



# Iluminando País

Informe Final



**Profesor:** Rodrigo Palma Behnke

**Auxiliar:** María del Mar Bustos

**Integrantes:** José Luis Huepe F.

Diego Ramírez A.

Álvaro Silva A.

**Fecha:** 09-07-2008

# Agradecimientos

Sería poco honrado decir que el proyecto fue realizado exclusivamente por 3 integrantes, ya que en el desarrollo de “Iluminando País” muchas personas colaboraron con su granito de arena, por eso se quiere agradecer:

A Rodrigo Palma, profesor encargado, quién nos facilitó la mayor parte de los materiales usados en el trabajo y gastó parte de su valioso y escaso tiempo en explicar qué líneas de trabajo se podían seguir y cómo seguirlas.

A la Ilustre Municipalidad de Ovalle, que a través de don Fernando Joo, nos acogió y brindó ayuda necesaria en el viaje.

A la Facultad de Ciencias Físicas y Matemática por facilitar el Eolian prototipo.

A Wladimir Ovalle, encargado del taller mecánico, quién nos prestó las herramientas necesarias para trabajar los materiales.

A Mar Bustos y Lilian García, por ayudar con el proyecto, sacrificando del valioso tiempo que tienen los estudiantes

A Margarita Correa, Jimmy, encargados de la mayordomía, quienes con gran disposición nos prestaron la llave para entrar al laboratorio del -2 de eléctrica y la salida a Tupper, por confiar en nosotros..

A Jorge Castillo, Juan Donoso, Manuel Cáceres, Juan Carlos Salgado, Leonardo Stari, Diego Huarapil y al encargado del pabellón de mecánica.

A todos ellos y a los que nos brindaron su disposición a ayudarnos, nuestros más sinceros agradecimientos.

# Índice de Contenidos

<b>1. Resumen Ejecutivo</b>	<b>4</b>
<b>2. Introducción</b>	<b>5</b>
2.1 Motivación	5
2.2 Alcance	6
2.3 Objetivos	7
2.3.1 Generales	7
2.3.2 Específicos	7
<b>3. Antecedentes Generales</b>	<b>8</b>
<b>4. Estado del arte</b>	<b>9</b>
4.1 En el mundo	9
4.2 En la región	11
<b>5. Soluciones Propuestas</b>	<b>12</b>
5.1 Sistema Híbrido	12
5.2 Energía Solar	12
<b>6. Material y método</b>	<b>13</b>
6.1 Descripción General	13
6.2 Paneles Fotovoltaicos	15
6.3 Batería	20
6.4 Regulador	24
6.5 Diseño estructura metálica	28
6.5.1 Materiales	28
6.5.2 Dimensiones	28
6.5.3 Proceso	29
6.5.4 Observaciones	29
6.6 Viaje al mineral de Talca	30
<b>7. Conclusiones</b>	<b>31</b>
<b>8. Bibliografía</b>	<b>32</b>
<b>9. Anexos</b>	<b>33</b>
9.1 Esquema de arreglos de celdas en el Eolian prototipo	33
9.2 Catálogo celdas Sun Power	34
9.3 Resultados Diagnóstico de Descarte	35
9.4 Curvas de los tres arreglos del panel final	36
9.5 Curva panel final con simulador solar	39
9.6 Curva panel final	41
9.7 Posibles consumos	43
9.8 Características baterías Trojan	45
9.9 Presupuesto	46

# 1. Resumen Ejecutivo

Continuando una labor social emprendida por grupos anteriores, en este informe se trata la temática de la electrificación rural en el país, que va de la mano con el desarrollo y la masificación del aprovechamiento de energías renovables y su uso eficiente. Es por ello que se investiga un lugar que carece de energía eléctrica, llamado Mineral de Talca, ubicado en la IV Región, y se decide intervenir en él aportando con un sistema de celdas fotovoltaicas, que se obtiene a partir del primer auto solar de Chile, el Eolian prototipo.

Para llevar a cabo el proyecto, se investigó acerca del estado del arte en el mundo y en la región del lugar elegido, así como también acerca del funcionamiento de un sistema fotovoltaico.

En el informe se presenta un esquema con todos los componentes necesarios a ser usados en la instalación fotovoltaica:

- Los paneles fotovoltaicos, cómo se eligieron, cuáles usar, cómo se conectaron, cómo se interpretaron las curvas y obviamente lo buscado, qué potencia genera en su punto óptimo y qué cantidad de energía.

- Las baterías, cuáles usar, qué características poseen, cómo se prueban para conocer en qué estado están y cuál es la conexión más óptima para utilizar.

- El regulador, cuál se usó, qué funciones posee, cuál función se elegirá para usar y bajo qué criterios se seleccionó y no menos importante es contar cómo se configura para funcionar en dicho modo.

- La estructura metálica que soportará el panel, a qué altura se pondrá, qué forma tendrá, cómo se construyó y con qué materiales, se identificará claramente el proceso a seguir y los planos de la estructura.

Además se le dio una pincelada a un componente opcional de la instalación, tal como el inversor y qué se puede lograr con este.

Junto a todo esto, una reseña del viaje a Ovalle, contando los pormenores de la visita y dónde se identificaron a los posibles beneficiados con la instalación.

Concluyendo con un trabajo estructurado del proceso para la implementación de un panel solar como suministro de energía. Cuyo principal destino será iluminar las pequeñas construcciones de habitantes de la localidad rural ya mencionada.

## **2. Introducción**

### **2.1 Motivación**

En general, “Iluminar Chile, con energías renovables, limpias y perfectamente utilizables” es la consigna que mueve al grupo. Que algo tan básico para unos, sea alcanzado por todos. En la actualidad más del 90% de la población tiene acceso a la electricidad, pero aún un porcentaje no despreciable de chilenos no pueden prender una luz en la noche cuando van al baño. Una realidad cruda, hasta aterradora, pero que se puede revertir, ahí es donde entra “Iluminando País” un proyecto que quiere aportar su “grano de arena” para que paso a paso, se tenga un país con todos sus rincones iluminados, y que cada vez se masifique el uso de las energías limpias, incorporando estas como una realidad de la matriz energética chilena, todo dentro de un contexto mundial de cambio en torno a la producción de energía.

Chile no puede quedar atrás y acercar este tipo de iniciativas a la comunidad enaltece el nombre del país y de la Universidad de Chile, más si se trata de gente de escasos recursos con limitado acceso a las tecnologías. La comunidad esta ya al tanto de los problemas y su interes aumentará con proyectos como estos.

Es posible destacar la gran experiencia adquirida por los alumnos participante del proceso de realizar un proyecto tan complejo como este pero, esperando que con mucho esfuerzo se alcancen los objetivos planteados.

## 2.2 Alcance

Ayudar a que la gente de Mineral de Talca a que tenga más que electricidad para satisfacer las necesidades básicas, como iluminación o algún artefacto pequeño como una radio. Sería valioso aportar para que tengan una mejor calidad de vida. Esto se lograría aportando con energías para un refrigerador, una estufa para el invierno y, por qué no, un televisor. Aún mas, se puede aspirar a que las personas de la zona muestren un real interés y cuidado con las energías renovables y su uso, motivando a las municipalidades y gobiernos regionales a impulsar aún más al sector y su desarrollo mediante la donación de más paneles con más tecnología, para así mejorar la producción en la zona, evitando la migración a la ciudad, cuidando así la identidad de la región. Esto se puede lograr ya sea abasteciendo de electricidad maquinarias para producir a mayor escala, como por ejemplo, un congelador para guardar pescados. Todo eso es posible a largo plazo, pero ahora se debe pensar en el corto plazo, lo cual sería, continuar la iluminación y electrificación paulatina de la zona.

El grupo Iluminado País aportará con la causa pero, aún queda mucho por hacer y muchos lugares por ayudar, en especial escuelas y lugares públicos de las comunidades más alejadas y que tiene un nulo acceso al sistema interconectado central, el cual es de alcance limitado debido a sus costos de implementación. Esta realidad dura, debe aprovecharse para la expansión de las energías renovables, es un horizonte abierto a muchas posibilidades.

## **2.3 Objetivos**

### **2.3.1 General**

Se pretende aportar en el progreso de una localidad de la IV región, llamada Mineral de Talca, siguiendo con una línea de carácter ecológico, ético y social que se centra en el uso de energías renovables. De esta forma, se pretende mejorar la calidad de vida de esta comunidad, además se quiere demostrar que este tipo de tecnologías se puede utilizar en Chile, y es más, que se puede utilizar en los sectores socialmente más desfavorecidos y más apartados del país lográndose un aporte sustentable y enriquecedor para las personas y la nación.

### **2.3.2 Específicos**

- Investigar sobre la energía solar y su viabilidad en la zona costera de la IV región.
- Encontrar y elegir un lugar en donde exista la necesidad de energía eléctrica y diagnosticar una posible solución. Se visualiza como primera alternativa Mineral de Talca. Sin embargo, queda abierta la posibilidad de que se elija otro lugar.
- Construir un generador eléctrico que utilice la energía proveniente del Sol. Se hará uso de paneles fotovoltaicos del auto solar EOLIAN prototipo. En caso de no ser posible el profesor ofrecerá solución. Así mismo, se contará con un banco de baterías provenientes del laboratorio de energías renovables a cargo del profesor.
- Si las circunstancias lo permiten y la investigación es favorable, instalar el dispositivo construido. Aspectos considerados como críticos son: transporte, compromiso explícito de la comunidad.
- Los consumos a abastecer se limitan a iluminación.
- Se verá la posibilidad de abastecer consumos menores.
- Realizar encuesta para determinar detalles del proyecto.

### **3. Antecedentes Generales**

El proyecto se centra en la localidad rural de Mineral de Talca de la Comuna de Ovalle, ubicada en el sector costero a unos 50 Kms. de Ovalle.

Se tiene acceso directo a través de la Ruta 5 Norte o Doble Vía hasta el enlace Mineral de Talca (señalizado), siguiendo por camino de tierra en regular estado unos 7 Km. hacia el poniente.

En la zona existen unas 25 viviendas con una población aproximada a las 100 personas, dedicadas a labores de pesca artesanal, labores mineras y, en menor escala, a la crianza de ganado caprino. El Sindicato de Pescadores Artesanales del Mineral de Talca, es la organización que representa a la comunidad.



## 4. Estado del Arte

### 4.1 En el mundo

Durante gran parte de los años ochenta y principios de los años noventa el mayor mercado para los paneles solares estaba en las fuentes de alimentación para áreas remotas y algunos productos de consumo (relojes, juguetes y calculadoras). Sin embargo a mediados de los años noventa fue lanzado un importante esfuerzo para desarrollar paneles solares integrados en la construcción de edificios para ser conectados a la red. El tejado fotovoltaico actualmente está liderando el desarrollo del mercado en los Estados Unidos, Europa y Japón. Este último tiene actualmente un programa que apunta a construir 70.000 hogares solares para el año 2010. Sin embargo la tecnología evoluciona muy rápido cada día en los países europeos, asiáticos y EE.UU., en general en los lugares en donde han decidido invertir en la investigación, creando nuevo conocimiento. Siendo los líderes en la innovación avanzan rápido, creando diversas mejoras.

Como avances interesantes en el mundo podemos destacar la idea que tuvo el científico de Israel Dr. Pini Gurfil, consistente en “colgar” un grupo de globos de helio, uno encima del otro, atados con sogas, y forrados de paneles solares. La cuerda que los une y los conecta al suelo tiene dos funciones extras, la de llevar helio a los globos y la obvia de bajar la electricidad a tierra. También es destacable el proyecto de una empresa Suiza llamada Flisom, que está trabajando en una tecnología de fabricación de paneles solares consistentes en finas láminas flexibles (ver Fig. 1). El material de fabricación de estas láminas no es silicio, sino un material mucho más barato llamado CIGS (copper indium gallium selenide), que se fabrica por compresión de cobre, indio, galio y selenio. Estas láminas, al ser flexibles podrían ser utilizadas muy fácilmente en pequeños dispositivos como teléfonos móviles, ordenadores portátiles y vehículos.

