, utilizando menos aerogeneradores por lo tanto menos superficie para su ubicación y sería una alternativa factible de evaluar económicamente, pero como en el Complejo Turístico Jardín Salto del Laja no se produce suficiente viento se necesitan muchos aerogeneradores para producir la energía requerida de 24kWh/día, como se observa en la tabla 15.

Alternativa	Diámetro	Nº Aerogeneradores	Área Utilizada (m2)	Valor Unitario	Valor Total
1	5	22	2.120	\$ 2.380.000	\$ 52.360.000
2	1,17	400	9.342	\$ 1.200.000	\$ 480.000.000
3	14,4	3	634	\$ 6.800.000	\$ 20.400.000

Tabla 14: Resumen de Área y Costos de Aerogeneradores. (Elaboración Propia)

## 4.2 Evaluación Económica.

Una vez definida la parte técnica del proyecto tanto para los paneles fotovoltaicos como para el aerogenerador, se realiza el análisis económico solo para la alternativa de paneles fotovoltaicos, ya que la alternativa de instalación de aerogeneradores quedo descartada por el espacio que se necesita para la instalación y por su presupuesto elevado.

### 4.2.1 Evaluación Económica Paneles Fotovoltaicos.

Para el análisis económico de los paneles fotovoltaicos es necesario especificar el costo de cada alternativa asociado a los equipos cotizados para realizar el proyecto como se muestra en la tabla 17.

#### Alternativa 1

Ítem	Equipo	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
1	Panel Fotovoltaicos	52	\$ 150.000	\$ 7.800.000
2	Estructura de Sujeción	1	\$ 450.000	\$ 450.000
3	Regulador	4	\$ 179.000	\$ 716.000
5	Batería	23	\$ 288.000	\$ 6.624.000
6	Inversor	1	\$ 2.800.000	\$ 2.800.000
				<b>\$ 18.390.000</b>

#### Alternativa 2

Ítem	Equipo	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
1	Panel Fotovoltaicos	44	\$ 170.000	\$ 7.140.000
2	Estructura de Sujeción	1	\$ 420.000	\$ 420.000
3	Regulador	4	\$ 179.000	\$ 716.000
5	Batería	23	\$ 288.000	\$ 6.624.000
6	Inversor	1	\$ 2.800.000	\$ 2.800.000
				<b>\$ 18.040.000</b>

#### Alternativa 3

Ítem	Equipo	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
1	Panel Fotovoltaicos	41	\$ 190.000	\$ 7.790.000
2	Estructura de Sujeción	1	\$ 380.000	\$ 380.000
3	Regulador	4	\$ 179.000	\$ 716.000
4	Regulador	1	\$ 139.000	\$ 139.000
5	Batería	23	\$ 288.000	\$ 6.624.000
6	Inversor	1	\$ 2.800.000	\$ 2.800.000
				<b>\$ 18.449.000</b>

**Alternativa 4**

Ítem	Equipo	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
1	Panel Fotovoltaicos	40	\$ 210.000	\$ 8.400.000
2	Estructura de Sujeción	1	\$ 360.000	\$ 360.000
4	Regulador	5	\$ 179.000	\$ 895.000
5	Batería	23	\$ 288.000	\$ 6.624.000
6	Inversor	1	\$ 2.800.000	\$ 2.800.000
				<b>\$ 19.079.000</b>

*Tabla 15: Equipos y costos para implementar la instalación de paneles fotovoltaicos.  
(Elaboración Propia).*

Para realizar la estimación de rentabilidad del proyecto, es necesario conocer los ingresos y egresos que se tendrán dentro de un periodo de cinco años (tiempo establecido en el objetivo para recuperar la inversión).

Para conocer el ahorro o ingreso producido por el sistema fotovoltaico es necesario realizar una estimación de producción.

El consumo del sistema fotovoltaico es de 24 kWh/día, la instalación producirá anualmente (24Kwh/día x 365dia/año) 8.760 Kwh/año. Considerando el costo actual del kWh de la empresa abastecedora de energía eléctrica Coelcha S.A, de \$121,3 pesos. Implica que se producirá un ahorro/ingreso anual de \$1.062.588 pesos.

En la tabla 18 se muestran los flujos de caja que se tendrán para cada año. Con esta evaluación se determinara si el proyecto es factible de implementar, esto se obtendrá del cálculo del VAN (Valor Actual Neto).

No se considera el cambio de paneles fotovoltaicos, baterías, inversores ni reguladores ya que, tienen una vida útil mayor a 5 años.

El valor del VAN es la suma de los valores actualizados de todos los flujos de caja esperados del proyecto, deduciendo el valor de la inversión. Mide la viabilidad del proyecto y se representa mediante la siguiente fórmula:

$$VAN = \sum_{n=0}^N \frac{I_n + E_n}{(1+i)^n}$$

$I_n$ : representa los flujos de caja en cada periodo n

$E_n$ : es el valor de la inversión inicial

n: es el número de periodos considerados

i: es el tipo de interés.

Para determinar si es viable el proyecto el VAN se puede presentar de tres maneras:

$VAN > 0$  si el VAN es positivo, el proyecto crea valor, se acepta, es viable en el tiempo n.

$VAN < 0$  si el VAN es negativo, el proyecto destruye valor, no se acepta, no es viable en el tiempo n.

$VAN = 0$  si el VAN es cero, el proyecto no crea ni destruye valor, puede considerarse aceptable, en el tiempo n.

La tasa de interés se calcula en un 8%, ya que es la el porcentaje más utilizado en evaluaciones económicas que utilizan equipos de características de energía renovable, este porcentaje se obtiene desde el CORFO (Corporación de Fomento de la Producción) o el Banco Central. De esta manera para cada proyecto del tipo que sea es necesario verificar la tasa de descuento aplicable, lo cual depende de los equipos utilizados para la implementación.

Para la instalación de Paneles Fotovoltaicos en Complejo Turístico Jardín Salto del Laja se utilizara un periodo de 5 años y una tasa de 8%.

