



UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA  
DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA  
VALPARAÍSO, CHILE



**SISTEMA INFORMÁTICO PARA EL MANEJO DE  
DATOS DE PRODUCCIÓN GENERADOS POR UNA  
ESTACIÓN DE MONITOREO SOLAR FOTOVOLTAICA.**

Tesis presentada como requerimiento parcial  
para optar al título profesional de  
Ingeniero de Ejecución en Informática  
por  
**Manuel José Arredondo Maritano**

Comisión Evaluadora:

M.Sc. Cecilia Reyes Covarrubias  
M.Sc. Eduardo Soto Sepúlveda

OCTUBRE 2012

TÍTULO DE LA MEMORIA:

**SISTEMA INFORMÁTICO PARA EL MANEJO DE DATOS DE PRODUCCIÓN GENERADOS POR UNA ESTACIÓN DE MONITOREO SOLAR FOTOVOLTAICA.**

AUTOR:

**MANUEL JOSÉ ARREDONDO MARITANO**

Memoria presentada como requerimiento parcial para optar al título profesional de **Ingeniero de Ejecución en Informática** de la Universidad Técnica Federico Santa María.

Profesor Guía

---

M.Sc. Cecilia Reyes Covarrubias

Profesor Correferente

---

M.Sc. Eduardo Soto Sepúlveda

Octubre 2012.

Valparaíso, Chile.



# Agradecimientos

*Finalmente salió la Memoria y el título, la formalidad del evento nunca me preocupó mucho debido a mi pensamiento particular respecto de la elitización del conocimiento. Las universidades y grandes instituciones educacionales representan en el Chile de hoy un monumento a la privatización y receloso apoderamiento del conocimiento, entorpeciendo los procesos de aprendizaje de aquellos (la mayoría) que no tienen acceso a estas instituciones. El conocimiento es uno de los combustibles más poderosos para el desarrollo de la persona humana y nadie debiese entorpecer su libre circulación. No necesitas ir a una universidad para aprender, simplemente mantener conciencia de la realidad, observar y escuchar lo que nos rodea.*

*Finalizar este trabajo, más que la obtención de un "título" o reconocimiento, representa el fin de una etapa, el último hito pendiente. Agradezco a mis viejos y familia por todo el apoyo incondicional que me dieron y el soporte para llegar donde estoy; a Eduardo por facilitar el camino; a Vicente que le tocó sentarse en el puesto de al lado para responder todas mis preguntas; al compañero Hernán, siempre con una solución práctica para todo; a los chiquillos de la pega por su alegría y buenas vibras; a Marcelo que me "presto" su planta de energía solar; a la profa Cecilia por su buena disposición y al profe Ricardo, que hace mucho tiempo me presento una forma diferente de apreciar la realidad. A todos los que defienden que la información y el conocimiento sea compartido, a quienes creen que la sociedad debe basarse en el **compartir** y no en la competencia. Al gran maestro, cerro, porque en esos viajes uno aprende sobre la vida, el universo, la naturaleza, las personas y sobre la **conciencia de ser humano**. Y no se me puede olvidar a todos los cabros que luchan, porque son ellos los que traen justicia y serán los que tenga paz al final del camino.*

# Resumen

La Memoria que se presenta a continuación tiene por objetivo desarrollar una plataforma de gestión de la información a partir de datos originados por estaciones meteorológicas solares y plantas de generación de energía fotovoltaicas. Esta plataforma se desarrolla a pedido de la "Red Solar para Latinoamérica y el Caribe" (RedSolLAC). La RedSolLAC es un proyecto encargado por el Banco Interamericano de desarrollo (BID) a la Fundación Chile. El BID a través de este proyecto pretende difundir, desarrollar y potenciar el uso de las Energía Renovables No Convencionales en la región, especialmente la producción y el uso de energía fotovoltaica.

La información recopilada durante el proceso de desarrollo de la plataforma, así como durante la operación, debe quedar a disposición de todos los usuarios de la RedSolLAC, así como, de la población en general, siendo presentada en tiempo real a través de la Web y además debe poder ser descargada en diferentes formatos por los usuarios especialistas.

Para la captura y recopilación de datos se utilizará una estación de medición ubicada en Fundación Chile, en la comuna de Vitacura, en la Región Metropolitana y una pequeña planta fotovoltaica residencial ubicada en la misma comuna. En la estación se implementaran equipos especializados en la medición de parámetros solares, además de otras variables medioambientales.

A partir de la información obtenida, se desarrollará un sistema de cálculo para realizar estudios de prefactibilidad técnica y económica a través de una calculadora "on line".

# **Abstract**

The Report presented below aims to develop a platform for manage information of data resulting from weather stations and solar power generation plants. This platform is developed at the request of the "Red Solar para Latinoamérica y el Caribe" (Solar Network for Latin-America and the Caribbean). RedSolLAC is a project commissioned by the Inter-American Development Bank (IDB) to "Fundación Chile". Through this project IDB aims to disseminate, develop and promote the use of non-conventional renewable energy in the region, especially the production and use of photovoltaic power.

The information gathered during the platform development process as well as during operation, it should be available to users of RedSolLAC and the general population, being presented at real time on the Web and must also be able to be downloaded in various formats by expert users.

For the capture and collection data will use a measuring station located in Santiago de Chile, within Fundacion Chile and also a small residential photovoltaic plant located in the same municipality. This station is implemented using specialized equipment in the measurement of solar parameters, and other environmental variables.

From the gathered information, it will develop a measurement system to study technical and economic feasibility through an on-line calculator.

# Índice General

<b>Resumen</b>	<b>v</b>
<b>Abstract</b>	<b>vi</b>
<b>Índice General</b>	<b>vii</b>
<b>Índice de Tablas</b>	<b>x</b>
<b>Índice de Figuras</b>	<b>xi</b>
<b>Glosario</b>	<b>xiv</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Alcances de la Memoria</b>	<b>3</b>
2.1. Problema a resolver . . . . .	3
2.2. Objetivo principal de la solución . . . . .	5
2.3. Objetivos específicos de la solución . . . . .	6
2.4. Requerimientos del sistema . . . . .	6
2.4.1. Requerimientos funcionales . . . . .	7
2.4.2. requerimientos no funcionales . . . . .	8
<b>3. Introducción a la Energía Solar</b>	<b>9</b>
3.1. El Sol . . . . .	9
3.2. La radiación solar . . . . .	12
3.3. Energía Fotovoltaica . . . . .	14

3.4. Sistemas fotovoltaicos . . . . .	15
<b>4. Solución propuesta</b>	<b>18</b>
4.1. Arquitectura de la solución . . . . .	18
4.1.1. Software utilizado . . . . .	20
4.1.2. Hardware . . . . .	25
4.2. Diseño de la solución . . . . .	32
4.2.1. Servidor de Aplicaciones . . . . .	32
4.2.2. Estaciones meteorológicas . . . . .	40
4.2.3. Servidor de almacenamiento de datos . . . . .	42
4.2.4. Modelo de datos . . . . .	44
<b>5. Pruebas del sistema</b>	<b>47</b>
5.1. Funcionamiento del sistema . . . . .	47
5.1.1. SolarGraficos . . . . .	47
5.1.2. SolarCalc . . . . .	51
5.2. Pruebas de comunicación . . . . .	55
5.2.1. Caso de Pruebas . . . . .	55
5.2.2. Comunicación de estación "VitacuraFCh" con "Servidor de datos" - Vía Ethernet . . . . .	56
5.2.3. Comunicación de las estación "VitacuraFch" con el "Servidor de datos" . . . . .	60
5.2.4. Comunicación de estación "VitacuraFCh" con "Servidor de datos" - Vía Módem telefonía celular . . . . .	60
5.3. Verificación de datos . . . . .	64
5.3.1. PVWatts . . . . .	64
5.3.2. PVSyst . . . . .	65
5.3.3. Comparación "solarCalc" con "Plataforma Web para sistemas térmicos" . . . . .	65
5.3.4. "solarCalc" v/s "PVWatts" v/s "PVSist" con datos de la comuna Antofagasta . . . . .	67
5.3.5. "solarCalc" v/s "PVWatts" v/s "PVSist" con datos de Vitacura . . . . .	68
5.3.6. "solarCalc" v/s "PVWatts" v/s "PVSist" con datos de Concepción . . . . .	69

5.3.7. Comparación con sistema PV en operación . . . . .	70
<b>6. Conclusiones</b>	<b>71</b>
<b>7. Anexos</b>	<b>73</b>
7.1. Memoria Msc. Eduardo Soto . . . . .	74
7.2. Estación serie Dédalo . . . . .	83
7.3. Estación serie Ícaro . . . . .	86
7.4. Simulación PVSist planta Marcelo Mena . . . . .	89
7.5. Resultados simulacion SolarCalc para planta solar Marcelo Mena . . . . .	92
7.6. Script implementación solarCalc . . . . .	93
7.7. Script CRBasic - Datalogger estación Fundación Chile . . . . .	103

# Índice de Tablas

2.1. Tabla de requerimientos funcionales . . . . .	7
2.2. Tabla de requerimientos no funcionales . . . . .	8
4.1. Características sitio Web RedSolLAC . . . . .	34
4.2. Características específicas estación Dédalo Fundación Chile . . . . .	41
4.3. Crecimiento de la base de datos . . . . .	45
5.1. Resultados verificación de ecuaciones macro excel . . . . .	66
5.2. Resultados verificación de ecuaciones calculadora . . . . .	66
5.3. Comparación de software con datos de Antofagasta . . . . .	67
5.4. Comparación de software con datos de Vitacura . . . . .	68
5.5. Comparación de software con datos de Concepción . . . . .	69
5.6. Comparación de resultados teóricos v/s empíricos para el mes de Septiembre 2012 (KWh) . . . . .	70

# Índice de Figuras

1.1. Sistema Solar . . . . .	1
2.1. Estación de medición de radiación solar en Fundación Chile, Vitacura - Santiago. . . . .	4
2.2. Módulos solares de la planta solar de Marcelo Mena, Vitacura - Santiago. . . . .	4
2.3. Gráfico de ejemplo de la curva de generación de energía solar. . . . .	6
3.1. Esquema que muestra la órbita de la Tierra con respecto al Sol y muestra los puntos del Afelio y el Perihelio . . . . .	10
3.2. Gráfico de clasificación del espectro de la radiación solar[16] . . . . .	11
3.3. Distancia que atraviesa la radiación en la atmósfera . . . . .	12
3.4. Descomposición de la radiación solar[16] . . . . .	13
3.5. Mapa de radiación solar mundial[6] . . . . .	14
4.1. Diagrama general de arquitectura . . . . .	19
4.2. Datalogger Campbell CR1000 . . . . .	26
4.3. Periférico Campbell NL200 . . . . .	27
4.4. MultiModem Multitech MTCBA-G-F4 . . . . .	29
4.5. Piranómetro psp-eplay . . . . .	30
4.6. Sensor HMP60 . . . . .	30
4.7. Batería PS100 . . . . .	30
4.8. Panel Solar SX310M . . . . .	31
4.9. Diagrama de Despliegue . . . . .	32
4.10. Sitio Web RedSolLAC . . . . .	33
4.11. Imagen de la aplicación SolarGraficos . . . . .	35

4.12. Diagrama de Estados solarGraficos . . . . .	36
4.13. Diagrama de Secuencia solarGraficos . . . . .	36
4.14. Diagrama de Estados solarCalc . . . . .	39
4.15. Diagrama de Secuencia solarCalc . . . . .	40
4.16. Diagrama de Estado estación meteorológica . . . . .	42
4.17. Diagrama de Secuencia estación meteorológica . . . . .	42
4.18. Diagrama de Estados Sistema de Almacenamiento . . . . .	44
4.19. Diagrama del modelo de datos . . . . .	46
5.1. Presentación de la aplicación . . . . .	47
5.2. Primera marca . . . . .	48
5.3. Segunda marca . . . . .	48
5.4. Visualizador - Curvas de la gráfica . . . . .	48
5.5. Visualizador - Periodos de tiempo . . . . .	49
5.6. Posición del cursor . . . . .	49
5.7. Descarga de datos - Calendario . . . . .	50
5.8. Descarga de datos - Fichero . . . . .	50
5.9. Presentación Calculadora . . . . .	51
5.10. País . . . . .	52
5.11. Región, comuna, coordenadas geográficas . . . . .	52
5.12. Especificación del sistema PV . . . . .	52
5.13. Orientación del sistema PV . . . . .	53
5.14. Resultados de la Calculadora . . . . .	54
5.15. Crear nueva conexión . . . . .	57
5.16. Ingresar dirección IP . . . . .	58
5.17. Estableciendo conexión . . . . .	58
5.18. Monitorizar datos de estación . . . . .	59
5.19. Descarga de datos . . . . .	59
5.20. Logs Apache HTTPD - Comunicación con estación meteorológica . . . . .	60
5.21. Seleccionar módem . . . . .	62
5.22. Seleccionar puerto . . . . .	62
5.23. Ingresar numero telefónico . . . . .	62

5.24. Agregar nuevo módem . . . . .	63
5.25. Ingresar dirección IP . . . . .	63
7.1. Parámetros planta solar Marcelo Mena. . . . .	92
7.2. Resultados simulación planta solar Marcelo Mena. . . . .	92

# Glosario

## A

- Afelia** Punto más alejado de la órbita de un planeta alrededor del Sol, p. 10.
- AJAX** Acrónimo de "Asynchronous JavaScript And XML", p. 25.
- ANSI C** estándar publicado por el Instituto Nacional Estadounidense de Estándares (ANSI), para el lenguaje de programación C, p. 23.
- API** Interfaz de programación para aplicaciones, del inglés "Application Programming Interface", p. 20.

## B

- BID** Banco Interamericano de Desarrollo, p. 2.

## C

- CMS** Sistema Manejador de Contenidos, del inglés "Content Management System", p. 20.
- CNE** Comisión Nacional de Energía, p. 3.
- CSS** Hojas de estilo en cascada, del inglés "Cascading Style Sheets", p. 25.

## D

- DNI** Radiación Normal Directa, "Direct Normal Irradiation" (del inglés). Es la radiación solar medida en dirección normal al sol, p. 13.

**DOM** Modelo de Objetos del Documento, del inglés "Document Object Model", p. 25.

## E

**ERNC** Energías Renovables No Convencionales, p. 5.

## G

**GHI** Radiación Global Horizontal, del inglés, "Global Horizontal Irradiation". Radiación solar mediada en el plano horizontal, es decir en el plano o superficie donde se encuentran los instrumentos de medición, p. 13.

**GI** Radiación Global, del inglés, "Global Irradiation", p. 13.

**GNU** Proyecto GNU, Movimiento y comunidad de Software y Conocimiento Libres, Fundación "Free Software Foundation", p. 23.

## N

**NYC** New York City, p. 25.

## P

**Perihelio** Punto más cercano de la órbita de un cuerpo celeste alrededor del Sol, p. 10.

**Plugins** Esta palabra proviene del inglés "Plug" el cual es un tipo de "enchufe", por lo tanto. el concepto detrás de esta palabra hace referencia a la capacidad del componente de poder agregarse o quitarse de manera rápida y sencilla sin que esto pueda producir un colapso en la aplicación y que al mismo tiempo proporcione funcionalidades diferenciadoras, p. 21.

## R

**RD** Radiación Difusa, Cuando la radiación choca con moléculas en la atmósfera esta se dispersa, la radiación dispersada que alcanza la superficie terrestre se denomina Radiación difusa, p. 13.

## S

- SA** Sistema Aysen, sistema de distribución eléctrica que abastece de energía a la zona de Aysen en Chile, p. 3.
- SIC** Sistema Interconectado Central, sistema de distribución eléctrica que abastece de energía a la zona central de Chile, p. 3.
- SING** Sistema interconectado del Norte Grande, sistema de distribución eléctrica que abastece de energía al norte de Chile, p. 3.
- SM** Sistema Magallanes, sistema de distribución eléctrica que abastece de energía a la zona de Magallanes en Chile, p. 3.
- sockets** Socket designa un concepto abstracto por el cual dos programas (posiblemente situados en computadoras distintas) pueden intercambiar cualquier flujo de datos, de manera fiable y ordenada, p. 24.
- STC** Condiciones de medición estándar, del inglés "Standard Test Conditions". Corresponden a las condiciones de prueba que se usan para revisar los equipos, las cuales están definidas en 1000 [W/m<sup>2</sup>], 25°C y vientos de 1 [m/s].

## T

- TCP/IP** La familia de protocolos de Internet es un conjunto de protocolos de red en los que se basa Internet y que permiten la transmisión de datos entre computadoras. En ocasiones se le denomina conjunto de protocolos TCP/IP, en referencia a los dos protocolos más importantes que la componen: Protocolo de Control de Transmisión (TCP) y Protocolo de Internet (IP), p. 24.
- Themes** Corresponde a la máscara gráfica o visual que forma parte del CMS Wordpress, para efectos de la memoria usaremos la traducción "Perfiles", p. 20.

## W

- W3C** World Wide Web Consortium, p. 25.

# Capítulo 1

## Introducción

El Sol por excelencia es la fuente de energía electromagnética más potente y abundante en nuestro sistema planetario. El sol por si solo representa mas del 98 % de masa del Sistema Solar, la distancia del Sol a la Tierra es aproximadamente de 150 millones de kilómetros, su luz demora más de 8 minutos en alcanzar nuestro planeta y además produce 760.000 veces la cantidad de energía consumida en todo el planeta en un año. Tan solo una pequeña porción de toda la energía que esta estrella emite al espacio es recibida por nuestro planeta y solo una pequeña fracción de ella es aprovechada de manera efectiva. La energía que recibimos del sol es causante de la mayoría de las condiciones climáticas que posee el planeta Tierra y que permiten la existencia de la vida como la apreciamos diariamente.

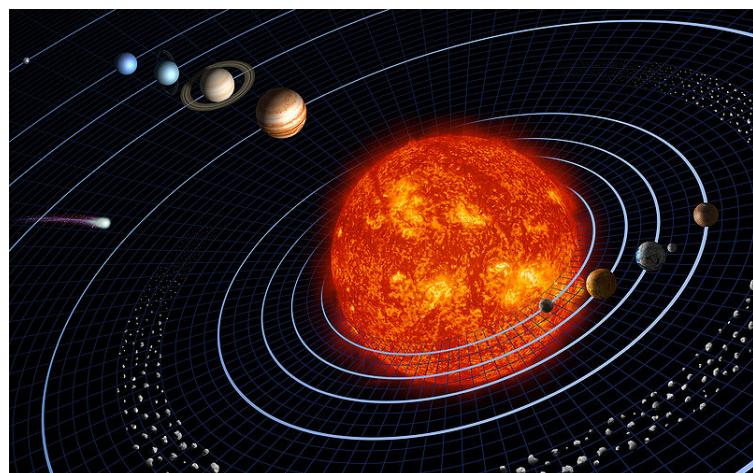


Figura 1.1: Sistema Solar

Esta Memoria tiene por objetivo desarrollar un sistema informático, que compuesto del software e instrumentos de precisión adecuados, permita a la RedSolLac exponer a la comunidad, información respecto de la producción de energía fotovoltaica de Latinoamérica y el Caribe.

Fundación Chile, es una fundación de carácter privado sin fines de lucro, que se dedica a la creación de valor que aporte al desarrollo del país, dentro de sus áreas de desarrollo encontramos la gerencia de Energía y Cambio Climático que a su vez posee un área de Energía Solar. Dentro del área de Energía Solar se encuentran en ejecución, encargado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), un proyecto para la creación de una red solar para Latinoamérica y el Caribe, (RedSolLac[19]). El objetivo de esta red es generar a corto y mediano plazo una red de coordinación en la región que sea referente en temas de energía solar y que potencie el desarrollo, la investigación y la utilización de la energía fotovoltaica.

Como una primera etapa del desarrollo de esta comunidad, se encuentra la integración de estaciones de medición instaladas y por instalar en diferentes regiones de Chile, las cuales generarán una importante data que pasará a formar parte de una base de datos de radiación solar. Estos datos deben estar disponible a toda la comunidad de manera abierta para aportar en el desarrollo de estas energías.

Durante el desarrollo de esta Memoria, se implementará una estación de medición y se desarrollará un software que permita difundir los datos capturados, así como herramientas que ayuden en la toma de decisiones respecto de la instalación de sistemas productores de energía fotovoltaica a todo nivel de actividad. En los primeros capítulos se abarcarán los alcances de esta memoria y temas introductorios a la energía solar, mientras que en los siguientes capítulos se describe de manera detallada las herramientas desarrolladas y el proceso de implementación. Finalmente se expondrán los resultados de una fase de captura de datos y prueba del sistema.

# **Capítulo 2**

## **Alcances de la Memoria**

### **2.1. Problema a resolver**

Actualmente Chile no cuenta con plantas de energía solar fotovoltaica conectadas a sus redes centrales de distribución (SIC, SING, SM, SA), debido a problemas legales y de normativas técnicas. La mayoría de las plantas solares que generan energía en chile son plantas aisladas o conectadas a sistemas de distribución privados, como por ejemplo Calama Solar 3[18] y Subsole[20].

La Red Solar para Latinoamérica y el Caribe (RedSolLac), tiene por objetivo contribuir al desarrollo y aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica. Ello, mediante una plataforma de difusión de información, que facilita la cooperación y colaboración mutua de instituciones, empresas, profesionales y personas interesadas.i

Para el desarrollo de este sistema, Fundación Chile utilizará datos de radiación solar y producción de energía provenientes de diferentes fuentes, tales como, datos de adquisición propia, datos estadísticos publicados por la Comisión Nacional de Energía (CNE) y datos de la planta residencial "MarceloMena".

Para apoyar la construcción de la plataforma de difusión de RedSolLac, se ha encargado el desarrollo de una aplicación informática, que permita exponer de forma gráfica información de producción de energía para plantas solares fotovoltaicas y estaciones meteorológicas. Además, requiere de una herramienta que le permita calcular costos de producción de

energía, para apoyar en el proceso de toma de decisiones, respecto de la construcción de nuevas plantas de energía solar.



Figura 2.1: Estación de medición de radiación solar en Fundación Chile, Vitacura - Santiago.



Figura 2.2: Módulos solares de la planta solar de Marcelo Mena, Vitacura - Santiago.

Actualmente, RedSolLAC no cuenta con ningún sistema informático que le permita exponer a sus usuarios las lecturas de las estaciones y plantas solares que pertenecen a la red, por lo que es necesario implementar un sistema que permita publicar dicha información.

Los datos de adquisición propia provienen de una estación de medición de radiación

---

solar, temperatura y humedad ambiente, instalada en Fundación Chile, en la comuna de Vitacura, Santiago de Chile. Esta estación (Ver. Fig.7.2).

Los datos provenientes de la planta "MarceloMena" (Ver. Fig. 2.2), corresponden a una pequeña planta de producción residencial con el fin de abastecer de energía a un vivienda en la comuna de Vitacura en Santiago de Chile. Estos datos son de especial interés, ya que permitirán realizar una comparación entre los resultados de la simulación entregados por la "calculadora" desarrollada y datos de producción empírica.

Los principales actores y usuarios de este sistema son todos los miembros de la RedSolLAC, interesados en recibir y compartir información relacionada con la energía solar fotovoltaica. En todo caso, la plataforma es abierta, por lo que cualquier otro usuario puede acceder a esta información.

El BID a través del proyecto RedSolLac que desarrolla la Fundación Chile espera conectar a los actores claves en el desarrollo de la energía solar fotovoltaica de Latinoamérica y el Caribe. En la actualidad, existen pocos actores en la región, por lo que el conocimiento técnico en esta materia se reduce a experiencias de universidades y algunas iniciativas privadas aisladas. RedSolLAC busca convertirse en un sitio de referencia para el estudio y desarrollo de nuevas iniciativas solares.

El desarrollo de esta memoria, permite a la comunidad de la RedSolLac contar con una gran base de datos para todos sus usuarios, así como diversas aplicaciones en su plataforma, para la difusión y el patrocinio de la energía solar en la región. Una red como esta, potencia el desarrollo de todas las Energías Renovables No Convencionales (ERNC), especialmente la fotovoltaica, esto se traduce en un beneficio medioambiental directo para toda la comunidad perteneciente a la "red" y a la población en general.

## 2.2. Objetivo principal de la solución

Desarrollar e implementar un sistema informático para la RedSolLAC, que permita interconectar equipos y estaciones de medición solar para la recolección y explotación de datos e información técnica.

## 2.3. Objetivos específicos de la solución

- Interconectar los diferentes sistemas que componen las estaciones de medición, para que exista una comunicación efectiva entre dichos sistemas y una base de datos común en Internet.
- Desarrollo de un sistema Web capaz de procesar y publicar la información recopilada de una planta de energía solar.
- Desarrollo de una calculadora online para sistemas fotovoltaicos, que permita dimensionar y estimar los costos de producción de energía eléctrica.
- Realizar pruebas de la plataforma en conjunto con todos sus componentes, comparar los datos obtenidos con datos recopilados de otras fuentes. Estas pruebas permitirán validar el funcionamiento del software así como la acertividad del método de cálculo y estimación eléctrica implementado en la solución.

## 2.4. Requerimientos del sistema

Para el desarrollo del sistema planteado, el BID, RedSolLAC y Fundación Chile han establecido una serie de requerimientos de diferente naturaleza los cuales se detallan en el cuadro 2.1 y 2.2, además la figura 2.3 se presenta como una idea de presentación de datos originados por las estaciones y que deben ser presentadas de forma interactiva en el sitio Web de RedSolLAC.

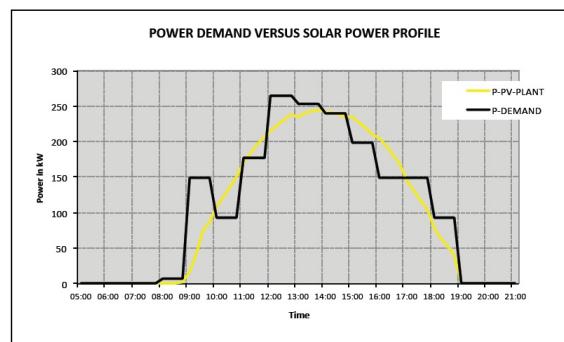


Figura 2.3: Gráfico de ejemplo de la curva de generación de energía solar.

### 2.4.1. Requerimientos funcionales

Cuadro 2.1: Tabla de requerimientos funcionales

Requerimiento	Detalle
RF-1	Registro de datos en linea, las estaciones deben ser programadas para registrar los datos capturados en una base de datos externa en internet, el registro de datos debe ser cada 1 minuto.
RF-2	La aplicación debe ser capas de visualizar datos actuales históricos e instantáneos, se debe proporcionar un modulo de visualización de datos que permita al usuario apreciar de manera total o parcial los datos registrados por las estaciones, permitiendo seleccionar periodos de tiempo y diferentes tipos de datos proporcionados por los sensores que conforman la estación.
RF-3	Descarga de datos, los datos registrados por las estaciones deben estar disponibles para su descarga en un formato practico para la utilización de estos por usuarios expertos, pudiendo estos usuarios descargar datos de acuerdo a un periodo de tiempo especificado.
RF-4	Permitir el ingreso de información, la aplicación debe permitir el ingreso de parámetros geográficos, información técnica de planta y datos económicos para realizar los cálculos del dimensionamiento de una planta de energía solar
RF-5	Implementar un modelo de calculo de energía horario basado en el documento "Modelo de radiación solar para conversión de datos sintéticos de radiación solar en valores horarios", extracto de la memoria de "master" "Dimensionamiento para sistemas solar térmicos en la república de Chile[10]" (Ver anexo 7.1)
RF-6	Calcular y exponer resultados de producción energética, los resultados deben ser verificables y comparables con otros sistemas, los cálculos deben presentar errores no superiores al 5 %

## 2.4.2. requerimientos no funcionales

Cuadro 2.2: Tabla de requerimientos no funcionales

Requerimiento	Detalle
RNF-1	La aplicación debe ser independiente del Sistema operativo y del navegador utilizado por el usuarios final
RNF-2	Es necesario que la aplicación se integre con la imagen corporativa de la RedSolLac
RNF-3	El sistema debe entregar estabilidad y muy alta confiabilidad en el registro y almacenamiento de datos
RNF-4	La aplicación debe ser portable y fácilmente adaptable para funcionar con múltiples fuentes de datos
RNF-5	La aplicación debe proporcionar un mínimo estándar de seguridad que permita asegurar la confiabilidad de los datos
RNF-6	La aplicación debe entregar un resultado al usuario final en tiempo aceptable no mayor a 5 seg

# Capítulo 3

## Introducción a la Energía Solar

### 3.1. El Sol

El Sol es tautológicamente la fuente de energía electromagnética más abundante y potente de nuestro sistema planetario. Nuestro planeta Tierra se ubica en la galaxia de la Vía Láctea en uno de sus brazos espirales llamado el brazo de Orión, en este brazo se encuentra un sistema llamado Solar[21], sistema que lleva su nombre por su estrella principal, el Sol.