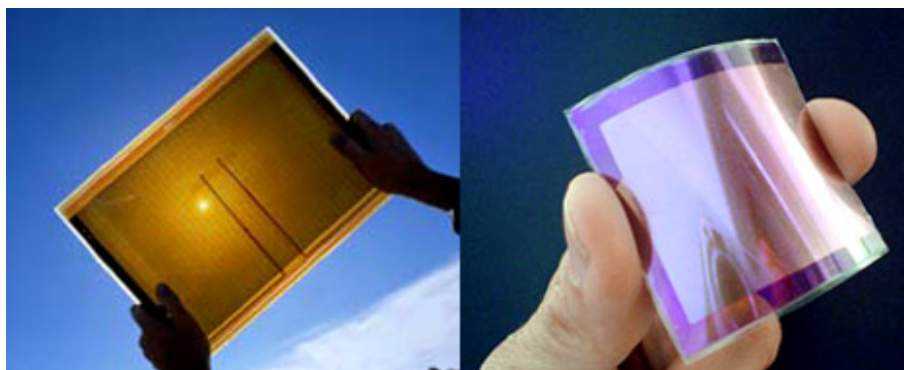


Fig. 4.1: Celdas de última tecnología

La industria ya hace preguntas del tipo: ¿Cuánta tierra necesitamos para instalar paneles solares suficientes para alimentar el mundo? Esta es la pregunta que se hacen desde la web inglesa electrosolar<sup>1</sup>, según sus cálculos, afirman que necesitaríamos solamente el área marcada en Australia (Fig. 2) para instalar paneles fotovoltaicos con

---

<sup>1</sup> <http://www.electrosolar.co.uk/>

el 10% de rendimiento para poder generar toda la energía necesaria para todo el mundo (incluido calefacción, transporte, etc.).

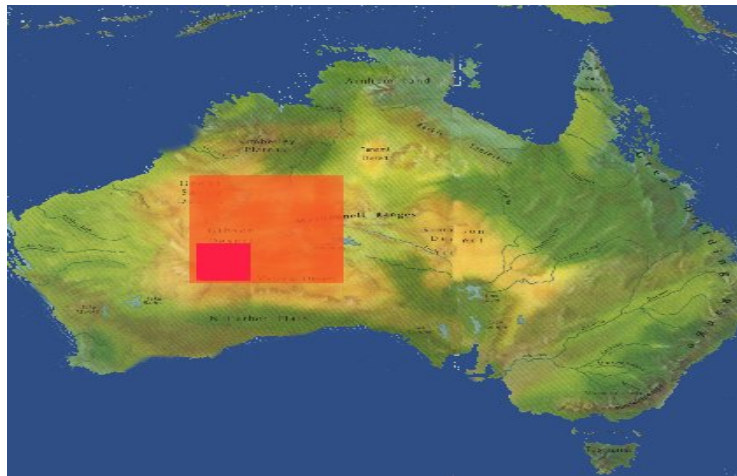


Fig. 4.2: Área necesaria de paneles solares para electrificar el mundo

Se ha hablado mucho sobre autos solares. Aunque con muchas ventajas de autonomía, uno de los problemas que tienen es el diseño, que no sigue ninguna regla de habitabilidad y ocupación interior. Una alternativa a esto podrían ser los vehículos eléctricos recargables mediante paneles solares que no ocuparía un área muy extensa. De esta forma se podría respetar el diseño estético de los vehículos y hacerlos más comercializables, como el de la figura 3.

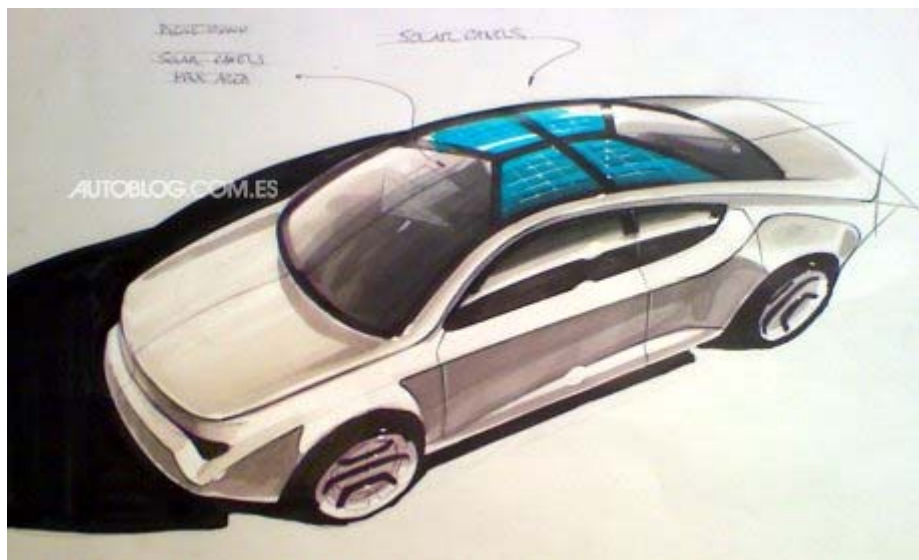


Fig. 4.3: Audi TT, versión solar.

Podemos decir a modo de conclusión, que hoy en día la tecnología apunta hacia poder hacer asequibles para todos los productos a base de la energías limpias. Sin embargo, el tema es el alto costo de los dispositivos de última generación. Los países

desarrollados como EE.UU., Canadá y países Europeos como Inglaterra, España, Francia, Alemania, Suecia, Holanda y Suiza ya están trabajando, ¿qué queda para Chile?

## **4.2 En la región**

En el marco del Proyecto “Remoción de Barreras para la Electrificación Rural con Energías Renovables” preparado desde el año 2001 por la Comisión Nacional de Energía, a través del Área de Electrificación Rural, con el apoyo del programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, el Gobierno Regional de Coquimbo y los Municipios de la Región, en Mineral de Talca, se instalaron 7 paneles en este sector, cada uno compuesto por:

### **1 Panel Fotovoltaico:**

Marca “Total”, Francia

100 W de potencia

Dimensiones de 70 x 150 cm. (4 x 9 celdas)

### **1 Regulador:**

Marca “Phocos”, Bolivia

Luces de control y alerta acústica

12/24 V, 20/20 A

CML 20

### **1 Batería:**

Marca “Sonnenheim”, Alemania

12 volts

100 Ah

Corriente de descarga de 10 A.

Corriente continua

Sellada

Gel

Libre de mantención

Además de la instalación interior de las viviendas (Cableado, 2 enchufes machos, 2 enchufes hembras, 2 interruptores, 4 lumínicas fluorescentes de 45 cms. de largo) se entregó, mediante talleres participativos, capacitación e información pre y post instalación de los equipos, a cada uno de las familias beneficiarias.

El año 2001 comenzó el “Proyecto de Electrificación Rural con Energías Renovables No Convencionales” financiado por el gobierno pero sólo el 2006 se instalaron los 600 paneles en la Región de Coquimbo, de los cuales llegaron 7 a la zona. El Estado subvenciona con \$10.000 mensuales para mantención a cada panel por los próximos 10 años. Cada 5 años se cambia de batería, cada 10 el regulador y cada 25 los paneles. Todo esto a cargo de privados, mediante una concesión que dura 10 años.

## **5. Soluciones propuestas**

Como se plantea en la motivación del proyecto, el uso de las energías renovables es un foco importante del propósito de este. Gracias a la tecnología hoy existente, esto se puede llevar a cabo de varias formas. Dentro de las posibilidades se podrían separar en dos grandes grupos los sistemas en base a la energía solar y los sistemas híbridos.

### **5.1 Sistemas híbridos**

Entre los disponibles se contaba con la realización de un dispositivo del tipo eólico-solar o uno motor-solar. Ambos traían serias complicaciones. El primero, de acuerdo a trabajos anteriores, no se tenía un potencial eólico importante directamente en la zona, si no 10 kms. hacia la costa, pero transportar la energía es muy costoso y trae pérdidas en la eficiencia.

La segunda opción iba contra los principios mismos del proyecto y su motivación, y por tanto fue descartado, a pesar de que se trata de un sistema bastante eficiente en términos del gran potencial de energía que puede generar.

### **5.2 Energía solar**

Ya que la Universidad de Chile facilitó materiales, era la solución ideal. Además, es sabido el gran potencial solar que presenta el norte de Chile por lo cual, era una alternativa óptima para las circunstancias que se encontraron en el lugar.

Como esta fue la alternativa tomada por el equipo, prácticamente desde un comienzo, se ha trabajado en la forma de usar el Eolian prototipo como panel solar. La energía solar, no requiere de gran complejidad para su mantenimiento salvo fallas del sistema. Esto es un beneficio a la hora de evaluar el nivel académico de los beneficiarios.

## 6. Material y método

### 6.1 Descripción General

Una instalación con componentes fotovoltaicos requiere necesariamente los siguientes elementos:

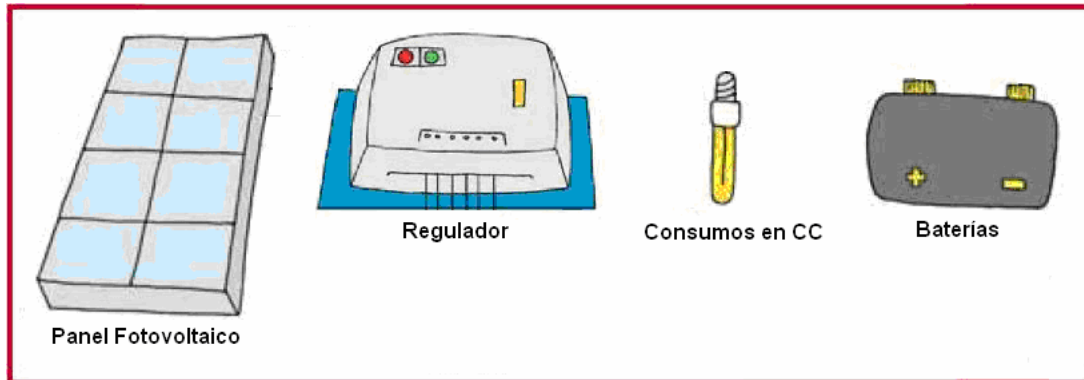


Fig. 6.1.1: Componentes necesarios<sup>2</sup>

Pero opcionalmente, si se genera una energía considerable con los paneles, se podrían agregar los siguientes elementos:

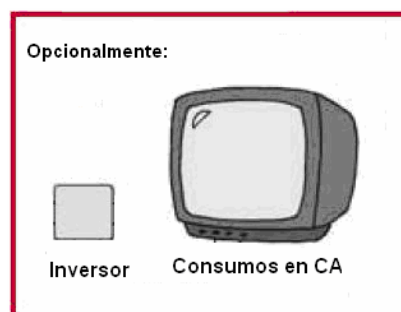


Fig 6.1.2: Componentes opcionales

En una simple descripción se resumen las funciones de cada elemento:

**Panel fotovoltaico:** Esta compuesto por celdas solares, transforma la radiación solar que llega a éste en energía eléctrica de corriente continua, para generar mayor energía se necesita una mayor área de celdas o celdas de tecnología más avanzadas.

**Baterías:** Permiten acumular la energía producida por los paneles en el día para ser usada en momentos en los cuales los paneles no generen lo suficiente para satisfacer el consumo energético, como por ejemplo en la noche o en días nublados.

<sup>2</sup> Para más información visitar [www.renovables-rural.cl](http://www.renovables-rural.cl)

**Regulador:** Pueden desarrollar distintas funciones como regularizar el flujo eléctrico entre el panel y las baterías, para evitar una sobrecarga de éstas, o regular el flujo entre las baterías y el consumo, para evitar una descarga profunda de éstas; ambos casos acortan considerablemente la vida útil de las baterías. También existen unos más avanzados (y por ende mas costosos) que realizan ambas funciones simultáneamente.

**Consumo en corriente continua:** El panel genera electricidad en corriente continua, por lo cual el consumo sólo se remite a ese tipo, lo cual es un rango de pequeño consumo. Dentro de esta clasificación entran mayoritariamente elementos de iluminación como focos fluorescentes o focos de LED, pero también existen televisores en blanco y negro y radios en corriente continua, no de la más avanzada tecnología.