Ejemplo de cálculo alternativa 1

$$VAN_0 = \frac{-18.390.000 + 0}{(1+0,08)^0} = -18.390.000$$

$$VAN_1 = \frac{-18.390.000 + 1.062.588}{(1+0,08)^1} = 983.878$$

$$VAN_2 = \frac{-18.390.000 + 1.062.588}{(1+0,08)^2} = 910.998$$

$$VAN_3 = \frac{-18.390.000 + 1.062.588}{(1+0,08)^3} = 843.517$$

$$VAN_4 = \frac{-18.390.000 + 1.062.588}{(1+0,08)^4} = 781.034$$

$$VAN_5 = \frac{-18.390.000 + 1.062.588}{(1+0,08)^5} = 723.180$$

<b>Evaluación Económica para Instalación de Paneles Fotovoltaicos</b>				
<b>Alternativa 1</b>				
<b>Año</b>	<b>Inversión</b>	<b>Ingresos/Ahorro</b>	<b>Total</b>	<b>VAN</b>
0	-\$18.390.000	\$ 0	-\$ 18.390.000	-\$ 18.390.000
1	\$ 0	\$ 1.062.588	\$ 1.062.588	\$ 983.878
2	\$ 0	\$ 1.062.588	\$ 1.062.588	\$ 910.998
3	\$ 0	\$ 1.062.588	\$ 1.062.588	\$ 843.517
4	\$ 0	\$ 1.062.588	\$ 1.062.588	\$ 781.034
5	\$ 0	\$ 1.062.588	\$ 1.062.588	\$ 723.180
<b>VAN</b>				<b>-\$ 14.147.394</b>
<b>Alternativa 3</b>				
<b>Año</b>	<b>Inversión</b>	<b>Ingresos/Ahorro</b>	<b>Total</b>	<b>VAN</b>
0	-\$18.449.000	\$ 0	-\$ 18.449.000	-\$ 18.449.000
1	\$ 0	\$ 1.062.588	\$ 1.062.588	\$ 9837.878
2	\$ 0	\$ 1.062.588	\$ 1.062.588	\$ 910.998
3	\$ 0	\$ 1.062.588	\$ 1.062.588	\$ 843.517
4	\$ 0	\$ 1.062.588	\$ 1.062.588	\$ 781.034
5	\$ 0	\$ 1.062.588	\$ 1.062.588	\$ 723.180
<b>VAN</b>				<b>-\$ 14.206.394</b>
<b>Alternativa 4</b>				
<b>Año</b>	<b>Inversión</b>	<b>Ingresos/Ahorro</b>	<b>Total</b>	<b>VAN</b>
0	-\$ 19.079.000	\$ 0	-\$ 19.079.000	-\$ 19.079.000
1	\$ 0	\$ 1.062.588	\$ 1.062.588	\$ 983.878
2	\$ 0	\$ 1.062.588	\$ 1.062.588	\$ 910.998
3	\$ 0	\$ 1.062.588	\$ 1.062.588	\$ 843.517
4	\$ 0	\$ 1.062.588	\$ 1.062.588	\$ 781.034
5	\$ 0	\$ 1.062.588	\$ 1.062.588	\$ 723.180
<b>VAN</b>				<b>-\$ 14.836.394</b>

*Tabla 16: Evaluación VAN para implementar la instalación de paneles fotovoltaicos.*

*(Elaboración Propia).*

En la tabla 19 se muestra que el VAN resulta ser negativo para un periodo de 5 años, por lo tanto el proyecto es inviable para esa cantidad de año.

Luego se calcula el índice de Exceso de Valor Actual Neto IVAN, que se define como la razón entre el VAN y la inversión. Donde el indicador muestra la relación entre la ganancia expresada en el VAN y la inversión inicial (Rentabilidad).

$$IVAN = \frac{VAN}{I_0}$$

VAN: Valor Actual Neto.

$I_0$ : Inversión Inicial.

$$\text{Alternativa 1: } IVAN = \frac{-\$14.147.394}{\$18.390.000} = -0,7693$$

$$\text{Alternativa 2: } IVAN = \frac{-\$13.797.394}{\$18.040.000} = -0,7648$$

$$\text{Alternativa 3: } IVAN = \frac{-\$14.206.394}{\$18.449.000} = -0,7700$$

$$\text{Alternativa 4: } IVAN = \frac{-\$14.836.394}{\$19.079.000} = -0,7776$$

En todas las alternativas se genera un IVAN negativo donde se vuelve a verificar que la inversión no es viable.

Además se calculara el TIR (Tasa Interna de Retorno), se define como la tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero. La TIR se determina de la expresión:

$$0 = - I_0 + \sum_{n=1}^N \frac{F_n}{(1+TIR)^n}$$

$I_0$ : Inversión Inicial

$F_n$ : Flujo de Caja (Ingresos – Egresos)

TIR: Tasa Interna de Retorno

n: tiempo estimado de retorno

La TIR muestra al inversionista la tasa de interés máxima a la que puede comprometer préstamos, sin que incurra en futuros fracasos financieros. Para lograr esto se busca aquella tasa que aplicada al Flujo neto de caja hace que el VAN sea igual a cero. A diferencia del VAN, donde la tasa de interés se fija de acuerdo a las alternativas de Inversión externas,

aquí no se conoce la tasa que se aplicara para encontrar la TIR; por definición la tasa buscada será aquella que reduce el VAN de un Proyecto a cero.

En virtud a que la TIR proviene del VAN, primero se debe calcular el valor actual neto. La TIR se determina mediante aproximaciones sucesivas hasta acercarnos a un VAN = 0.