El Sol no solo pertenece a la historia moderna de la humanidad, en la literatura se encuentran infinidad de referencias y escritos dedicados a esta grandiosa estrella que ilumina nuestro planeta, es solo en la actualidad y en la historia reciente que esta estrella es referenciada como "Sol" pero para muchas culturas antiguas el Sol era una entidad muy importante, tanto así que para la cultura de la civilización egipcia representaba su deidad principal denominada Ra. En Latinoamérica se sabe que los incas le llamaban Inti, este era su principal deidad en la cual basaban todas sus costumbres, sistema de vida y ritos religiosos. Los griegos representaban al sol de manera un poco más compleja, como un carro arrastrado por 4 caballos el cual era conducido por Helios. Y así podríamos seguir mencionando multitud de referencias a la historia antigua en donde este astro era considerado uno de los dioses centrales y más importantes de la humanidad.

En astronomía el Sol está clasificado como una estrella del tipo espectral G2 y se encuentra ubicado en el centro del sistema solar. La luz emitida por el sol tarda 8 minutos y 19

segundos[22] en alcanzar el planeta Tierra y su energía constituye la fuente primordial del sustento de la vida basada en la fotosíntesis, es responsable del clima existente en nuestro planeta y de todas las condiciones de habitabilidad.

El sol se encuentra en una fase denominada secuencia principal, se formó aproximadamente hace 4.570 millones de años y se espera que continúe en la misma fase por otros 5.000 millones de años[23].

Consecuencia de las reacciones termonucleares que se producen en el interior del sol, nuestro planeta recibe segundo a segundo cantidades muy grandes de energía. De manera sencilla, el Sol convierte cada segundo 564 millones de toneladas de Hidrógeno en 560 toneladas de Helio, esto quiere decir que aproximadamente 4 millones de toneladas de materia se convierten en energía que es expulsada al Universo, de la cual solo una pequeña porción es recibida por el planeta Tierra. En números, la energía producida por el sol se calcula aproximadamente en  $3,8 \times 10^{23} [kWatts]$ [24]

La radiación solar medida que incide en la atmósfera de nuestro planeta, alcanza los  $1395 [W/m^2]$  este valor se denomina la **Constante Solar** y es un valor medio entre el valor máximo del Perihelio y el valor mínimo del Afelio (Ver Fig:3.1).

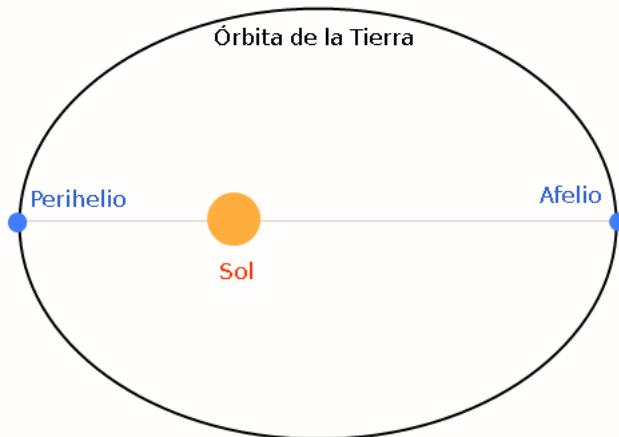


Figura 3.1: Esquema que muestra la órbita de la Tierra con respecto al Sol y muestra los puntos del Afelio y el Perihelio

Como se mencionado, el Sol produce enormes cantidades de energía y ha sido venerado durante toda la historia de la humanidad y prácticamente cualquier referencia que se tiene de éste, apunta a cómo este astro permite que la vida se desarrolle en nuestro planeta, debido a todas estas características es que el hombre siempre ha intentado beneficiarse de la cantidad de energía que llega a nuestro planeta. Los intentos y logros han sido diferentes dependiendo de la época y los desarrollos tecnológicos de las civilizaciones, pero podríamos coincidir en que todas las civilizaciones antiguas y modernas han intentado producir energía a partir de su radiación, de alguna manera, todas lo han logrado, pero con diferentes niveles de eficiencia.

Para aprovechar esta energía, en la actualidad existen diversas tecnologías, entre las más usadas están la conversión a energía eléctrica, la conversión a energía térmica o el aprovechamiento del viento producido por el calentamiento de masas de aire, entre muchas otras. Cada tipo de conversión tiene diferentes niveles de eficiencia y en su aprovechamiento influyen muchos factores, dado el alcance de esta memoria nos enfocaremos en la conversión a energía eléctrica.

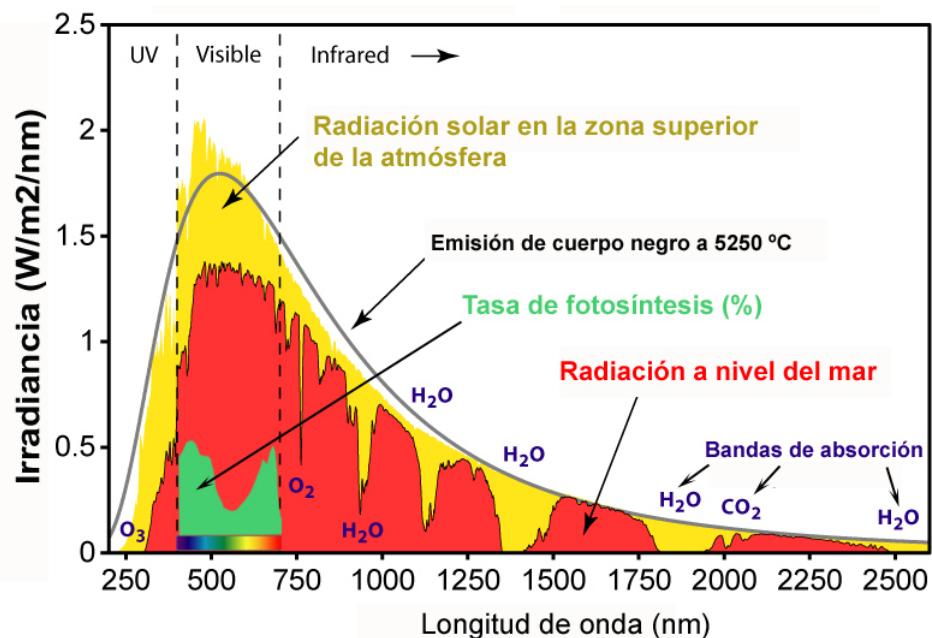


Figura 3.2: Gráfico de clasificación del espectro de la radiación solar[16]

## 3.2. La radiación solar

La radiación emitida por el Sol viaja a través del espacio en forma de ondas electromagnética, como toda onda posee una longitud de onda y se puede clasificar de acuerdo a ésta. El espectro de la radiación solar se clasifica en tres grupos principales: la radiación UV, la luz visible y la radiación infrarroja (Ver. Fig. 3.2). Para los sistemas de producción de energía, el espectro que mas interesa es el espectro de radiación UV, que gracias a sus propiedades (longitud de ondas pequeñas) tienen la capacidad de excitar los átomos de silicio. Al contrario ocurre con el espectro infrarrojo que si bien aporta a la producción de energía, aporta mayoritariamente al aumento de temperatura de los paneles solares, lo que deriva en una disminución en su rendimiento.

Como se menciono en la sección 3.1 la radiación capturada en la atmósfera es de  $1395[W/m^2]$ , el problema que se presenta, es que la energía no puede ser captada desde el espacio para uso en la superficie terrestre, por lo tanto, la radiación proveniente del sol debe atravesar la atmósfera del planeta, la cual tiene un grosor aproximado de 80 km (ver Fig:3.3) y está compuesta de gases principalmente nitrógeno y oxígeno[16]. Al calentarse estos gases, producen, entre algunos fenómenos, los vientos que aportan a la formación de nubes, como consecuencia de esta absorción de energía en la atmósfera, incide una cantidad de energía bastante menor a la medida en el espacio cercano al planeta



Figura 3.3: Distancia que atraviesa la radiación en la atmósfera

Es debido a las condiciones climáticas y a la configuración química y física de la atmósfera que cada punto geográfico sobre la superficie terrestre recibirá diferentes cantidades de radiación.

Tal como mencionábamos con anterioridad, Chile presenta condiciones excepcionales en cuanto a la cantidad de radiación recibida en la superficie terrestre. Estudios realizados en nuestro país por diversas instituciones[8], estiman que en el norte chileno es posible recibir más de  $1000 \text{ W/m}^2$ .

La radiación que incide sobre algún punto de la Tierra se denomina GI, esta radiación tiene 3 componentes: Radiación Directa Normal (DNI), Radiación Difusa (RD) y Radiación Reflejada (ver Fig:3.4).

$$\text{GI} = \text{DNI} + \text{Rdifusa} + \text{Rreflejada}$$

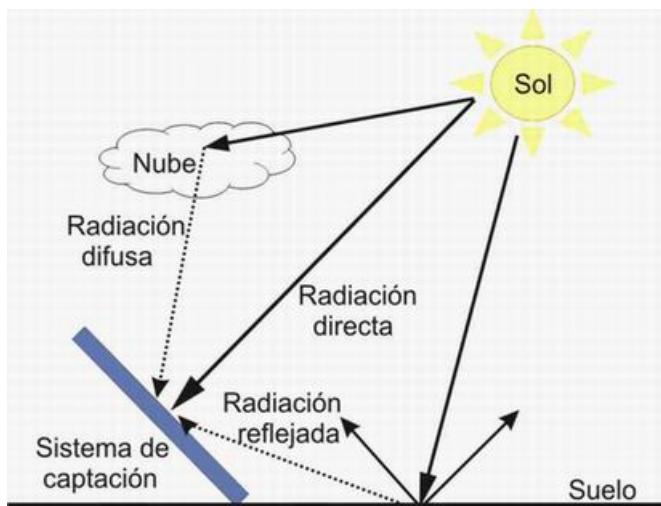


Figura 3.4: Descomposición de la radiación solar[16]

De esta definición derivan dos tipos de radiación que resultan relevantes para la producción energética fotovoltaica, la primera de ellas es la Radiación Global Horizontal (GHI) y la Radiación Directa Normal (DNI). La GHI es la radiación medida en el plano horizontal a una superficie dada sobre la tierra, mientras que la DNI es la radiación medida en dirección normal al Sol. Estas componentes se relacionan de la siguiente forma:

$$\text{GHI} = \text{DNI} \cos \theta + \text{Rdifusa en plano horizontal} + \text{Rreflejada}$$

### 3.3. Energía Fotovoltaica

Se llama luminosidad solar a la energía emitida por el Sol en un momento de tiempo dado, ahora bien es posible calcular la luminosidad que recibe la tierra en un momento puntual utilizando los valores de la constante solar definida en la sección 3.1. Esto se hace considerando que la luminosidad disminuye con la distancia entre el Sol, la Tierra y la superficie del planeta. Este cálculo muestra que nuestro planeta recibe  $3,65 \times 10^{23} [KW]$  de forma constante. Esta cantidad de energía es equivalente a 4.000 veces el consumo energético del planeta en una año.

Chile posee características naturales de excelencia en cuanto a la cantidad de radiación solar recibida desde el espacio (Ver. Fig. 3.5), estas condiciones posicionan a nuestro país dentro de las localidades con mejor componente solar en el planeta para la producción de energía fotovoltaica, a pesar de estas buenas condiciones nuestro país no ha desarrollado ni aplicado las tecnologías necesarias para aprovechar de buena manera esta ventaja.

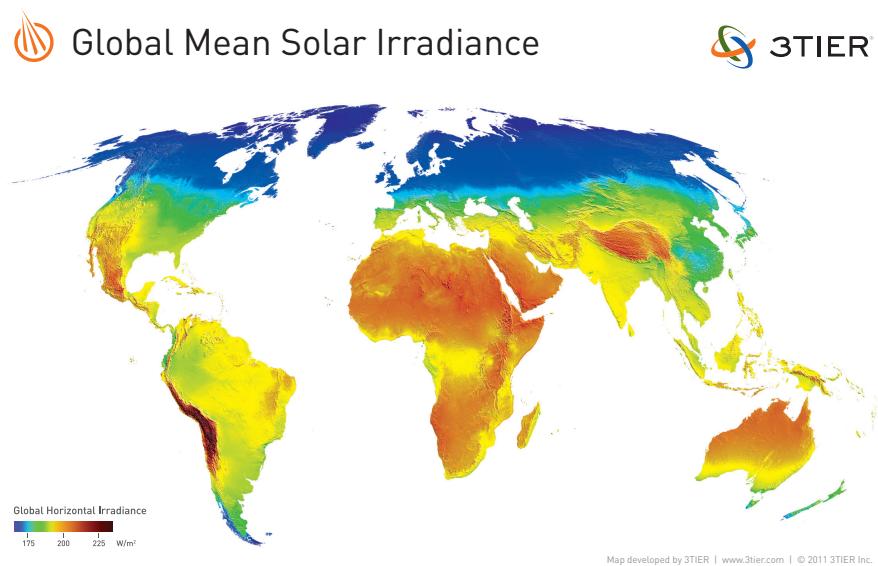


Figura 3.5: Mapa de radiación solar mundial[6]

La matriz energética de Chile tiene una potencia instalada de  $15,548 MW$ [11], de la cual el 63 % es energía termoeléctrica, un 34 % es energía hidroeléctrica y 3 % corresponde a energía eólica. Del 63 % de energía termoeléctrica, se considera la producida por el gas natural, el carbón y el petróleo. Adicionalmente, de toda la matriz, el 75 % es importada, esto quiere decir que nuestro país al año 2011 es incapaz de autoabastecerse enérgicamente, depende de la cantidad de energía que esté disponible para la venta desde el exterior, esto suena contradictorio considerando que Chile tiene los mejores recursos solares del mundo.

Para graficar de forma sencilla la capacidad solar de Chile podemos hacer algunos cálculos sencillos.

La CNE dice que al año 2010 chile consume  $58,257 GWh$ , considerando condiciones climáticas relativamente buenas<sup>1</sup> en el norte del país tenemos:

$$58.257.000 [MWh] / 0,255 [MWh/m^2] = 228.458.823 m^2$$

Ahora bien esta cifra es solo referencial al potencial que chile posee para producir energía, ciertamente que detrás de toda instalación de este tipo hay otras consideraciones ambientales que tomar en cuenta, por ejemplo, el impacto ambiental a causa de la extensa área de paneles a instalar. Por otro lado, un sistema distribuido con pequeñas centrales a lo largo de todo el país, ayudaría a disminuir el impacto en comparación a un sistema centralizado junto a una gran linea de transmisión.

En Chile existen importantes experiencias, en investigación y aplicación, donde Chile ha sido pionero[7], a pesar de esto han sido otros países especialmente europeos quienes han recogido estas investigaciones y han potenciado el desarrollo de esta tecnología, países como España y Alemania hoy en día lideran la producción e investigación en energías renovables no convencionales.

### 3.4. Sistemas fotovoltaicos

Para capturar la radiación solar incidente en la superficie terrestre y transformarla a energía eléctrica se debe utilizar un conjunto de componentes de hardware eléctricos, el

---

<sup>1</sup> 255 KWh/m<sup>2</sup> al año es la energía generada en la comuna de Calama, Segunda Región. La fuente de datos corresponde a la CNE y los cálculos efectuados del trabajo desarrollado en esta Memoria.

sistema más básico consta de un panel solar, un inversor y una batería. Uno de los grandes problemas del sector energético ha sido durante mucho tiempo el cómo se debe almacenar la energía producida y los sistemas fotovoltaicos no están ajenos a este problema, principalmente porque la radiación solar no es constante durante el día ni mucho menos durante el año, más aún un sistema fotovoltaico sólo producirá energía eléctrica durante las horas de sol o mientras los fotones de las ondas electromagnéticas provenientes del sol exciten los átomos de silicio. En términos técnicos, una instalación solar tiene un factor de planta muy bajo en comparación a otras instalaciones (termoeléctricas o hidroeléctricas).

Las primeras referencias que se tienen de paneles solares son del año 1954 cuando se descubrió que el silicio con ciertas impurezas era muy sensible a la luz. Uno de los datos interesantes aquí es que el silicio es el segundo elemento más abundante en la Tierra después del oxígeno con un 28 % de la masa total.

Los primeros paneles solares que se fabricaron, sólo tenían una eficiencia el 4.5 %, sin embargo fue durante la segunda mitad de la década del 1950 cuando esta tecnología empezó a desarrollarse con más fuerza debido a la carrera espacial entre EEUU y la Unión Soviética durante 1950 y 1980.

Los paneles solares están fabricados por una gran cantidad de pequeñas celdas hechas de silicio, además de otros materiales como aluminio y cobre en menor proporción. El silicio utilizado en la confección de dichas celdas, se extrae de la corteza terrestre, el problema es que no se encuentra en su forma pura y es necesario someterlo a diferentes procesos químicos para purificarlo. Durante mucho tiempo este proceso fue de costos muy elevados, pero en la actualidad la tendencia es a reducirse de manera significativa gracias al desarrollo de la tecnología y a la masificación de las ERNC. A pesar de esto la energía requerida para purificar el silicio para la formación de paneles es bastante alta y un panel debe funcionar por algunos años antes de recuperar la energía utilizada en su confección. Esto se contrasta gracias a que la vida útil de un panel puede llegar a ser de 30 a 40 años, sin requerir mantenimiento.

Un sistema fotovoltaico adicionalmente requiere de otro componente eléctrico para operar, el inversor, este componente es el encargado de convertir la corriente DC (producida por los paneles) en corriente AC, que es el tipo de corriente con la cual operan prácticamente todos los componentes eléctricos actuales y es el tipo de corriente que se usa para ser transmitida a diferentes puntos geográficos del país.

Finalmente si el sistema es un sistema aislado de los "sistemas interconectados" se suele utilizar algún tipo de batería o almacenador de energía para suplir la demanda en horas donde el sistema no puede producir energía. Si el sistema está conectado a "la red" la demanda se compensa con la energía aportada por la red y la sobre producción se inyecta a esta para que pueda ser utilizada por otros usuarios. A la fecha de publicación de este documento, en el congreso Chileno se discute la ley que permitirá a pequeños productores de energías renovables vender la sobreproducción a sistema interconectado.

# **Capítulo 4**

## **Solución propuesta**

Hoy por hoy el desarrollo de Internet ha alcanzado niveles realmente impresionantes, no solo en lo que respecta a avances en capacidad de transmisión y almacenamiento de datos sino también en su modelo de crecimiento y expansión en la sociedad post-moderna en la era de la información. Prácticamente no hay rincón del planeta en donde no pueda hoy en día llegar la red de redes.

### **4.1. Arquitectura de la solución**

De acuerdo al problema planteado y a los requerimientos especificados en el capítulo 2, es esencial implementar un sistema que pueda difundirse en la sociedad de manera masiva y veloz. La RedSolLAC quiere y debe poder llegar al mayor número de personas interesadas en producir energías limpias y renovables.

Actualmente la RedSolLAC solo cuenta con un sitio Web donde publica información respecto de plantas solares productoras de energía, sin embargo con el objetivo de expandir sus alcances, objetivos y adherir miembros a la red, es que requiere de nuevas herramientas atractivas para los futuros integrantes. Es acá donde la presente memoria interviene, para desarrollar un nuevo sistema que integre el sitio Web ya existente con nuevas componentes que marquen la diferencia.

Para dar cumplimiento a los requerimientos se propone la siguiente arquitectura:

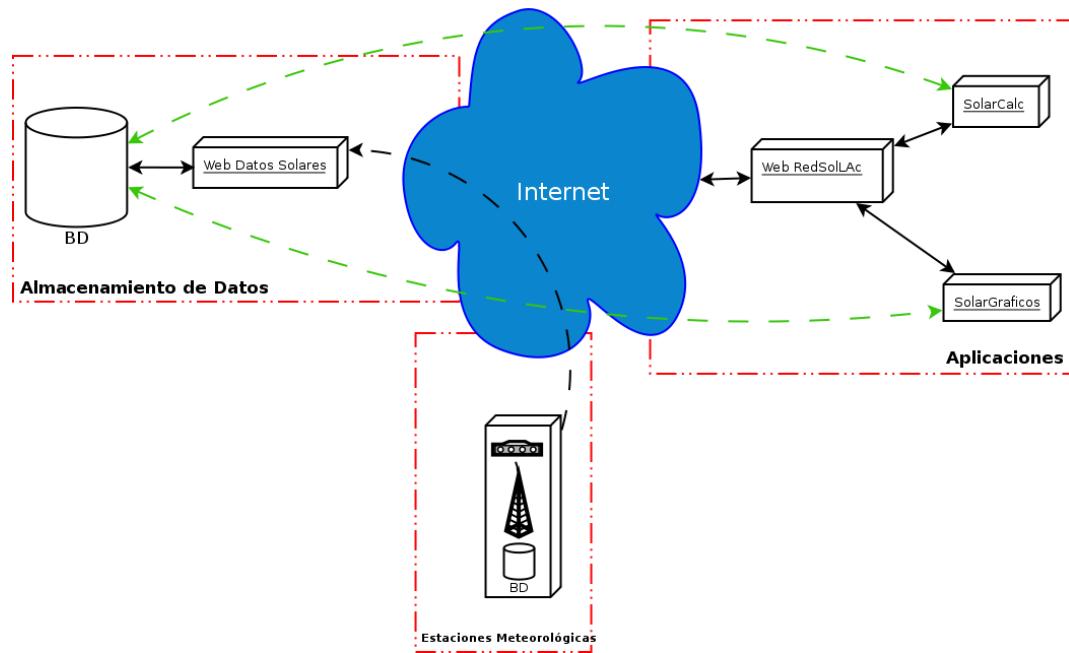


Figura 4.1: Diagrama general de arquitectura

En el diagrama (Fig:4.1) apreciamos las 3 partes que componen el nuevo sistema desarrollado, en primer lugar la componente de "Aplicaciones", consiste en un servidor Web que implementa la plataforma CMS Wordpress. Bajo esta plataforma se desarrollan las aplicaciones principales del sistema, que serán visitadas por los usuarios finales. Luego tenemos las "Estaciones meteorológicas", que son parte fundamental del proceso de adquisición de datos, cada una de ellas cuenta con diferentes sensores que miden el medio donde están instaladas. A través de un sistema de comunicación envían los datos a la plataforma de almacenamiento de datos. Finalmente la componente de "Almacenamiento de Datos", la cual consiste en un servidor Web que administra los procesos de registro, acceso y mantención de datos y un servidor de base de datos. Cada una de estas partes debe interactuar con las demás de manera muy precisa para conseguir el comportamiento requerido.

A continuación se describen las diferentes herramientas tanto de hardware como de software que permiten implementar el sistema:

### 4.1.1. Software utilizado

#### Wordpress

Wordpress es una avanzada plataforma semántica de publicación en la Web; libre, de código abierto y gratuito<sup>1</sup> con altos estándares de diseño y usabilidad. Es un sistema de manejador de contenidos (CMS) basado en estilo de publicación de blogs. Se distribuye bajo la licencia GPL. Está escrito en lenguaje PHP, utiliza el motor de bases de datos MySql y hojas de estilo CSS para la parte visual. Su arquitectura está pensada y diseñada de forma modular, lo que le permite adaptarse y ser configurable de acuerdo con los requerimientos de cada usuario.

La primera versión fue liberada el año 2003 por Matt Mullenweg y es un rama de otro proyecto llamado b2/cafelog. Actualmente esta plataforma está en su versión 3.0. Se estima que Wordpress a la fecha es la herramienta de publicación de contenido más utilizada y popular de la Red, con aproximadamente un 14 % de participación en Internet y con más del 22 % de utilización sitios nuevos o que se publican por primera vez[27].

Wordpress está echo de tal manera que permite a sus usuarios modificar o configurar partes esenciales del sistema, lo que lo hace flexible para agregar funcionalidades y adaptarse a los requerimientos de los usuarios. Además cuanta con un framework y una API que facilita la labor de los programadores.

Algunas características específicas de Wordpress son:

**Perfil Gráfico:** La parte visual de esta plataforma funciona a través de un sistema llamado "Themes"<sup>2</sup> (para efectos prácticos en adelante "Perfiles"). Los "Perfiles" son un conjunto

---

<sup>1</sup> Cuando hablamos de software libre es necesario hacer la diferencia entre 3 conceptos que normalmente se confunden. Es diferente definir un software como software libre, de código abierto o gratuito. Cuando decimos que algo es gratuito simplemente se hace referencia a que por dicho elemento no hay cobros asociados, o bien que puedes adquirirlo sin la necesidad de pagar, sin embargo cuando se habla de "software libre" se hace referencia a la libertad de los usuarios para con dicho software entre las cuales podemos encontrar la libertad de ser usado, copiado, estudiado, modificado, y/o redistribuido. Libertades que Richard Stallman define en la licencia GPL distribuida por la "Free Software Foundation". Por otro lado se define que un software es de "código abierto" cuando su código fuente se encuentra disponible para ser usado, aun que esto no implique la gratuidad o el derecho a modificación y/o distribución del software en su totalidad.

<sup>2</sup> Corresponde a la máscara gráfica o visual que forma parte del CMS Wordpress, para efectos de la memoria usaremos la traducción "Perfiles".

de bibliotecas programadas en PHP y JavaScript que permiten organizar la forma en que se presentan los contenidos del sitio sin alterar este mismo. Wordpress al estar diseñado de manera modular, permite a sus usuarios contar con gran cantidad de "Perfiles" diferentes. Mediante una interfaz de administración permite cambiar estos "Perfiles" de manera rápida y sencilla. Adicionalmente en el mercado, existen extensos depósitos de "Perfiles" que pueden ser instalados en cualquier sitio compatible con la versión indicada por el programador. En el sitio de Wordpress se puede encontrar una extensa documentación y una API que indica a los programadores que deseen desarrollar nuevos "Perfiles", cómo deben estructurar los ficheros y qué funcionalidades pueden agregar o quitar. Adicionalmente, los "Perfiles" pueden publicarse o bien Wordpress da la libertad a sus usuarios de vender trabajos basados en su framework, es decir, que éstos quedan en la libertad de licenciar sus códigos como mejor lo estimen conveniente.

**Plugins:** Los "Plugins"<sup>3</sup> funcionan casi de la misma manera que los "Perfiles" y así también la mayoría de los componentes que dispone Wordpress. Estos son un conjunto de bibliotecas<sup>4</sup> programadas en PHP y JavaScript que pueden instalarse o desinstalarse desde el panel de administración.

Cada "Plugin" está diseñado para agregar nuevas funcionalidades o modificar el comportamiento normal de los sitios. La documentación de Wordpress entrega pautas estrictas de cómo deben estar programadas las bibliotecas para que las nuevas funcionalidades no interfieran con el funcionamiento normal del sistema.

**Widgets:** Los "Widgets" son pequeños programas autónomos, que permiten agregar nuevas funcionalidades al sistema, pero que a diferencia de un "Plugin" común y corriente poseen una interfaz visual y están diseñados para exponer al usuario algún dato o funcionalidad específica. Estos pequeños programas pueden agregarse y quitarse de manera muy rápida,

---

<sup>3</sup> Esta palabra proviene del inglés "Plug" el cual es un tipo de "enchufe", por lo tanto. El concepto detrás de esta palabra hace referencia a la capacidad del componente de poder agregarse o quitarse de manera rápida y sencilla sin que esto pueda producir un colapso en la aplicación y que al mismo tiempo proporcione funcionalidades diferenciadoras.