Adicionalmente a estos elementos, se puede agregar el siguiente:

**Inversor:** Puede transformar la corriente continua en corriente alterna, con lo cual se abre una nueva gama de consumo que puede ser abastecida por los paneles, sin embargo tanto el inversor como los nuevos consumos en corriente alterna, piden mucha energía por lo cual sólo es recomendable agregarlos si el panel tiene gran capacidad.

## 6.2 Paneles Fotovoltaicos

Son los encargados de transformar la energía solar, que llega en forma de radiación solar, a energía eléctrica de corriente continua.

Cada celda solar tiene una curva de rendimiento de determinadas características dadas por el fabricante (La cual se puede ver en el Anexo 9.2), en el eje de las abscisas se encuentra el voltaje y en el de las ordenadas la intensidad. Para desplazarse en la curva se necesita resistencia; el punto de mayor intensidad se encuentra en la mínima resistencia y se llama punto de “cortocircuito”, el punto de mayor voltaje se encuentra en la máxima resistencia y se llama “circuito abierto”. La curva tiene forma de un cuarto de elipse horizontal.

Como el Eolian Prototipo ha sufrido diversas contusiones en sus pruebas de velocidad en el desierto, en su transporte y en su almacenaje, vale la pena pensar que las celdas que este posee no van estar con las mismas características que las indicadas por el fabricante, por lo cual se procedió a diagnosticar que celdas están utilizables y cuales desechables, para esto se hizo primero un análisis general en el cual se midió el circuito abierto de cada celda, se hizo una inspección visual y se midió la intensidad resultante con una ampolleta conectada a la red.

Los resultados, expuestos en el anexo 9.3, permiten concluir que los paneles:

- A, B, H, I, J no están en condiciones de ser utilizados.
- D, E, F, G están en regular estado.
- C, K están en perfecto estado.
- Las celdas del techo con hacer el análisis visual se descartan ya que las celdas están rotas, faltan, o son de mentira.

Todo esto es un análisis para poder descartar los arreglos defectuosos, ya que si una celda está rota o trizada y además tiene malo un punto, lo más seguro es que esté completamente mala, no así lo contrario, no podemos asegurar que una celda esté buena sólo porque tenga un punto de la curva bueno y tenga buena imagen visual. Para eso es necesario sacar la curva completa.

Con esto se podría pensar en utilizar el panel C y el K. Lamentablemente el presupuesto limita a tomar una decisión, ya que crear las estructuras metálicas para ambos paneles duplica el presupuesto, como el panel K ya está separado del resto y además tiene la mayor cantidad de celdas en estado “perfecto”, se decidió a utilizar exclusivamente éste.

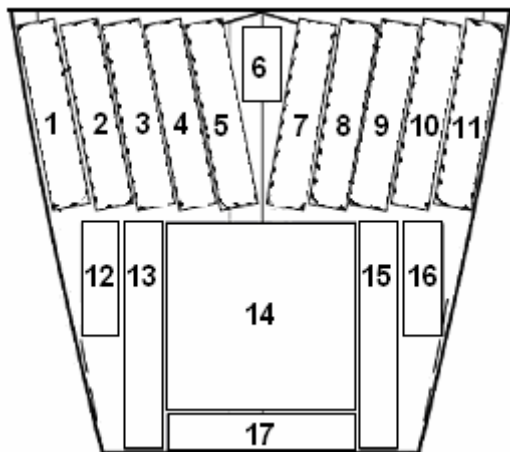
### Análisis Panel Pequeño (Panel K)

Antes de comenzar el análisis, vale la pena destacar algunas herramientas y conceptos utilizados:

- \* La tensión se refiere a voltaje y se mide en volts (V).
- \* La corriente se refiere a intensidad y se mide en amperes (A).
- \* Al unir celdas en serie a intensidad constante, se suman los voltajes.
- \* Al unir celdas en paralelo a voltaje constante, se suman las intensidades.
- \* A mayor resistencia, menor intensidad y mayor voltaje. Viene derivado de la formula  $Voltaje = Resistencia \times Intensidad$ .

- \* Potencia = Voltaje x Intensidad y se mide en Watts (W)
- \* Un panel es óptimo si genera la mayor potencia posible.
- \* Energía = Potencia x Tiempo y se mide en Watts-hora (Wh)

Ya descartados los demás paneles, el problema se reduce a buscar la mejor conexión para maximizar la energía del panel. Como restricción se tiene:



- Que la tensión debe ir entre 12 V y 125V, si se tiene un voltaje menor no se alcanza el umbral de carga de las baterías y estas no se comienzan a cargar, independientemente de la intensidad; si se tiene un voltaje mayor, el regulador falla.
- Que la corriente debe ser menor a 40 A, ya que un valor mayor produce una sobrecarga en el regulador, pero a la vez debe ser el mayor valor posible ya que así se reduce el tiempo de carga de las baterías.

Fig 6.2.1: Panel pequeño

Como realizar la curva de rendimiento de cada uno de los arreglos es un trabajo extenso, se procedió a imaginar que cada arreglo funciona como un arreglo ideal. Un arreglo ideal está conformado por celdas ideales en serie, por lo cual deberían dar la misma intensidad que una pero el voltaje del total.

Juntando esas restricciones, se encontraron dos posibles soluciones:

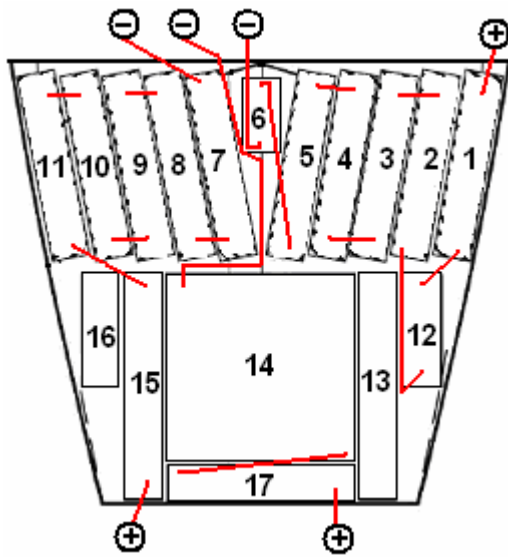
1. Formar 3 arreglos (1,2,3,4,5,6,12 // 7,8,9,10,11,15 // 14,17), cada uno compuesto por 30 celdas en serie y con una capacidad en su punto óptimo de 5,5 A y 16,5V. Luego unir esos 3 arreglos en paralelo formando uno mayor de 16,5 A y 16,5V.
2. Formar 4 arreglos (14 // 1,2,3,4 // 5,6,7,8,16 // 9,10,11,15 ) de aproximadamente 20 celdas cada uno y con una capacidad aproximada en su punto óptimo de 5,5 A y 13 V. Luego unir esos 4 arreglos en paralelo formando uno mayor de 22 A y 13 V.

Haciendo un simple cálculo para la potencia se tiene que la opción 1 genera 272,25 W y la opción 2, 286 W. Resultados muy similares, sin embargo la opción 2 idealmente genera 13 V lo cual es un valor muy cercano al umbral de carga de las baterías, suponiendo que las celdas existentes funcionen al 90% de las ideales, se obtendría una tensión de 11,7 V, lo cual está bajo el umbral y serviría para nada ya que las baterías no comenzarían a cargar y se estaría desperdiciando la potencia generada. Por lo tanto para asegurar que las baterías se carguen en todo momento, se elegirá la opción 1.



## Del ideal a la realidad

Ya teniendo elegida la opción, es hora de comenzar a hacer las conexiones reales, con lo cual el panel finalmente quedo:



\* Notar que esta es una vista inferior del panel, por lo cual la numeración ha quedado invertida con respecto al esquema anterior.

Fig 6.2.2: Conexiones

Las curvas reales obtenidas en las mediciones se pueden encontrar en el anexo 9.4. Como se puede apreciar el arreglo en mejor estado es el número 2, ya que tiene una curva con forma similar al arreglo ideal, por lo cual precisamente es el que tiene mayor potencia de los tres. Además cabe destacar que la intensidad de cada arreglo debería llegar a 5,5 A en cortocircuito y a 16,5 V en circuito abierto, pero en la realidad solo se llega a 1,5 A en cortocircuito (logrando los 16,5 V en circuito abierto), es decir, los paneles están funcionando a un 27% de la intensidad ideal.

¿Por qué puede ocurrir esto? Las posibles respuestas son que no se está en presencia de las condiciones climáticas ideales de temperatura, radiación y humedad; las celdas sufren una contractura interior que no permiten que funcione en su óptima condición...o simplemente, porque así lo dice el fabricante. Si se lee con detención las indicaciones de fabricación se aprecia que la eficiencia de los paneles estará arriba de un 21,7%, es decir, normalmente funcionan en un rango del 21,7% al 100% de las características óptimas, sin tener que presentar un malfuncionamiento.

Concluyendo, los tres arreglos funcionan dentro de rangos normales (Aunque ineficientes).

Luego de haber comprobado el estado de los tres arreglos, es hora de conectarlos y formar el panel final. Como se aprecia en la figura 6.2.2, la conexión final consiste en conectar los tres arreglos en paralelo, multiplicando así, la intensidad por 3 y dejando el voltaje constante.

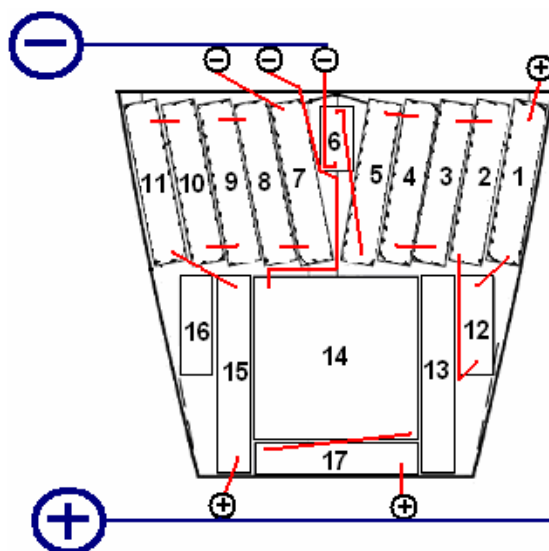


Fig 6.2.3: Conexión en paralelo para el panel definitivo.

Matemáticamente (e idealmente) el panel debería estar de acorde a los siguientes cálculos:

Arreglo	Voltaje	Intensidad
1	16,5	5,5
2	16,5	5,5
3	16,5	5,5

Al conectar en paralelo las intensidades se suman, generando un arreglo equivalente de:

	Voltaje	Intensidad	Potencia (V x I)
Arreglo Final	16,5	16,5	272,25

Ahí se tiene una referencia y a la vez tope máximo de lo que el arreglo podría producir.

Para realizar la curva de rendimiento final, se decidió a utilizar una herramienta creada por otro grupo, un simulador solar. Este simula perfectamente la radiación en cuanto al voltaje de un día soleado, no así lamentablemente la intensidad, por lo cual se está en presencia de un error sistemático, es decir, un error no aleatorio que desplaza las mediciones en una dirección. A pesar de tener un error en la medición, se puede obtener la curva, la cual se puede observar en el anexo 9.5. Lamentablemente ésta no sirve ya que posee un error.

Se tuvo que recurrir a medir la curva de rendimiento en un día aleatorio para observar cuánto genera el panel en un día normal sin condiciones ideales. Estos resultados se pueden consultar en el anexo 9.6, de con los cuales se llega a la siguiente conclusión:

La tensión y la corriente en un día representativo de invierno serán 14,86 V y 3,29 A respectivamente, con lo cual se alcanza una potencia representativa final de: 48,8894 Watts.

Ahora se puede seguir dos caminos, estimar la energía total en un día soleado y en un día de Invierno o consultarla en la tabla del final del anexo 9.6.