Los indicadores relevantes son:

TIR > i , el proyecto es rentable

TIR = i, es indiferente su realización

TIR < i, el proyecto no es rentable

En general las decisiones no se toman sólo con un indicador sino que con ambos y bajo la condición:

$$VAN > 0$$

$$TIR > i$$

En el caso de la instalación de paneles fotovoltaicos para el Complejo Turístico Jardín Salto del Laja se calcula el TIR de la siguiente manera:

Alternativa 1:

$$0 = -18.390.000 + \frac{1.062.588}{(1+TIR)^1} + \frac{1.062.588}{(1+TIR)^2} + \frac{1.062.588}{(1+TIR)^3} + \frac{1.062.588}{(1+TIR)^4} + \frac{1.062.588}{(1+TIR)^5}$$

$$TIR = -30,90\%$$

Alternativa 2:

$$0 = -18.040.000 + \frac{1.062.588}{(1+TIR)^1} + \frac{1.062.588}{(1+TIR)^2} + \frac{1.062.588}{(1+TIR)^3} + \frac{1.062.588}{(1+TIR)^4} + \frac{1.062.588}{(1+TIR)^5}$$

$$TIR = -30,54\%$$

Alternativa 3:

$$0 = -18.449.000 + \frac{1.062.588}{(1+TIR)^1} + \frac{1.062.588}{(1+TIR)^2} + \frac{1.062.588}{(1+TIR)^3} + \frac{1.062.588}{(1+TIR)^4} + \frac{1.062.588}{(1+TIR)^5}$$

$$TIR = -30,96\%$$

Alternativa 4:

$$0 = -19.079.000 + \frac{1.062.588}{(1+TIR)^1} + \frac{1.062.588}{(1+TIR)^2} + \frac{1.062.588}{(1+TIR)^3} + \frac{1.062.588}{(1+TIR)^4} + \frac{1.062.588}{(1+TIR)^5}$$

$$TIR = -31,58\%$$

Se observa que el TIR en las cuatro alternativas es menor a la tasa de interés  $i=8\%$  por lo tanto el proyecto de instalar paneles fotovoltaicos en Jardín Salto del Laja no es rentable.

Se calculara el tiempo en que se recupera la inversión a través del método simple de cálculo:

$$RI = \frac{I_0}{\text{Ingresos}}$$

Ingresos

$$\text{Alternativa 1: } RI = \frac{18.390.000}{1.062.588} = 17,31 \approx 18 \text{ años}$$

$$\text{Alternativa 2: } RI = \frac{18.040.000}{1.062.588} = 16,98 \approx 17 \text{ años}$$

$$\text{Alternativa 3: } RI = \frac{18.449.000}{1.062.588} = 17,36 \approx 18 \text{ años}$$

$$\text{Alternativa 4: } RI = \frac{19.079.000}{1.062.588} = 17,96 \approx 18 \text{ años}$$

El tiempo para recuperar la inversión es mucho y no hace factible el proyecto.

#### **4.3 Análisis de Sensibilidad para la instalación de paneles fotovoltaicos.**

Como se analizó anteriormente satisfacer el consumo de 24kWh/día es muy costoso para un corto periodo de retorno, se necesitan muchos años para recuperar la inversión, ya que el costo de la energía eléctrica es barata alcanzando a penas los \$121,3 pesos, el aumento de la energía en los próximos años será inevitable, ya que “el consumo de energía se incrementará en un 57% entre 2004 y 2030, a pesar de que se espera el aumento de precios tanto del petróleo como del gas natural considerablemente. Fuente Agencia Internacional de Energía”. A demás actualmente en Chile no se están generando nuevos proyectos de generación eléctrica como Hidroeléctricas, parques eólicos, etc.

Por todas estas razones se calculara para que precio de energía eléctrica de la abastecedora COELCHA S.A se tendrá un VAN igual a cero, para las cuatro alternativas seleccionadas de suministro de paneles fotovoltaicos suponiendo la misma inversión inicial, un tasa de 8% y un periodo de retorno de cinco años.

Dónde: 
$$VAN = \sum_{n=0}^N \frac{I_n + E_n}{(1+i)^n}$$

$I_n$ : sumatoria del flujo de caja en cinco años.

$E_n$ : es el valor de la inversión inicial de cada alternativa.

n: 5 años.

i: 8%

#### Alternativa 1

$$0 = \frac{-18.390.000 + 0}{(1+0,08)^0} + \frac{-18.390.000 + I_n}{(1+0,08)^1} + \frac{-18.390.000 + I_n}{(1+0,08)^2} + \frac{-18.390.000 + I_n}{(1+0,08)^3} + \frac{-18.390.000 + I_n}{(1+0,08)^4} + \frac{-18.390.000 + I_n}{(1+0,08)^5}$$

$I_n = 23.277.209,580$  pesos.

Calculado el flujo de caja para 5 años, se calcula el flujo de caja anual.

$$I_n = \frac{23.277.209,580}{5 \text{ años}} = 4.655.441,920 \text{ pesos por año}$$

Con el flujo de caja anual se calcula el precio del kWh de energía que se debe generar para hacer el VAN igual a cero, considerando una producción anual de 8760 kWh/día.

$$\text{Precio (\$)} = \frac{I_n (\$)}{\text{Producción anual (kWh/día)}}$$

$$\text{Precio (\$)} = \frac{4.655.441,920}{8.760 \text{ kWh/día}}$$

$$\text{Precio (\$)} = \$531,45 \text{ pesos}$$

#### Alternativa 2

$$0 = \frac{-18.040.000 + 0}{(1+0,08)^0} + \frac{-18.040.000 + I_n}{(1+0,08)^1} + \frac{-18.040.000 + I_n}{(1+0,08)^2} + \frac{-18.040.000 + I_n}{(1+0,08)^3} + \frac{-18.040.000 + I_n}{(1+0,08)^4} + \frac{-18.040.000 + I_n}{(1+0,08)^5}$$

$I_n = 22.834.195,800$  pesos.