<sup>4</sup> En ciencias de la computación, una biblioteca (del inglés library) es un conjunto de subprogramas utilizados para desarrollar software. Las bibliotecas contienen código y datos, que proporcionan servicios a programas independientes, es decir, pasan a formar parte de estos. Esto permite que el código y los datos se compartan y puedan modificarse de forma modular.

además tienen la característica de ser móviles. Generalmente son programas que se agregan en las barras laterales.

**Multiusuario:** Wordpress permite la creación y administración de muchos usuarios, los cuales pueden tener diferentes responsabilidades dentro del sistema, tales como administrar el contenido o bien la configuración del sitio. Esto permite que la mantención del sitio y a la vez las responsabilidades, puedan estar muy bien distribuidas sin riesgo de que algún usuario realice tareas no permitidas por su nivel de acceso.

## PHP

PHP es un acrónimo recursivo que significa "PHP Hypertext Pre-processor". Fue creado originalmente por Rasmus Lerdorf en 1994; sin embargo, la implementación principal de PHP es liderada , en la actualidad por "The PHP Group[15]". Publicado bajo la PHP License. La "Free Software Foundation" considera esta licencia como software libre.

Es un lenguaje de programación interpretado de alto rendimiento, diseñado originalmente para la creación de páginas web dinámicas. Se usa principalmente para la interpretación del lado del servidor (server-side scripting), pero actualmente puede ser utilizado desde una interfaz de línea de comandos o en la creación de otros tipos de programas incluyendo aplicaciones con interfaz gráfica. Sus características principales son:

- Orientado al desarrollo de aplicaciones web dinámicas con acceso a información almacenada en una base de datos.
- El código fuente escrito en PHP es invisible al navegador web y al cliente, ya que es el servidor el que se encarga de ejecutar el código y enviar su resultado HTML al navegador. Esto hace que la programación en PHP sea segura y confiable.
- Capacidad de conexión con la mayoría de los motores de base de datos que se utilizan en la actualidad, destaca su conectividad con MySQL y PostgreSQL.
- Capacidad de expandir su potencial utilizando módulos.

- Posee una amplia documentación en su sitio web oficial, entre la cual se destaca que todas las funciones del sistema están explicadas y ejemplificadas en un único archivo de ayuda.
- Es libre, por lo que se presenta como una alternativa de fácil acceso para todos.
- Permite aplicar técnicas de programación orientada a objetos.
- Amplia biblioteca nativa de funciones.
- No requiere definición de tipos de variables aunque sus variables se pueden evaluar también por el tipo que estén manejando en tiempo de ejecución.
- Tiene manejo de excepciones (desde PHP5).
- Si bien PHP no obliga a quien lo usa a seguir una determinada metodología a la hora de programar (muchos otros lenguajes tampoco lo hacen), aun haciéndolo, el programador puede aplicar en su trabajo cualquier técnica de programación o de desarrollo que le permita escribir código ordenado, estructurado y manejable. Un ejemplo de esto son los desarrollos que en PHP se han hecho del patrón de diseño Modelo Vista Controlador (MVC), que permiten separar el tratamiento y acceso a los datos, la lógica de control y la interfaz de usuario en tres componentes independientes.

## MySQL

MySQL es un sistema de gestión de bases de datos relacional, multihilo y multiusuario con más de seis millones de instalaciones. MySQL AB desde enero de 2008 una subsidiaria de Sun Microsystems y ésta a su vez de Oracle Corporation desde abril de 2009, desarrolla MySQL como software libre en un esquema de licenciamiento dual. Por un lado, se ofrece bajo la GNU GPL para cualquier uso compatible con esta licencia, pero para aquellas empresas que quieran incorporarlo en productos privativos deben comprar a la empresa una licencia específica que les permita este uso. Está desarrollado en su mayor parte en ANSI C.

Al contrario de proyectos como Apache, donde el software es desarrollado por una comunidad pública y los derechos de autor del código están en poder del autor individual, MySQL

es patrocinado por una empresa privada, que posee el copyright de la mayor parte del código. Esto es lo que posibilita el esquema de licenciamiento anteriormente mencionado. Además de la venta de licencias privativas, la compañía ofrece soporte y servicios. Para sus operaciones contratan trabajadores alrededor del mundo que colaboran vía Internet. MySQL AB fue fundado por David Axmark, Allan Larsson y Michael Widenius. Sus características principales son:

- Usa GNU Automake, Autoconf, y Libtool para portabilidad.
- Uso de multihilos mediante hilos del kernel.
- Usa tablas b-tree para búsquedas rápidas con compresión de índices.
- Usa tablas hash en memoria temporales.
- El código MySQL se prueba con Purify (software comercial) detector de memoria perdida así como con Valgrind (una herramienta GPL).
- Completo soporte para operadores y funciones de selección.
- Completo soporte de funciones de agrupación
- Ofrece un sistema de seguridad de contraseñas y privilegios mediante verificación basada en el host y el tráfico de contraseñas está cifrado al conectarse a un servidor.
- Soporta gran cantidad de datos (hasta 50 millones de registros).
- Se permiten hasta 64 índices por tabla (32 antes de MySQL 4.1.2). Cada índice puede consistir desde 1 hasta 16 columnas o partes de columnas y el tamaño máximo son 1000 bytes (500 antes de MySQL 4.1.2).
- Los clientes se conectan al servidor MySQL usando "sockets" "TCP/IP" en cualquier plataforma.
- En MySQL 5.0, los clientes y servidores Windows se pueden conectar usando memoria compartida.
- MySQL contiene su propio paquete de pruebas de rendimiento proporcionado con el código fuente de la distribución de MySQL.

## CSS

CSS es un lenguaje usado para definir la presentación de un documento estructurado escrito en HTML o XML. El W3C es el encargado de formular la especificación de las hojas de estilo que servirán de estándar para los agentes de usuario o navegadores.

La idea que se encuentra detrás del desarrollo de CSS es separar la estructura de un documento de su presentación. La información de estilo puede ser adjuntada como un documento separado o en el mismo documento HTML. En este último caso podrían definirse estilos generales en la cabecera del documento o en cada etiqueta particular.

## jQuery

jQuery[13] es una biblioteca de JavaScript, creada inicialmente por John Resig, que permite simplificar la manera de interactuar con los documentos HTML, manipular el árbol DOM, manejar eventos, desarrollar animaciones y agregar interacción con AJAX a páginas web. Fue presentada el 14 de enero de 2006 en el BarCamp NYC. Es software libre y de código abierto, posee un doble licenciamiento bajo la Licencia MIT[17] y la Licencia Pública General de GNU[14], permitiendo su uso en proyectos libres y privativos. jQuery, al igual que otras bibliotecas, ofrece una serie de funcionalidades basadas en JavaScript que de otra manera requerirían de mucho más código, es decir, con las funciones propias de esta biblioteca se logran grandes resultados en menos tiempo y espacio. Para incrementar la funcionalidad de jQuery se le agregaron algunos plugins como Flot[12] que permite crear de manera sencilla gráficos a partir de conjuntos de pares de datos.

### 4.1.2. Hardware

Durante el desarrollo e implementación del software involucrado en esta Memoria, fue necesario interiorizarse con una serie de elementos de hardware que forman parte de la mayoría de las estaciones meteorológicas para plantas de energía solar, así como elementos comunes empleados en la construcción de estas mismas.

**Datalogger Campbell CR1000:** Un Datalogger es un pequeño computador que cuenta con diferentes entradas para la conexión de sensores y otros equipos electrónicos tales como, módems, teclados y/o pantallas. Además cuenta con un sistema operativo que permite ingresar scripts para controlar su funcionamiento.

El "datalogger" CR1000 es compacto y ligero tiene una velocidad de ejecución de programa de 100 Hz y 1.500 Hz en "burstmode". En su interior, un procesador de 16-bit H8S Hitachi con 32-bit en la arquitectura interna de la CPU. Ocho entradas analógicas diferenciales (16 single-ended), dos canales contadores de pulsos y ocho puertos digitales I/O ports complementados con los puertos CS I/O y RS-232, puerto de 40-pin para periféricos y opción Ethernet (Fig:4.2).



Figura 4.2: Datalogger Campbell CR1000

Campbell Scientific es una compañía dedicada a la construcción y distribución de estos equipos. Junto con los equipos mantiene y provee un lenguaje de programación llamado CR-Basic, el cual está basado en BASIC[25]. Mediante este lenguaje es posible crear diferentes scripts de control que permiten manejar el comportamiento del "datalogger", como es por ejemplo los datos provenientes de los diferentes sensores y el envío de datos a través de un módem celular o interfaz Ethernet. Las características principales de este "datalogger" son:

- Ideal para aplicaciones de medición solar, vientos, estaciones meteorológicas, calidad del aire, humedad del suelo, nivel de agua, prevenciones de avalanchas y otros.
- Comunicación serial, dispone de entradas para dispositivos E/S.
- Recolecta y almacena datos, además puede controlar periféricos y actuar como sistema central.

- Flexibilidad de alimentación energética y sistemas de comunicación, lo que lo hace ideal para instalaciones remotas.
- 4 MB de memoria interna y puede ser expandido con módulos adicionales.
- Soporta protocolos PakBus, Modbus, SDI-12, y DNP3.
- Dispone de canales de expansión para periféricos lo que hace posible agregar funcionalidades al sistema.
- Compatible con software LoggerNet, PC400, o ShortCut.
- Protocolos de comunicación: TCP/IP, email, FTP, servidor web.
- Entradas protegidas mediante tubos de descarga de gas (Gas Discharge Tube (GDT)).

**Interfaz Ethernet NL200 Campbell:** Esta interfaz es un periférico distribuido por Campbell Scientific al igual que el "datalogger", mencionado anteriormente, que permite anexar una interfaz Ethernet directamente a esta, de manera de poder establecer una conexión a la red Ethernet de forma directa (Fig:4.3). Es mediante este módulo, que los datos recopilados de la estación de monitoreo "Fundación Chile Vitacura", son enviados al servidor donde se alojan las aplicaciones desarrolladas.



Figura 4.3: Periférico Campbell NL200

Como característica adicional hay que señalar que es un periférico diseñado especialmente para funcionar con el "datalogger" antes mencionado y además es un periférico pensado para un consumo de energía muy bajo, lo que lo hace ideal para estar conectado a la batería de la estación. Sus características principales son:

- Conector de corriente: DC Barrel.

- Requerimientos de corriente: 7 to 20 Vdc.
- Consumo de corriente: 50 mA active @ 13 Vdc.
- Standby forzado al tener 2 mA de corriente cuando esta conectado al puerto CS I/O en modo Bridge.
- Rango de temperatura en operación :  $-25^{\circ}$  to  $+50^{\circ}C$ .
- Puede ser configurado a través de USB o Ethernet, mediante Telnet.
- Puerto CS I/O: SDC 7, 8, 10, or 11.
- Puerto RS-232: DTE.
- Puerto USB: Micro-B.
- Puerto Ethernet: IEEE 802.3, Auto-MDIX, IPv4, TCP, DHCP, Ping, Telnet, TLS, Pak-Bus.
- Dimensiones: 16 x 6.73 x 2.54 cm.
- Peso: 177 g.
- Puerto RS-232 DTE: 1200 hasta 115.2k bps.
- Puerto CS I/O: 9600 hasta 460.8k bps.
- Ethernet: 10/100 Mbps.

**MultiModem Multitech modelo MTCBA-G-F4:** Este periférico construido y distribuido por Multitech[9] es un módem que permite conectarse a una red GSM y/o GPRS, funciona en conjunto con el "datalogger" Campbell de la misma forma que lo hace el periférico NL200 salvo que este módulo provee al "datalogger" de una conexión a Internet de manera inalámbrica a través de la red de telefonía celular, permitiendo conectar estaciones de monitoreo en lugares remotos (Ver Fig:4.4).

Para poder operar con este módem, es necesario contar con un plan de datos contratado de telefonía móvil con alguna de las compañías que operan en el sector donde se instalan las



Figura 4.4: MultiModem Multitech MTCBA-G-F4

estaciones de monitoreo. Sus características principales son:

- GPRS Clase 10.
- Banda cuádruple GSM 850/900/1800/1900 MHz.
- Corrección de errores MNP 2, Compresión V.42-bis.
- transmisión de datos hasta 85.6K bps.
- Pila TCP/IP embedida.
- Conector de antena SMA.

**Piranómetro PSP-Eppley:** El Piranómetro de Precisión Espectral, es un instrumento de medición de clase mundial designado para medir la radiación entregada por el sol y la atmósfera para todo el espectro eléctrico. Se compone de una multi-unión circular de hilo bobinado junto a una termo-pila Eppley que tiene la capacidad de soportar fuertes vibraciones y choques mecánicos (Ver Fig:4.5).



Figura 4.5: Piranómetro psp-eplay

**Sensor de temperatura y humedad HMP60:** Es una sonda de humedad sencilla, económica y duradera. Es adecuada para aplicaciones de volumen, integración en equipos de otros fabricantes, incubadoras, cajas de manipulación con guantes, invernaderos, cámaras de fermentación y registradoras de datos (Fig:4.6).



Figura 4.6: Sensor HMP60

**Batería PS100 Campbell Sci:** Baterías de plomo-ácido, la fuente de alimentación cuenta con un regulador de carga, puertos libres con salidas DC 12V, además de un conector para el módulo fotovoltaico.



Figura 4.7: Batería PS100

**Panel fotovoltaico SX310M:** Modulo fotovoltaico de alta eficiencia, compuesto por celdas de nitrito de silicio policristalinas.



Figura 4.8: Panel Solar SX310M

Sus características principales son:

- Tensión: 12.00 V.
- Potencia: 10 W.
- Corriente de salida: 0.59 mA.
- Largo: 26.9 cm.
- Alto: 42.1 cm.
- Grosor: 2.3 cm.
- Peso: 1.49 Kg.

## 4.2. Diseño de la solución

Basándonos en el análisis de la sección 4.1 se diseñó una solución de 3 componentes, las cuales podemos apreciar de manera más clara en el Diagrama de Despliegue (Fig:4.9). Este diagrama detalla de manera precisa la implementación que tiene cada uno de los componentes.

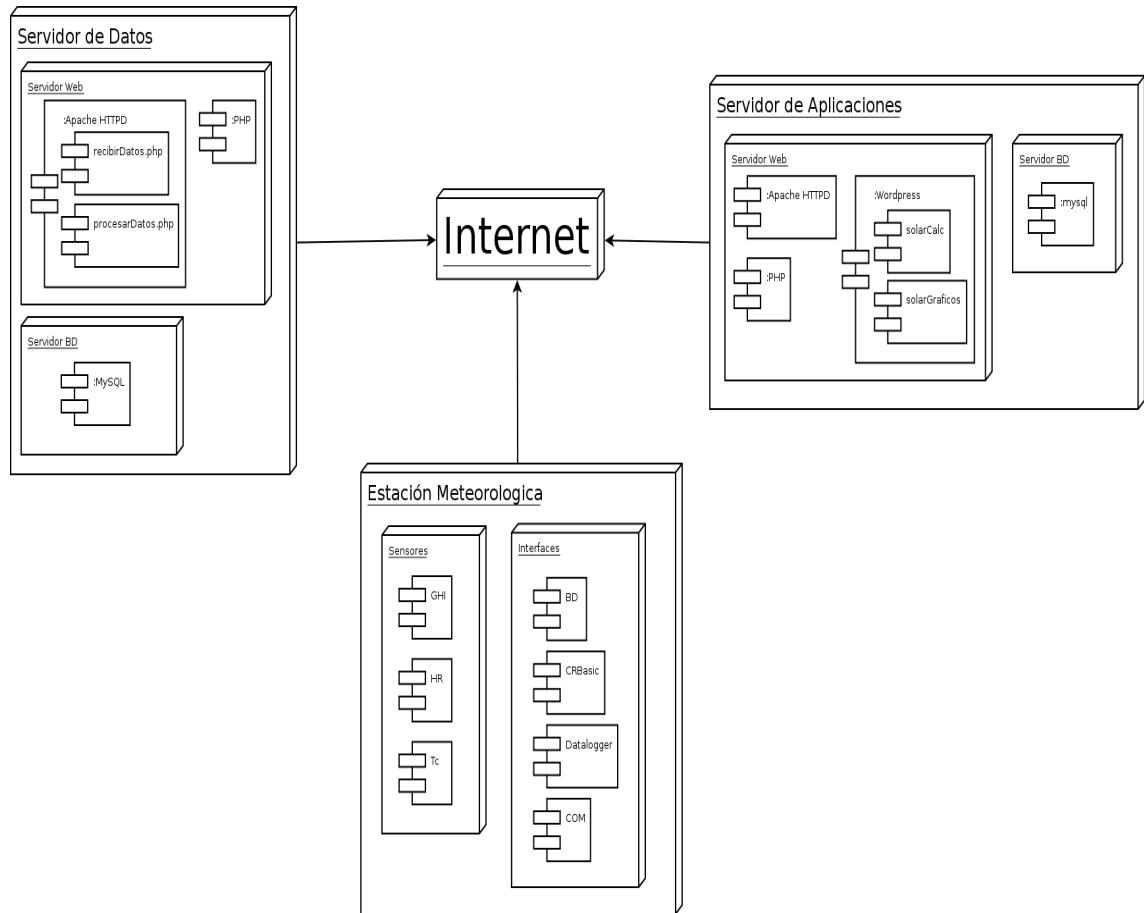


Figura 4.9: Diagrama de Despliegue

### 4.2.1. Servidor de Aplicaciones

En el componente de "Aplicaciones" se distinguen 3 partes, en primer lugar el "Sitio Web de la RedSolLAC" el cual fue desarrollado con anterioridad al inicio de esta memoria,

la segunda parte es el módulo ”solarGraficos” que permite visualizar los datos originados por las estaciones meteorológicas y finalmente el módulo ”solarCalc”, el cual consiste en una calculadora para dimensionar sistemas fotovoltaicos, que junto al módulo de datos y los parámetros ingresados por el usuario entrega un informe de producción energética.



Figura 4.10: Sitio Web RedSolLAC

### Sitio web RedSolLAC

Inicialmente, antes de desarrollar esta Memoria, RedSolLAC desarrolló un sitio web (Ver Fig:4.10) el cual le proporcionó una valiosa herramienta de difusión. En un principio no requería de un sistema de publicación Web complejo, necesitaba un sistema que le permitiese agregar nuevas noticias e información, así como de administrar la parte visual, estos requerimientos condujeron a la implementación del CMS Wordpress. Posteriormente RedSolLAC se vio en la necesidad de implementar nuevas herramientas innovadoras que pudiesen generar curiosidad en sus usuarios antiguos así como en los futuros usuarios que tendría la Red. Las características del sitio sobre el cual se implementan las mejoras planteadas en esta solución son:

Cuadro 4.1: Características sitio Web RedSolLAC

Wordpress	Versión 3.4.1
Theme(Perfil)	Revelation V1.0
Plugins	Contact(v0.7.1), Custom sidebars(v1.1), Google Analytics(v1.0.2), Maintenance Mode(v5.4), WordPress Google Form(v0.3), Wordpress Importer(v0.6)
Hosting	Godaddy.com, Deluxe Linux, 150Mb, 500 Email, Ancho de banda ilimitado, 25 BD Mysql, DNS, 50 cuentas FTP
Base de datos	versión 5.0
PHP	Versión 5.2
Dominio	redsollac.org

### SolarGraficos

”SolarGraficos” es el nombre de la primera aplicación desarrollada en esta Memoria y que cumple con los requerimientos de exponer los datos de manera sencilla e intuitiva capturados por las estaciones meteorológicas, en el sitio web de RedSolLAC. Esta aplicación fue desarrollada en PHP 5 y complementada con JavaScript y jQuery, adicionalmente utiliza la biblioteca Flot para crear un gráfico que incluye las mediciones individuales de los siguientes parámetros: radiación global horizontal(GHI), temperatura ambiente(Tc) y humedad relativa del aire(HR).

La aplicación fue desarrollada siguiendo la estructura de programación de plugins de Wordpress[26], usando las funciones de la API que registran y eliminan gatilladores en tiempo de ejecución. El ”plugin” creado registra una nueva ”pagina de Wordpress” la cual utilizando una llamada ”Ajax” solicita la ejecución del fichero ”solarGrafico.php”. Este fichero contiene el código esencial que conforma la aplicación.

En primera instancia ”solarGrafico.php”, desde el lado del servidor, crea la estructura estática de la aplicación y escribe el código ”JavaScript” que permite luego en tiempo de

ejecución del lado del cliente hacer las llamadas necesarias que muestran los datos solicitados (Ver Fig:4.11). Una vez creada la estructura de la página se solicita al "Servidor de Almacenamiento de datos" mediante una consulta "Ajax" sincrónica, los datos del período "día", el cual es el período por defecto. Una vez que estos datos están completamente cargados, la aplicación crea un gráfico por defecto que contienen las 3 curvas mencionadas con anterioridad (GHI, HR y Tc) para el periodo del día actual. Luego de crear el gráfico se cargan las barras que muestran la última lectura de cada parámetro y el módulo de descarga de datos. Finalizada esta carga inicial, el sistema ejecuta 3 llamadas "Ajax" asincrónicas (Ver Fig:4.13) al "Servidor de Almacenamiento de Datos" solicitando datos de los períodos correspondientes (semana, mes y año) tomando como referencia la fecha actual. A medida que los datos se cargan la opción de visualizar dicho período va apareciendo como disponible en la interfaz de usuario para que éste pueda solicitar ser graficada. Gracias a que las llamadas para cargar los datos de los períodos de tiempo más extensos son llamadas asincrónicas, el navegador no se bloquea y el usuario puede seguir utilizando la aplicación. (Ver Fig:4.12).

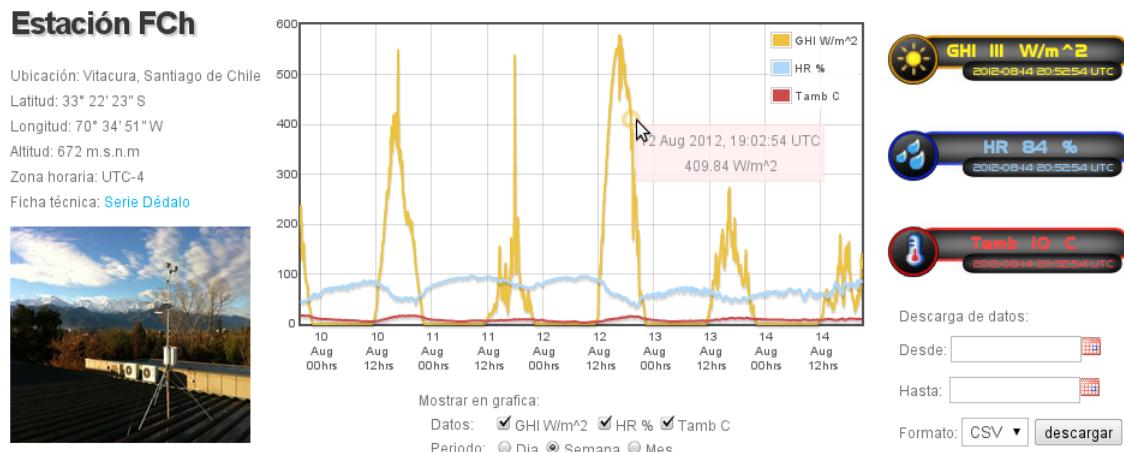


Figura 4.11: Imagen de la aplicación SolarGraficos

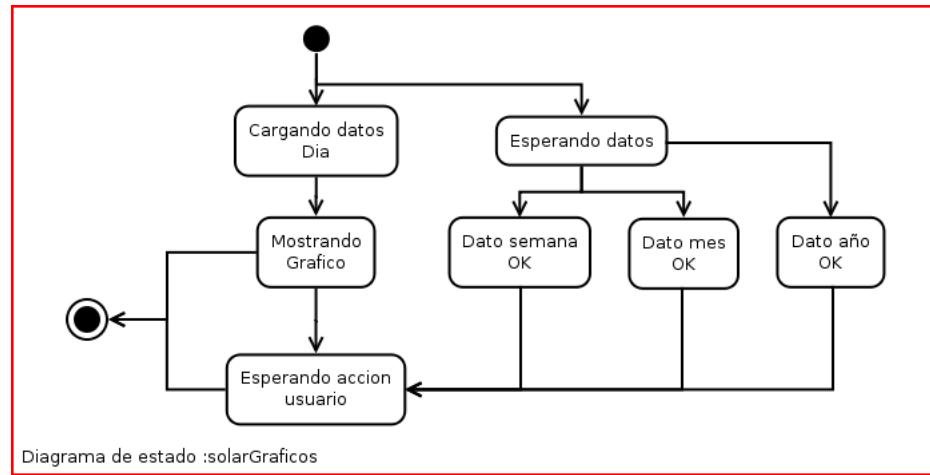


Figura 4.12: Diagrama de Estados solarGraficos

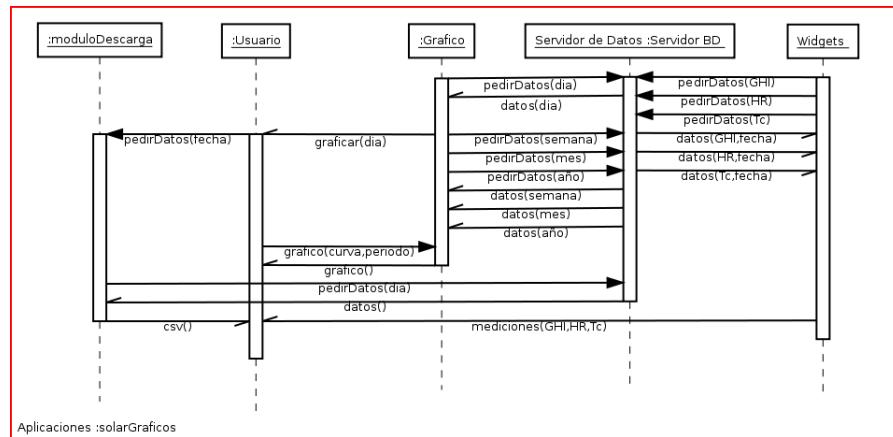


Figura 4.13: Diagrama de Secuencia solarGraficos

## SolarCalc

”solarCalc” es el nombre que se le ha asignado a la segunda aplicación desarrollada en esta Memoria. Su función, es recopilar información del usuario referente al tipo de planta fotovoltaica que le gustaría instalar y a la ubicación donde se planea construir. Luego, tomando los datos, realiza un proceso de cálculo descrito más adelante, para finalmente entregar un informe de producción energética, este informe puede ser utilizado posteriormente en la planificación económica de la futura planta solar.

Para el proceso de cálculo, fue necesario modelar un sistema basado en mediciones horarias, es decir para calcular la radiación total en un mes dado, se utiliza un conjunto de datos de GHI de media mensual por un periodo de una año, con estos datos se construye una muestra horaria basada en un modelo de distribución estadístico, obteniendo una cantidad de radiación en  $W/m^2$  día para cada mes del año. Este modelo permite aplicar una serie de correcciones y mejoras a los modelos típicamente usados, basados en medias mensuales simples, ya que permite aplicar correcciones diarias en cuanto a los modelos de nubosidad, diferentes parámetros climáticos y características de la luminosidad solar. Este modelo también se sustenta en el comportamiento cíclico del movimiento del Sol y la Tierra que originan el día y la noche, además de las estaciones invierno y verano.

Por otra parte, este modelo considera una serie de variables ambientales que influyen en el cálculo de la radiación total recibida en la superficie de los paneles solares. Las variables más importantes que influyen en este cálculo son:

**Temperatura ambiente:** Esta variable es sumamente influyente, ya que altera directamente la eficiencia de conversión de los paneles solares, mientras más calientes se encuentren éstos, menor sera su rendimiento, la magnitud de la influencia de la temperatura depende de cada fabricante, el cual incluye en las especificación ecuaciones para calcular esta perdida.

**Velocidad del viento:** La velocidad del viento, afecta indirectamente a la temperatura o a la ”sensación térmica” del panel, modificando directamente la temperatura de operación.