Estimación:

$$\begin{aligned}\text{Energía en invierno} &= \text{Potencia representativa Final} \times \text{Horas de sol en invierno} \\ &= 48,8894 \text{ W} \times 5 \text{ h} \\ &= 244,447 \text{ Wh}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Energía en verano} &= \text{Potencia representativa Final} \times \text{Horas de sol en verano} \\ &= 48,8894 \times 8 \text{ h} \\ &= 391,152 \text{ Wh}\end{aligned}$$

Sin embargo, la potencia en verano aumentará considerablemente, con lo cual se puede indicar que este valor de la energía es el ínfimo posible en verano, con un promedio superior en un 30% al menos, con lo cual la energía en verano quedará igual a 508,49Wh

De la tabla, con reajuste:

$$\begin{aligned}\text{Energía en invierno} &= 210 \text{ Wh} \\ \text{Energía en verano} &= 300 \text{ Wh}\end{aligned}$$

Lo que son valores similares, pero no se sabe en qué condiciones fueron estimados los datos de la tabla, por lo cual para futuros cálculos se usarán los estimados en esta sección.

Finalmente conociendo la potencia y la energía generada en las distintas estaciones, se puede proceder a estimar la demanda de energía a satisfacer, la cual está explicitada en el anexo 9.7

## 6.3 Batería

Las baterías cumplen una función fundamental en el diseño de un generador eléctrico fotovoltaico, ya que la energía capturada por las celdas de día no siempre se usa instantáneamente por lo cual se necesitan baterías que almacenen esta energía para ser usada más adelante, comunmente en la noche.

Naturalmente surge la pregunta: ¿Qué baterías utilizar?

Para los sistemas fotovoltaicos se necesitan baterías de uso cíclico, de descarga profunda y de 12, 24 o 28 V

Que sean de uso cíclico se refiere a baterías que se pueden descargar y recargar continuamente, descargar cuando el consumo sea muy alto y cargar cuando el consumo sea bajo y la radiación solar así lo permita.

Que sean de descarga profunda (o ciclo profundo) se refiere a baterías que pueden operar en ciclos largos, en los cuales se le demanda una entrega medianamente alta de corriente y por muchas horas. No así las baterías de partida, que entregan gran cantidad de corriente por un período corto de tiempo, esto no serviría ya que quemaría los artefactos de consumo y se podrían utilizar por un corto lapso.

Que sean de 12, 24 o 28 V se refiere a baterías que entregan dicha tensión durante la mayor parte de su ciclo, entregando un voltaje levemente mayor al estar completamente cargadas y un voltaje levemente menor al estar al borde de la descarga crítica.

Otra característica que debe ser mencionada es la capacidad. A mayor capacidad, mayor tiempo que puede estar la batería generando corriente a determinada tensión. En general, siempre es mejor tener baterías de mayor capacidad, sin embargo, esto influye en el costo de las baterías y en el tamaño y peso de éstas.

Adicionalmente se define:

- El borne de de la batería, como la salida metálica que ésta posee para conectar los hilos conductores
- El nivel de líquido, como la cantidad de líquido necesario por las baterías para funcionar, este debe estar sobre una marca dentro de las baterías. Normalmente las baterías pueden usar agua destilada para llenar el nivel.
- Un fusible, como un implemento de seguridad eléctrico, los fusibles están hechos de ciertos metales que se funden a intensidades muy altas, por lo cual van instaladas en alguna parte del cableado de lo artículos eléctricos, entonces en caso de un aumento inesperado de la intensidad, se quema el fusible y no el artículo eléctrico. Por su condición de desechable, los precios de los fusibles oscilan alrededor de los \$150.

## Selección de las baterías

Lo primero fue buscar baterías, gracias a la ayuda del profesor encargado se pudieron conseguir las baterías de ciclo profundo Trojan T105 de 6 V. Para mayor información de las baterías revisar Anexo 9.8.

Selección de la Tensión del Sistema	
<i><b>Demanda de Energía de c.a. ( Watts)</b></i>	<i><b>Tensión de Entrada al Inversor ( Volts c.c.)</b></i>
<1.500	12
1.500 – 5.000	24 ó 48
>5.000	48 ó 120

Fig 6.3.1: Tensión necesaria en función de la potencia

Se conoce que el consumo será de 12V en corriente continua (Correspondiente a iluminación, televisores y radios de 12V) y en el caso de utilizar un inversor, la corriente recomendada también es del mismo voltaje, ya que la potencia generada sería menor a 1500 Watts, según lo observado en la figura 6.3.1

Ya elegido el voltaje a usar es necesario construir una batería equivalente usando las baterías existentes. Para esto se usaron las siguiente nociones:

- \*Al conectar baterías en serie, el voltaje suministrado aumenta. (Fig 6.3.2)
- \*Al conectar baterías en paralelo, la capacidad (En Ah) aumenta. (Fig 6.3.3)
- \*Al conectar en paralelo dos grupos de dos baterías en serie cada una, se aumenta simultáneamente la capacidad y la tensión. (Fig 6.3.4)

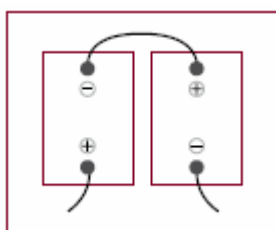


Fig 6.3.2

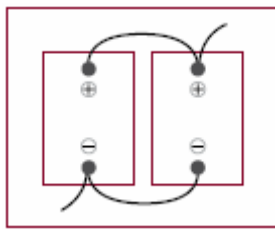


Fig 6.3.3

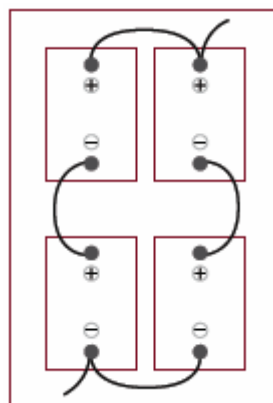


Fig 6.3.4

Ya seleccionadas teóricamente la conexión de las baterías, es hora de buscar realmente las baterías a utilizar.

El número total de baterías testeado por el grupo, consistió en un espacio muestral de 12 baterías. De esas fueron elegidas 6 para testear; la selección consistió en descartar ya que:

- \* 2 baterías no tenían los bornes en buen estado; una por una reacción química y falta de limpieza y la otra por la falta de un borne.
- \* 2 baterías no tenían el nivel de líquido necesario.
- \* Las últimas 2 se descartaron por su aspecto exterior.

Ya teniendo la pre-selección lista para encontrar las 2 candidatas finales, se procederá a una selección con términos más regurosos, la cual consiste en los siguientes pasos:

- 1.- Cargar las baterías hasta su tope y ver si llegan a 6,37V las baterías de 6V o a 12,73V las baterías de 12V (Valor por fabricación, ver Anexo 9.8)
- 2.- Empezar a descargarlas a un ritmo de 10 A, como idealmente las baterías deberían tener 220Ah, entonces se deberían descargar en 22 horas. Si se descargan en un tiempo considerablemente menor, estarán defectuosas.

Para estas pruebas se numeraron las baterías del 1 al 6 y para hacerlo un proceso más rápido, se probaron de a pares, es decir, como si fuesen baterías de 12V.

Para esto se consiguió un cargador de baterías en el laboratorio de energías, desafortunadamente tenía mal instalado el fusible, ya que requería uno de 40 A y tenía puesto uno de 20 A, el cual estaba quemado. Razón por la cual se tuvo que ir a San Diego, específicamente a tiendas automotrices, a comprar fusibles de 40 A.

Ya instalado el fusible se procedió a cargar las baterías, procedimiento que se realiza en paralelo. Una batería se descarga conectándole consumos en serie y se carga conectándole el cargador en paralelo (Para hacer el proceso inverso). Si se conecta el cargador de batería en serie con las baterías, el fusible se quema ya que se produce algo parecido a tratar de descargar las baterías con el cargador, cuestión ilógica.

Con este procedimiento de carga se llegó a que:

Conjunto de baterías	Voltaje al 100% de la carga
1-2	13,58
3-4	12,45
5-6	Malfuncionamiento

Al cargar baterías, es normal que se escuchen borbotos en su interior, lo que no es normal es que hierva por dentro y empiece a expeler gases y líquidos en cantidad, caso ocurrido con las baterías 5-6, por lo cual fueron descartadas.

Para comenzar el segundo paso, la descarga, se necesitó una resistencia y un poco de teoría. Primero que una batería nunca se puede descargar a mayor intensidad que el 10% de su capacidad total, ya que se reduciría la vida útil de las baterías dramáticamente, por lo cual las baterías no se podía descargar a más de  $0,1 \times 220 \text{ Ah} = 22 \text{ Ah}$ . Para asegurarse el grupo quiso descargarlas a 10 A .

Para descargarlas a 10 A, se manipula la fórmula  $V=RI$  dejándola como  $R=V/I$ , la tensión de las baterías es 12V y la intensidad que se quiere es de 10 A, con lo cual la

resistencia buscada fue de 1,2 Ohm. Para esto se usó un artefacto muy simple, una resistencia consistente en un alambre enrollado en un metal, que disipa la energía como calor (Equivalente a una estufa). A mayor número de vueltas mayor resistencia, con esto se buscó el número de vueltas en el cual el multitester marcara 1,2 Ohm y se procedió a conectarla al par de baterías (No importa en qué sentido se conecte la resistencia, funciona de positivo a negativo y viceversa). Con esto se comenzó a descargar las baterías; los resultados en la tabla de la próxima página.

	Conjunto 1-2			Conjunto 3-4		
Tiempo transcurrido (horas)	Voltaje sin resistencia	Voltaje con resistencia	Intensidad	Voltaje sin resistencia	Voltaje con resistencia	Intensidad
0	13,58	10,98	9.02	12,45	11.85	10
1	-----	-----	-----	12.12	11.59	9.65
2	11,15	10.85	8.6	12.1	11.56	9.45
3	-----	-----	-----	11.98	11.44	9.26
5	11,07	10.73	8.67	11.75	11.14	8.95
7	-----	-----	-----	9.9	8.97	7.55
22	9,68	-----	3.5	4.8	3.68	3.21

Las baterías 1-2, al haber transcurrido las 22 horas, se descargaron hasta un 80,67% de su capacidad, lo que está justo en el límite de descarga que es el 80%, por lo cual están en buen estado.

Como se aprecia, el conjunto de baterías 3-4 cayó peligrosamente en su voltaje en las últimas horas, lo cual no debió haber pasado, llegando a un 40% de su capacidad, lo que se interpreta como un malfuncionamiento de las baterías.

Ya finalizadas las pruebas podemos anunciar que las baterías en buen estado son únicamente (y lamentablemente) la 1 y 2.

En cuanto al consumo de voltaje se comporta de buena manera, es hora de ver si lo está la capacidad. Diariamente los paneles están generando a lo sumo 400 Wh en verano, por lo cual tenemos que ver si las baterías tienen la capacidad de almacenar esa energía. Como el conjunto de baterías está unido en serie, la capacidad total se mantiene en 220 Ah, multiplicando eso por los 12 V que tienen de tensión, nos da un total de capacidad de 2640 Wh ( $A \times V \times h$ ). Por eso podemos asegurar que las baterías aguantarán hasta 6 días de carga seguida (Suponiendo un consumo nulo), para almacenar y ser usado posteriormente. La capacidad cumple de sobremanera las expectativas.

## 6.4 Regulador

Existen de diversa índole en el mercado, pero el conseguido por el grupo fue el modelo C40 de la compañía Trace Engineering, con posibilidad de multifunción. El regulador se conoce que está en buen estado, sólo es necesario programarlo en la función necesaria.

### 6.4.1 Selección

Existen las siguientes funciones:

#### Modo de regulación de cargas fotovoltaicas

El regulador va ubicado entre la matriz FV y las baterías (Fig 6.4.1), puede regular hasta 60 A de corriente de la matriz fotovoltaica a 12, 24 o 28 V, (A usar sería el de 12 V) para cargar las baterías. Si la salida de la matriz FV aumenta por encima del nivel de amperaje nominal debido a la reflexión en las nubes, el regulador seguirá funcionando mediante un disipador que aumentará de temperatura hasta llegar a una temperatura máxima de funcionamiento seguro. En este punto el regulador reduce la corriente y refrigera los transistores. Si la corriente llega a 85 A, el regulador se desconectará para proteger la circuitería y se rearmará automáticamente transcurridos 10 minutos (Si el amperaje sigue alto, lo intentará en 10 minutos más)

El regulador realiza un ciclo rápido de activación y desactivación de la fuente de corriente para controlar la corriente y la tensión de la batería, protegiéndola de una sobrecarga de voltaje o amperaje. También hace que el panel fotovoltaico trabaje en su punto de óptima eficiencia.