Calculado el flujo de caja para 5 años, se calcula el flujo de caja anual.

$$I_n = \frac{22.834.195,800}{5 \text{ años}} = 4.566.839,160 \text{ pesos por año}$$

Con el flujo de caja anual se calcula el precio del kWh de energía que se debe generar para hacer el VAN igual a cero, considerando una producción anual de 8.760 kWh/día.

$$\begin{aligned} \text{Precio (\$)} &= \frac{I_0 (\$)}{\text{Producción anual (kWh/día)}} \\ \text{Precio (\$)} &= \frac{4.566.839,160}{8.760 \text{ kWh/día}} \\ \text{Precio (\$)} &= \$521,33 \text{ pesos} \end{aligned}$$

#### Alternativa 3

$$\begin{aligned} 0 &= \frac{-18.449.000 + 0}{(1+0,08)^0} + \frac{-18.449.000 + I_n}{(1+0,08)^1} + \frac{-18.449.000 + I_n}{(1+0,08)^2} + \frac{-18.449.000 + I_n}{(1+0,08)^3} \\ &+ \frac{-18.449.000 + I_n}{(1+0,08)^4} + \frac{-18.449.000 + I_n}{(1+0,08)^5} \\ I_n &= 23.351.889,040 \text{ pesos.} \end{aligned}$$

Calculado el flujo de caja para 5 años, se calcula el flujo de caja anual.

$$I_n = \frac{23.351.889,040}{5 \text{ años}} = 4.670.377,810 \text{ pesos por año}$$

Con el flujo de caja anual se calcula el precio del kWh de energía que se debe generar para hacer el VAN igual a cero, considerando una producción anual de 8.760 kWh/día.

$$\begin{aligned} \text{Precio (\$)} &= \frac{I_0 (\$)}{\text{Producción anual (kWh/día)}} \\ \text{Precio (\$)} &= \frac{4.670.377,810}{8.760 \text{ kWh/día}} \\ \text{Precio (\$)} &= \$533,15 \text{ pesos} \end{aligned}$$

#### Alternativa 4

$$\begin{aligned} 0 &= \frac{-19.079.000 + 0}{(1+0,08)^0} + \frac{-19.079.000 + I_n}{(1+0,08)^1} + \frac{-19.079.000 + I_n}{(1+0,08)^2} + \frac{-19.079.000 + I_n}{(1+0,08)^3} \\ &+ \frac{-19.079.000 + I_n}{(1+0,08)^4} + \frac{-19.079.000 + I_n}{(1+0,08)^5} \\ I_n &= 24.149.313,840 \text{ pesos.} \end{aligned}$$

Calculado el flujo de caja para 5 años, se calcula el flujo de caja anual.

$$I_n = \frac{24.149.313,840}{5 \text{ años}} = 4.829.862,770 \text{ pesos por año}$$

Con el flujo de caja anual se calcula el precio del kWh de energía que se debe generar para hacer el VAN igual a cero, considerando una producción anual de 8.760 kWh/día.

$$\text{Precio (\$)} = \frac{I_0 (\$)}{\text{Producción anual (kWh/día)}}$$

$$\text{Precio (\$)} = \frac{4.829.862,770}{8.760 \text{ kWh/día}}$$

$$\text{Precio (\$)} = \$551,36 \text{ pesos}$$

Como se observa en la tabla 18 los precios son muy elevados para que el proyecto tenga un VAN igual a cero, \$400 pesos más caro que el precio actual de \$121,3 pesos

Alternativa	Precio KWh/día
1	531,45
2	521,33
3	533,15
4	551,36

Tabla 17: Precios de energía eléctrica para que el proyecto sea rentable según las alternativas seleccionadas. (Elaboración Propia).

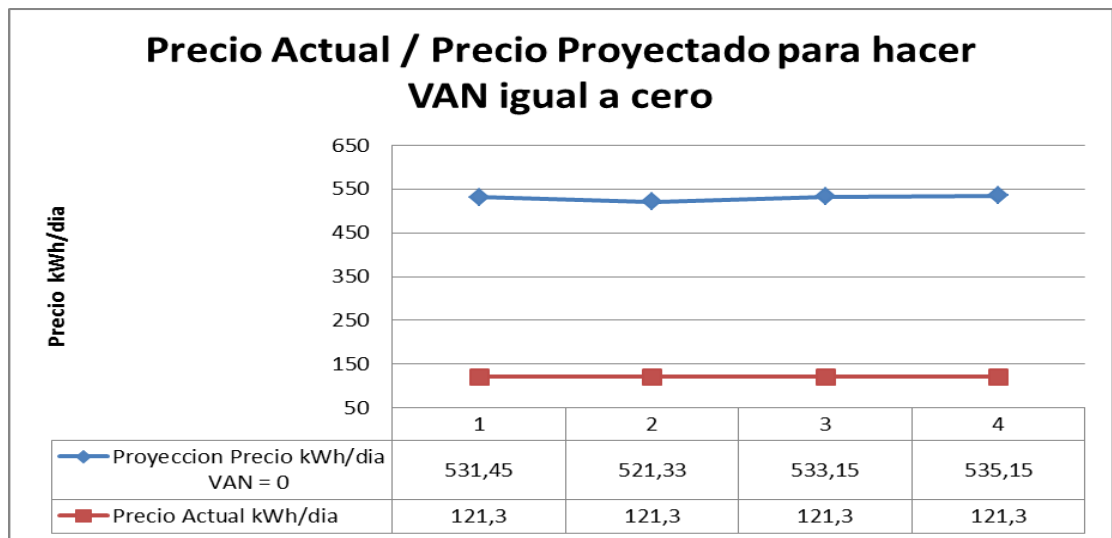


Grafico 3: Relación entre el precio actual de la energía eléctrica y la proyección que se realizó para que el proyecto sea viable en cinco años. (Elaboración Propia)

A continuación se presenta el flujo de caja para que el VAN sea igual a cero.