**Época del año:** La época del año es una de las variables más complejas, ya que influye en la cantidad de radiación que reciben los paneles durante el día. En verano esta radiación sera mas alta y en invierno disminuye. Además, se considera el ángulo que forma la posición del sol respecto del sistema fotovoltaico, donde en verano sera mas elevada y el tiempo de exposición mas largo (más horas de luz durante el día), mientras que en invierno el ángulo formado sera menor por lo que las horas de luz serán considerablemente inferiores. Existe además ciertas optimizaciones que pueden ser aplicadas al sistema, tales como la modificación del ángulo de inclinación, menor en verano y mayor en invierno.

**Ubicación Geográfica:** Otra variable muy importante es la ubicación geográfica del sistema instalado, esto influye de varias maneras. En primer lugar, la orientación de paneles solares que para un óptimo funcionamiento debe estar mirando hacia el sur en el hemisferio norte y mirando al norte en el hemisferio sur. Además es importante considerar si el sistema estará ubicado en una zona costera, la cual influirá directamente en la proporción de radiación directa, difusa y reflejada. Es importante notar que para obtener resultados más óptimos la inclinación de los paneles respecto de la horizontal del piso, por lo general debe ser parecida a la latitud en valor absoluto, así tendríamos que ubicar los paneles casi en posición horizontal cuando el sistema se ubique cercano a la línea del Ecuador y en posición vertical cuando instalemos sistemas cercanos a los polos.

**Nubosidad:** El índice de nubosidad influye, en el tipo de radiación que reciben los paneles solares, de acuerdo a lo explicado en el capítulo 3 si la cantidad de nubes es muy alta, la probabilidad de recibir radiación directa es muy baja, mientras que la redición difusa será en proporción más elevada. Además las nubes evitan que la radiación alcance la superficie, por lo que una gran cantidad de ellas no será beneficioso para la producción de energía. Lo más común es que para hacer este cálculo se utilice un modelo proporcional respecto de la cantidad de radiación extraterrestre y la cantidad de radiación recibida en la superficie de la tierra.

**Tipo de superficie:** Otro factor no tan significativo, pero no menos despreciable, será el tipo de terreno donde se encuentre instalado el sistema. Recordemos que de acuerdo a la composición de la radiación global vista en el capítulo 3, una de las componentes de ésta,

corresponde a la cantidad de radiación que refleja el suelo, entonces tenemos que para una superficie negra la absorción será total y no reflejará parte alguna (ej. tierra), Mientras que una superficie blanca, reflejará prácticamente toda la radiación, resultando muy beneficiosa (ej. nieve).

Como vimos en el apartado anterior las variables que afectan la producción de energía solar son muchas y cada una más compleja que la anterior, por lo que la versión de la calculadora que se publica con esta memoria solo incluye algunos de los parámetros más relevantes para este cálculo, dejando los otros para futuras mejoras.

A medida que la RedSolLAC se haga más conocida, tendrá acceso a mayor cantidad de datos empíricos, por lo que el modelo predictivo podrá ir desapareciendo para dar paso a un cálculo basado en datos reales.

Los siguientes diagramas, de secuencia (Ver Fig. 4.14) y estado (Ver Fig. 4.15), respectivamente exponen el funcionamiento de la calculadora.

En el anexo 7.6 se puede ver el "script" en PHP que realiza los cálculos

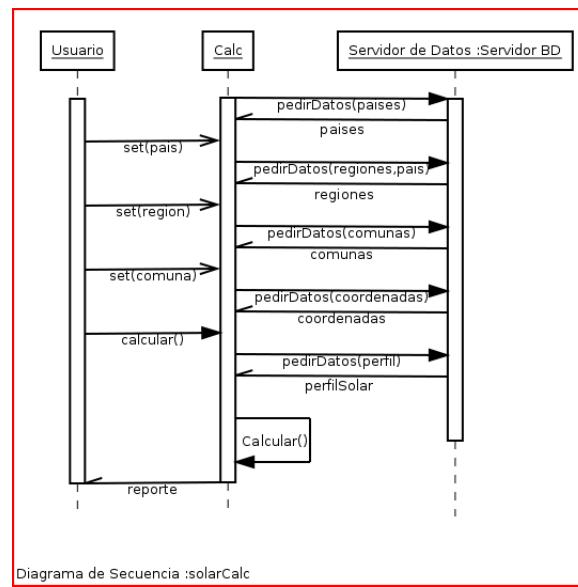


Figura 4.14: Diagrama de Estados solarCalc

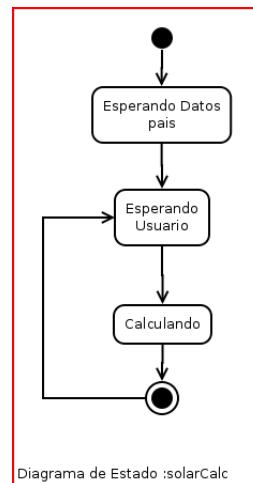


Figura 4.15: Diagrama de Secuencia solarCalc

#### 4.2.2. Estaciones meteorológicas

La componente "Estaciones meteorológicas", abarca todas las estaciones de medición que están adaptadas para registrar datos en el "Servidor de almacenamiento de datos", para ello fue necesario acondicionar cada estación, agregándoles un módulo de comunicación, este módulo de comunicación depende del lugar geográfico donde se ubica la estación, ya que esto determinará la tecnología a implementar. Cualquiera sea la tecnología, esta debe permitir que cada estación se conecte a Internet y a través de esta red pueda, contando con las debidas llaves de autenticación, acceder al "servidor de almacenamiento de datos". Adicionalmente y para dar cumplimiento a los requerimientos de seguridad y resguardo de datos, fue necesario programar el módulo para que pudiese almacenar datos de manera local, independiente del estado de la conexión, diseñando un protocolo manual de restauración de datos, previniendo de esta forma, posibles pérdidas de datos.

Principalmente, Fundación Chile, ofrece a sus clientes dos tipos de estaciones, serie "Dédalo" y serie "Icaro", cada una de ellas tienen componentes diferentes y fueron diseñadas para diferentes propósitos, las especificaciones generales de cada una de las Series se encuentra en la sección de anexos (Dédalo Ver: 7.2 e Icaro Ver: 7.3). Para realizar las pruebas del sistema se utilizó una estación Serie Dédalo, que es la estación ubicada en la comuna de Vitacura en las instalaciones de Fundación Chile, las características específicas de esta estación

se presentan en el cuadro siguiente:

Cuadro 4.2: Características específicas estación Dédalo Fundación Chile

Componente	Detalle
Datalogger	Campbell Sci. CR1000
Piranómetro	Apogee 10.1
Sensor de Humedad	HMP60 Vaisala
Sensor de Temperatura	HMP60 Vaisala
Interfaz de Comunicación	Campbell Sci NL200

Para que dicha estación opere de manera correcta es necesario programar su "datalogger" con un "script" escrito en CRBasic. Este script se encuentra en la sección de anexos. (Ver: anexo 7.7)

Inicialmente el "script" contiene la definición de variables que utilizará durante la ejecución. Tanto las variables de ejecución como las que serán posteriormente referenciadas a los diferentes "inputs" de cada sensor.

Luego sigue la definición de unidades. Cada instrumento mide parámetros en magnitudes físicas diferentes y el lenguaje permite declarar estas unidades.

En tercer lugar se declara la definición de tablas de datos que almacenan los datos capturados por los instrumentos conectados. Pueden ser declaradas tantas tablas como sea necesario, sin embargo, a cada una se le debe asignar la cantidad de registros máxima que puede almacenar. En el eventual caso en que sea necesario más de una tabla, se debe planificar bien el uso de la memoria, ya que es un recurso limitado en el "datalogger".

Como cuarto elemento, se da inicio a la ejecución del "script" con la declaración "Begin-Prog" y "Scan". Esta última declaración será una rutina de ejecución iterativa en el tiempo, parámetro que debe ser declarado en la misma instrucción.

Dentro de la declaración "Scan", se establece una nueva conexión TCP/IP mediante la apertura de un "socket", si la conexión es exitosa, se envían los datos mediante la instrucción "GET", si no, saltamos dicho paso. Finalmente se almacenan los datos medidos en la tabla de memoria interna.

Para graficar de mejor manera cual es el comportamiento de la estación se presenta un diagrama de estados y un diagrama de secuencia (Ver Fig: 4.16 y 4.17).

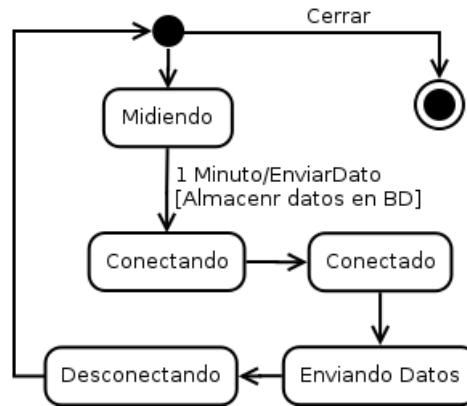


Figura 4.16: Diagrama de Estado estación meteorológica

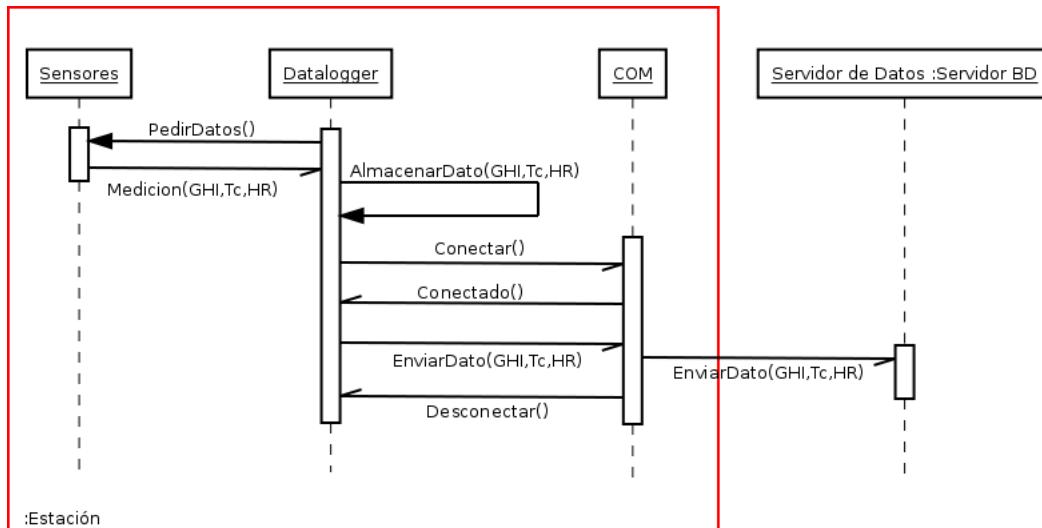


Figura 4.17: Diagrama de Secuencia estación meteorológica

### 4.2.3. Servidor de almacenamiento de datos

Anterior al desarrollo de este sistema, cada estación almacenaba datos en su memoria interna y era necesario que una persona accediese físicamente a cada estación con un PC portátil a descargar los datos. Este proceso resultaba bastante complejo y en varias ocasiones

---

se perdían datos.

Esta componente cuenta con un servidor de bases de datos y un servidor Web, el cual es utilizado para el manejo y mantención de la base de datos y el control de acceso.

El sistema de "Almacenamiento de Datos" está compuesto por un solo servidor físico, el cual implementa el servidor Web Apache HTTPD y el servidor de bases de datos MySQL. El servicio MySQL se encarga directamente de almacenar los datos que llegan desde las estaciones y atender las solicitudes de datos del "servidor de aplicaciones", mientras que el servicio Web implementa ciertas rutinas escritas en PHP que componen el sistema de seguridad e integridad de los datos. Adicionalmente implementa rutinas que forman parte del sistema de respaldo manual para casos de falla del sistema.

Uno de los requerimientos claves de este sistema es la robustez e integridad de los datos, así como la confiabilidad de ellos. Este sistema tiene restringido el ingreso de datos solo al módulo de estaciones y en ocasiones especiales al sistema de mantenimiento manual, por lo que implementa rutinas en PHP, a través del servidor Web que impiden que cualquier actor diferente de una estación pueda registrar datos nuevos. Estas rutinas son ejecutadas directamente por las estaciones a través del "datalogger" haciendo llamadas GET con las llaves de seguridad adecuadas.

El sistema implementa una salida de datos libre, esto quiere decir que cualquiera que posea acceso a la base de datos puede solicitar el envío de estos a sus aplicaciones sin la necesidad de llaves extras de seguridad. Este acceso esta pensado para ser concedido mediante un contrato de prestación de servicios con algún cliente que deseen publicar datos en sus aplicaciones.

Cuando una estación hace una llamada GET, el servidor Web mediante una rutina en PHP verifica las llaves de seguridad e integridad de los datos que le son enviados de la estación para luego enviarlos a la base de datos. Una vez que la petición GET es recibida, esta devuelve a la estación un mensaje "200" si la llamada fue recibida o un mensaje "404" si se produjo un error. En cualquier caso para el "datalogger" es indiferente si la petición fue aceptada y el sistema no fue diseñado para realizar esta verificación.

En una futura implementación, queda planteada la posibilidad de diseñar un protocolo de comunicación que permita la verificación de datos como una forma de mejorar la robustez del sistema.

El siguiente diagrama de estados detalla de forma técnica el comportamiento de esta componente:

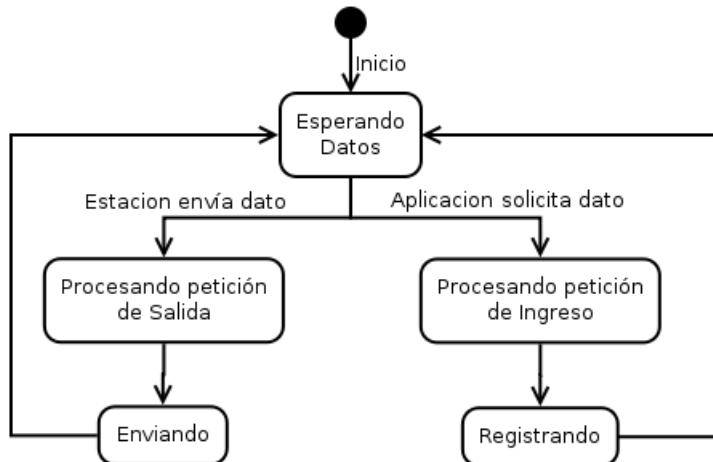


Figura 4.18: Diagrama de Estados Sistema de Almacenamiento

#### 4.2.4. Modelo de datos

El modelo de datos desarrollado (Ver Fig. 4.19) cuenta con dos bases de datos, la primera de ellas contiene las tablas de uso general del sistema con información respecto de la radiación solar, datos meteorológicos, información geográfica para las diferentes comunas, información respecto de las estaciones meteorológicas registradas e información de utilidad para la parte gráfica propia del sitio.

La segunda base de datos esta orientada solo a la recopilación de datos de las diferentes estaciones.

Esta decisión, de separa las bases de datos, fue una decisión de diseño del sistema ya que según los requerimientos, cada estación registra parámetros distintos dependiendo de los sensores, si bien hubiese sido posible estandarizar una tabla con la mayoría de los instrumentos, esta tabla hubiese sido de un tamaño exageradamente grande, por otro lado, la mayoría de las

estaciones registran datos cada un minuto, esto desemboca en un crecimiento muy rápido en la cantidad de registro de las tablas, si bien el crecimiento es lineal en el tiempo, la combinación de registros con todos los sensores posibles, mas todas las estaciones juntas en una sola tabla, hubiesen provocado un colapso y grandes dificultades de administración y mantención.

Para tener una idea aproximada del crecimiento de las tablas de datos, se plantea un el siguiente ejercicio: Solo la estación "Fundación Chile Vitacura" almacena en su tabla de datos 3 mediciones (GHI, RH, Temp) mas 3 columnas extras para todo registro (id, timestamp, Battv). Además registra datos con intervalos de un minuto, solo esta estación crece 34 MB al año y 525.000 registros.

Cuadro 4.3: Crecimiento de la base de datos

Numero de columnas	6
Tamaño de la fila	66 Bytes
Cantidad de registros	525.600 Anual
Tamaño BD anual	33.877 KBytes

A primera vista el tamaño de crecimiento en Bytes no es significativos, considerando la capacidad que manejan los servidores de datos en la actualidad, sin embargo la cantidad de registro ingresados día a día a la base de datos, bajo el supuesto de que existirán un numero considerable de estaciones, hace que una sola tabla sea inmanejable ante una eventualidad o emergencia.

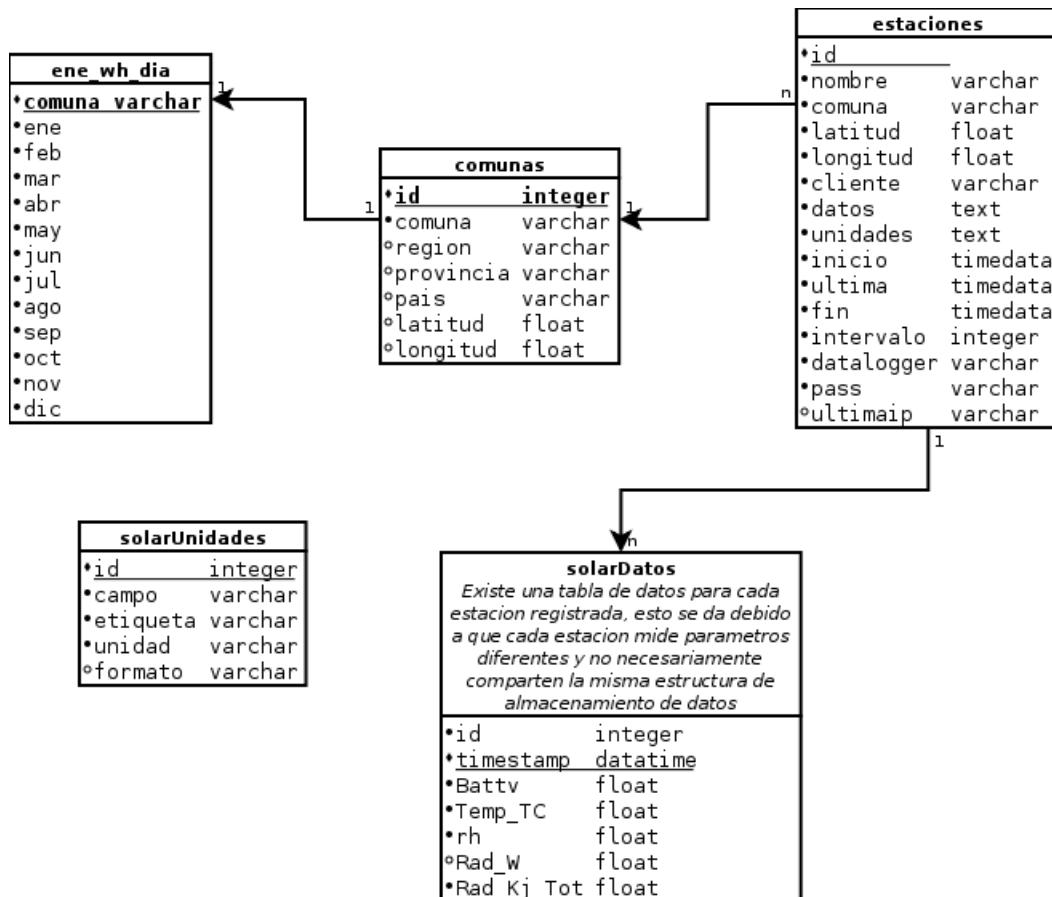


Figura 4.19: Diagrama del modelo de datos

# Capítulo 5

## Pruebas del sistema

### 5.1. Funcionamiento del sistema

#### 5.1.1. SolarGraficos

##### Información general de la estación

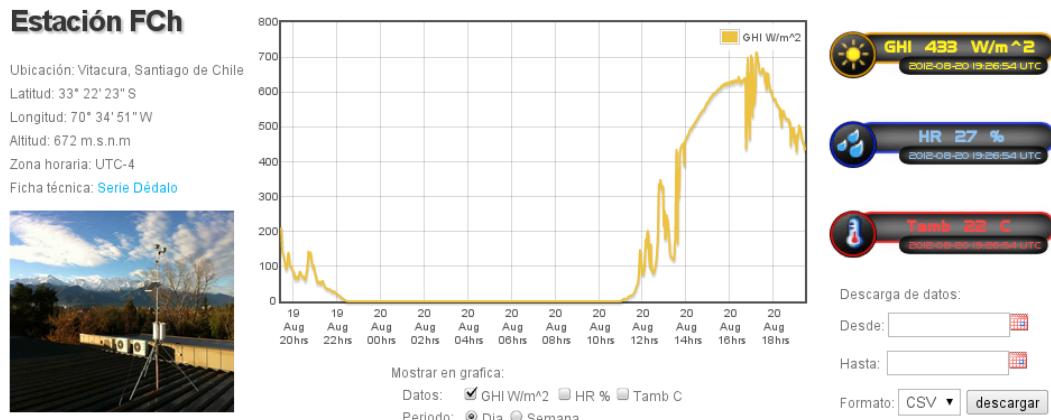


Figura 5.1: Presentación de la aplicación

A la izquierda, en la primera columna (Ver. Fig. 5.1), la aplicación muestra la información general de la estación, presentando datos tales como: nombre, ubicación política y geográfica, altitud, zona horaria donde se encuentra y finalmente una ficha técnica sobre el hardware que posee. En la parte inferior se puede apreciar una fotografía de esta.



Figura 5.2: Primera marca



Figura 5.3: Segunda marca

En la columna derecha de la aplicación, se presentan indicadores de la ultima medición obtenida (Ver. Fig. 5.2 y 5.3). Por cada parámetro que la estación mide, hay un "widget" que muestra el valor numérico de la medición junto a sus unidades y nombre. En la zona inferior de cada medición se muestra la fecha a la que se asocia dicha medición.

### Manejo del visualizador

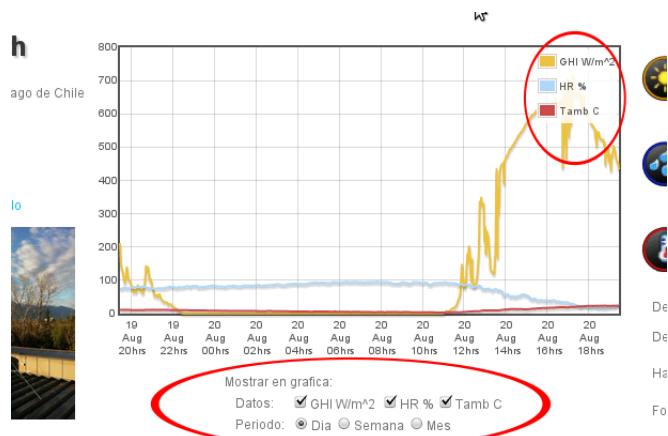


Figura 5.4: Visualizador - Curvas de la gráfica

La primera herramienta de la cual dispone "solarGraficos", da la posibilidad de habilitar o deshabilitar en la gráfica las curvas para los diferentes parámetros medidos por la estación, estas pueden mostrarse de manera individual o bien en conjunto (ver Fig: 5.4).



Figura 5.5: Visualizador - Periodos de tiempo

Siguiendo con las herramientas de configuración de la gráfica, la figura 5.5 nos muestra la posibilidad de modificar los periodos de tiempo que se muestran para cada una de las curvas, dado que la cantidad de datos con la que se dibujan las gráficas son bastante grandes, estas toma algún tiempo en cargarse, por lo que si observamos con mas detalle, las opciones para mostrar las curvas en periodos de una semana, un mes o un año, irán apareciendo a medida que los datos estén totalmente cargados. Esta carga ocurre de manera transparente, por lo que mientras esto sucede el usuario puede hacer uso de todas las demás funcionalidades de la aplicación.

Para obtener mas detalles respecto de alguna medición en particular reflejada en la gráfica, basta con posicionar el cursor sobre la curva deseada y esta identificara de manera automática los puntos donde exista una medición, marcando el punto con un circulo a su alrededor, adicionalmente mostrara una pequeña ventana emergente con información detallada de la medición, unidades, hora y fecha especifica. La figura 5.6 muestran como esta característica se aplica a cada una de las curvas.

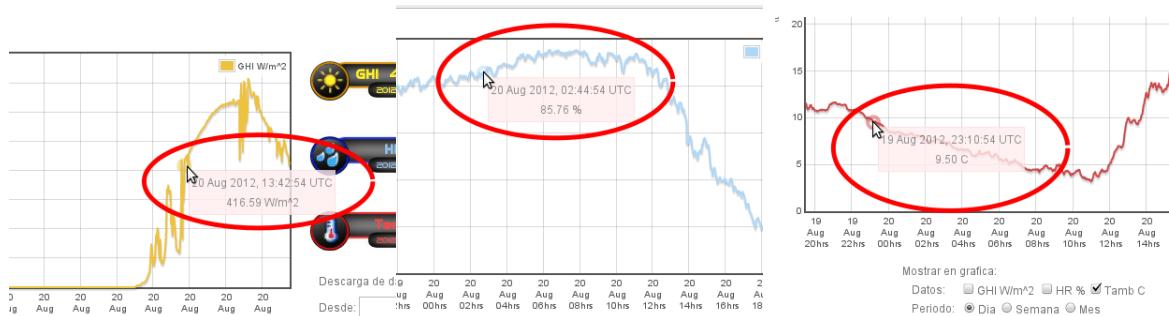


Figura 5.6: Posición del cursor

## Descarga de datos

La aplicación cuenta con un módulo que permite descargar los datos directamente desde el "Servidor de almacenamiento de datos", de forma personalizada, para ello, en la sección inferior derecha, bajo el título "Descarga de datos" hay dos campos denominados "desde" y "hasta", al hacer clic en cada uno de ellos se despliega un calendario que permite seleccionar el día específico para cada campo (Ver. Fig. 5.7). Mediante esta utilidad podemos especificar el rango de tiempo que contendrá el fichero descargado con los datos en formato CSV. Este fichero puede ser utilizado en diversas aplicaciones externas para cargar los datos y realizar cualquier tipo de procesamiento deseado (Ver. Fig. 5.1.1).

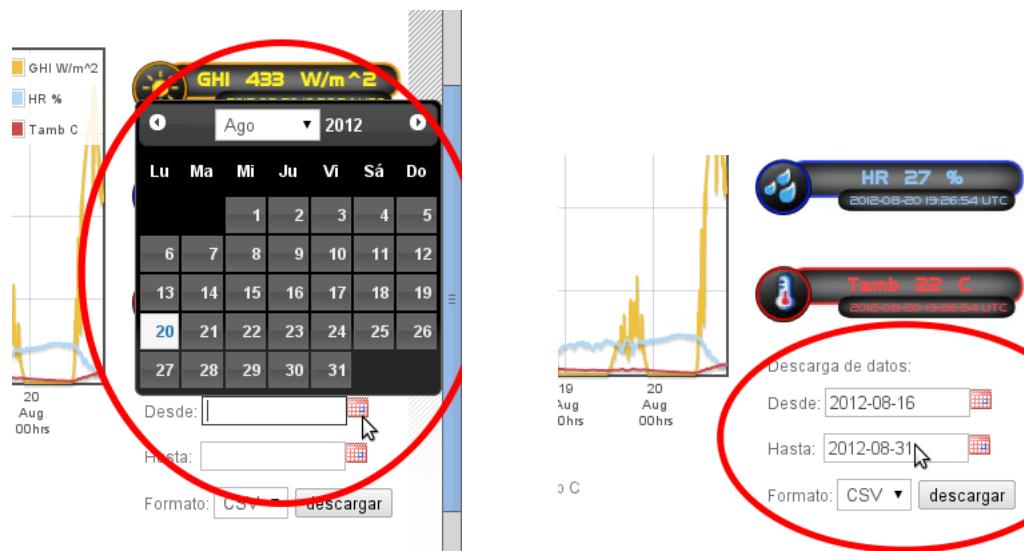


Figura 5.7: Descarga de datos - Calendario

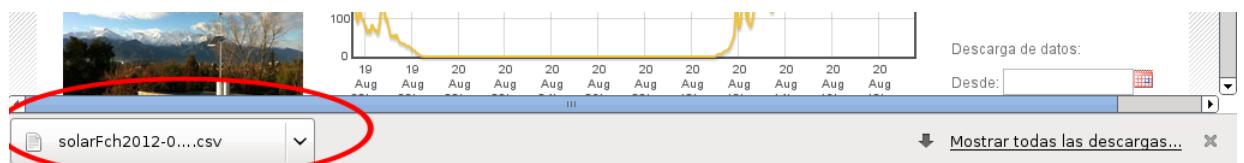


Figura 5.8: Descarga de datos - Fichero

## 5.1.2. SolarCalc

### Presentación inicial

The screenshot shows the 'Calculadora Solar' (Solar Calculator) application. At the top, there's a header 'Calculadora Solar'. Below it, a section titled 'Ubicación Geográfica' (Geographic Location) contains fields for País (Country), Región (Region), Comuna (Comune), Latitud (Latitude), and Longitud (Longitude). To the right of these fields is a small icon of a globe and a compass. The next section, 'Especificaciones del sistema PV' (PV System Specifications), includes fields for Potencia planta (W) (4000), Factor de rendimiento (Performance Factor) (0.77), Orientación (Orientation) (0), Indinación (Inclination) (0), and Albedo (Albedo) (0.2). There's also a small icon of a battery. To the right of this is another section titled 'Información de energía' (Energy Information) with an icon of coins. A large yellow button labeled 'Calcular' (Calculate) is positioned below the PV specifications. The bottom section, 'Resultados' (Results), is currently empty.