Durante la noche desconecta automáticamente el panel FV ya que como la batería está cargada y el panel no está produciendo corriente se podría producir una fuga inversa de corriente, descargando las baterías.

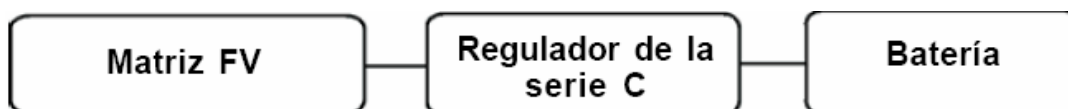


Fig 6.4.1.1: Ubicación del regulador en modo de regulación de cargas fotovoltaicas.

#### Modo de derivación de cargas

El regulador va ubicado entre la batería y un consumo de volcado (Fig 6.4.2).

Este modo se debe usar para fuentes de energías alternativas como eólica o hidroeléctrica, no así los sistemas que usen matrices solares. El funcionamiento en este modo consiste en traspasar el exceso de carga y corriente que produzca el generador y el cual no pueda ser guardado por la batería; es una carga y corriente un poco más alta e inestable que lo normal, por eso el consumo de volcado debe ser principalmente elementos calefactores del tipo resistivo como calefactores de agua, pero no bombillas para iluminación o motores. Este modo no serviría en el sistema deseado. Por lo cual será descartado.



Fig 6.4.1.2: Ubicación del regulador en modo de derivación de cargas.



### Modo de regulación de cargas de corriente continua

El regulador va ubicado entre la batería y un consumo de corriente continua (Fig 6.4.3). Este modo controla que no se produzcan daños en la batería por exceso de descarga durante los períodos de climatología adversa o de exceso en la demanda de cargas, El regulador provoca la desconexión de las cargas de corriente continua durante 6 minutos una vez que la tensión ha caído por debajo del valor de ajuste de desconexión por baja tensión. Las cargas se vuelven a conectar automáticamente (o manualmente) cuando la tensión de la batería sobrepasa el valor de desconexión por baja tensión durante 6 minutos.

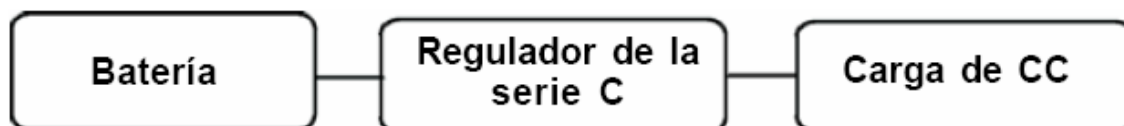


Fig 6.4.1.3: Ubicación del regulador en modo de regulación de cargas de corriente continua

Finalmente se está en el siguiente dilema:

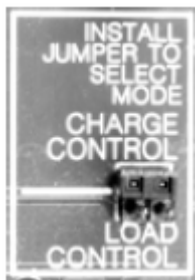
¿Se ubica el regulador entre las baterías y el consumo, protegiendo una posible descarga? O ¿Se ubica el regulador entre la matriz fotovoltaica y las baterías, protegiendo una posible sobrecarga?

Los cálculos hechos en este informe, siempre fueron aproximados a las peores situaciones, así también los posibles consumo del anexo 9.7. Por lo cual, si se elige uno de esos consumos, es mucho más probable que la energía diaria consumida sea menor a la energía diaria producida, con lo cual las baterías diariamente estarían recibiendo más carga que descarga, por eso es sensato pensar que diariamente estarán mas cerca de la sobrecarga que de la descarga crítica. Este análisis permite concluir que el regulador debería ir en modo de regulación de cargas fotovoltaicas.

NOTA: Por esta elección, será necesario enseñar a los beneficiados a tener un consumo prudente y de acuerdo a los límites propuestos ya que no existirá un regulador que administre la carga. Los propios reguladores deberán ser ellos.

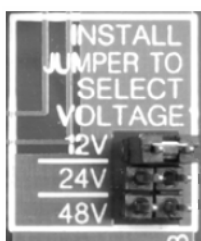
## 6.4.2 Configuración

Ya seleccionada el modo, es hora de configurarlo<sup>3</sup>. Los datos e imágenes expuestos a continuación fueron extraídos del manual de usuario referente a baterías de 12V en modo de regulación de carga fotovoltaica.



Instalar el jumper en “Charge Control”, para que el regulador funcione en modo de regulación de cargas fotovoltaicas

Fig 6.4.2.1: Selección de modo



Instalar el jumper en “12 V”

Fig 6.4.2.2: Selección de tensión



Las baterías Trojan permiten una ecualización automática, por lo cual hay que instalar en jumper en “Auto” (No como la figura)

Fig 6.4.2.3: Selección de ecualización



Bulk es la tensión máxima en la cual, si se sobrepasa el valor, el regulador desconecta el panel FV. En este caso, se debe colocar en 14.1 por indiación del manual

Float es una etapa de la carga de las baterías en la cual éstas se cargan a un ritmo menor que la máxima tensión, se debe colocar en 13,6 por indiación del manual.

Fig 6.4.2.4: Selección de BULK y FLOAT

<sup>3</sup> Para conocer como configurar los otros modos, visitar [www.traceengineering.com](http://www.traceengineering.com)

Finalmente se establecen las conexiones como las indicadas en la figura 6.4.2.5, recordar que los cables deben ir bien sujetos en los bornes pero no tan apretados ya que una alta presión puede provoocar un desperfecto.

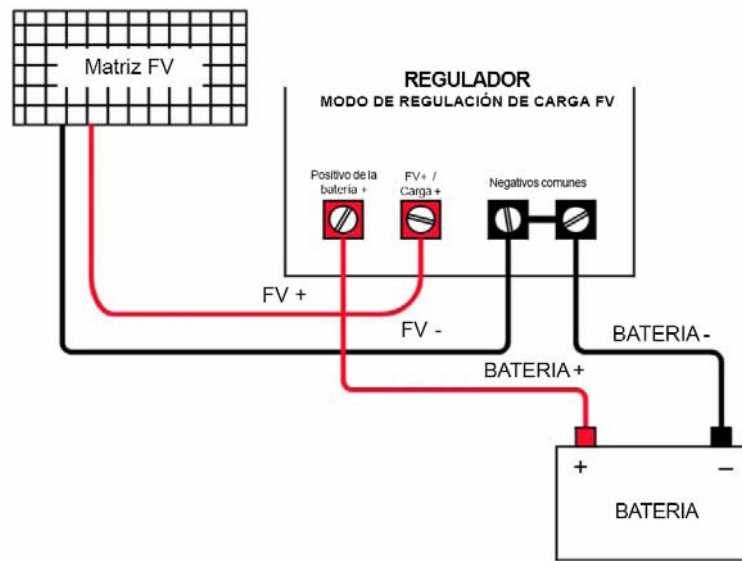


Fig 6.4.2.5: Diagrama de conexiones entre panel FV, regulador y baterías

Para el cableado entre las conexiones se usó cable del tipo 8 AWG, hecho de múltiples fibras. La razón es porque entre más fibras más intensidad de corriente pasa, lo cual es mejor ya que así las baterías se cargarán más rápido que usando un cable del mismo grosor pero de una fibra.

## 6.5 Diseño estructura metálica

Para dar firmeza, estabilidad y poder elevar el panel a la altura y en el ángulo deseado se desarrollo una estructura metálica a base de acero, la cual se detalla en este capítulo. Se trata de un diseño que se adapta a la forma del panel utilizado, similar a la forma de un trapecio y unido mediante pernos.

### 6.5.1 Materiales

Se ocuparon tubos rectangulares de 20x20x1 para la estructura y pernos de diámetro y largo. Mientras que el tubo circular, el cual posteriormente se enterrará, tenía diámetro 2 ½ pulgadas y 1,5 milímetros de espesor. También se ocupó una plancha de acero de dimensiones 240x150x3. Los ángulos ocupados fueron 6 y se encuentran entre la plancha y la estructura central del sistema. Gracias a estos dispositivos se pueden unir el panel al suelo consiguiéndose una altura suficiente y la inclinación necesaria, 20° en la zona norte de Chile, en dirección norte. Según el manual de Renovable-Rural.

### 6.5.2 Dimensiones

Todas las dimensiones están en la figura. Como se trata de un diseño que necesitaba adaptarse a lo que había, fue un tanto complejo su construcción.

La soldadura fue a gas, en este caso oxígeno. La cual consiste básicamente en fundir un material aporte, el cual fue estaño, para producir la aleación de las componentes a pegar.

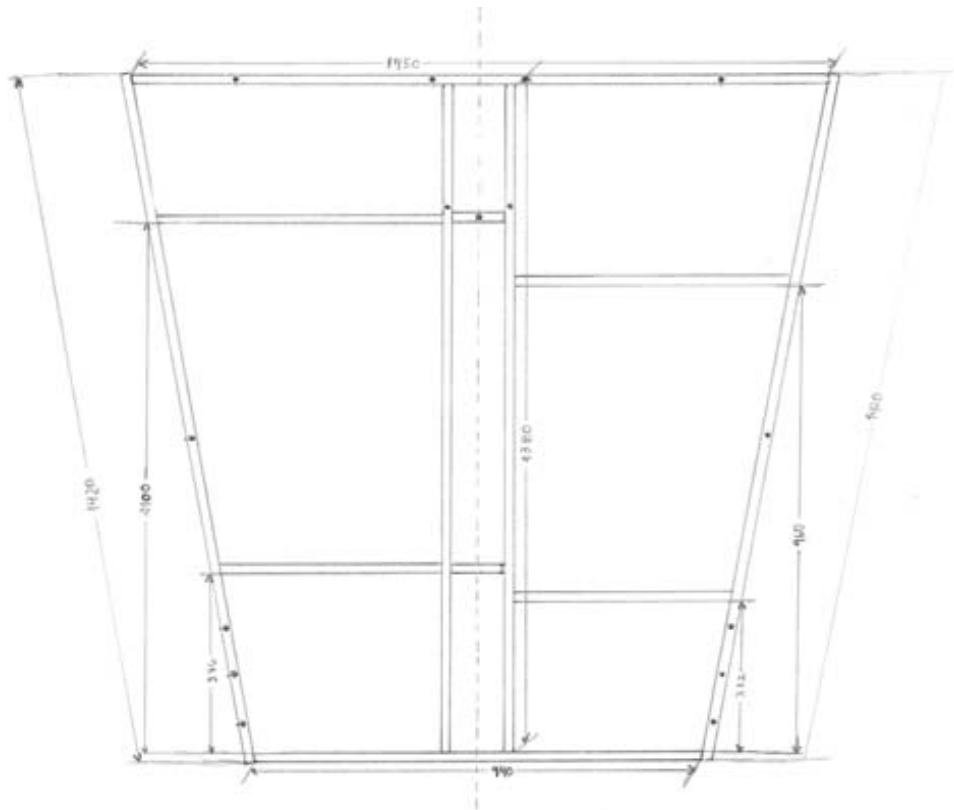


Fig. 6.5.2.1: Estructura bajo el panel.

### **6.5.3 Proceso**

- Primero, se diseñó a grandes rasgos lo que se necesitaba pensando en la forma irregular del panel y en los requerimientos. Se consideró la masa, la altura a la que se debía manipular el panel y las condiciones medioambientales que enfrentaría.
- Con los materiales ya consultados, se describió con más detalle lo que se quería obtener.
- Se compraron los materiales.
- Se procedió a dimensionar los distintos elementos. Los tubos rectangulares se adquirieron como dos elementos de 6 metros cada uno, mientras que el tubo circular era de 3 metros.
- Una vez dimensionado y ubicados en sus respectivas posiciones, se procedió a unir el sistema mediante la soldadura a oxígeno. Debido a las altas temperaturas y a los errores propios del corte y medición de un material, los resultados se observaron nuevamente y se pensó la adaptación del conjunto.
- Obteniendo la forma deseada se revisó minuciosamente las uniones mediante pernos de las distintas partes del dispositivo; el panel, la estructura y el tubo que se enterrará se unieron.
- Luego se pintó con anticorrosivo para finalmente, unirlo y obtener la estructura metálica deseada.