<b>Evaluación Económica para Instalación de Paneles Fotovoltaicos</b>				
<b>Alternativa 1</b>				
<b>Año</b>	<b>Inversión</b>	<b>Ingresos/Ahorro</b>	<b>Total</b>	<b>VAN</b>
0	-\$ 18.390.000	\$ 0	-\$ 18.390.000	-\$ 18.390.000
1	\$ 0	\$ 4.660.285	\$ 4.660.285	\$ 4.315.078,750
2	\$ 0	\$ 4.660.285	\$ 4.660.285	\$ 3.995.443,290
3	\$ 0	\$ 4.660.285	\$ 4.660.285	\$ 3.699.484,530
4	\$ 0	\$ 4.660.285	\$ 4.660.285	\$ 3.425.448,640
5	\$ 0	\$ 4.660.285	\$ 4.660.285	\$ 3.171.711,700
<b>VAN</b>				<b>\$ 0</b>
<b>Alternativa 2</b>				
<b>Año</b>	<b>Inversión</b>	<b>Ingresos/Ahorro</b>	<b>Total</b>	<b>VAN</b>
0	-\$ 18.040.000	\$ 0	-\$ 18.040.000	-\$ 18.040.000
1	\$ 0	\$ 4.571.543	\$ 4.571.543	\$ 4.232.910
2	\$ 0	\$ 4.571.543	\$ 4.571.543	\$ 3.919.361
3	\$ 0	\$ 4.571.543	\$ 4.571.543	\$ 3.629.038
4	\$ 0	\$ 4.571.543	\$ 4.571.543	\$ 3.360.220
5	\$ 0	\$ 4.571.543	\$ 4.571.543	\$ 3.111.315
<b>VAN</b>				<b>\$ 0</b>
<b>Alternativa 3</b>				
<b>Año</b>	<b>Inversión</b>	<b>Ingresos/Ahorro</b>	<b>Total</b>	<b>VAN</b>
0	-\$ 18.449.000	\$ 0	-\$ 18.449.000	-\$ 18.449.000
1	\$ 0	\$ 4.675.192	\$ 4.675.192	\$ 4.328.882
2	\$ 0	\$ 4.675.192	\$ 4.675.192	\$ 4.008.224
3	\$ 0	\$ 4.675.192	\$ 4.675.192	\$ 3.711.318
4	\$ 0	\$ 4.675.192	\$ 4.675.192	\$ 3.436.406
5	\$ 0	\$ 4.675.192	\$ 4.675.192	\$ 3.181.857
<b>VAN</b>				<b>\$ 0</b>
<b>Alternativa 4</b>				
<b>Año</b>	<b>Inversión</b>	<b>Ingresos/Ahorro</b>	<b>Total</b>	<b>VAN</b>
0	-\$ 19.079.000	\$ 0	-\$ 19.079.000	-\$ 19.079.000
1	\$ 0	\$ 4.834.876	\$ 4.834.876	\$ 4.476.737
2	\$ 0	\$ 4.834.876	\$ 4.834.876	\$ 4.145.127
3	\$ 0	\$ 4.834.876	\$ 4.834.876	\$ 3.838.080
4	\$ 0	\$ 4.834.876	\$ 4.834.876	\$ 3.553.778

5	\$ 0	\$ 4.834.876	\$ 4.834.876	\$ 3.290.535
<b>VAN</b>				\$ 0

*Tabla 18: Precios de energía eléctrica para que el proyecto sea rentable según las alternativas seleccionadas. (Elaboración Propia).*

Se calcula el TIR de las alternativas

Alternativa 1:

$$0 = -18.390.000 + \frac{4.660.285}{(1+\text{TIR})^1} + \frac{4.660.285}{(1+\text{TIR})^2} + \frac{4.660.285}{(1+\text{TIR})^3} + \frac{4.660.285}{(1+\text{TIR})^4} + \frac{4.660.285}{(1+\text{TIR})^5}$$

TIR = 8,5%

Alternativa 2:

$$0 = -18.040.000 + \frac{4.571.543}{(1+\text{TIR})^1} + \frac{4.571.543}{(1+\text{TIR})^2} + \frac{4.571.543}{(1+\text{TIR})^3} + \frac{4.571.543}{(1+\text{TIR})^4} + \frac{4.571.543}{(1+\text{TIR})^5}$$

TIR = 8,5%

Alternativa 3:

$$0 = -18.449.000 + \frac{4.675.192}{(1+\text{TIR})^1} + \frac{4.675.192}{(1+\text{TIR})^2} + \frac{4.675.192}{(1+\text{TIR})^3} + \frac{4.675.192}{(1+\text{TIR})^4} + \frac{4.675.192}{(1+\text{TIR})^5}$$

TIR = 8,5%

Alternativa 4:

$$0 = -19.079.000 + \frac{4.834.876}{(1+\text{TIR})^1} + \frac{4.834.876}{(1+\text{TIR})^2} + \frac{4.834.876}{(1+\text{TIR})^3} + \frac{4.834.876}{(1+\text{TIR})^4} + \frac{4.834.876}{(1+\text{TIR})^5}$$

TIR = 8,5 %

Se observa que el TIR es mayor al interés aplicado del 8% por lo tanto con los precios modificados se recomienda ejecutar el proyecto.

#### **4.4 Análisis de Sensibilidad para la instalación de Aerogeneradores.**

La variable que no hace factible evaluar la alternativa de los aerogeneradores es el viento, ya que los aerogeneradores necesitan una mayor velocidad para poder generar más energía, es por eso que se evaluarán las tres alternativas de aerogeneradores tomando como

variable sensible el viento y se mantendrán las variables de: consumo diario, densidad de viento, diámetros de cada alternativa y altura de la torre del aerogenerador.

- Primero por espacio disponible en el Complejo Jardín Salto del Laja se determinara que solo se pueden instalar un máximo de dos aerogeneradores para el mismo consumo diario de 24kW de cinco Cabañas, se comienza por calcular la potencia eléctrica final como:

$$P_e = \frac{\text{Consumo Diario}}{\text{Numero Aerogeneradores}}$$

$$\text{Alternativa 1-2-3: } P_e = \frac{24 \text{ (kW)}}{2} = 12 \text{ kW}$$

Será la misma potencia final para las tres alternativas, ya que tienen el mismo consumo diario y el número de aerogeneradores.

- Luego calcular la potencia accionamiento para mover el alternador, con una eficiencia de  $\eta_e$  igual 96%.

$$P_{acc} = \frac{P_e}{\eta_e}$$

$$\text{Alternativa 1-2-3: con } P_{acc} = \frac{12 \text{ kW}}{0,96} = 12,5 \text{ kW}$$

Será la misma potencia final para las tres alternativas, ya que tienen la misma potencia final y factor de eficiencia.