Figura 5.9: Presentación Calculadora

Al cargar la calculadora se aprecia la figura 5.9, adaptada a los requerimientos planteados, es una interfaz sencilla, con la menor cantidad de parámetros necesarios, los cuales se van actualizando a medida que el usuario los rellena. Dividida en 4 secciones de acuerdo a la caracterización de los parámetros.

### Ubicación geográfica

La primera sección que se debe llenar es la posición geográfica donde se pretende instalar la planta a simular, por el momento la calculadora solo cuenta con información de Chile (Ver. Fig. 5.10) en todas sus Regiones y Comunas.

Al momento de seleccionar la comuna (Ver. Fig. 5.11), el sistema automáticamente establece las coordenadas geográficas del centro de esta. Como indica la figura, los parámetros deben ser ingresados en orden secuencial, iniciando por el país, luego la región y finalmente la comuna, de manera de permitir al sistema ir cargando la información de forma dinámica.



Figura 5.10: País

## Calculadora Solar

Figura 5.11: Región, comuna, coordenadas geográficas

## Especificaciones del sistema PV e información de la energía

Esta sección es una de las mas complejas si no se cuenta con cierto conocimiento técnico de los sistemas fotovoltaicos, acá se debe proporcionar a la calculadora parámetros específicos (Ver Fig:5.12) de la configuración de los equipos de la planta a simular.

Figura 5.12: Especificación del sistema PV

**Potencia de la planta:** Es la suma de la potencia individual de cada uno de los módulos fotovoltaicos del sistema, la que se puede encontrar en la etiqueta trasera de estos. Como referencia, un módulo PV de 1,5[m] de alto por 1[m] de ancho (1,5[m<sup>2</sup>]) de Silicio policristalino, produce 200[W] de Potencia bajo STC (“Standard Test Conditions” asume 1000[W/m<sup>2</sup>] de radiación solar, una temperatura ambiente de 25°C y velocidad del viento

de 1[m/s]).

Una instalación de 4000[W] corresponde a 30 [m<sup>2</sup>] de superficie cubierta con módulos solares.

**Factor de rendimiento:** Factor que incorpora las pérdidas respecto al proceso completo de conversión de energía, desde que sale de los paneles hasta que está disponible en corriente alterna, respecto a la situación ideal sin pérdidas. Su valor típico es 0.77, variando según el sistema entre 0.62 y 0.96.

Consiste en la multiplicación de los factores asociados a pérdidas en los cables, conexiones y diodos, eficiencia del inversor y transformador, variación respecto al valor de placa del módulo solar, entre otros.

**Orientación:** Corresponde a la orientación de los paneles respecto al punto cardinal Norte, en la figura expresado por el ángulo  $\alpha$  en grados.

Si el panel se encuentra orientado hacia el Norte, corresponde a 0°, aumentando a medida que se gira hacia el Sur, en sentido horario (Oeste=270°, Sur=180°, Este=90°).

**Inclinación:** Corresponde a la inclinación de los paneles respecto al eje horizontal, en la figura expresado por el ángulo  $\beta$  en grados.

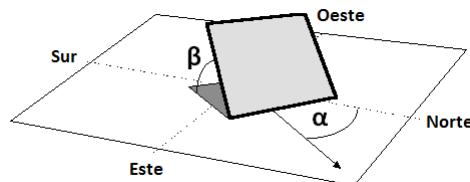


Figura 5.13: Orientación del sistema PV

**Albedo:** Índice sobre el porcentaje de radiación que una superficie refleja, respecto a la que recibe. Mientras mayor es el índice, más radiación refleja. Para el suelo común y corriente se considera 0.2, y para el concreto 0.5, mientras que para la nieve sería 0.85.

**Costo de la energía:** Precio que se paga en la moneda local, por cada kWh consumido en el lugar de la instalación. Generalmente sale expresado en la factura de electricidad.

## Resultados

Finalmente, luego de llenar toda la información solicitada, se debe hacer clic en el botón "calcular", pasados unos segundos el sistema entregara un resultado dividido en 3 sección principales (Ver Fig:5.14). La primera sección es una tabla de resultados la cual nos informa mes a mes para un año típico, la cantidad de radiación media, la cantidad de energía producida específicamente para los parámetros de configuración ingresados y el costo de venta que debiese tener la energía producida, este ultimo paramentar representa una utilidad en cuanto si se desea utilizar estos cálculos en alguna propuesta económica para la instalación de alguna planta.

La segundo sección nos muestra, en la parte inferior izquierda, un gráfico anual en el tiempo y dos ejes laterales, este gráfico nos informa respecto de la eficiencia que tendrá el sistema PV comparando la curva de radiación con la curva de energía producida.

Finalmente el gráfico de la parte inferior derecha tiene como objetivo caracterizar la radiación solar en un año meteorológico típico para cada mes, con la cual se realizaron los cálculos.

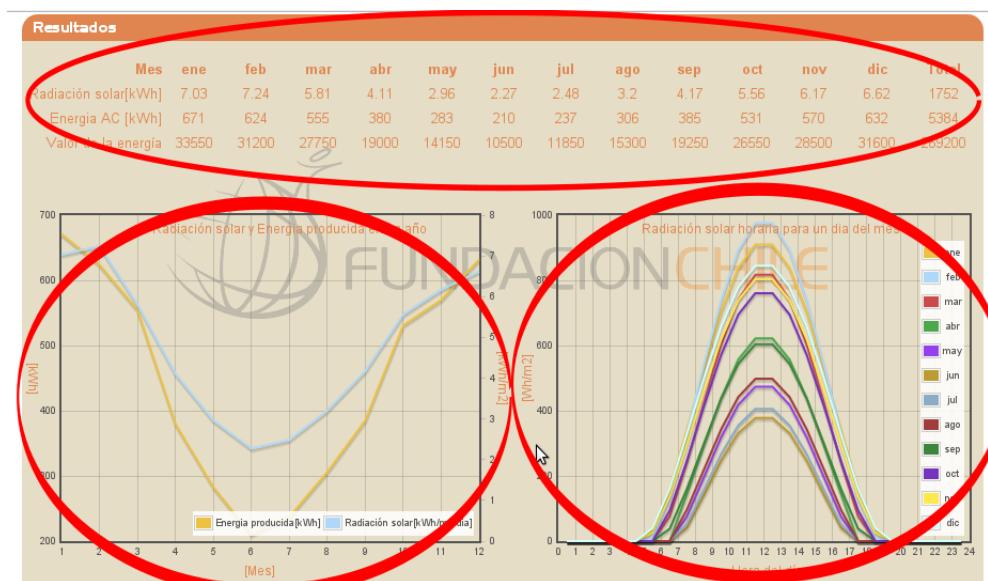


Figura 5.14: Resultados de la Calculadora

## 5.2. Pruebas de comunicación

Uno de los problemas más complejos que se enfrentó durante el desarrollo de esta Memoria fue el diseño e implementación de los sistemas de comunicación, que permitieron establecer conexiones confiables y seguras entre las distintas componentes del sistema. De acuerdo al diseño planteado en el capítulo 4, se puede apreciar que la comunicación entre la componente de "Aplicaciones" y la de "Almacenamiento de datos" fue más o menos trivial, dentro de lo que se refiere a la comunicación Web en un sistema informático, sin embargo, al momento de interconectar las "Estaciones de medición" con el resto del sistema hubo que considerar muchas variables extras, tales como: geográficas, ambientales y eléctricas.

Las estaciones, al estar ubicadas en lugares geográficos remotos, en la mayoría de los casos no disponen de cables o conexiones a la red de datos. La señal de telefonía celular con buen soporte de datos no es de buena calidad en todos los lugares del país y con menor razón en lugares como el Desierto de Atacama, en medio de cordones montañosos e incluso en lugares más aislados. Las estaciones, según requerimientos, debían disponer de un sistema de comunicación flexible, que pudiese ser adaptado a todas las condiciones y dificultades anteriormente mencionadas, para esto se diseño un sistema, de forma que permitiese adaptar diferentes tecnologías, sin embargo, para efectos prácticos de esta Memoria, se implementaron dos módulos diferentes: Comunicación a través de Ethernet y comunicación vía módem de telefonía celular.

### 5.2.1. Caso de Pruebas

En las próximas secciones de este capítulo se exponen diferentes pruebas realizadas al sistema, entre ellas, la conectividad con las estaciones de medición, los servidores de datos y aplicaciones. Además se realizaron pruebas para verificar los métodos de calculo, la programación y la correctitud de los resultados teóricos en comparación con resultados empíricos. Para las pruebas de comunicación se utilizo una estación Dédalo (Ver Anexo 7.2), denominada en capítulos anteriores como "Estación Fch" la cual es la estación ubicada en las dependencias de Fundación Chile en la comuna de Vitacura de la Región Metropolitana.

Esta estación durante el periodo de prueba midió: Radiación solar global en el plano horizontal, Temperatura ambiente y humedad relativa del aire. Además se considera el periodo de prueba como el funcionamiento normal entre las fechas de Mayo del 2012 y Septiembre 2012, considerando de forma especial una interrupción programada en el mes de Agosto para mantención de los instrumentos, por el periodo de una semana y 6 interrupciones no programadas por fallos en la conectividad del sistema inferiores a 6 horas de funcionamiento cada una, producto del funcionamiento defectuoso de una batería de la estación, lo cual dejó a esta, sin electricidad en dichas ventanas de tiempo, una vez diagnosticado el problema se procedió a reemplazar la batería defectuosa solucionando así el problema.

Para la comparación teórica de los cálculos, se utilizaron bases de datos elaboradas por "PV-Watts", considerando muestras de un año meteorológico típico para la comunas de Vitacura, Antofagasta y Concepción.

### **5.2.2. Comunicación de estación "VitacuraFCh" con "Servidor de datos" - Vía Ethernet**

Una de las primeras actividades que se realizó en esta Memoria, fue la interiorización con los equipos que componen las estaciones meteorológicas, esto involucró el aprender a utilizar elementos de hardware tales como el "datalogger" Campbell Scientific CR1000, módems de telefonía celular y otras interfaces de comunicación.

Para lograr que la estación se comunique de forma autónoma con el "Servidor de almacenamiento de datos" fue necesario escribir un programa para el "datalogger" que fuese capaz de realizar una petición GET a través del módulo "Campbell NL200", utilizando la implementación del protocolo TCP/IP de esta Interfaz. Para esto, fue necesario conectar el módulo "NL200" a través de la interfaz "SCI/O" del "datalogger" y configurar el módulo para actuar en modo "bridge", esto permite una comunicación transparente, entre el "datalogger" y la red informática de Fundación Chile.

Esta modalidad del sistema de comunicación es bastante limitada, ya que es necesario contar en los lugares de instalación de las estaciones con una infraestructura de red de datos informática.

Para verificar el estado de la conexión, se exponen dos métodos, en primer lugar la conexión manual utilizando el software proporcionado por el fabricante "PC400", a través de

este software establecemos una conexión "TCP/IP", utilizando la dirección IP asignada a la estación y realizamos una prueba de descarga de datos:

1. Ejecutar el PC400
2. Creamos una nueva conexión (Ver Fig:5.15)
3. En la sección "communication setup", seleccionamos el dispositivo "CR1000" y luego seleccionamos el tipo de convección "Ip Port".
4. Ingresamos la dirección IP de la estación y finalizamos la configuración (Ver Fig:5.16).
5. En la pantalla principal, en el menú de la izquierda seleccionamos la nueva interfaz y presionamos el botón "connect" (Ver Fig:5.17)
6. Una vez establecida la conexión, vamos a la solapa superior que dice "monitor data" y podemos observar los parámetros que la estación esta midiendo (Ver Fig:5.18).
7. Finalmente vamos a la solapa "collect data", presionamos en "collect" y esperamos a que se complete la descarga (Ver Fig:5.19).

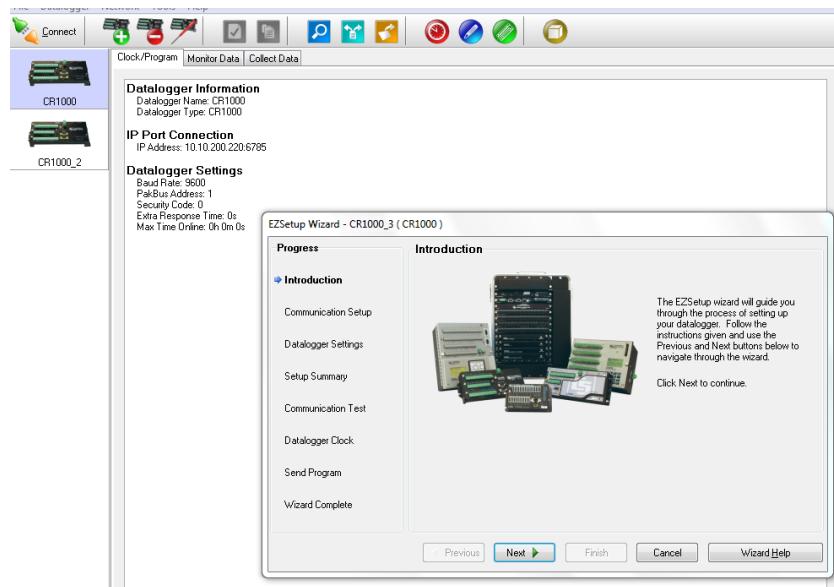


Figura 5.15: Crear nueva conexión

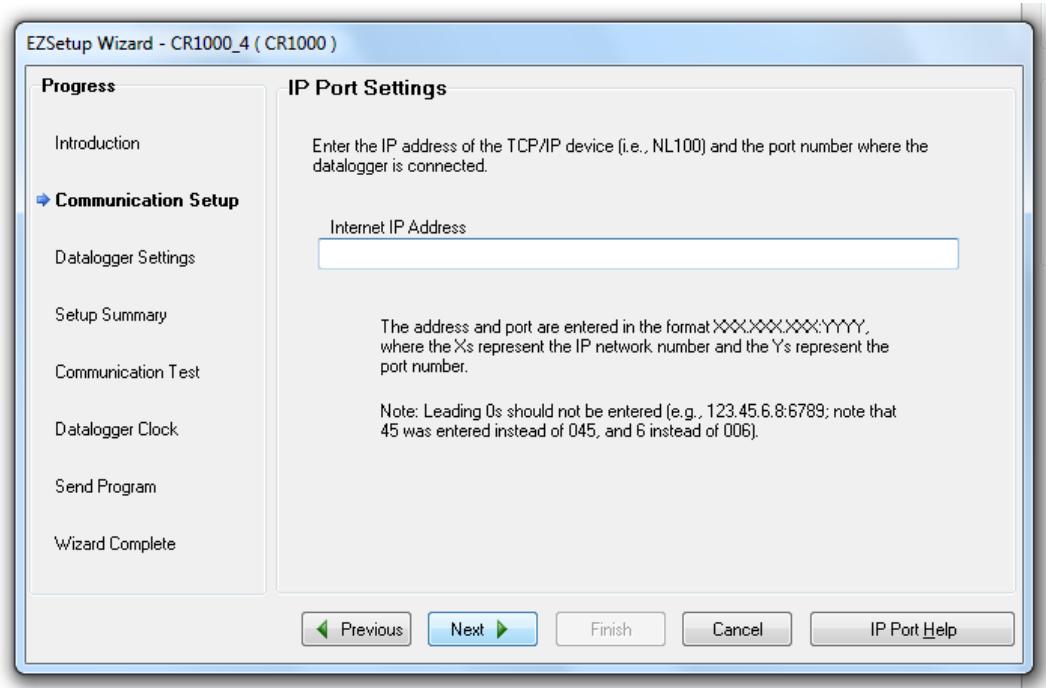


Figura 5.16: Ingresar dirección IP

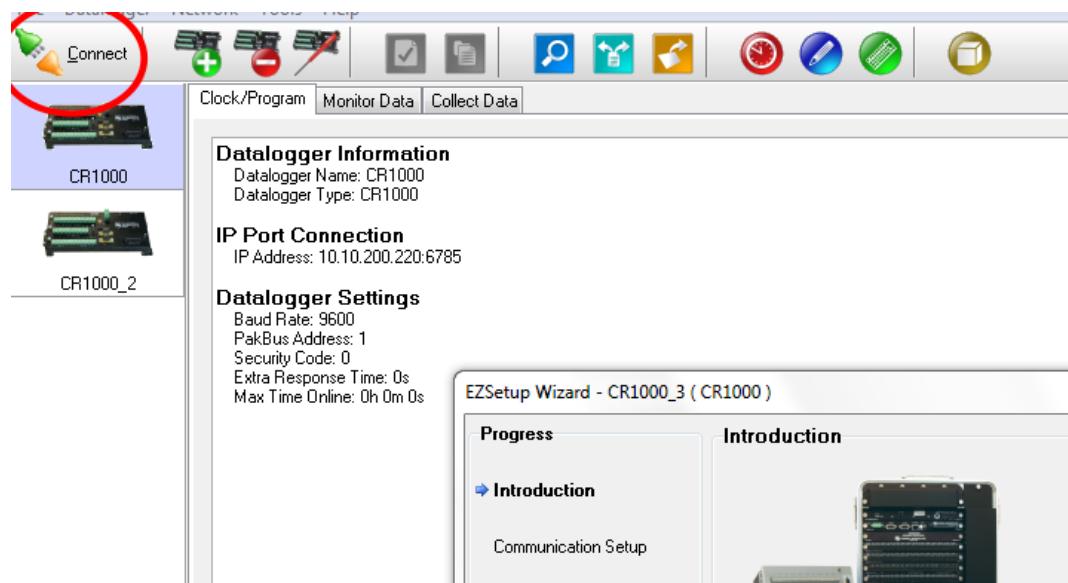


Figura 5.17: Estableciendo conexión

The screenshot shows the 'Monitor Data' tab of a software interface. At the top, there are buttons for 'Add', 'Delete', 'Port/Flag', 'Decimal Places: 2', and 'Update Interval: 00 m 01 s 000 ms'. The main area is a table with the following data:

RecNum	17387	varsGetRequest	8&rh=59.59748
TimeStamp	-2012 21:38:52		
BattV	12,33		
ApogeeFCH	20,32		
SlrMJ	Public.BattV: 12,33	0,05	
AirTC	14,93		
RH	59,60		
PTemp	0,00		
batt_volt	0,00		
socket	17.476,00		
serial	0,00		
GetRequest	748 HTTP/1.1		
GetResponse	Type: text/html		
httpGetMsg			
ipServer	solaratacam.a.cl		

Figura 5.18: Monitorizar datos de estación

The screenshot shows the 'Collect Data' tab of a software interface. At the top, there are 'Collect' and 'Stop' buttons, and a progress bar indicating '16805 of 86950 values collected' at '19%'. Below this, there is a 'What to Collect' section with two radio button options:

- New data from datalogger (Append to data files)
- All data from datalogger (Overwrite data files)

There is also a 'Change Table's Output File...' button. The bottom part of the screen shows a table for selecting output files:

Table	File Name
Public	C:\Campbellsci\PC400\CR1000_3_Public.dat
<input checked="" type="checkbox"/> solarFch	C:\Campbellsci\PC400\CR1000_3_solarFch.dat
<input type="checkbox"/> Status	C:\Campbellsci\PC400\CR1000_3_Status.dat

Figura 5.19: Descarga de datos

### 5.2.3. Comunicación de las estación "VitacuraFch" con el "Servidor de datos"

Para verificar la conexión autónoma desde la estación hacia la red se presenta el registro del servidor Web Apache HTTPD cuando la estación realiza la petición GET (Ver Fig:5.20).

The screenshot shows two side-by-side Apache log files. The left log file is titled 'ex20120712000001-18...e168%2e193%2e123.log' and the right one is 'ex20120818000001-18...e168%2e193%2e124.log'. Both logs are from the same IP address, 190.151.31.66, at different times on August 17, 2012. The logs show multiple GET requests to the URL 'www.solaratacama.cl/solarDatos/getDatalogerFch.php?battV=11.52434&radw=38.15991&radw2=0.084643066airTc=8.417149&rh=82.88474 HTTP/1.1' with various parameters like battV, radw, radw2, airTc, and rh. The status code for all requests is 200, indicating successful communication.

```

190.151.31.66 - - [17/Aug/2012:06:30:54 -0700] "GET www.solaratacama.cl/solarDatos/getDatalogerFch.php?battV=11.52434&radw=38.15991&radw2=0.084643066airTc=8.417149&rh=82.88474 HTTP/1.1" 200 - "-" "Mozilla/5.0"
190.151.31.66 - - [17/Aug/2012:06:31:54 -0700] "GET www.solaratacama.cl/solarDatos/getDatalogerFch.php?battV=11.52434&radw=38.33991&radw2=0.08504232&airTc=8.417149&rh=82.41073 HTTP/1.1" 200 - "-" "Mozilla/5.0"
190.151.31.66 - - [17/Aug/2012:06:32:54 -0700] "GET www.solaratacama.cl/solarDatos/getDatalogerFch.php?battV=11.52434&radw=38.69991&radw2=0.08584084airTc=8.383293&rh=82.64774 HTTP/1.1" 200 - "-" "Mozilla/5.0"
190.151.31.66 - - [17/Aug/2012:06:33:54 -0700] "GET www.solaratacama.cl/solarDatos/getDatalogerFch.php?battV=11.52986&radw=39.23991&radw2=0.08703862&airTc=8.349434&rh=82.78317 HTTP/1.1" 200 - "-" "Mozilla/5.0"
190.151.31.66 - - [17/Aug/2012:06:34:54 -0700] "GET www.solaratacama.cl/solarDatos/getDatalogerFch.php?battV=11.52986&radw=40.13991&radw2=0.08903492&airTc=8.349434&rh=83.62962 HTTP/1.1" 200 - "-" "Mozilla/5.0"
190.151.31.66 - - [17/Aug/2012:06:35:54 -0700] "GET www.solaratacama.cl/solarDatos/getDatalogerFch.php?battV=11.52986&radw=41.39991&radw2=0.09182974&airTc=8.315574&rh=84.06978 HTTP/1.1" 200 - "-" "Mozilla/5.0"
190.151.31.66 - - [17/Aug/2012:06:36:54 -0700] "GET www.solaratacama.cl/solarDatos/getDatalogerFch.php?battV=11.52986&radw=42.20001&radw2=0.09507291&airTc=8.315574&rh=85.06553 HTTP/1.1" 200 - "-" "Mozilla/5.0"

```

Figura 5.20: Logs Apache HTTPD - Comunicación con estación meteorológica

### 5.2.4. Comunicación de estación "VitacuraFCh" con "Servidor de datos" - Vía Módem telefonía celular

Este tipo de comunicación, es el segundo método que se implementó en esta Memoria y en comparación al método anterior es mucho mas flexible, ya que es posible establecer comunicación con estaciones de forma inalámbrica en diferentes ubicaciones de la geografía nacional, incluso en lugares remotos. Actualmente el desarrollo de esta tecnología en nuestro país, permite establecer comunicación en lugares bastante remotos como sectores montañosos en la cordillera o bien en medio del Desierto de Atacama.

Para testear la comunicación mediante este modulo se utiliza el software proporcionado por el fabricante del "datalogger", el "PC400" siguiendo los siguientes pasos:

1. Ejecutar el PC400
2. Creamos una nueva conexión (Ver Fig:5.15)
3. En la sección "comunication setup", seleccionamos el dispositivo "CR800" y luego seleccionamos el tipo de conexión "Phone Modem" (Ver Fig:5.21) y luego la opción

”Use módem from CSI list” (Ver Fig:5.22).

4. Seleccionamos el puerto COM donde esta conectado el módem (Ver Fig:5.23) y en la lista siguiente, seleccionamos el modelo del miden que vamos a utilizar, Para este caso particular fue necesario configurar un nuevo módem).

Para configurar un nuevo módem, hacemos clic en ”Edit Modem Database” (Ver Fig:5.24), luego bajo la lista que hay en la nueva ventana desplegada hacemos clic en ”New”, ingresamos el nombre del nuevo módem y presionamos ”OK”

Finalmente editamos los parámetros del nuevo módem. ”Reset string” lo seteamos en blanco e ”Initialization String” lo dejamos en **&C0&D0**, luego hacemos clic en ”Save” (Ver Fig:5.25).

5. Una vez configurado el módem, ingresamos el ”Phone Number”, numero de teléfono que tienen el módem al cual vamos a llamar y presionamos en ”Next” para ir al siguiente paso.
6. En esta nueva ventana configuramos el ”Baud Rate” en **9600** y Finalizamos la configuración.
7. Finalmente hacemos clic en el botón superior izquierdo con la nueva conexión seleccionada para abrir un canal de comunicación con la estación.
8. Una vez establecida la conexión vamos a la solapa superior que dice ”monitor data” y podemos observar los parámetros que la estación esta midiendo (Ver Fig:5.18).
9. Finalmente vamos a la solapa ”collect data”, presionamos en ”collect” y esperamos a que se complete la descarga (Ver Fig:5.19).