### **6.5.4 Observaciones**

El conjunto está pintado con anticorrosivo de color negro para poder utilizarlo a la intemperie y en condiciones poco favorables respecto a la humedad propia del lugar. La resistencia propia del metal, el acero, es suficiente para los requerimientos del sistema.

## 6.6 Viaje a Mineral de Talca

El día martes 20 de mayo del 2008 en la madrugada, se inició el viaje desde el Terminal Alameda de Santiago, para estar llegando a Ovalle a las 6:00 de la mañana. Luego de esperar un tiempo, se procedió a visitar la Ilustre Municipalidad a primera hora. A las 9:00 en este lugar se reunió con Fernando Joo, encargado de la Unidad de Electrificación Rural en la zona. Él, con muy buena disposición facilitó el transporte para poder llegar a Mineral de Talca. Luego se conversó con Ángelo Montaña, jefe del SECPLAN, secretario de planificación (Departamento de Proyectos), quién habló de la situación actual de la comunidad en cuestión, e hizo saber que la gente de ese lugar trabaja según las condiciones del momento, variando estas entre la minería a pequeña escala, la pesca y pequeños ganados caprinos. Luego de esto se emprendió viaje a Mineral de Talca. Hay que destacar que fue Fernando Joo quien llevó y acompañó al grupo durante todo el trayecto a este lugar y de vuelta a Ovalle. En el camino el Sr. Joo comentó sobre cómo se había desarrollado el proyecto gubernamental de electrificación en la región, dando a conocer que a pesar de las centrales eólicas que están ya en funcionamiento, no se ha podido terminar con la escasez de energía en todos los sectores rurales de la zona, pues estas centrales tienen prioridad llegar a la red central de energía.

Una vez llegado a Mineral de Talca se conversó con el Presidente del Sindicato de Pescadores del lugar, Don Severino Vega, ya que en la zona no existía junta de vecinos. El contó que todas las casas que poseían electricidad en la zona tenían el mismo sistema de paneles fotovoltaicos, por lo cual, revisando la instalación en su hogar, se podría conocer el sistema de todo el sector. Hecho eso, se procedió a buscar que casa necesitaba más ayuda, dado que el lugar que se había pensado abastecer, el sitio de reunión de los pobladores, ya estaba con paneles fotovoltaicos. Finalmente se seleccionó la vivienda más grande aún sin iluminación, ya que en ella también residía la familia más grande de la comunidad. Se hicieron también bosquejos del lugar y toma de fotografías, para no perder ningún detalle. Hecho esto, se concluyó el trabajo en la zona. Sin embargo, para ir aún más allá en las fronteras del conocimiento y estar al tanto del alcance de las energías renovables en la zona, el grupo fue a visitar la escuela de Alcón Bajo, lugar dónde gracias al aporte del gobierno, de la municipalidad, del director y de los apoderados, se tenía educación bajo el alero de la energía renovable, ya que el computador y la totalidad de la iluminación funcionaba con energía solar. Lo único que requería un motor en base a diesel era el refrigerador. Aquí se conversó con la gente para conocer cómo se llegó a todo eso y conocer su experiencia. Después de estar un tiempo en este lugar se procedió a partir de vuelta a Ovalle, lugar donde Fernando Joo dejó al grupo en el terminal de buses para poder volver a Santiago.

## 7. Conclusiones

El panel fotovoltaico final, consistió en el arreglo pequeño del Eolian. Este generó una potencia total de 48,8894 W en un día promedio de invierno con lo cual se genera bastante energía como para satisfacer consumos básicos de iluminación en invierno y consumos básicos de iluminación en verano más una radio y un televisor en blanco y negro de 12 V.

Se construyó una estructura metálica capaz de soportar el panel y dejarlo a una altura de 2,5 metros, en dirección al sol.

Se probaron los diferentes componentes para la instalación con paneles fotovoltaicos y se llegó a que existen y están funcionando correctamente todos los elementos necesarios para implementar el panel.

La implementación se postergó ya que; llevarla a cabo sobrepasa excesivamente el presupuesto inicial, es un trabajo que necesita análisis en terreno y que demanda un nuevo grupo a constituirlo ya sea por la confección de un manual de usuario, la capacitación a las personas, la instalación en el lugar, entre otros.

El abastecimiento a base de energía solar es una solución viable para al menos la zona de la IV región, y es absolutamente necesario que esta llegue a las personas más necesitadas lo más pronto posible.

El grupo está satisfecho con el trabajo ejecutado, en donde este pudo apreciar las distintas complicaciones propias de un proyecto de gran valor. Se llevan consigo una gran experiencia.

A modo de conclusión del proyecto se puede decir que la tecnología es una solución muy interesante en consideración al panorama del país, pero el financiamiento sigue siendo un problema importante para este tipo de iniciativas. Respecto a la fabricación, es viable pero se debe contar con la información y el conocimiento apropiado, lo cual no es menor, considerando que estas tecnologías están en pleno desarrollo.

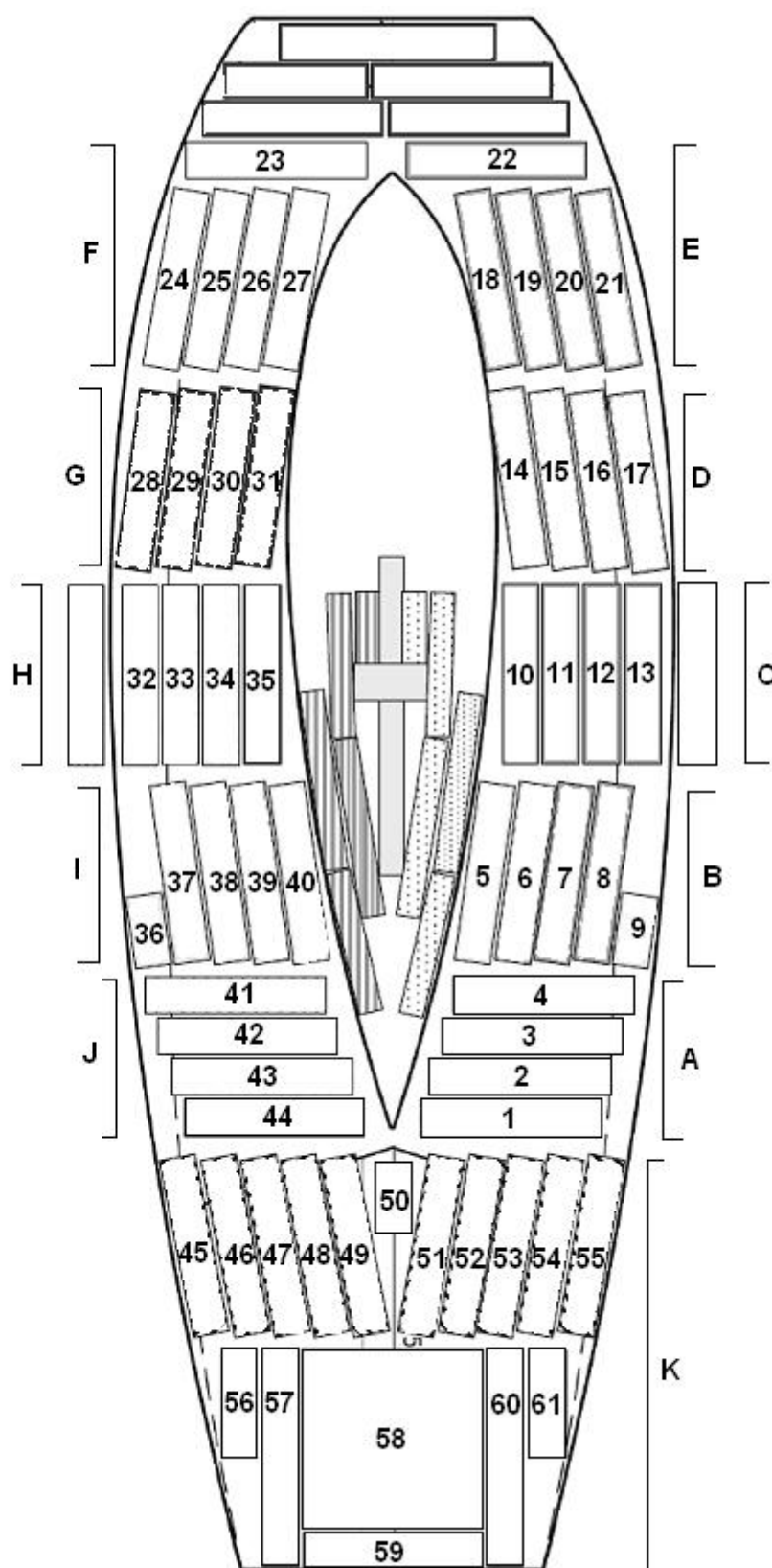
## **8. Bibliografía**

- [www.renovables-rural.cl](http://www.renovables-rural.cl)
- [www.cne.cl](http://www.cne.cl)
- Manual para Usuarios, proyecto CHI/00/G32, Remoción de las barreras para la electrificación rural con estrategias renovables.
- <http://www.textoscientificos.com>
- <http://erenovable.com>
- [http://www.renovables-rural.cl/tecnologias/fr\\_tecnologias.html](http://www.renovables-rural.cl/tecnologias/fr_tecnologias.html)
- <http://www.cne.cl/>



## 9. Anexos

### 9.1 Esquema de arreglos de celdas en el Eolian prototipo



## 9.2 Catálogo celdas Sunpower

SUNPOWER

### A-300 SOLAR CELL MONO CRYSTALLINE SILICON

#### Physical Characteristics

Construction:	All-back contact
Dimensions:	125 mm x 125 mm - nominal
Thickness:	270 $\mu\text{m} \pm 40 \mu\text{m}$

#### ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF TYPICAL CELL AT STANDARD TEST CONDITIONS (STC)

STC is defined as: irradiance of  $1000\text{W}/\text{m}^2$ , spectrum AM 1.5g and cell temperature of  $25^\circ\text{C}$

Open Circuit Voltage:	0.670 V
Short Circuit Current:	5.9 A
Maximum Power Voltage:	0.560 V
Maximum Power Current:	5.54 A
Rated Power:	3.1 W
Efficiency:	Up to 21.5 %

#### Temperature Coefficients

Voltage:	-1.9 mV / $^\circ\text{C}$
Power:	-0.38 % / $^\circ\text{C}$

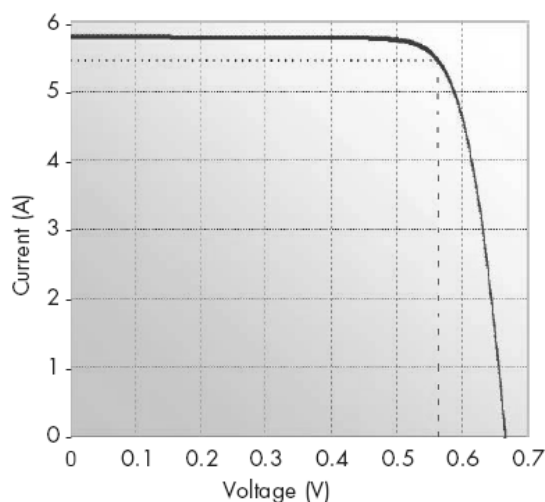
#### ATTRIBUTES

- High efficiency reduces module assembly and system installation costs
- Uniform front appearance - no contact grid
- Back contact design simplifies circuit assembly
- Lower temperature coefficient improves energy delivery

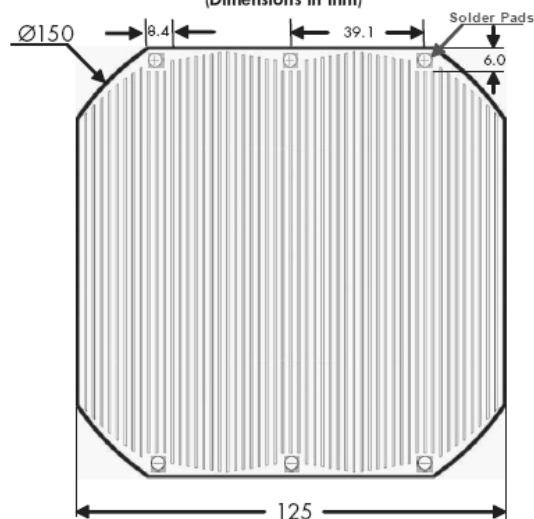
#### PACKAGING

- Cells are packed in boxes of 1000 each; grouped in shrink-wrapped stacks of 50 with interleaving
- Twelve boxes are packed in a water-resistant "Master Carton" containing 12,000 cells suitable for air transportation

A-300 CELL PERFORMANCE - TYPICAL I-V CURVE



CELL BACKSIDE VIEW  
(Dimensions in mm)



© March 2005 SunPower Corporation. All rights reserved. Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.