- Luego se calcula la potencia del rotor eólico, con un factor de  $\eta_c$  igual a 98% :

$$P = \frac{P_{acc}}{\eta_c}$$

$$\text{Alternativa 1-2-3: con } P = \frac{12,5 \text{ kW}}{0,98} = 12,76 \text{ kW}$$

Sera la misma potencia del rotor eólico para las tres alternativas, ya que tienen la misma potencia de accionamiento del alternador y un mismo factor de seguridad.

- Luego la potencia eólica disponible es calcula:

$$P_d = \frac{P}{C_p}$$

Alternativa 1: con  $C_p = 85\%$   $P_d = \frac{12,76 \text{ kW}}{0,85} = 15,01 \text{ kW}$

Alternativa 2: con  $C_p = 80\%$   $P_d = \frac{12,76 \text{ kW}}{0,80} = 15,95 \text{ kW}$

Alternativa 3: con  $C_p = 89\%$   $P_d = \frac{12,76 \text{ kW}}{0,89} = 14,33 \text{ kW}$

Se calcula una potencia eólica disponible distinta para cada alternativa, ya que aunque se tiene la misma potencia del rotor pero cambia el factor de potencia.

- Con la energía disponible se puede calcular la velocidad del viento de la siguiente manera :

$$v = \frac{(P_d \times 2 \times 4 \times 1000)^{1/3}}{(\rho \times A)^{1/3}}$$

Alternativa 1:  $V = \frac{(15,01 \times 2 \times 4 \times 1000)^{1/3}}{(1,23 \times \pi \times 5^2)^{1/3}} = 10,75 \text{ m/s}$

Alternativa 2:  $V = \frac{(15,95 \times 2 \times 4 \times 1000)^{1/3}}{(1,23 \times \pi \times 1,17^2)^{1/3}} = 28,89 \text{ m/s}$

Alternativa 3:  $V = \frac{(14,33 \times 2 \times 4 \times 1000)^{1/3}}{(1,23 \times \pi \times 14,4^2)^{1/3}} = 5,23 \text{ m/s}$

Como se observa en la alternativa 1 se necesita que el viento sea mayor en más del doble de la velocidad actual para poder tener la potencia eólica necesaria que utilice solo dos generadores que satisfagan las condiciones del lugar. En la alternativa 2 la velocidad es mucho mayor esto se debe a que el diámetro de las hélices del aerogenerador es muy chica

comparadas con las alternativas 2 y 3. La alternativa tres resulta ser la alternativa más factible, ya que no se necesita mucho más velocidad del viento de la que ya se genera pero su valor es tan caro que solo eso hace la alternativa descartable.

#### **4.5 Cambios del tarifado actual.**

Como se observa en el desarrollo de este proyecto las alternativas de instalar paneles fotovoltaicos son muy costosas y se recupera la inversión en muchos años, aproximadamente 18 años, a menos que la energía eléctrica sea tres veces más cara de lo que es ahora. La alternativa de utilizar aerogeneradores no se desarrolla porque no se cuenta con el espacio suficiente para la instalación, ya que se deben instalar muchos aerogeneradores debido a la baja velocidad del viento y aunque el viento aumentara es muy cara la implementación.

Actualmente Complejo turístico Jardín Salto del Laja tiene una conexión BT1 (baja tensión), donde se paga \$121,3 pesos neto por kWh con un consumo promedio mensual de 691 kW, se paga mensualmente \$83.818,3 pesos.

Se verifica la alternativa de cambiar el tarifado a BT que sigue siendo una línea de baja tensión pero que se paga un cargo fijo mensual y un costo por kWh menor.

Esta opción tarifaria está compuesta por los siguientes cargos:

- Cargo por Energía: Se obtiene multiplicando los kWh registrados por el medidor durante el período de facturación por el precio unitario de la energía. Es un precio menor por kW del tarifado BT1.
- Cargo por potencia contratada: Se obtiene multiplicando los kW contratados por su precio unitario, siendo esto facturado todos los meses independientes del consumo. Es un valor fijo que se paga a la compañía abastecedora.

Coelcha S.A por un cambio de tarifado desde el tramo BT1 al tramo BT2 cobra un cargo por potencia contratada de \$30.379,42 \$/kW/mes y un cargo por energía de \$52,13 \$/kWh, se considera un consumo promedio del Complejo Turístico Jardín Salto del Laja de

691kW/mes donde se pagarían mensualmente por cargo de energía \$36.021.83 \$/kW/mes más el cargo por potencia contratada se pagaría mensualmente a Coelcha S.A un total de \$66.401,25 \$/kW/mes

#### **4.6 Externalidades en la instalación de paneles fotovoltaicos y aerogeneradores.**

La Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética define a las “externalidades” como los “impactos positivos o negativos que genera la provisión de un bien o servicio y que afectan a una tercera persona. Las externalidades ocurren cuando los costos o beneficios de los productores o compradores de un bien o servicio son diferentes de los costos o beneficios sociales totales que involucran su producción y consumo” (SECRETARIA DE ENERGIA, 2009).

Estas se dividen en externalidades positivas y negativas.

##### **4.6.1 Externalidades Positivas.**

Paneles Fotovoltaicos:

- No contaminan.
- Genera conciencia en los turistas y en la habitantes de la localidad del Salto del laja al ver que se aplican sistemas de generación eléctrica de forma no tradicional.
- Ocupa una superficie menor que los aerogeneradores.
- Es un sistema que puede ser instalado en el techo de una vivienda sin ocupar un espacio extra.

Aerogeneradores:

- Si las condiciones de viento son óptimas genera una gran potencia eléctrica.
- Es impresionante al observar ya que no es un sistema muy utilizado en Chile.