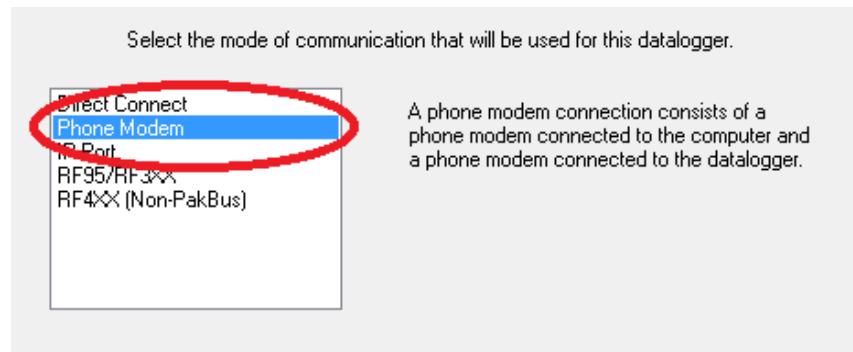


Figura 5.21: Seleccionar módem

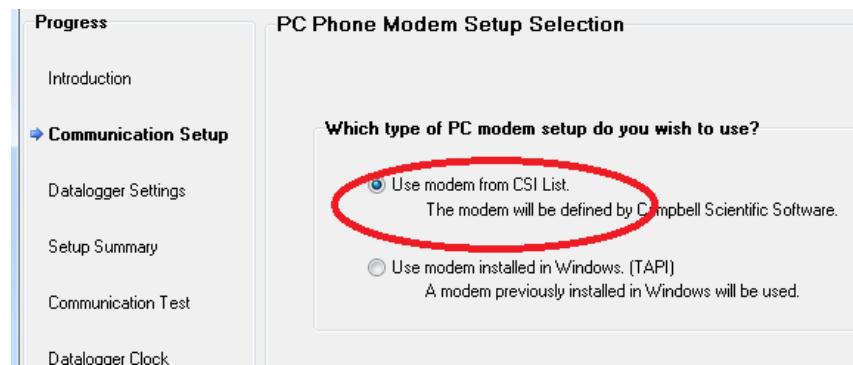


Figura 5.22: Seleccionar puerto



Figura 5.23: Ingresar numero telefónico

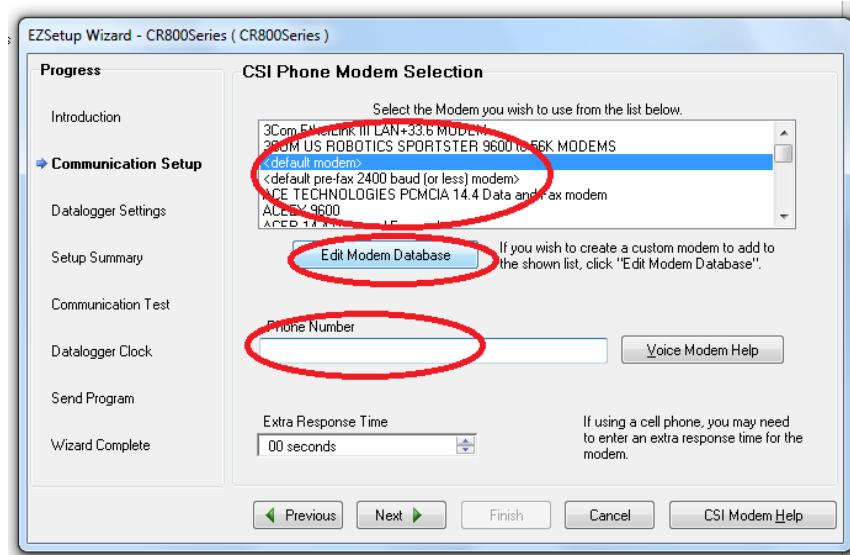


Figura 5.24: Agregar nuevo módem

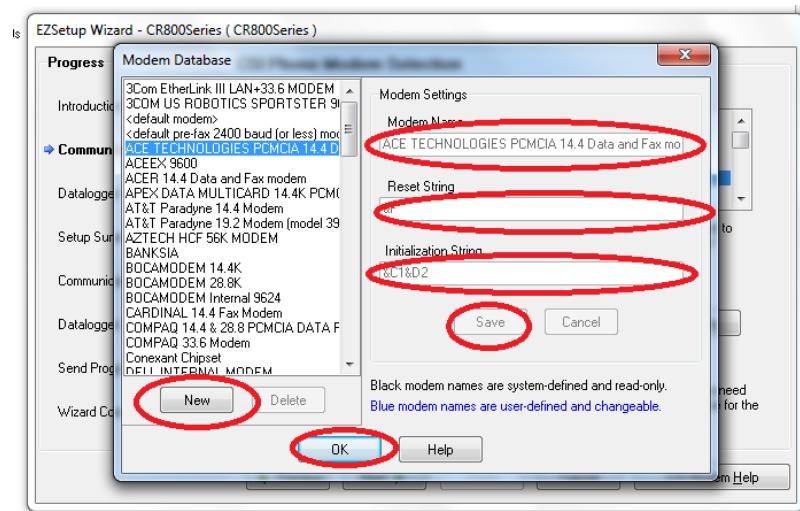


Figura 5.25: Ingresar dirección IP

## 5.3. Verificación de datos

Una vez desarrollado el sistema con todas las aplicaciones que cubren los requerimientos planteados en el capítulo 2 de esta Memoria, es necesario verificar que los datos obtenidos sean correctos y de la misma forma los cálculos a los que estos son sometidos.

Ha quedado expresado en la sección de requerimientos que la confiabilidad de los datos así como del proceso de calculo es esencial en el funcionamiento del sistema, pequeños errores en el sistema de calculo podrían significar grandes errores en el dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos, lo que podría traer consecuencias poco deseables a los actores de la RedSolLAC.

Es necesario recordar que durante el desarrollo de esta Memoria se implementó un nuevo método de calculo, que intenta mejorar sistemas anteriores, por lo que es sumamente necesario comprobar y exponer las diferencias en los resultados obtenidos, así como de resaltar las mejoras que este método propone.

Los resultados obtenidos fueron comparados con diferentes fuentes de datos, así como con diferentes modelos de cálculos, algunos de ellos, los mas relevantes, son presentados a continuación junto con el análisis correspondiente a las diferencias encontradas.

La primera verificación apunta a comprobar que el modelo matemático haya sido bien implementado, luego se presentan 3 resultados obtenidos con la calculadora desarrollada y 2 sistemas externos, finalmente comparamos los resultados teóricos con los obtenidos en un sistema PV en operación.

### 5.3.1. PVWatts

A la fecha de desarrollo de esta Memoria, es el único software en formato Web existente, que ofrece el servicio de calculo y dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos que cuenta con información para algunas localidades en Latinoamérica. Sin embargo en su método de calculo implementa un modelo basado en la "media de la radiación mensual", como consecuencia de esto, entrega resultados notablemente inferiores al real.

### **5.3.2. PVsyst**

Es un software privativo, de uso profesional para el sector de la industria energética solar. Este software permite diseñar, estudiar, dimensionar y simular sistemas fotovoltaicos, con un método de cálculo bastante complejo y cercano al funcionamiento real de una planta solar fotovoltaica, considerando complejas variables que influyen en el cálculo, tales como el sombreado producido por los mismos módulos del sistema o la sombra generada por cerros cercanos a las instalaciones.

### **5.3.3. Comparación "solarCalc" con "Plataforma Web para sistemas térmicos"**

La "Plataforma Web para sistemas térmicos (Ver Anexo 7.1)" es una de las bases con las cuales se implementó el sistema de cálculo. Para el proceso de verificación se utiliza una "macro en excel" originada en dicho trabajo y los resultados entregados en modo de depuración por la calculadora.

Mediante este método se pretende verificar que la implementación de la calculadora sea correcta y entregue los valores esperados.

Cuadro 5.1: Resultados verificación de ecuaciones macro excel

Cuadro 5.2: Resultados verificación de ecuaciones calculadora

Cálculo de Radiación Directa Circunstancial																									
Resultados macro excel		Hora del día		Radiación Global Horizontal horaria		Radiación Difusa Horizontal horaria		Radiación Directa Horizontal horaria		Radiación Global Horizontal Diurna		Radiación Difusa Horizontal Diurna		Radiación Directa Horizontal Diurna											
0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5	17.5	18.5	19.5	20.5	21.5	22.5	23.5	Total	
0	0	0	0	0	0	21	204	421	651	862	1025	1114	1114	1025	862	651	421	204	21	0	0	0	0	0	8596
0	0	0	0	0	6	52	96	135	167	190	202	202	190	167	135	96	52	6	0	0	0	0	0	0	1696
0	0	0	0	0	15	152	325	516	695	835	912	912	835	695	516	325	152	15	0	0	0	0	0	6900	

Como se puede apreciar en las tablas 5.1 y 5.2 la pequeña diferencia obtenida en los resultados, solo atienden a una diferencia de aproximación numérica, mas haya de eso, los números verifican que el modelo de calculo ha quedado implementado correctamente.

### 5.3.4. "solarCalc" v/s "PVWatts" v/s "PVSist con datos de la comuna Antofagasta

Cuadro 5.3: Comparación de software con datos de Antofagasta

Mes	Antofagasta (kWh/m <sup>2</sup> /día)	Energía estimada PVWatts (kWh)	Energía estimada solarCalc (kWh)	Energía estimada PVSist (kWh)
Ene	7.70	630	794	652
Feb	7.62	593	751	622
Mar	6.71	642	797	686
Abr	5.48	570	690	617
May	4.12	472	566	527
Jun	3.63	423	505	471
Jul	3.75	444	528	492
Ago	4.65	514	528	569
Sep	5.68	556	676	595
Oct	6.68	620	755	645
Nov	6.96	578	710	579
Dic	7.63	620	777	636
Total	5.87	6662	8172	7089

Tal como se aprecia en la tabla de datos, los resultados obtenidos por la "solarCalc" son notoriamente mas elevados que ambos sistemas, un 18% mas que "PVWatts" y un 13% mas que "PVSyst" estos son resultados esperados, en primer lugar, la primera diferencia se supone debido a la mejora con el método de calculo propuesto, la segunda diferencia si bien sigue siendo elevada es ligeramente menor esto se explica debido a que la calculadora a pesar de que mejora el método de calculo acercandoce mas al ideal de "PVSyst" no considera un parámetro sumamente importante como lo es la disminución en rendimiento por causa de la temperatura ambiente, la cual produce una significativa disminución de la producción cuando estas son elevadas como se puede esperar de la zona norte de Chile.

### 5.3.5. "solarCalc" v/s "PVWatts" v/s "PVSist con datos de Vitacura

Cuadro 5.4: Comparación de software con datos de Vitacura

Mes	Vitacura (kWh/m <sup>2</sup> /día)	Energía estimada Pivotas (kW)	Energía estimada solarCalc (kWh)	Energía estimada PVSist (kWh)
Ene	7.6	641	778	609
Feb	7.45	563	751	609
Mar	6.39	550	811	684
Abr	4.69	393	665	595
May	3.29	288	537	516
Jun	2.75	233	469	440
Jul	2.77	245	464	434
Ago	3.81	340	576	539
Sep	4.74	407	604	526
Oct	5.6	492	648	545
Nov	7.11	592	725	583
Dic	7.09	600	716	592
Total	5.26	5344	7744	6673

Al igual que en el caso anterior los resultados apreciados son muy elevados, un 30 % mas que "PVWatts" y un 13 % mas que "PVSyst". la diferencia excesiva con de la primera cifra se explica debido a que el nuevo método de calculo considera parámetros como la latitud el cual afectan notoriamente de acuerdo a la posición del sol. En el segundo resultado observamos que la diferencia se mantiene con el caso de Antofagasta lo que representa una buena señal al mantener el mismo porcentaje de diferencia.

### 5.3.6. "solarCalc" v/s "PVWatts" v/s "PVSist con datos de Concepción

Cuadro 5.5: Comparación de software con datos de Concepción

Mes	Concepción (kWh/m <sup>2</sup> /día)	Energía estimada PVWatts (kWh)	Energía estimada solarCalc (kWh)	Energía estimada PVSist (kWh)
Ene	7.64	662	778	628
Feb	6.81	574	751	603
Mar	4.93	511	811	639
Abr	3.39	381	665	575
May	1.89	218	537	375
Jun	1.54	180	469	327
Jul	1.79	220	464	405
Ago	2.53	292	576	460
Sep	3.97	422	604	557
Oct	5.42	530	648	593
Nov	6.55	568	725	557
Dic	7.54	641	716	597
Total	4.49	5198	7744	6315

Finalmente la ultima comparación realizada, es para la comuna de Concepción. Los resultados obtenidos fueron de un 18 % para "PVWatts" y 0,32 % para "PVSyst". Analizando estos resultados se puede concluir que son muy favorables ya que en primer lugar mantenemos la mejora con respecto del primer sistema y por otro lado nos acercarnos de manera muy precisa al software de simulación profesional. Lo importante de este resultado es que la comparación con "PVSyst" es muy buena y esto se explica ya que en el sur del país las temperaturas promedio durante la hora de funcionamiento de las plantas son notoriamente menores que en Antofagasta y Santiago, esto viene a corroborar la tesis donde se plantea que la corrección por temperatura de la que carece la calculadora afectan significativamente a los cálculos.

### 5.3.7. Comparación con sistema PV en operación

La ultima verificación a la cual se ha sometido la aplicación construida es una verificación empírica. Utilizando un sistema fotovoltaico en operación, se ha obtenido una muestra para el mes de Septiembre 2012, luego esta muestra se ha comparado con la simulación entregada por "solarCalc" y por "PVsyst". Si bien la muestra obtenida es en un periodo bastante corto como para concluir de manera definitiva sobre la correctitud del sistema, es una muestra que nos da una aproximación respecto de que tan cerca puede estar el resultado teórico con el resultado obtenido en la planta real.

Cuadro 5.6: Comparación de resultados teóricos v/s empíricos para el mes de Septiembre 2012 (KWh)

MarceloMena	PVsyst	SolarCalc
163,4 Kwh	164,8 Kwh	190 Kwh

En los resultados obtenidos se pueden apreciar varias cosas, primeramente la similitud de los resultados entre la "planta solar" y "PVsyst" lo que nos da una idea de la certeza que es esta herramienta para el calculo y dimensionamiento de plantas solares obteniendo aproximadamente un 1 % de diferencia. Por otro lado podemos apreciar el resultado entregado por la calculadora de 190[kWh] lo que representa un 16 % mas de la producción real, si bien el resultado es excesivamente alto, es un resultado sumamente esperado debido a que la calculadora no considera en su sistema de calculo la variabilidad que existe por consecuencia de la baja en el rendimiento por temperatura de operación del sistema PV, si consideramos que esta perdida es aproximadamente de un 10 % se obtienen valores cercanos a 171 Kwh, quedando una diferencia de sobre producción de un 4,65 % con el sistema real.

# Capítulo 6

## Conclusiones

- De acuerdo a los resultados obtenido en las comparaciones con los diferentes sistemas, se aprecian notables mejoras respecto del nuevo sistema de calculo. Los resultados son mejor de lo esperado y las diferencias se explican exclusivamente por la ausencia de la variable temperatura.
- Uno de los parámetro mas influyentes en los cálculos teóricos, son las temperaturas de operación de la planta, por lo que se deja planteada la inquietud de implementar esta mejora en la calculadora ya que esto puede representar un significativo aumento en la calidad de los resultados finales.
- El método de captura de datos y registro en la base de datos es poco robusto, ya que solo se establece una conversación unilateral entre la estación y la base de datos. Es necesario desarrollar un protocolo de comunicación bilateral con comparación de errores, que además permita consultar la estación y actualizar la base de datos asincronicamente, es decir poder actualizar la base de datos con los registros faltantes en cualquier momento dado, basándose en el registro interno del "datalogger".
- La memoria del "datalogger" es volátil, esto quiere decir que si hay varios días sin sol, existe una gran posibilidad de que la estación quede sin energía y por ende pierda los datos. Para una mayor confiabilidad y resguardo de los datos, se debe implementar un sistema no volátil de almacenamiento en el mismo datalogger.
- Durante el desarrollo de este trabajo se aprendió mucho sobre temas de energía, de

sistemas solares, de Energía Renovables No Convencionales, de normas técnicas y de como debiese ser un buen sistema de producción de energía para un país. sin embargo, hay un tema muy relevante y que tienen que ver con el objetivo por el cual un país produce energía. Un país como Chile que se dice querer llegar a altos niveles de desarrollo en los próximos años, debe obligatoriamente tener esta cuestión resuelta, lamentablemente estamos muy lejos de esto, se habla de que el consumo va a aumentar muy rápidamente en los próximos 10 años pero no se habla del porque este va a aumentar, nos enfocamos solo en producir mas energía sin un proyecto claro a largo plazo, "con el para que producir toda esta energía". Chile quiere ser un país desarrollado, para eso necesita energía, pero esta energía no ayuda a desarrollarnos si no pensamos en un plan que nos permita desarrollar la industria nacional de manera sustentable, en vez de continuar sobre-explotando los recursos naturales.

- Si bien el uso de energías renovables es un gran aporte a disminuir el impacto ambiental que como sociedad causamos a nuestro entorno, el echo de reemplazar todas nuestras fuentes de energía no renovables por renovables, no nos asegura en lo mas mínimo un plan de desarrollo país sustentable, mientras la energía producida se sigue utilizando para sobre-explotar los recursos naturales de manera indiscriminada, lo que a largo plazo continuara por degradar el medio ambiente de la misma forma que hoy lo hacemos produciendo energías a partir de los fósiles.
- Chile es el mejor lugar del mundo para producir energía solar, somos pioneros en experimentar con este tipo de energía en el mundo, sin embargo no hemos sido capaces de potenciar este desarrollo en nuestro propio país.

# **Capítulo 7**

## **Anexos**

## 7.1. Memoria Msc. Eduardo Soto

Plataforma Web para dimensionar sistemas solar térmicos en la República de Chile

### 2 Modelo de radiación solar para conversión de datos sintéticos de radiación solar en valores horarios

#### 2.1 Posición del Sol y la Tierra

En primer lugar deberemos determinar la posición del sol respecto de nuestra localización. Para ello calcularemos los siguientes parámetros:

*Ángulo de día ( $\Gamma$ ):* es el ángulo en radianes que representa el día respecto al periodo de un año, se obtiene aplicando la siguiente expresión donde  $d_n$  es el número de día del año, contando el 1 de enero como 1 hasta el 31 de diciembre que es el 365, (febrero se asume que tiene 28 días siempre).

$$\Gamma = \frac{2\pi \times (d_n - 1)}{365}$$

*Declinación solar ( $\delta$ ):* El plano en el que se desplaza la tierra alrededor del sol se denomina *plano eclíptico*, en éste se desarrolla el movimiento cíclico anual (365 días). La tierra además realiza un movimiento de giro alrededor de un eje llamado *eje polar*, el cual está inclinado  $23\frac{1}{2}^\circ$  respecto al plano eclíptico.

La rotación sobre el eje polar produce el ciclo diario (24 horas), variando a lo largo del año la duración del día y de la noche.

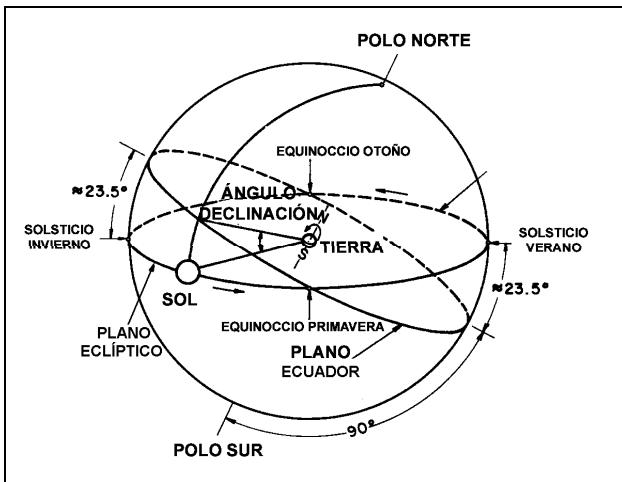
El ángulo entre el eje y el plano, permanecen constantes a lo largo del año, al igual que el plano ecuatorial (plano perpendicular al eje polar y que pasa por el ecuador) respecto al plano eclíptico. Sin embargo el ángulo formado por la línea de unión imaginaria entre el sol y la tierra y el plano ecuatorial varía en cada instante, este ángulo se llama *declinación solar ( $\delta$ )*.

La declinación solar es nula en los equinoccios, mientras que referida para el hemisferio norte es máxima en el solsticio de verano ( $23\frac{1}{2}^\circ$ ) y mínima en el solsticio de invierno ( $-23\frac{1}{2}^\circ$ ).

En la figura 2.1.1.a., se representa la declinación solar utilizando una esfera celestial, en la que la tierra se sitúa en el centro y el sol es el que realiza la rotación alrededor de ésta (movimiento aparente visto desde la tierra).

La declinación solar varía ligeramente a lo largo de los años, y para un mismo día del año pueden presentarse variaciones máximas de  $+/- 10^\circ$ .

A lo largo de un día la declinación varía, ya que no sólo gira la tierra alrededor de su eje sino que se produce un pequeño movimiento de traslación (rotación alrededor del sol). El máximo valor diario de variación de la declinación solar es menor de  $1/2^\circ$ . Dado que esta variación diaria es tan pequeña, se suele considerar en los cálculos constante para un mismo día, introduciéndose un pequeño error al considerar esta aproximación.



Esfera celestial que muestra el movimiento aparente del sol y la declinación solar

Para determinar la declinación solar de un día determinado del año ( $d_n$ ) se puede utilizar la siguiente expresión (Spencer J.W. 1971), con la que se comete un error máximo de 3':

$$\begin{aligned} \delta = & \frac{180}{\pi} \times (0.006918 - 0.399912 \times \cos \Gamma + 0.070257 \times \sin \Gamma \\ & - 0.006758 \times \cos(2\Gamma) + 0.000907 \times \sin(2\Gamma) \\ & - 0.002697 \times \cos(3\Gamma) + 0.00148 \times \sin(3\Gamma)) \quad , \text{ (en grados)} \end{aligned}$$

Una aproximación con menor grado de exactitud desarrollada por Cooper P.J. (1969) y referenciada por Iqbal M. (1983) es la siguiente:

$$\delta = 23.45 \times \sin \left[ \frac{360}{365} \times (d_n + 284) \right] \quad , \text{ (en grados)}$$

*Latitud (L):* Es el ángulo que forma el radio terrestre que pasa por el punto de la superficie terrestre considerado con respecto al ecuador. Está comprendido entre 90° y -90°.

*Acimut (A):* Ángulo que forma el plano vertical que pasa por el sol con el plano meridiano. Para la orientación Sur A=0°. Normalmente se mide con signo negativo hacia el Este y positivo hacia el Oeste, aunque se puede encontrar en algunas publicaciones el criterio opuesto.

$$A = \arccos \left( \frac{\cos(\delta) \times \cos(w) - \sin(h) \times \cos(L)}{\cos(h) \times \sin(L)} \right) \quad , \text{ (en grados)}$$

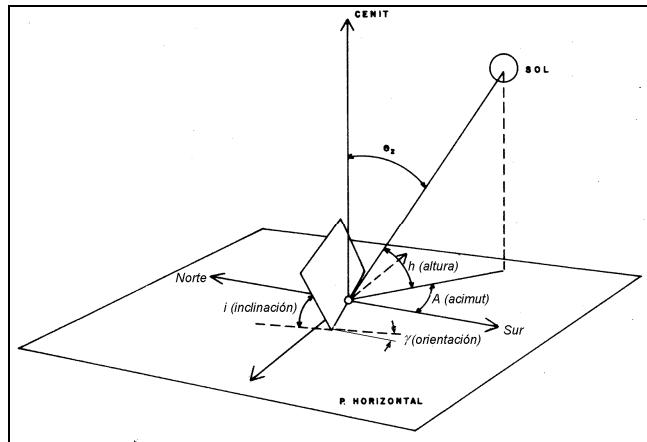
*Altura (h):* Ángulo formado por el sol respecto al plano horizontal definido en el punto de la superficie terrestre considerado.

$$h = \arcsen(\sin(L) \times \sin(\delta) + \cos(L) \times \cos(\delta) \times \cos(w)) \quad , \text{ (en grados)}$$

*Ángulo horario (w):* Ángulo que forma el meridiano celeste con el círculo horario que pasa por el sol. Éste ángulo se genera por la rotación de la tierra alrededor de su eje, cada hora son 15° con signo negativo por la mañana y positivo por la tarde, a las 12:00 h  $w = 0$ . Para determinar  $w$  se utiliza la siguiente expresión:

$$w = 15 \times (hora - 12) + \frac{\text{minutos}}{4} + \frac{\text{segundos}}{240} \quad (\text{en grados})$$

*hora, minutos y segundos:* datos del instante de tiempo para el cual se quiere determinar  $w$ . Para la hora se debe asignar el valor con formato digital, por ejemplo, para las nueve de la tarde el valor a introducir en hora sería 21.



Posición del sol respecto a un plano inclinado.

Los valores de altura y acimut son parámetros físicos de la posición del sol respecto al lugar donde se ha determinado, y por lo tanto son independientes de la inclinación y de la orientación de la superficie.

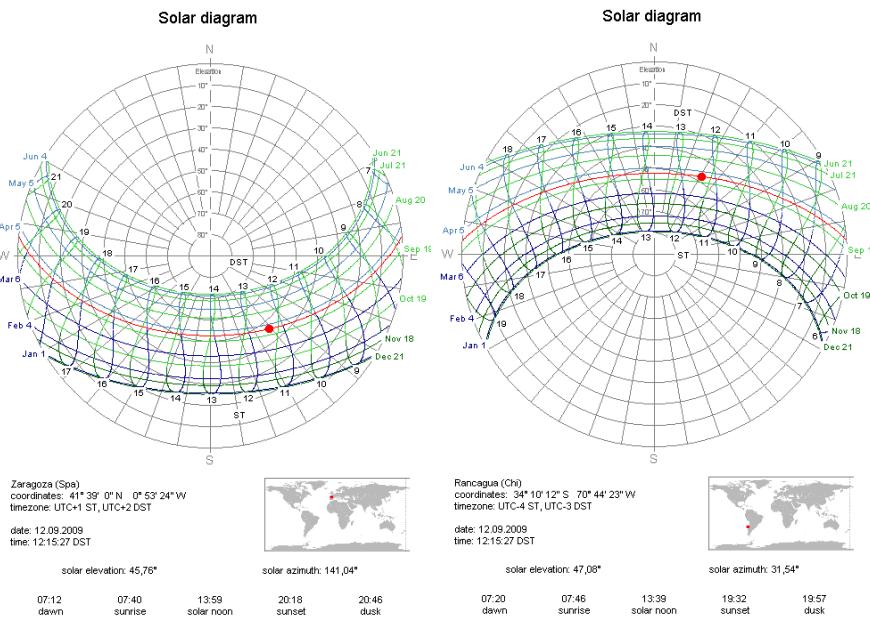


Fig. 3 Diagrama solar estereográfico para el mismo día y hora para la ciudad de Zaragoza – España (izquierda) y Rancagua – Chile (derecha)

Diagrama obtenido con el software SolarBeam 1.0  
<http://solarbeam.sourceforge.net/>

## 2.2 Modelos de radiación solar

Una vez que hemos posicionado el sol respecto a nuestra superficie podremos calcular la radiación solar horaria sobre cualquier superficie a partir de la radiación global media mensual sobre superficie horizontal. En este apartado describiremos todos los pasos a realizar.

Lo primero que debemos conocer es la constante solar. La constante solar es la irradiancia, (para todas las longitudes de onda), proveniente del sol que incide sobre la unidad de superficie expuesta perpendicularmente a los rayos solares fuera de la atmósfera de la tierra. Esta magnitud varía ligeramente a lo largo del año, quizás se debería haber llamado factor solar.

Se han realizado diversas mediciones de esta constante por medio de aproximaciones que la estiman entre 1338 y 1368 W/m<sup>2</sup>. Uno de los valores más utilizado y fijado como estándar durante mucho tiempo, fue el obtenido por la NASA (*NASA design standard*)

$$I_{0\text{-NASA}} = 1353 \text{ W/m}^2$$

Mediciones posteriores han fijado como valor más preciso es del World Radiation Center (Fröhlich C et all 1981)

$$I_0 = 1367 \text{ W/m}^2$$

### 2.2.1 Componentes de la radiación solar

La radiación solar que llega a la superficie terrestre está formada por la radiación directa ( $H_D$ ), la difusa ( $H_d$ ) y la reflejada ( $H_r$ ), cuyo conjunto forma la radiación global ( $H_G$ ).

La **radiación directa** proviene directamente del sol sin haber sufrido modificación alguna, esta radiación se puede concentrar al presentar una única dirección de incidencia.

La **radiación difusa** es la que llega a la superficie después de haber sufrido diferentes cambios de dirección, motivados por las reflexiones y refracciones que se producen al atravesar la capa atmosférica, esta radiación procede de la bóveda celeste. A diferencia de la radiación directa la difusa no presenta una dirección principal de incidencia, y por lo tanto no se podrá concentrar.

Otra componente de radiación difusa, es la **radiación reflejada**, tampoco presenta dirección principal de incidencia. Ésta proviene de la reflexión producida por el suelo o por otros elementos que rodean a la superficie. El coeficiente de reflexividad se llama **albedo** ( $\alpha$ ), y puede tomar valores entre 0.05 a 0.9 dependiendo del tipo de superficie reflectante, en la tabla A.3 aparecen valores indicativos de albedo para diferentes superficies.

Tipo de superficie	albedo
Nieve recién caída	0.9
Nieve aplastada	0.6
Suelo desnudo	0.15 a 0.25
Praderas	0.25 a 0.75
Mar en verano	0.05
Mar en invierno	0.1

Valores de albedo en función del tipo de superficie reflectante. (Bernad R. et all 1982)

## 2.3 Radiación solar media para cielo cubierto

La mayoría de los días del año aparecen nubes en el cielo con diferentes formas y tamaños. Para estos días no se puede obtener la radiación solar a partir de las ecuaciones utilizadas para cielo claro, ya que existirán diferentes atenuaciones de la irradiación directa en función del tipo de nubes, atenuaciones que no son corregidas por los modelos de cielo claro, también hay que tener en cuenta que la irradiación difusa es diferente a la del modelo de cielo claro.