Docuement#: 70-0006 Rev04

SunPower Corporation®  
1.877.786.0123 Email: sales@sunpowercorp.com www.sunpowercorp.com  
A Subsidiary of Cypress Semiconductor

### 9.3 Resultados Diagnóstico de Descarte

Arreglo	Inspección Visual	Circuito Abierto	Intensidad	Arreglo	Inspección Visual	Circuito Abierto	Intensidad
1		2.96	0.3	32		3	0.26
2	Sin Celda	SS	SS	33		2.95	0.29
3	Sin Celda	0	0	34		0	0
4		0	0	35		2.96	0
5		0	0	36	Con Hoyo	1.1	0.21
6		2.92	0.3	37	Sin Celda	0	0
7		2.97	0.29	38	Con Hoyo	2.93	0.3
8		2.91	0.3	39		2.97	0.3
9	Sin Celda	SS	SS	40		2.92	0.3
10		3	0.3	41		0	0
11		3	0.3	42		2.92	0.3
12		2.99	0.3	43		2.87	0.2
13		2.91	0.3	44		2.91	0.3
14		2.5	0	45 (1)		2.93	0.3
15		2.95	0.3	46 (2)		3	0.3
16		2.91	0.3	47 (3)		3.05	0.31
17		2.89	0.3	48 (4)		3.04	0.28
18	Trizada	2.96	0.25	49 (5)	Perfecto	3.07	0.31
19		2.98	0.3	50 (6)		1.2	0.22
20		2.96	0.3	51 (7)	Perfecto	3.06	0.31
21		2.93	0.27	52 (8)		3.07	0.3
22	Con Hoyo	SS	SS	53 (9)		3.03	0.3
23		2.88	0.3	54 (10)		3.02	0.3
24		2.94	0.3	55 (11)		2.94	0.3
25		2.98	0.3	56 (12)		1.79	0.25
26		2.98	0.3	57 (13)	Sin Celda	0	0
27	Trizada	2.94	0.3	58 (14)	Perfecto	15.18	0.65
28		2.87	0.3	59 (17)	Perfecto	2.9	0.3
29		3.01	0.3	60 (15)		3.59	0.32
30	Con Hoyo	2.98	0.3	61 (16)		1.77	0.25
31		3	0.3	SS: Celda Sin Salida			

\* “Trizada”, se refiere a que en el arreglo hay al menos una celda con una trizadura grave.

\* “Con Hoyo” se refiere a tener una celda con una perforación de más de 30 mm de diámetro.

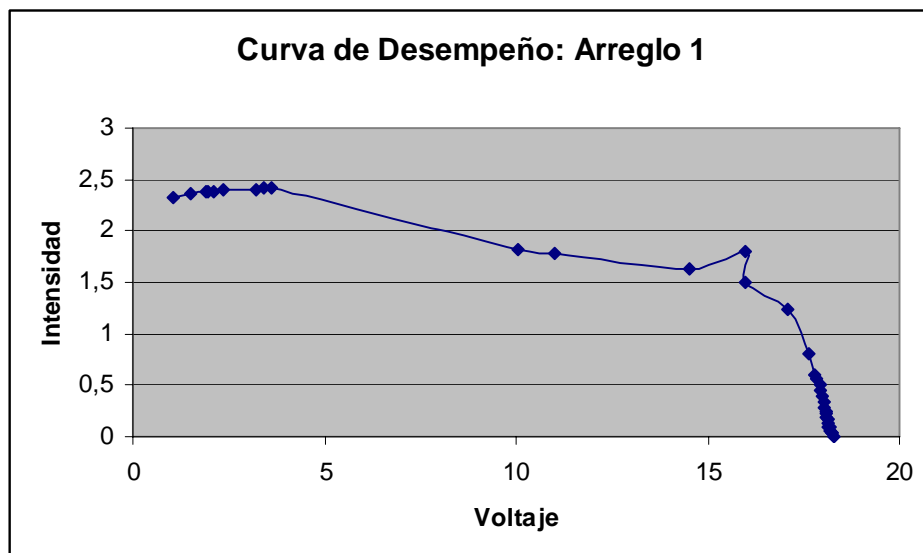
\* “Sin Celda” se refiere a que en el arreglo falta al menos una celda.

\* “Perfecto” se refiere a los arreglos soldados al panel, los cuales se mantienen más limpios y con más resistencia a la presión perpendicular.

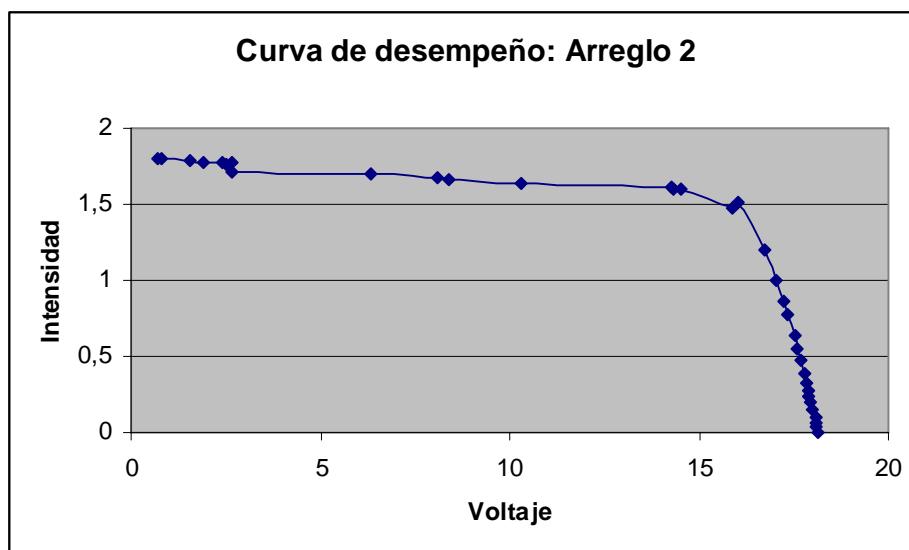
Los números entre paréntesis ubicados en los arreglos del 45 al 61, equivalen a los números usados en la página 15: Análisis del Panel Pequeño.

## 9.4 Curvas de los tres arreglos del panel final

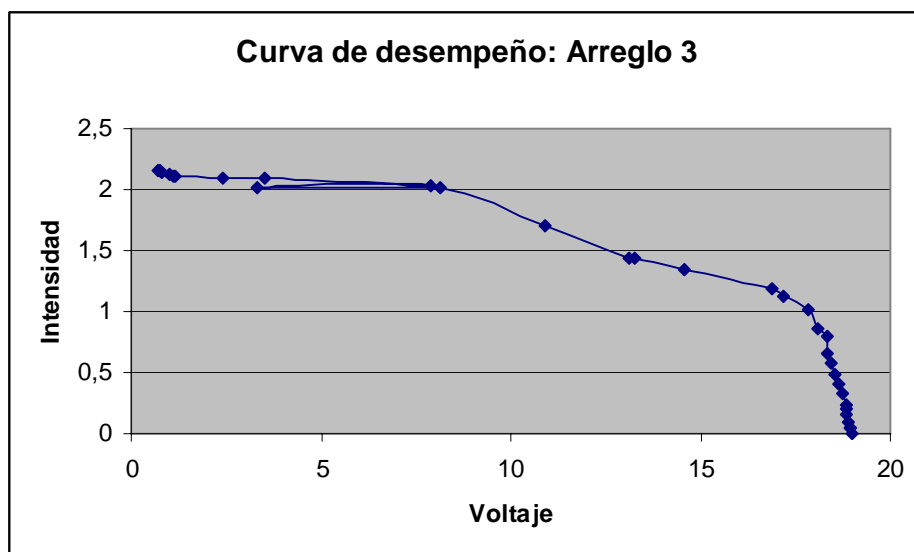
Gran Arreglo 1: Correspondiente a arreglos 1,2,3,4,5,6,12				
Voltaje	Intensidad	Potencia		
18,3	0	0		
18,25	0,03	0,5475		
18,22	0,03	0,5466		
18,2	0,05	0,91		
18,17	0,09	1,6353		
18,16	0,1	1,816		
18,14	0,13	2,3582		
18,12	0,16	2,8992		
18,11	0,19	3,4409		
18,09	0,22	3,9798		
18,07	0,25	4,5175		
18,06	0,29	5,2374		
18,03	0,33	5,9499		
17,99	0,39	7,0161		
17,95	0,45	8,0775		
17,92	0,5	8,96		
17,86	0,56	10,0016		
17,8	0,6	10,68		
17,64	0,8	14,112		
17,1	1,23	21,033		Resistencia
16	1,5	24	Máximo	11 Ohm
15,98	1,8	28,764	Error	
14,5	1,64	23,78		
10,98	1,79	19,6542		
10,05	1,81	18,1905		
3,6	2,42	8,712		
3,4	2,42	8,228		
3,23	2,4	7,752		
2,35	2,4	5,64		
2,1	2,39	5,019		
1,97	2,39	4,7083		
1,9	2,39	4,541		
1,5	2,37	3,555		
1,05	2,33	2,4465		



Gran Arreglo 2: Correspondiente a arreglos 14, 17				
Voltaje	Intensidad	Potencia		
18,13	0	0		
18,1	0,04	0,724		
18,08	0,06	1,0848		
18,07	0,1	1,807		
18,01	0,15	2,7015		
17,95	0,2	3,59		
17,91	0,24	4,2984		
17,9	0,28	5,012		
17,84	0,33	5,8872		
17,79	0,39	6,9381		
17,7	0,47	8,319		
17,6	0,55	9,68		
17,52	0,64	11,2128		
17,34	0,78	13,5252		
17,25	0,86	14,835		
17,04	1	17,04		
16,72	1,2	20,064		Resistencia
16,05	1,51	24,2355	Máximo	9,15 Ohm
15,87	1,48	23,4876		
14,5	1,6	23,2		
14,3	1,6	22,88		
14,25	1,61	22,9425		
10,32	1,64	16,9248		
8,4	1,66	13,944		
8,1	1,68	13,608		
6,34	1,7	10,778		
2,68	1,71	4,5828		
2,5	1,76	4,4		
2,41	1,77	4,2657		
2,65	1,77	4,6905		
1,9	1,78	3,382		
1,54	1,79	2,7566		
0,78	1,8	1,404		
0,69	1,8	1,242		