##### **4.6.2 Externalidades Negativas Paneles Fotovoltaicos y Aerogeneradores.**

Paneles Fotovoltaicos:

- No es un sistema útil en invierno, ya que al estar instalada en la octava región, zona lluviosa, resulta un sistema inestable.
- La inversión es alta y no se recupera en un corto periodo de retorno.
- Hay que tener cuidado de que no se acumulen hojas ni polvo en los paneles solares que evitan la absorción de la Irradiación solar.
- Ocupan mucho espacio.

Aerogeneradores:

- Son ruidosos.
- Necesitan mucho espacio sin interferencia de obstáculos.
- Impacta negativamente a las aves del sector por las turbulencia que generan las hélices.

## 5. CONCLUSIONES Y/O RECOMENDACIONES.

Este proyecto de título se realizó para analizar la factibilidad Técnica – Económica para instalar paneles fotovoltaicos o aerogeneradores en el Complejo Turístico Jardín Salto del Laja.

Donde se desarrollaron los siguientes objetivos específicos:

- Determinar cuál ha sido el consumo promedio de energía en los últimos dos años y cuanto se ha pagado a la empresa de electricidad por prestar este servicio.
- Analizar las variables de sensibilidad y externalidad de la instalación de paneles fotovoltaicos y aerogeneradores, estableciendo si los costos asociados al suministro, instalación y mantención se podrán amortizar en un periodo de cinco años.
- Evaluar si el cambio en el tramo de tarifa actual es más rentable que la instalación de paneles fotovoltaicos en cinco años.

El consumo promedio del Complejo Turístico Jardín Salto del Laja es de 24kWh/día donde se considera el consumo de una casa y cuatro cabañas, pagando a la abastecedora de electricidad Coelcha S.A un total de \$ 1.972.597 pesos en dos años, es por este alto costo que se analizó la instalación de paneles fotovoltaicos y aerogeneradores, y así disminuir el alto costo que se estaba pagando en electricidad, el resultado del análisis indico que:

- Se pueden instalar paneles fotovoltaicos ya que no ocupan mucha superficie pero tienen un costo elevado superando los \$18.040.000 de la alternativa más económica donde la inversión se recupera en aproximadamente 18 años. Es una alternativa cara que no hace factible la recuperación de la inversión en cinco años como se había señalado en el objetivo del proyecto. Es por esto que se toma como variable sensible el costo de electricidad donde se paga actualmente por kilowatt consumido un total de \$121,3 \$kWh, para hacer el proyecto viable en cinco años el precio por Kilowatt debe ser mínimo de \$521,33 \$kWh para que el VAN sea cero y se pueda invertir en el proyecto, solo con el aumento del precio del kilowatts 3,3 veces.

A pesar del aumento de este tipo de instalaciones en el último tiempo, los precios del mercado nacional de los paneles fotovoltaicos, reguladores, banco de baterías e inversor son muy elevados, habrá que esperar un par de años más para que los valores disminuyan como ha sido la tendencia últimamente.

- Para instalar aerogeneradores en el Complejo Turístico Jardín Salto del Laja se considera una velocidad del viento promedio de 4,9 m/s donde el análisis indica que se deben instalar varios aerogeneradores que superan la superficie disponible sin obstáculos del sector, esto y los altos costos solo considerando el suministro del aerogenerador hace que el proyecto sea inviable, ya que la inversión se recuperara en un plazo superior a los 20 años. Es por esto que se toma como variable sensible la velocidad del viento y como se tiene poco espacio disponible sin obstáculos solo se pueden instalar dos aerogeneradores para el mismo consumo diario de 24 kWh/día, el resultado arroja para dos alternativas que la velocidad del viento debe aumentar considerablemente para poder generar ese consumo diario, ya que los diámetros varían entre los 1 y 5 metros y la alternativa que sugiere aumentar solo un poco la velocidad hasta los 5,3m/s no se puede implementar por el elevado costo solo del suministro de \$13.600.000 pesos, por ese motivo no se recomienda la instalación de aerogeneradores.
- También se analizó el cambio de tarifado, en el actual tarifado del tipo BT1 se pagan anualmente \$986.299 \$kW/año por lo que se propuso cambiar de tarifado al tipo BT2 donde se pagaran anualmente \$796.815 \$kW/año considerando un consumo mensual máximo de 691 kW/mes, ahorrándose de pagar a Coelcha S.A en un año un total de \$189.483 \$kW/año. Por lo tanto se recomienda el cambio de tarifado para disminuir los pagos a Coelcha.

Como se analizó no se recomienda al Complejo Turístico Jardín Salto del Laja y a los vecinos hoteleros dedicados al turismo en el sector, la instalación de paneles fotovoltaicos y aerogeneradores solo se recomienda el cambio de tarifado.

## 6. REVISION BIBLIOGRAFICA.

- Pedro Sarmiento M, 1985 cuarta edición. Energía solar aplicaciones e ingeniería.
- Tomas Perales Benito, 2010, tercera edición. Instalación de paneles solares térmicos.
- Progensa (promotora general de estudios S.A), 1998. Avances en Energía Solar.
- F. Jarabo y otros, 1988. El libro de las energías renovables.
- Irradiancia solar en territorios de la república de Chile. [www.labsolar.utfsm.cl](http://www.labsolar.utfsm.cl)
- SARMIENTO, P. 1995. Energía Solar: Aplicaciones e Ingeniería.
- Atlas de Chile
- Harper Enríquez, G. 2003, Manual Práctico del Alumbrado, Primera Edición.
- Sapag Chain, N, 1991, Preparación y Evaluación de Proyectos, Segunda Edición.
- Manual del Arquitecto, Energía solar Térmica, Junta de Castilla y León.
- F. Jarabo y otros, 1988. El libro de las energías renovables.
- Seminario eléctrico Elecgas. <http://elecgas.elecgas.cl/elecgas/>.
- Greenpeace, Guía Solar Como disponer de energía solar fotovoltaica, 2002.
- Energía fotovoltaica, [www.wikipedia.cl](http://www.wikipedia.cl).
- Fotovoltaica, [www.amtsolar.com](http://www.amtsolar.com).
- Irradiación solar. [www.wikipedia.cl](http://www.wikipedia.cl).
- Sistema conectado al SIC. [www.antusolar.cl](http://www.antusolar.cl).
- Demanda SIC / SING. [www.gob.cl](http://www.gob.cl)
- Conexión en paralelo paneles fotovoltaicos. [www.mpptsolar.com](http://www.mpptsolar.com).
- Conexión en serie paneles fotovoltaicos. [www.solete.nichese.com](http://www.solete.nichese.com).
- Conexión en serie y paralelo paneles fotovoltaicos. [www.mpptsolar.com](http://www.mpptsolar.com).
- Estructura coplanar para sujeción de paneles fotovoltaicos. [www.puntosolar.cl](http://www.puntosolar.cl).
- Estructura granja solar para sujeción de paneles fotovoltaicos. [www.puntosolar.cl](http://www.puntosolar.cl).
- Ubicación del regulador en un sistema de paneles fotovoltaicos.  
[www.cenitsolar.com](http://www.cenitsolar.com).
- Ubicación del banco de baterías en un sistema fotovoltaico  
[www.energiasolarfotovoltaica.com](http://www.energiasolarfotovoltaica.com).