La radiación para cielo claro se basa en modelos matemáticos en los cuales existen diferentes relaciones físicas entre parámetros, por lo tanto para una localización geográfica se podrían estimar los datos de radiación para cielo claro.

Para cielo cubierto no existen modelos teóricos apropiados. En este caso se debe construir el modelo de radiación media a partir de series anuales de datos meteorológicos.

En los institutos meteorológicos españoles habitualmente se ha medido la radiación global media mensual sobre superficie horizontal. En la actualidad con las mejoras de equipamiento se está registrando datos horarios en los principales centros meteorológicos.

A partir del dato de radiación global media mensual de una localización, existen modelos aproximados que determinan la difusa sobre superficie horizontal, parámetro necesario para hallar la radiación sobre una superficie con inclinación y orientación cualesquiera.

En el caso de disponer como único dato de las horas de insolación media mensual, habrá que aplicar en primer lugar los modelos que determinen la radiación global media mensual, como paso inicial para la determinación de la componente de radiación difusa.

### 2.3.1 Radiación solar diaria media mensual

Para realizar un análisis de medidas medias mensuales, los parámetros climáticos necesarios son la radiación global y la difusa sobre plano horizontal. A partir de éstos se puede estimar la radiación global incidente sobre una superficie con una determinada inclinación y orientación.

Este valor medio diario es con el que normalmente se trabaja en aplicaciones relacionadas con la captación solar (placas de ACS, edificios, etc).

Si el dato climático conocido es la insolación deberá tratarse con un modelo previo para obtener la radiación global, a partir de ésta habrá otros modelos que permitan obtener la radiación difusa. Incluso hay modelos híbridos de mayor precisión que utilizan el factor de insolación y la radiación global para determinar la difusa.

Dependiendo de los datos disponibles se aplicaran unos modelos u otros. En este subapartado se van a describir los diferentes métodos que conducen al objetivo de obtención de la radiación difusa media mensual sobre horizontal.

### 2.3.2 Radiación solar difusa diaria media mensual

Una vez conocida la radiación global la componente difusa diaria media mensual sobre horizontal se puede obtener aplicando diferentes correlaciones como las de: Liu B.Y.H. et all (1960), Page J.K. (1961) o Collares-Pereira M. Et all (1979), basadas todas ellas en el índice de nubosidad ( $K_s$ )

Estas correlaciones son las siguientes,

$$\frac{H_{dH}}{H_{GH}} = 1.39 - 4.027 \times K_T + 5.531 \times K_T^2 - 3.108 \times K_T^3 \quad (\text{Liu y Jordan})$$

$$\frac{H_{dH}}{H_{GH}} = 1.00 - 1.13 \times K_T \quad (\text{Page})$$

$$\frac{H_{dH}}{H_{GH}} = 0.75 + 0.347 \times \left( ws - \frac{\pi}{180} \right) - \left[ 0.505 + 0.261 \times \left( ws - \frac{\pi}{180} \right) \right] \times \cos[2 \times (K_T - 0.9)]$$

(Collares y Rabl)

$H_{dH}$ : Radiación difusa diaria media mensual sobre superficie horizontal

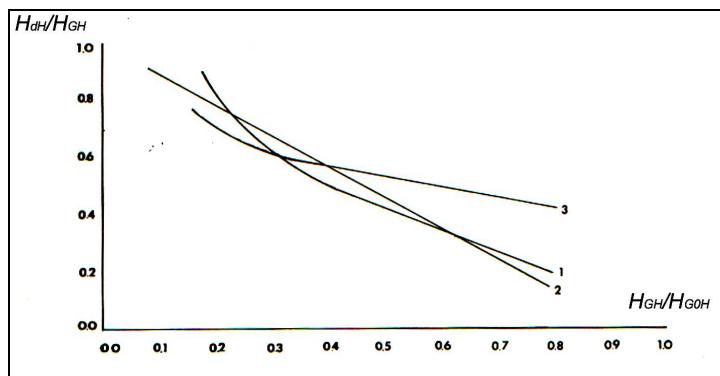
$H_{GH}$ : Radiación global diaria media mensual sobre superficie horizontal.

$K_T$ : índice de nubosidad

$$K_T = \frac{H_{GH}}{H_{GOH}}$$

$H_{GOH}$ : Radiación global extraterrestre sobre superficie horizontal, definida en la ecuación .

En la siguiente figura se muestra gráficamente las correlaciones anteriores.



Relación entre la radiación difusa y global diaria sobre horizontal para día cubierto frente al índice de nubosidad. 1) Curva de Liu Jordan, 2) Correlación de Page, 3) Correlación de Collares. (Mitjá A. et all 1982)

Los modelos anteriores no son universales y fueron obtenidos a partir de datos de pocas estaciones, por ejemplo Liu y Jordan partió de 4 estaciones y Page de 10.

Gopinathan K.K. (1992) realizó un estudio de diferentes correlaciones que aplicó a datos del sur de África, obteniendo errores medios anuales para el modelo de Liu-Jordan entre un 5% y un 21%. Los modelos propuestos por Gopinathan mejoraban la correlación de Liu-Jordan alcanzándose errores entre un 2.4% y un 11.6% para las 5 poblaciones que analizaba.

En investigaciones posteriores Gopinathan K.K. et all (1995) partieron de los datos de radiación registrados en 40 poblaciones situadas entre 36°S y 60°N de latitud, planteándose como objetivo encontrar por análisis de regresión ecuaciones de tipo lineal o multi-lineal que produjesen buenas aproximaciones. Las ecuaciones que obtuvieron fueron las siguientes:

$$\frac{H_{dH}}{H_{GH}} = 0.91138 - 0.96225 \times K_T \quad (r=0.833 \quad e=0.080)$$

$$\frac{H_{dH}}{H_{GH}} = 0.79819 - 0.6993 \times \sigma \quad (r=0.926 \quad e=0.055)$$

$$\frac{H_{dH}}{H_{GH}} = 0.87813 - 0.3328 \times K_T - 0.53039 \times \sigma \quad (r=0.9440 \quad e=0.0482)$$

$$\begin{aligned} \frac{H_{dH}}{H_{GH}} = & 1.01833 - 0.33029 \times K_T - 0.5311 \times \sigma \\ & - 0.14696 \times \cos(\delta) \end{aligned} \quad (r=0.9444 \quad e=0.0481)$$

$$\begin{aligned} \frac{H_{dH}}{H_{GH}} = & 1.01267 - 0.33058 \times K_T - 0.53656 \times \sigma \\ & - 0.14698 \times \cos(\delta) + 0.011427 \times \cos(L) \end{aligned} \quad (r=0.9445 \quad e=0.0481)$$

Para las 40 estaciones la comparación entre los datos experimentales y teóricos condujeron a coeficientes de regresión ( $r$ ) cercanos a uno, que indican una buena aproximación entre los valores obtenidos de los modelos y los experimentales, el más adecuado de todos es el descrito en la ecuación, más simple que los que le preceden y con similar grado de precisión.

Después del coeficiente de regresión se ha incluido el error estándar ( $e$ ) para cada una de las ecuaciones.

## 2.4 Radiación solar media horaria

En algunas aplicaciones es necesario determinar la radiación horaria (directa, difusa o global) que incide sobre una superficie.

Para obtener la radiación difusa y la global horaria sobre una superficie horizontal se debe partir de los datos de radiación difusa y global diaria media mensual.

### 2.4.1 Radiación global horaria media sobre superficie horizontal

Para determinar la radiación global horaria media mensual para superficie horizontal ( $H_{GHh}$ ) se puede utilizar la figura 2.1.2.6., partiendo del ángulo horario de salida de sol ( $w_s$ ) o, de la duración del día y el valor de la radiación global media mensual diaria ( $H_{GF}$ ).

La curva a continuación, deducida por Liu B.Y.H. (1960), ha sido posteriormente expresada analíticamente por Collares – Pereira M. (1979), a través de la siguiente ecuación:

$$\frac{H_{GHh}}{H_{GH}} = \frac{\pi}{24} \times (a + b \times \cos w) \times \frac{\cos w - \cos ws}{\sin ws - \frac{2 \times \pi \times ws \times \cos ws}{360}}$$

$H_{GHh}$ : Radiación global horaria para cielo cubierto sobre superficie horizontal

$H_{GH}$ : Radiación global para cielo cubierto sobre superficie horizontal.

$ws$ : ángulo horario ( $^{\circ}$ ) estimado para la hora de salida del sol.

$w$ : ángulo horario ( $^{\circ}$ ) estimado para la hora en cuestión, viene referido al punto medio de la hora considerada.

*a, b:* coeficientes obtenidos mediante las expresiones:

$$a = 0.409 + 0.5016 \times \text{sen}(ws - 60)$$

$$b = 0.6609 - 0.4767 \times \text{sen}(ws - 60)$$

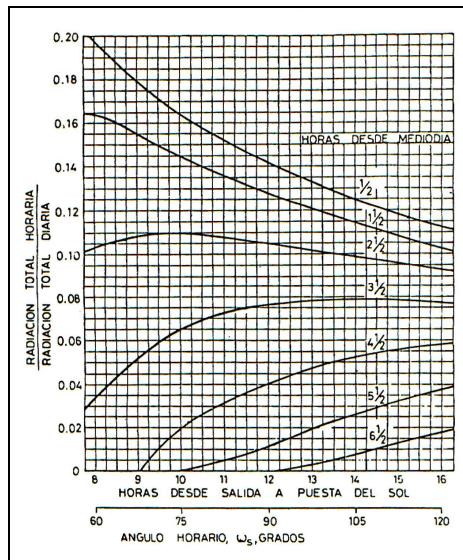


Fig. 4 Determinación del valor medio mensual horario de la radiación global sobre horizontal. (Mitjá A. et all 1982)

#### 2.4.2 Radiación difusa horaria media sobre superficie horizontal

El valor medio mensual horario de radiación difusa sobre superficie horizontal ( $H_{dH}$ ) se puede calcular gráficamente a partir de la siguiente gráfica, partiendo del ángulo horario de salida del sol ( $w_s$ ) o, la duración del día y el valor de la radiación difusa media mensual diaria ( $H_{dI}$ ).

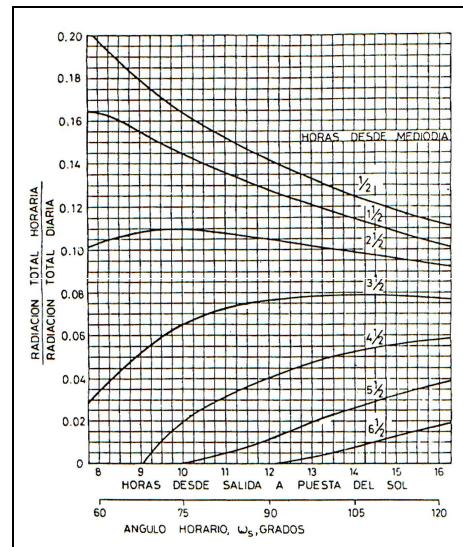


Fig. 5 Determinación del valor medio mensual horario de la radiación difusa sobre horizontal. (Mitjá A. et all 1982)

La curva anterior, fue posteriormente expresada analíticamente a través de la siguiente ecuación:

$$\frac{H_{dHh}}{H_{dh}} = \frac{\pi}{24} \times \frac{\cos w - \cos ws}{\sin ws - \frac{2 \times \pi \times ws \times \cos ws}{360}}$$

$H_{dHh}$ : Radiación difusa horaria para cielo cubierto sobre superficie horizontal

$H_{Gh}$ : Radiación difusa para cielo cubierto sobre superficie horizontal.

Radiación directa horaria media mensual para superficie horizontal

El valor medio mensual horario de radiación directa sobre superficie horizontal ( $H_{DHh}$ ) viene determinado por la diferencia entre la radiación global horaria ( $H_{Gh}$ ) y la difusa ( $H_{dHh}$ ).

#### 2.4.3 Radiación horaria media superficie inclinada

Una vez conocidos los valores de radiación global, difusa y directa sobre una superficie horizontal, se podrá determinar el valor de la radiación global horaria sobre superficie inclinada.

La radiación global se obtiene de la composición de la radiación directa, difusa y reflejada. La expresión utilizada para determinar la radiación global horaria sobre una superficie inclinada es la siguiente:

$$H_{Gh} = H_{DHh} \times \frac{\cos(i)}{\sin(h)} + \frac{1 + \cos(s)}{2} \times H_{dHh} + a \times \frac{1 - \cos(s)}{2} \times H_{Gh}$$

$H_{Gh}$ : Radiación global horaria para cielo cubierto sobre superficie inclinada.

$H_{DHh}$ : Radiación directa horaria para cielo cubierto sobre superficie horizontal.

$H_{dHh} = H_{Gh} - H_{DHh}$

$i$ : ángulo de incidencia.

$h$ : altura solar para el instante medio de la hora analizada.

$a$ : coeficiente reflexividad del suelo (albedo).

$s$ : ángulo de inclinación de la superficie colectora respecto a la horizontal.

$\delta$ : declinación solar calculada para el día analizado.

$L$ : latitud del lugar.

$\gamma$ : orientación de la superficie colectora.

$w$ : ángulo horario para la hora considerada.

Para determinar la radiación directa horaria sobre la superficie hay que determinar el ángulo de incidencia, conformado entre la dirección normal a la superficie y el rayo solar (definido por el acimut y la altura solar).

Para determinar matemáticamente el ángulo de incidencia se puede utilizar la siguiente expresión (Markus T.M. et all 1980):

$$\cos(i) = \cos(h) \times \cos(\gamma) \times \sin(s) + \sin(h) \times \cos(s)$$

## 7.2. Estación serie Dédalo



### Energía y Cambio Climático - Energía Solar



Estación Meteorológica  
Serie  
**Dédalo**

Servicios especializados en  
**Energía Solar**

Instalación, operación y configuración de  
estaciones de monitoreo de variables  
meteorológicas. Servicio de control de  
calidad de datos.

# Especificaciones

## Medición

La estación de monitoreo serie Dédalo, cuenta con instrumentos de alta precisión para la medición de las principales variables:

- Radiación solar global
- Velocidad y dirección de viento
- Temperatura y humedad ambiente

## Registro de datos

La información es almacenada en un datalogger el cual cuenta con un sistema confiable permitiendo almacenar información por largos períodos de tiempo.

## Transmisión

La transmisión de datos es vía GSM/GPRS u otros medios, dependiendo de la ubicación del lugar de interés.

## Procesamiento

Por medio de una interfaz gráfica, es posible visualizar los registros en una página web, donde además pueden descargarse informes periódicos de medición.



## INSTRUMENTOS

### Piranómetro

La estación cuenta con un piranómetro para medir la Radiación Global en plano horizontal (de su sigla en inglés "GHI"). Adicionalmente se pueden incorporar otros sensores que permitan medir radiación solar neta, radiación solar UV entre otras variables.



### Sensor de temperatura y humedad ambiente

Usando una sonda, puede medirse la temperatura y humedad relativa del aire. Los instrumentos cuentan con índices de protección adecuados para la intemperie.



### Sensor de velocidad y dirección del viento

Dependiendo de las condiciones de operación, la estación se puede configurar con diferentes tecnologías para la medición del viento, tales como, sensores de veleta o sensores sónicos.

### Sistema solar de carga de baterías

Mediante un sistema integrado de batería, regulador de carga y panel fotovoltaico, la estación puede operar de forma energéticamente autónoma.

### Sistema de comunicación

Este sistema puede incluir módulos de comunicación para telefonía celular (GSM, GPRS), Ethernet(TCP/IP), red satelital(Argos, Iridium).

### Trípode

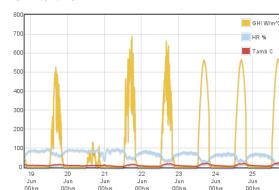
El sistema de montaje, puede ser desarrollado en distintos materiales como acero inoxidable o aluminio, así como tener recubrimientos para trabajar en zonas con condiciones extremas ambientales.

## SOFTWARE

Fundación Chile cuenta con una plataforma Web de visualización de datos que permite a nuestros clientes monitorizar los datos adquiridos por sus estaciones de monitoreo.

### Gráficas v/s tiempo

Visualización de datos históricos de la estación de monitoreo a través de una interfaz gráfica amigable e intuitiva.

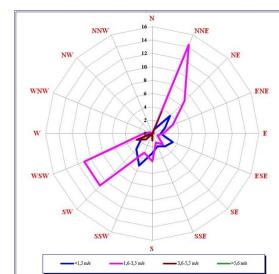


### Descarga de datos

La plataforma proporciona un módulo para que el cliente pueda descargar los datos almacenados para el uso que estime conveniente.

### Widgets

Opcionalmente la plataforma permite integrar los datos en su sitios Web corporativo.



## Servicios especializados en control de calidad de datos

Fundación Chile y el Centro Nacional de Energías Renovables de España - CENER ofrecen los servicios de:

Control de Calidad de Datos Registrados (Informes periódicos)

Generación de Año Meteorológico de Referencia (AMR)

Generación de Año Meteorológico Típico (AMT)



Fundación Chile  
Energía y Cambio Climático - Energía Solar  
[www.solaratacama.cl](http://www.solaratacama.cl)

# Contacto



Fundación Chile  
Energía y Cambio Climático - Energía Solar  
[www.solaratacama.cl](http://www.solaratacama.cl)

3

### 7.3. Estación serie Ícaro



## Energía y Cambio Climático - Energía Solar



Estación Meteorológica  
Serie **Icaro**

Servicios especializados en  
**Energía Solar**

Instalación, operación y configuración de  
estaciones de monitoreo de variables  
meteorológicas. Servicio de control de  
calidad de datos.

# Especificaciones

## Medición

La estación de monitoreo serie Ícaro, cuenta con instrumentos de alta precisión para la medición de las principales variables:

- Radiación solar global
- Radiación solar directa
- Raciación solar difusa
- Velocidad y dirección de viento
- Temperatura y humedad ambiente

## Registro de datos

La información es almacenada en un datalogger el cual cuenta con un sistema confiable permitiendo almacenar información por largos períodos de tiempo.

## Transmisión

La transmisión de datos es vía GSM/GPRS u otros medios, dependiendo de la ubicación del lugar de interés.

## Procesamiento

Por medio de una interfaz gráfica, es posible visualizar los registros en una página web, donde además pueden descargarse informes periódicos de medición.



## INSTRUMENTOS

### Piranómetro

La estación cuenta con un piranómetro para medir la Radiación Global en plano horizontal (de su sigla en inglés "GHI"). Adicionalmente se pueden incorporar otros sensores que permitan medir radiación solar neta, radiación solar UV entre otras variables.



### Sensor de temperatura y humedad ambiente

Usando una sonda, puede medirse la temperatura y humedad relativa del aire. Los instrumentos cuentan con índices de protección adecuados para la intemperie.



### Sensor de velocidad y dirección del viento

Dependiendo de las condiciones de operación, la estación se puede configurar con diferentes tecnologías para la medición del viento, tales como, sensores de veleta o sensores sónicos.

### Sistema solar de carga de baterías

Mediante un sistema integrado de batería, regulador de carga y panel fotovoltaico, la estación puede operar de forma energéticamente autónoma.

### Sistema de comunicación

Este sistema puede incluir módulos de comunicación para telefonía celular (GSM, GPRS), Ethernet(TCP/IP), red satelital(Argos, Iridium).

### Trípode

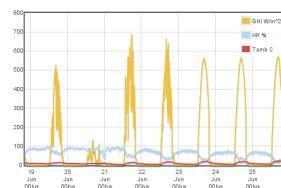
El sistema de montaje, puede ser desarrollado en distintos materiales como acero inoxidable o aluminio, así como tener recubrimientos para trabajar en zonas con condiciones extremas ambientales.

## SOFTWARE

Fundación Chile cuenta con una plataforma Web de visualización de datos que permite a nuestros clientes monitorizar los datos adquiridos por sus estaciones de monitoreo.

### Gráficas v/s tiempo

Visualización de datos históricos de la estación de monitoreo a través de una interfaz gráfica amigable e intuitiva.

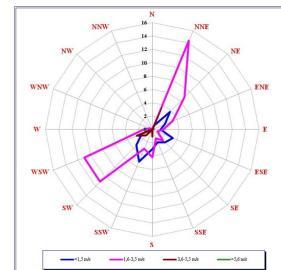


### Descarga de datos

La plataforma proporciona un módulo para que el cliente pueda descargar los datos almacenados para el uso que estime conveniente.

### Widgets

Opcionalmente la plataforma permite integrar los datos en sus sitios Web corporativo.



## Servicios especializados en control de calidad de datos

Fundación Chile y el Centro Nacional de Energías Renovables de España - CENER ofrecen los servicios de:

Control de Calidad de Datos Registrados (Informes periódicos)

Generación de Año Meteorológico de Referencia (AMR)

Generación de Año Meteorológico Típico (AMT)



Fundación Chile  
Energía y Cambio Climático - Energía Solar  
[www.solaratacama.cl](http://www.solaratacama.cl)

# Contacto



Fundación Chile  
Energía y Cambio Climático - Energía Solar  
[www.solaratacama.cl](http://www.solaratacama.cl)



## 7.4. Simulación PVsist planta Marcelo Mena

PVSYST V5.57		18/10/12	Página 1/3
Sistema Conectado a la Red: Parámetros de la simulación			
<b>Proyecto :</b>	<b>PV 1.38kWp Marcelo Mena</b>		
<b>Lugar geográfico</b>	<b>Vitacura CNE</b>	<b>País</b>	<b>Chile</b>
<b>Ubicación</b> Hora definido como	Latitud 33.4°S Hora Legal Huso hor. UT-4 Albedo 0.20	Longitud 70.6°W Altitud 672 m	
<b>Datos climatológicos :</b> Vitacura CNE, Síntesis datos por hora			
<b>Variante de simulación :</b> sim01	Fecha de simulación 18/10/12 16h32		
<b>Parámetros de la simulación</b>			
Orientación Plano Receptor	Inclinación 27°	Acimut	5°
Perfil obstáculos	Sin perfil de obstáculos		
Sombras cercanas	Sin sombreado		
<b>Características generador FV</b>			
<b>Módulo FV</b>	Si-mono	Modelo <b>CS6P - 230M</b>	
Número de módulos FV	Fabricante Canadian Solar Inc.		
Nº total de módulos FV	En serie 3 módulos	En paralelo	2 cadenas
Potencia global generador	Nº módulos 6	Pnom unitaria 230 Wp	1222 Wp (50°C)
Caract. funcionamiento del generador (50°C)	Nominal (STC) 1380 Wp	En cond. funciona.	
Superficie total	V mpp 80 V	I mpp 15 A	
	Superficie módulos 9.7 m²	Superficie célula 8.6 m²	
<b>Inversor</b>	Modelo <b>Sunny Boy SWR 700 Low SMA</b>		
Características	Tensión Funciona. 75-150 V	Pnom unitaria	0.460 kW AC
Banco de inversores	Nº de inversores 3 unidades	Potencia total	1.380 kW AC
<b>Factores de pérdida Generador FV</b>			
Factor de pérdidas térmicas => Temp. Opera. Nom. Cél. (G=800 W/m², Tamb=20° C, Viento=1m/s)	Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (viento) TONC 0.0 W/m²K / m/s 56 °C
Pérdida Óhmica en el Cableado	Res. global generador	89 mOhm	Fracción de Pérdidas 1.5 % en STC
Pérdida Calidad Módulo			Fracción de Pérdidas 1.1 %
Pérdidas Mismatch Módulos			Fracción de Pérdidas 2.0 % en MPP
Efecto de incidencia, parametrización ASHRAE	IAM = 1 - bo (1/cos i - 1)		Parámetro bo 0.05
<b>Necesidades de los usuarios :</b>	Carga ilimitada (red)		

### Sistema Conectado a la Red: Resultados principales

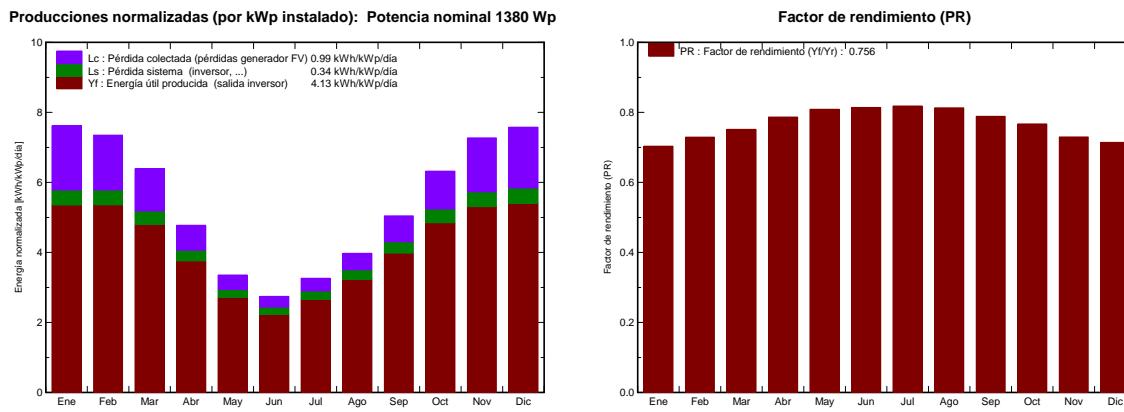
Proyecto : PV 1.38kWp Marcelo Mena

Variante de simulación : sim01

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	Conectado a la red	
Orientación Campos FV	inclinación 27°	acimut 5°	
Módulos FV	Modelo CS6P - 230M	Pnom 230 Wp	
Generador FV	Nº de módulos 6	Pnom total 1380 Wp	
Inversor	Modelo Sunny Boy SWR 700 Low	Pnom 460 W ac	
Banco de inversores	Nº de unidades 3.0	Pnom total 1380 W ac	
Necesidades de los usuarios	Carga ilimitada (red)		

Resultados principales de la simulación	Energía producida	2082 kWh/año	Produc. específico	1508 kWh/kWp/año
Producción del Sistema	Factor de rendimiento (PR)	75.6 %		



sim01

### Balances y resultados principales

	GlobHor kWh/m <sup>2</sup>	T Amb °C	GlobInc kWh/m <sup>2</sup>	GlobEff kWh/m <sup>2</sup>	EArray kWh	E_Grid kWh	EffArrR %	EffSysR %
Enero	253.0	21.00	236.0	228.9	247.4	229.0	10.86	10.05
Febrero	203.0	18.00	205.8	200.0	223.4	207.1	11.25	10.43
Marzo	176.0	18.00	198.1	192.7	221.9	205.5	11.60	10.75
Abril	116.0	14.00	143.3	139.2	168.3	155.6	12.17	11.25
Mayo	79.0	10.00	104.0	101.0	126.3	116.1	12.58	11.56
Junio	60.0	8.00	82.4	79.9	101.1	92.6	12.71	11.64
Julio	73.0	8.00	101.1	98.0	124.1	114.2	12.72	11.70
Agosto	98.0	9.80	123.3	119.7	149.9	138.3	12.60	11.62
Septiembre	132.0	12.40	151.4	147.2	178.2	164.8	12.20	11.28
Octubre	188.0	15.00	195.9	190.2	224.2	207.4	11.86	10.97
Noviembre	230.0	17.00	218.2	211.5	237.3	219.7	11.27	10.44
Diciembre	258.0	19.70	234.9	227.8	250.0	231.5	11.03	10.21
Año	1866.0	14.23	1994.5	1936.1	2252.1	2081.7	11.70	10.81

Leyendas: GlobHor Irradiación global horizontal  
T Amb Temperatura Ambiente  
GlobInc Global incidente en plano receptor  
GlobEff Global efectivo, corr. para IAM y sombreados

EArray Energía efectiva en la salida del generador  
E\_Grid Energía reinyectada en la red  
EffArrR Eficiencia Esal campo/superficie bruta  
EffSysR Eficiencia Esal sistema/superficie bruta

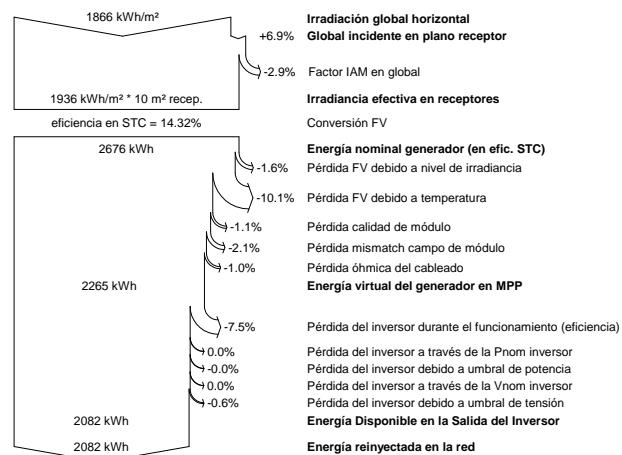
### Sistema Conectado a la Red: Diagrama de pérdidas

Proyecto : PV 1.38kWp Marcelo Mena

Variante de simulación : sim01

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	Conectado a la red	
Orientación Campos FV	inclinación 27°	acimut 5°	
Módulos FV	Modelo CS6P - 230M	Pnom 230 Wp	
Generador FV	Nº de módulos 6	Pnom total 1380 Wp	
Inversor	Modelo Sunny Boy SWR 700 Low	Pnom 460 W ac	
Banco de inversores	Nº de unidades 3.0	Pnom total 1380 W ac	
Necesidades de los usuarios	Carga ilimitada (red)		

#### Diagrama de pérdida durante todo el año



## 7.5. Resultados simulacion SolarCalc para planta solar Marcelo Mena

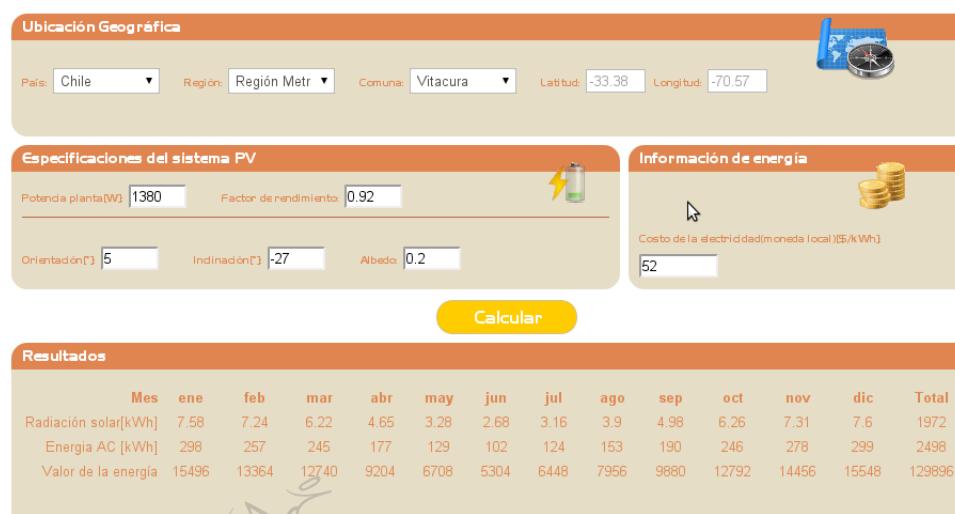


Figura 7.1: Parametros planta solar Marcelo Mena.