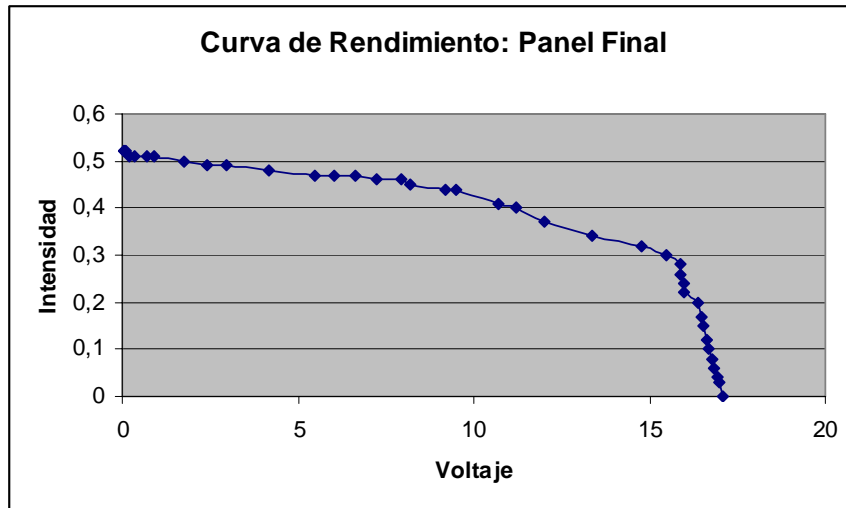


Gran Arreglo 3: Correspondiente a arreglos 7,8,9,10,11,15				
Voltaje	Intensidad	Potencia		
19	0	0		
18,95	0,04	0,758		
18,92	0,05	0,946		
18,89	0,09	1,7001		
18,85	0,16	3,016		
18,85	0,2	3,77		
18,82	0,23	4,3286		
18,72	0,33	6,1776		
18,63	0,4	7,452		
18,54	0,48	8,8992		
18,42	0,58	10,6836		
18,35	0,66	12,111		
18,317	0,79	14,47043		
18,1	0,86	15,566		
17,83	1,02	18,1866		
17,2	1,13	19,436		Resistencia
16,86	1,18	19,8948	Máximo	13,8 Ohm
14,57	1,34	19,5238		
13,28	1,43	18,9904		
13,1	1,43	18,733		
10,9	1,7	18,53		
7,9	2,03	16,037		
3,3	2,02	6,666		
8,15	2,02	16,463		
3,5	2,09	7,315		
2,4	2,1	5,04		
1,18	2,11	2,4898		
1,1	2,11	2,321		
1	2,12	2,12		
0,78	2,14	1,6692		
0,73	2,15	1,5695		
0,72	2,16	1,5552		



## 9.5 Curva panel final obtenida con simulador solar el dia Sábado 5 de Julio

Voltaje	Intensidad	Potencia	
0,06	0,52	0,0312	
0,07	0,52	0,0364	
0,12	0,52	0,0624	
0,21	0,51	0,1071	
0,34	0,51	0,1734	
0,69	0,51	0,3519	
0,9	0,51	0,459	
1,76	0,5	0,88	
2,4	0,49	1,176	
2,97	0,49	1,4553	
4,15	0,48	1,992	
5,46	0,47	2,5662	
6,02	0,47	2,8294	
6,61	0,47	3,1067	
7,22	0,46	3,3212	
7,92	0,46	3,6432	
8,21	0,45	3,6945	
9,18	0,44	4,0392	
9,5	0,44	4,18	
10,71	0,41	4,3911	
11,2	0,4	4,48	
12,01	0,37	4,4437	
13,37	0,34	4,5458	
14,75	0,32	4,72	Máximo
15,46	0,3	4,638	
15,87	0,28	4,4436	
15,88	0,26	4,1288	
15,97	0,24	3,8328	
16	0,22	3,52	
16,38	0,2	3,276	
16,46	0,17	2,7982	
16,55	0,15	2,4825	
16,64	0,12	1,9968	
16,7	0,1	1,67	
16,78	0,08	1,3424	
16,85	0,06	1,011	
16,94	0,04	0,6776	
16,96	0,03	0,5088	
17,08	0	0	

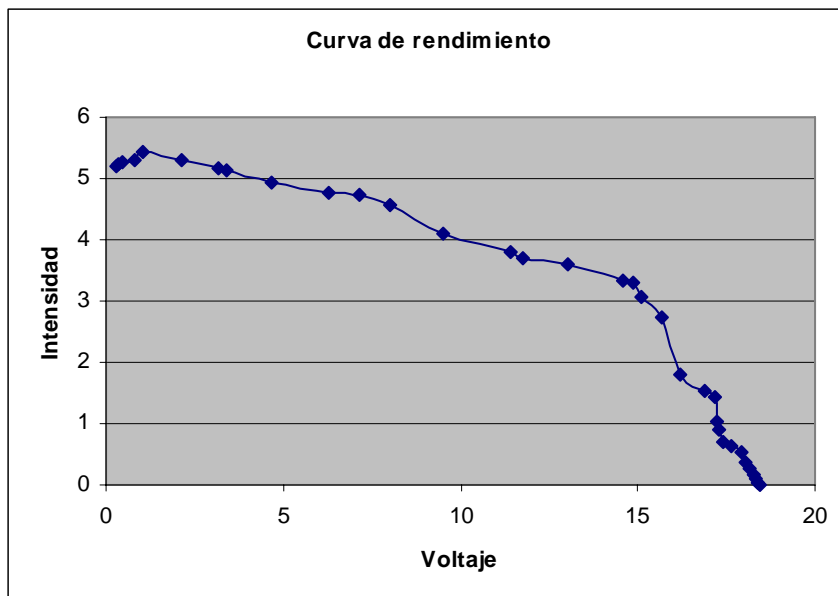


Esta curva posee un error sistemático (en una dirección), debido a que el simulador solar imita bien el voltaje que provoca el sol en las celdas, pero no así la intensidad que provoca en las celdas. Produce mucho menos. Por eso esta curva se parecerá mucho a la original, sólo que un poco mas achatada en el eje de las ordenadas.



## 9.6 Curva panel final obtenida el día Lunes 7 de Julio a las 13:30

Voltaje	Intensidad	Potencia	
0,26	5,19	1,3494	
0,36	5,23	1,8828	
0,47	5,27	2,4769	
0,8	5,3	4,24	
1,01	5,42	5,4742	
2,15	5,3	11,395	
3,18	5,18	16,4724	
3,42	5,14	17,5788	
4,65	4,94	22,971	
6,3	4,78	30,114	
7,16	4,73	33,8668	
8	4,58	36,64	
9,5	4,11	39,045	
11,44	3,79	43,3576	
11,75	3,71	43,5925	
13	3,61	46,93	
14,6	3,32	48,472	
14,86	3,29	48,8894	Máximo
15,09	3,07	46,3263	
15,7	2,72	42,704	
16,19	1,79	28,9801	
16,89	1,53	25,8417	
17,18	1,43	24,5674	
17,26	1,03	17,7778	
17,3	0,9	15,57	
17,42	0,7	12,194	
17,63	0,64	11,2832	
17,95	0,55	9,8725	
18,02	0,38	6,8476	
18,18	0,26	4,7268	
18,29	0,18	3,2922	
18,3	0,1	1,83	
18,37	0,05	0,9185	
18,43	0	0	



Esta curva se realizó en un día parcialmente nublado. Cabe destacar además que el 21 de Junio es el día con menos horas de sol en el año, con la altura mínima del sol, por lo cual, a pocos días de dicha fecha es válido pensar que esta no es la curva de máxima potencia a generar por el panel.

Usando además la figura 9.6.1, se puede visualizar que en la IV región se podría estar produciendo una energía promedio de 210 Wh/día en verano y de 15 Wh/día en invierno. Sin embargo la figura requiere la potencia peak en las mejores condiciones y se está estimando con la potencia en un día regular. Por eso se necesita introducir un coeficiente de reajuste; usando los niveles de radiación se estima que el panel está trabajando a un 70%, por lo tanto en su punto peak debería producir  $48,8894 \text{ Watts} \times 100/70 = 69,842 \text{ Watts}$  lo que se aproxima a 70 Watts. Por lo tanto se estaría generando 300 Wh/día en verano y 210 Wh/día em invierno

Potencia peak del generador fotovoltaico	Energía eléctrica disponible por día Wh/día ( IV. Región )	
	Verano	Invierno
40 W	170 Wh/día	120 Wh/día
50 W	210 Wh/día	150 Wh/día
60 W	250 Wh/día	180 Wh/día
70 W	300 Wh/día	210 Wh/día
80 W	340 Wh/día	240 Wh/día
90 W	380 Wh/día	270 Wh/día
100 W	420 Wh/día	300 Wh/día
110 W	470 Wh/día	330 Wh/día
120 W	510 Wh/día	360 Wh/día

Fig. 9.6.1: Energía disponible según potencia peak

## 9.7 Posibles Consumos

Energía total en invierno (ínfimo) = 244,947 Wh

Consumos Posibles en Invierno:

Artefacto	Consumo (W)	Horas	Energía Consumida (Wh)
Opción 1			
3 Focos Leds	1,2	8	28,8
2 Fluorescente	18	6	216
		Total	244,8
Opción 2			
3 Focos Leds	1,2	10	36
1 Fluorescente	18	10	180
		Total	216
Opción 3			
3 Focos Leds	1.2	8	28.8
1 Fluorescente	18	6	108
1 Radio 12V	15	6	90
		Total	226,8
Opción 4			
3 Focos Leds	1.2	8	28,8
1 Fluorescente	18	4	72
1 Televisor Blanco Negro 12V	30	4	120
		Total	220,8

Energía total en verano (ínfimo) = 391,152 Wh

Pero la intensidad en Verano aumenta al menos en un 30% con respecto a invierno, por lo cual el ínfimo de energía sería  $1,3 \times 301,152 \text{ Wh} = 508,49 \text{ Wh}$

Consumos Posibles en Verano:

Artefacto	Consumo (W)	Horas	Energía Consumida (Wh)
Opción 1			
3 Focos Leds	1.2	10	36
2 Fluorescente	18	10	360
		Total	396
Opción 2			
3 Focos Leds	1.2	8	28,8
2 Fluorescente	18	8	288
1 Radio 12V	15	8	120
		Total	436,8
Opción 3			
3 Focos Leds	1.2	8	28,8
1 Fluorescente	18	8	144
1 Televisor BN 12V	30	8	240
		Total	412,8

Opción 4			
3 Focos Leds	1.2	8	28.8
1Fluorescente	18	8	144
1 Radio 12V	15	8	120
1 Televisor BN 12V	30	7	210
			502,8

En eneral se puede crear cualquier consumo, pero no que sobrepase el ínfimo de energía en cada estación. Para eso es necesario, conocer la potencia del artículo y multiplicarla por el consumo en horas.

## 9.8 Características Baterías Trojan

Las baterías Trojan de ciclo profundo existen desde 1925, son perfectas para todo sistema de energía renovable, estas baterías son altamente recomendables, para sistemas pequeños.

6 volts

220 Ah a 20 h

Diseñada para 300 ciclos

Vida típica de 3-4 años en servicio normal

Modelo	Capacidad (Min)			Ah a 5 hrs	Ah a 20 hrs	Voltaje	Dimensiones			Peso (Kg)
							(mm)			
	a 25 A	a 56 A	a 75 A				Largo	Ancho	Alto	
T-105	447	-	115	185	225	6	264	181	276	28

State of Charge as a measure of Specific Gravity and Open-Circuit Voltage				
Percentage Charge	Specific Gravity	Open Circuit Voltage		
		Cell	6 Volt	12 Volt
100	1.277	2.122	6.37	12.73
90	1.258	2.103	6.31	12.62
80	1.238	2.083	6.25	12.50
70	1.217	2.062	6.19	12.37
60	1.195	2.04	6.12	12.24
50	1.172	2.017	6.05	12.10
40	1.148	1.993	5.98	11.96
30	1.124	1.969	5.91	11.81
20	1.098	1.943	5.83	11.66
10	1.073	1.918	5.75	11.51



Para mayor información revisar [www.trojanbattery.com](http://www.trojanbattery.com)

## 9.9 Presupuesto

Durante el proyecto se tuvo que realizar inversiones en materiales y en servicios, los cuales están detallados en la siguiente tabla.

<b>Ingresos</b>			
	<b>Monto (\$)</b>		
Fondos del proyecto	80.000		
<b>Egresos</b>			
<b>Artículo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio por unidad (\$) (Incluido IVA)</b>	<b>Subtotal</b>
Pasaje ida y vuelta a Ovalle	3	10.000	30.000
LED	3	10.624	31.872
Perfil 6 metros cuadrado 20x20x1mm	2	3.635	7.270
Anticorrosivo negro	1	1921	1.921
Escuadra	6	100	600
Hoja para sierra	3	740	2.220
Lámina metálica 15x25cm	1	550	550
Tubo 3 metros, 2" 1/2	1	9350	9.350
		<b>Subtotal</b>	83.783
<b>Saldo Actual</b>			
Ingreso total	80.000		
Egresos total	83.783		
<b>TOTAL</b>	<b>-3.783</b>		