- Ubicación de un inversor en un sistema de paneles fotovoltaicos.  
[www.solartronic.com](http://www.solartronic.com).
- Diámetro de cables y potencia generada permitida por tipo de cable.  
[www.topcable.com](http://www.topcable.com).
- Aplicaciones de la energía eólica. [www.soliclisma.es](http://www.soliclisma.es).
- Fuerza de Coriolis, [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org).
- Descripción de la causa de origen del viento. [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org).
- Esquema de formación de brisas de mar y de tierra. [www.minenergia.cl](http://www.minenergia.cl).
- Esquema de formación de brisas valle o de montaña. [www.minenergia.cl](http://www.minenergia.cl).
- Anemómetro de empuje. [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org).
- Anemómetro de hélice. [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org).
- Ubicación de aerogeneradores. [www.gdzsuechile.cl](http://www.gdzsuechile.cl).
- Representación gráfica de la rosa de los vientos. [www.windpower.org](http://www.windpower.org).
- Flujo del aire circulando a través del área A barrida por el rotor.  
[www.windpower.org](http://www.windpower.org).
- Límite de Betz. [www.energiafutura.org](http://www.energiafutura.org).
- Aerogenerador de eje Horizontal. [wikipedia.org](http://wikipedia.org).
- viento a barlovento. [wikipedia.org](http://wikipedia.org).
- viento a sotavento. [wikipedia.org](http://wikipedia.org).
- Torre de celosía y tubular. [www.energiafutura.org](http://www.energiafutura.org).
- Rotor de eje vertical Savonius y secuencia de giro del rotor.  
[www.energiafutura.org](http://www.energiafutura.org).
- Rotor de eje vertical Darrieus. [www.energiafutura.org](http://www.energiafutura.org).
- Alternativa 1: Panel Solar 200W “Gama Solar”. [www.gamasolar.cl/paneles-/20-panel-solar-fotovoltaico-100w.html](http://www.gamasolar.cl/paneles-/20-panel-solar-fotovoltaico-100w.html)
- Alternativa 2: Panel Solar HSL 60, 240W “Poly Hanwha Solar”.  
[www.kuhn.cl/webstore/panel-solar-fotovoltaico-polycristalino-240-watts-ps-240p.html](http://www.kuhn.cl/webstore/panel-solar-fotovoltaico-polycristalino-240-watts-ps-240p.html)

- Alternativa 3: Panel Solar CSUN250-60P, 250W “Csun Technology for Life”.  
[www.solostocks.cl/venta-productos/otros-productos-relacionados-con-energia/panel-solar-250-watts-policristalino-1368393](http://www.solostocks.cl/venta-productos/otros-productos-relacionados-con-energia/panel-solar-250-watts-policristalino-1368393)
- Alternativa 4: Panel Solar JASOLAR 260W POLICRISTALINO “JA Solar”.  
[www.genergy.cl/index.php?main\\_page=product\\_info&products\\_id=262](http://www.genergy.cl/index.php?main_page=product_info&products_id=262)
- Estructura de sujeción para paneles fotovoltaicos. [www.cintac.cl](http://www.cintac.cl).
- Regulador de carga [www.digishop.cl/index.php?a=722&g2=0](http://www.digishop.cl/index.php?a=722&g2=0)
- Banco de baterías [www.solarshop.cl/product.php?id\\_product=319](http://www.solarshop.cl/product.php?id_product=319)
- Inversor [www.solarshop.cl/product.php?id\\_product=296](http://www.solarshop.cl/product.php?id_product=296)
- Alternativa 1: Aerogenerador BORNAY 6 kW. [www.enalteco.cl/bornay.html](http://www.enalteco.cl/bornay.html)
- Alternativa 2: Aerogenerador Air 1 kW.  
[www.erncchile.cl/productos?page=shop.product\\_details&product\\_id=552&flypage=flypage.tpl&pop=0](http://www.erncchile.cl/productos?page=shop.product_details&product_id=552&flypage=flypage.tpl&pop=0)
- Alternativa 3: Aerogenerador Windon 30 kW.  
[www.repoweringsolutions.com/productos/aerogeneradores\\_domesticos/](http://www.repoweringsolutions.com/productos/aerogeneradores_domesticos/)
- Distribución Aerogeneradores en un parque eólico. [www.eolicamonteredondo.cl](http://www.eolicamonteredondo.cl).

## 7. ANEXOS.

Para ver anexos mirar los siguientes link

- Anexo 1: <http://es.slideshare.net/foroenergias/registro-solarimetrico-2862262>
- Anexo 2: <http://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=1038211>
- Anexo 3:  
[http://walker.dgf.uchile.cl/Explorador/Eolico2/info/Documentacion\\_Explorador\\_Eolico\\_V2\\_Full.pdf](http://walker.dgf.uchile.cl/Explorador/Eolico2/info/Documentacion_Explorador_Eolico_V2_Full.pdf)