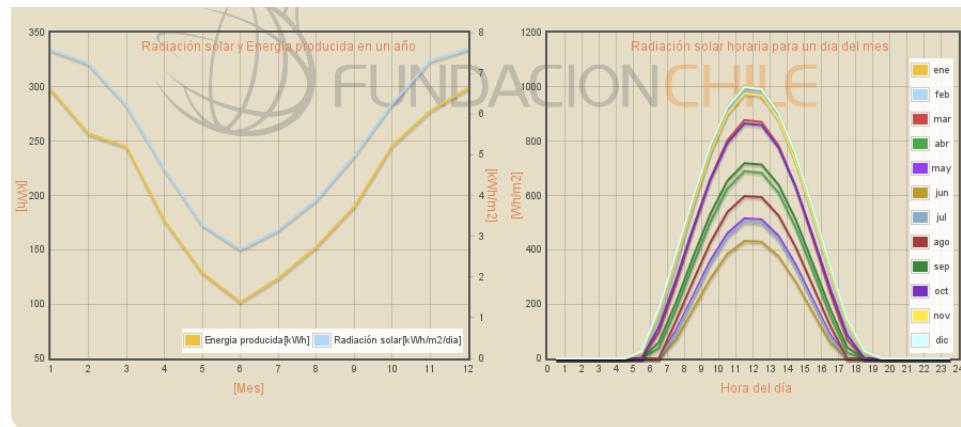


Figura 7.2: Resultados simulacion planta solar Marcelo Mena.

## 7.6. Script implementación solarCalc

```

<?php
error_reporting(0);
//sleep(1);
/* Calcular la radiacion sobre el plano horizontal horaria a
partir de la radiacion diaria de media mensual */
/*BD*/
$datosConexion = array(
    'servidorBD' => "solar.db.7367634.hostedresource.com",
    'usuario' => "widgetSolar",
    'pass' => "corbet*Mount54",
    'bd' => "solar"
);

$conexion = mysql_connect($datosConexion['servidorBD'],
    $datosConexion['usuario'], $datosConexion['pass']);
mysql_select_db($datosConexion['bd'], $conexion);

/* Definicion de Constantes */
/*Mes del año*/
$ma = array("ene", "feb", "mar", "abr", "may", "jun", "jul", "ago",
"sep", "oct", "nov", "dic");
/*Numero de dia del año, mitad de mes*/
$nda = array(17, 47, 75, 105, 135, 162, 198, 228, 258, 288, 318, 344);
/*Numero de dias del mes*/
$ndm = array(31, 28, 31, 30, 31, 30, 31, 31, 30, 31, 30, 31);
/*Horas del dia */
$hd = array(0.5, 1.5, 2.5, 3.5, 4.5, 5.5, 6.5, 7.5, 8.5, 9.5, 10.5, 11.5,
12.5, 13.5, 14.5, 15.5, 16.5, 17.5, 18.5, 19.5, 20.5, 21.5, 22.5, 23.5);
/*Constante solar*/
$cs = 1353;

```

```
/* Definicion de datos que dependen de la comuna a calcular */
/*Comuna*/
$comuna = utf8_decode($_POST["comuna"]);
/*Consultar BD*/
$q = "SELECT * FROM ene_wh_dia WHERE comuna='".$comuna."'";
$r = mysql_query($q, $conexion) or die(mysql_error());
$RGHd = mysql_fetch_row($r);

$q = "SELECT latitud FROM comunas WHERE comuna='".$comuna."'";
$r = mysql_query($q, $conexion) or die(mysql_error());
$l = mysql_fetch_row($r); $l = $l[0];

/*Latitud*/
// $l = -23.3;
/*Radiacion solar global Horizontal diaria de media mensual*/
// $RGHd = $fila;

/*Datos ingresados por el usuario*/
/*Orientacion*/
$ori = $_POST["ori"];
/*Inclinacion*/
$incl = $_POST["incl"];
/*Albedo*/
$alb = $_POST["alb"];
/*potencia peak del panel [W/m2]*/
$ppp = 114.2857;
/*Potencia nominal planta [W]*/
$pnp = $_POST["pnp"];
/*eficiencia del panel*/
$eps = $ppp / 1000;
```

```

/*area de la planta*/
$ap = $pnp / $ppp;
/*factor de planta*/
$fp = $_POST["fp"];
/*valor kwh*/
$vkwh = $_POST["vkwh"];

/*Ecuaciones de calculo*/
/*Angulo del dia [rad]*/
function gamma($nda) {
$gamma = ( 2 * M_PI * ($nda - 1) ) / 365;
return $gamma;
}
/*Declinacion solar*/
function delta($nda) {
$delta = ( (180/M_PI) * (0.006918 -
(0.399912*cos(gamma($nda))) + (0.070257*sin(gamma($nda))) -
(0.006758*cos(2*gamma($nda))) + (0.000907*sin(2*gamma($nda))) -
(0.002697*cos(3*gamma($nda))) + (0.00148*sin(3*gamma($nda))) );
return $delta;
}
/*Angulo de puesta de sol*/
function ws($l,$nda) {
$ws = ( acos( -tan(( $l * M_PI) / 180) * tan((delta($nda) *
M_PI) / 180) ) * (180/M_PI) );
return $ws;
}
/*Radiacion solar extraterrestre, estimada a partir del
indice de nuvocidad [Wh/m2 dia]*/
function rse($l,$nda,$cs) {
$rse = ( (24 / M_PI) * $cs * (1 + 0.033 * cos(360 *

```

```

    ($nda/365) * (M_PI/180))) * (cos($l * M_PI / 180)) *
    (cos(delta($nda) * M_PI / 180)) * (sin(ws($l,$nda) *
    M_PI / 180) - (M_PI / 180 * ws($l,$nda) *
    cos(ws($l,$nda) * M_PI / 180)));
    return $rse;
}

/*Indice nubosidad [Wh/m2 dia]*/
function kt($RGHd,$l,$nda,$cs) {
$kt = $RGHd / rse($l,$nda,$cs);
return $kt;
}

/*Horas de sol al dia*/
function hsd($l,$nda) {
$hsd = ws($l,$nda) / 15 * 2 ;
return $hsd;
}

/*Radiacion solar difusa horizontal diaria de media mensual,
a partir de modelo gopinathan KK y soler A, 1995*/
function RDHd($RGHd,$l,$nda,$cs) {
$RDHd = $RGHd * (0.91138 - (0.96225 * kt($RGHd,$l,$nda,$cs)));
return $RDHd;
}

/*factor a*/
function a($l,$nda) {
$a = (0.409 + (0.5016 * sin((ws($l,$nda) - 60) * M_PI / 180)));
return $a;
}

/*factor b*/
function b($l,$nda) {
$b = (0.6609 - (0.4767 * sin((ws($l,$nda) - 60) * M_PI / 180)));
return $b;
}

```

```

}

/*Funciones para calcular algunos datos geometricos*/
function w($hd) {
$w = 15 * ($hd - 12);
return $w;
}
/*Altura solar*/
function hs($l,$nda,$hd) {
$hs = (asin((sin($l * M_PI / 180) * sin(delta($nda) *
M_PI / 180)) + (cos($l * M_PI / 180) * cos(delta($nda) *
M_PI / 180) * cos(w($hd) * M_PI / 180))) * (180 / M_PI));
return $hs;
}
/*Acimut*/
function acimut($l,$nda,$hd) {
$acimut = (acos((cos(delta($nda) * M_PI / 180) * cos(w($hd) *
M_PI / 180)) - (cos($l * M_PI / 180) * sin(hs($l,$nda,$hd) *
M_PI / 180)) ) / (cos(hs($l,$nda,$hd) * M_PI / 180) * sin($l *
M_PI / 180))) * 180 / M_PI);
return ($hd < 12) ? (-1 * $acimut) : $acimut;
}

/* Funciones para calcular la distribucion horaria de la radiacion
a partir de la radiacion diaria de media mensual */
/*Factor radiacion global horizontal hora/dia*/
function FRGHhd($l,$nda,$hd) {
$FRGHhd = (abs((M_PI / 24) * (a($l,$nda) + (b($l,$nda) *
cos(w($hd) * M_PI / 180))) * ((cos(w($hd) * M_PI / 180) -
cos(ws($l,$nda) * M_PI / 180)) / (sin(ws($l,$nda) * M_PI / 180) -
((M_PI / 180) * (ws($l,$nda)) * cos(ws($l,$nda) * M_PI / 180))))));

```

```
return $FRGHhd;
}

/*Factor radiacion difusa horizontal hora/dia*/

function FRDfHhd($l,$nda,$hd) {
$FRDfHhd = ((M_PI / 24) * (cos(w($hd) * M_PI / 180) -
cos(ws($l,$nda) * M_PI / 180)) / (sin(ws($l,$nda) *
M_PI / 180) - (M_PI / 180 * ws($l,$nda) * cos(ws($l,$nda) *
M_PI / 180)))) ;
return $FRDfHhd;
}

/*Radiacion global horaria horizontal*/

function RGHh($RGHd,$l,$nda,$hd) {
if(hs($l,$nda,$hd) > 0){ $RGHh = ($RGHd * FRGHhd($l,$nda,$hd));
} else{ $RGHh = 0; }
return $RGHh;
}

/*Radiacion difusa horaria horizontal*/

function RDfHh($RGHd,$l,$nda,$cs,$hd) {
if(hs($l,$nda,$hd) > 0){ $RDfHh = (RDHd($RGHd,$l,$nda,$cs) *
FRDfHhd($l,$nda,$hd)); } else{ $RDfHh = 0; }
return $RDfHh;
}

/*Radiacion directa horaria horizontal*/

function RDrHh($RGHd,$l,$nda,$cs,$hd) {
$RDrHh = RGHh($RGHd,$l,$nda,$hd) - RDfHh($RGHd,$l,$nda,$cs,$hd);
return $RDrHh;
}

/* Funciones para calcular la influencia de la orientacion,
inclinacion y reflección a partir de la radiación horaria
horizontal de media diaria*/
```

```
/*Diferencia del angulo con el azimut*/
function difAzimut($ori,$l,$nda,$hd) {
    return ($ori - acimut($l,$nda,$hd));
}

/*Angulo horizontal*/
function anguloHorizontal($ori,$l,$nda,$hd) {
    return ( ( -1 * $ori ) + acimut($l,$nda,$hd) );
}

/*Angulo vertical*/
function anguloVertical($ori,$RGHd,$l,$nda,$hd) {
    $AH = anguloHorizontal($ori,$l,$nda,$hd);
    $HS = hs($l,$nda,$hd);
    if( abs($AH) > 90 ){
        $anguloVertical = 90;
    }else{
        if( $HS > 0 ) {
            $anguloVertical = (180 / M_PI * atan(tan($HS *
                M_PI / 180) / cos($AH * M_PI / 180)));
        } else {
            $anguloVertical = 90;
        }
    }
    return $anguloVertical;
}

/*Angulo de incidencia*/
function anguloIncidencia($incl,$ori,$RGHd,$l,$nda,$hd) {
    $HS = hs($l,$nda,$hd);
    $DA = difAzimut($ori,$l,$nda,$hd);
    $anguloIncidencia = (180 / M_PI) * acos( cos($HS * M_PI / 180) *
        cos($DA * M_PI / 180) * sin($incl * M_PI / 180) + sin($HS *
```

```

M_PI / 180) * cos($incl * M_PI / 180) );
return $anguloIncidencia;
}

/*Radiacion directa horaria en la superficie orientada */
function RDrhS($incl,$ori,$RGHd,$l,$nda,$cs,$hd) {
$AI = anguloIncidencia($incl,$ori,$RGHd,$l,$nda,$hd);
$RDrHh = RDrHh($RGHd,$l,$nda,$cs,$hd);
$HS = hs($l,$nda,$hd);
if($AI < 90){ $RDrhS = $RDrHh / sin($HS * M_PI / 180) *
cos($AI * M_PI / 180); }else{ $RDrhS = 0; }
return round($RDrhS);
}

/*Radiacion difusa horaria en la superficie orientada*/
function RDfhS($alb,$incl,$ori,$RGHd,$l,$nda,$cs,$hd) {
$RDfhS = ((1 + cos($incl * M_PI / 180)) / 2 *
RDrHh($RGHd,$l,$nda,$cs,$hd)) + (($alb *
(1 - cos($incl * M_PI / 180))) / 2 *
RGHh($RGHd,$l,$nda,$hd));
return round($RDfhS);
}

/*Radiacion global horaria den la superficie orientada*/
function RGhS($alb,$incl,$ori,$RGHd,$l,$nda,$cs,$hd) {
$RGhS = (RDrhS($incl,$ori,$RGHd,$l,$nda,$cs,$hd) +
RDfhS($alb,$incl,$ori,$RGHd,$l,$nda,$cs,$hd));
return round($RGhS);
}

/* Energia total solar al mes [Wh/mes]*/
function energiaSolarTotal($alb,$incl,$ori,$RGHd,$l,$nda,$cs,$hd) {
foreach($hd as $var) $energiaSolarT = $energiaSolarT +
RGhS($alb,$incl,$ori,$RGHd,$l,$nda,$cs,$var);
}

```

```
return $energiaSolarT;
}

/* Energia total producida en el mes por la planta [Wh/mes]*/
function energiaProducida($ap,$ep,$fp,$et,$nda) {
$energiaTotal = round($et * $ap * $ep * $fp * $nda);
return $energiaTotal;
}

/* Realizar los calculos y mostrar el resultado */
/*iterar para todos los meses del año*/

//$/filaMes = '<th id=col1 >Mes</th>';
//$/filaRadiacion = '<td id=col1>Radiación solar[kWh/m2/dia]</td>';
//$/filaEnergia = '<td id=col1>Energia AC [kWh]</td>';
//$/filaCosto = '<td id=col1>Valor de la energía</td>';
for($i = 0; $i < 12; $i++){
$energiaSolarT = round(energiaSolarTotal($alb,$incl,$ori,
$RGHd[$i+1],$l,$nda[$i],$cs,$hd) / 1000,2);
$energiaProducida = energiaProducida($ap,$eps,$fp,
$energiaSolarT,$ndm[$i]);
$energiaValor = round($energiaProducida * $vkwh,2);
$radiacionHora = array();
foreach($hd as $var) $radiacionHora[] =
array($var,RGhs($alb,$incl,$ori,$RGHd[$i+1],$l,$nda[$i],$cs,$var));

$r = $r + ($energiaSolarT * $ndm[$i]) ;
$e = $e + $energiaProducida;
$c = $c + $energiaValor;

$filaRadiacion[] = array($i+1,$energiaSolarT);
$filaEnergia[] = array($i+1,$energiaProducida);
```

```
$filaMes[] = array($i,$ma[$i]);
$filaCosto[] = array($i,$energiaValor);
$filaRadiacionHora[] = array('label' => $ma[$i], "data" =>
$radiacionHora, 'color' => $i);
}

/* Codificar los datos en JSON */
$r = round($r,0);
$e = round($e,0);
$c = round($c,2);
$datos = array(
array('label' => 'Energia producida[kWh]',
"data" => $filaEnergia, 'yaxis' => 1),
array('label' => 'Radiación solar[kWh/m2/dia]',
"data" => $filaRadiacion, 'yaxis' => 2),
array('label' => 'meses', "data" => $filaMes, 'yaxis' => 3),
array('label' => 'costo', "data" => $filaCosto, 'yaxis' => 4),
array('label' => 'totalR', "data" => $r, 'yaxis' => 5),
array('label' => 'totalE', "data" => $e, 'yaxis' => 5),
array('label' => 'totalC', "data" => $c, 'yaxis' => 5),
);
$datos = array_merge($datos,$filaRadiacionHora);

header('Content-type: application/json');
$datos = json_encode($datos);
echo $datos;
?>
```

## 7.7. Script CRBasic - Datalogger estación Fundación Chile

```

' CR800
'Manuel Arredondo for CR800 Estación FCH Vitacura
' 29/08/2012

'Declare Variables and Units
Public BattV
Public ApogeeFCH
Public SlrMJ
Public AirTC
Public RH

Public PTemp, batt_volt
Public socket, serial
Public GetRequest As String * 200
Public GetResponse As String * 200
Public httpGetMsg As String * 200
Public ipServer As String *200
Public varsGetRequest As String * 600

Units BattV=Volts
Units ApogeeFCH=W/m^2
Units SlrMJ=MJ/m^2
Units AirTC=Deg C
Units RH=%

'Define Data Tables
DataTable(solarFch,True,-1)
DataInterval(0,1,Min,10)
Sample(1,BattV,FP2)
Sample(1,ApogeeFCH,FP2)

```

```
Totalize(1,SlrMJ,IEEE4,False)
Sample(1,AirTC,FP2)
Sample(1,RH,FP2)
EndTable

'Main Program
BeginProg
Scan(1,Min,1,0)
'Def timestamp
'TimeS = Status.timestamp(1,1)
'TimeS = solarFch.TimeStamp

'Default Datalogger Battery Voltage measurement BattV
Battery(BattV)

'Apogee Pyranometer measurements SlrMJ and ApogeeFCH
VoltDiff(ApogeeFCH,1,mV250,1,True,0,_50Hz,1,0)
If ApogeeFCH<0 Then ApogeeFCH=0
SlrMJ=ApogeeFCH*0.012
ApogeeFCH= ApogeeFCH*5.41

'HMP50 Temperature & Relative Humidity Sensor measurements AirTC
'and RH

VoltSe(AirTC,1,mV2500,3,0,0,_50Hz,0.1,-40)
VoltSe(RH,1,mV2500,4,0,0,_50Hz,0.1,0)
If (RH>100) AND (RH<108) Then RH=100

'Call Data Tables and Store Data
CallTable(solarFch)
```

```
' peticion get al servidor de solaratacama.cl para registrar las
' lecturas en la BD

ipServer = "www.solaratacama.cl"
' varsGetRequest = "timestamp="+TimeS+"&battV="+BattV+"&radW="+
Rad_W+"&radW2="+Rad_W_2+"&airTc="+AirTC+"&rh="+RH

varsGetRequest = "battV="+BattV+"&radW="+ApogeeFCH+"&radW2="+
SlrMJ+"&airTc="+AirTC+"&rh="+RH
GetRequest = "GET /solarDatos/getDatalogerFch.php?" + varsGetRequest +
" HTTP/1.1"+CHR(13)+CHR(10)
' GetRequest = "GET /getDatalogerFch.php HTTP/1.1"+CHR(13)+CHR(10)

socket = TCPOpen(ipServer, 80, 1024)
serial = SerialOpen(ComRS232, 9600, 0, 20000, 1000)
if socket <> 0 Then
    SerialOut(socket, GetRequest, "", 0, 0)
    SerialOut(socket, "User-Agent:Mozilla/5.0"+CHR(13)+CHR(10), "", 0, 0)
    SerialOut(socket, "Host:"+ipServer+CHR(13)+CHR(10), "", 0, 0)
    SerialOut(socket, CHR(13)+CHR(10), "", 0, 0)
    SerialOut(serial, GetRequest, "0", 1, 150)
    SerialIn.GetResponse, socket, 500, "", 200)
    SerialOut(serial, GetResponse, "0", 1, 150)
EndIf
NextScan
EndProg
```

# Bibliografía

- [1] 255 KWh/m<sup>2</sup> al año es la energía generada en la comuna de Calama, Segunda Región. La fuente de datos corresponde a la CNE y los cálculos efectuados del trabajo desarrollado en esta Memoria.
- [2] Cuando hablamos de software libre es necesario hacer la diferencia entre 3 conceptos que normalmente se confunden. Es diferente definir un software como software libre, de código abierto o gratuito. Cuando decimos que algo es gratuito simplemente se hace referencia a que por dicho elemento no hay cobros asociados, o bien que puedes adquirirlo sin la necesidad de pagar, sin embargo cuando se habla de "software libre" se hace referencia a la libertad de los usuarios para con dicho software entre las cuales podemos encontrar la libertad de ser usado, copiado, estudiado, modificado, y/o redistribuido. Libertades que Richard Stallman define en la licencia GPL distribuida por la "Free Software Foundation". Por otro lado se define que un software es de "código abierto" cuando su código fuente se encuentra disponible para ser usado, aun que esto no implique la gratuitad o el derecho a modificación y/o distribución del software en su totalidad.
- [3] Corresponde a la máscara gráfica o visual que forma parte del CMS Wordpress, para efectos de la memoria usaremos la traducción "Perfiles".
- [4] Esta palabra proviene del inglés "Plug" el cual es un tipo de "enchufe", por lo tanto, el concepto detrás de esta palabra hace referencia a la capacidad del componente de poder agregarse o quitarse de manera rápida y sencilla sin que esto pueda producir un colapso en la aplicación y que al mismo tiempo proporcione funcionalidades diferenciadoras.

- [5] En ciencias de la computación, una biblioteca (del inglés library) es un conjunto de subprogramas utilizados para desarrollar software. Las bibliotecas contienen código y datos, que proporcionan servicios a programas independientes, es decir, pasan a formar parte de estos. Esto permite que el código y los datos se compartan y puedan modificarse de forma modular.
- [6] Inc 3TIER. 2012. URL: <http://www.3tier.com>.
- [7] Colegio de Ingenieros de Chile A.G. 2010.
- [8] CNE/PNUD/UTFSM. 2008. ISBN: 978-956-279-005-5.
- [9] Multi-Tech Company. URL: [http://www.multitech.com/en\\_US/](http://www.multitech.com/en_US/).
- [10] Msc Eduardo Soto Sepúlveda. ‘‘Dimensionamiento para sistemas solar térmicos en la república de Chile’’. En: *Modelo de radiación solar para conversión de datos sintéticos de radiación solar en valores horarios*. 2009, págs. 12 -19.
- [11] SR comunicaciones Ministerio de Energía Lo Castillo publicaciones. ‘‘Chile Energía 2011’’. En: *Capítulo 2, La Matriz Energética*. 2011, pág. 58.
- [12] Flot. Attractive Javascript plotting for jQuery. URL: <http://code.google.com/p/flot/>.
- [13] The jQuery Foundation. Proyectos jQuery. 2012. URL: <http://jquery.com/>.
- [14] Inc. Free Software Foundation. Licencia GPL. 1996 - 2012. URL: <http://www.gnu.org/licenses/licenses.html>.
- [15] The PHP Group. Licencia PHP. 2001 - 2012. URL: <http://php.net/copyright.php>.
- [16] Rodrigo Escobar/Fernando Hentzchel. 2011, págs. 15-19. ISBN: 978-956-9047-00-8.
- [17] Instituto Tecnológico de Massachusetts. Licencia MIT. 1988 - 2012. URL: <http://opensource.org/licenses/mit-license.php>.
- [18] Prensa Minera. Noticia referente a la puesta en marcha de Calama Solar 3, planta solar que alimenta parte del consumo eléctrico de Chuquicamata. 2012. URL: [http://www.prensaminera.cl/index.php?option=com\\_content&view=article&id=9523:calama-solar-3-ya-alimenta-con-energia-a-division-chuquicamata&catid=48:energia&Itemid=70](http://www.prensaminera.cl/index.php?option=com_content&view=article&id=9523:calama-solar-3-ya-alimenta-con-energia-a-division-chuquicamata&catid=48:energia&Itemid=70).

- [19] RedSolLAC. Red conformada por especialistas de energías renovables de Latinoamérica y el Caribe, empresarios dentro y fuera del sector energético. URL: <http://www.redsollac.org/>.
- [20] RedSolLAC. Planta solar fotovoltaica de Subsole. URL: [http://redsollac.org/?page\\_id=1194](http://redsollac.org/?page_id=1194).
- [21] Wikipedia. URL: [http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_Solar](http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_Solar).
- [22] Wikipedia. URL: <http://es.wikipedia.org/wiki/Sol>.
- [23] Wikipedia. Nacimiento y muerte del Sol. URL: [http://es.wikipedia.org/wiki/Sol#Nacimiento\\_y\\_muerte\\_del\\_Sol](http://es.wikipedia.org/wiki/Sol#Nacimiento_y_muerte_del_Sol).
- [24] Wikipedia. Reacciones termonucleares e incidencia sobre la superficie terrestre. URL: [http://es.wikipedia.org/wiki/Sol#Reacciones\\_termonucleares\\_e\\_incidencia\\_sobre\\_la\\_superficie\\_terrestre](http://es.wikipedia.org/wiki/Sol#Reacciones_termonucleares_e_incidencia_sobre_la_superficie_terrestre).
- [25] Wikipedia. Beginner's All-purpose Symbolic Instruction Code. URL: <http://es.wikipedia.org/wiki/BASIC>.
- [26] Wordpress.org. Licencia GPL. URL: [http://codex.wordpress.org/Writing\\_a\\_Plugin](http://codex.wordpress.org/Writing_a_Plugin).
- [27] WordPress.org. State of the Word. 2011. URL: <http://wordpress.org/news/2011/08/state-of-the-word/>.