



UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA  
DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA  
VALPARAÍSO, CHILE



# **SISTEMA INFORMÁTICO PARA EL MANEJO DE DATOS DE PRODUCCION 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

JULIO 2012

TÍTULO DE LA MEMORIA:

**SISTEMA INFORMÁTICO PARA EL MANEJO DE DATOS DE PRODUCCION 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

Julio 2012.  
Valparaíso, Chile.



# Agradecimientos

# Resumen

La presente consiste en el desarrollo de una plataforma de gestión de la información producida por la planta de energía solar de la exportadora Subsole S.A., ubicada en la región de Atacama. Actualmente es la planta más grande de Chile para uso agrícola y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) está interesado en difundir características técnicas sobre el proceso de construcción y operación a tiempo real de esta instalación. Dentro de este marco, el BID encargó a la Fundación Chile la creación de un portal Web junto a una Red de difusión y colaboración para Latinoamérica y el Caribe (RedSolLac), la cual pretende potenciar y desarrollar la producción y el uso de energía fotovoltaica en la región.

La información de energía generada por la planta e inyectada a la red es presentada en tiempo real por la plataforma Web, además queda disponible para ser descargada en diferentes formatos por los usuarios especialistas.

Para la captura y recopilación de datos se implementan estaciones meteorológicas compuestas de equipos especializados en la medición de variables solares, además de diferentes parámetros medioambientales. Se utilizan dos estaciones, una ubicada en la Región Metropolitana en la comuna de Vitacura en Fundación Chile y otra en la Región de Atacama en la comuna de Tierra Amarilla en la planta de Subsole.

A partir de la información obtenida por las estaciones, se desarrolla un sistema de cálculo para realizar estudios de prefactibilidad técnica y económica a través de una calculadora “on line”.

Los datos de las estaciones de medición y de y de la planta quedan a disposición de los usuarios de la RedSolLac en forma gráfica y con la posibilidad de ser descargados de la base

de datos en diferentes formatos.

# Abstract

# Índice General

<b>Resumen</b>	<b>IV</b>
<b>Abstract</b>	<b>VII</b>
<b>Índice General</b>	<b>X</b>
<b>Índice de Tablas</b>	<b>XI</b>
<b>Índice de Figuras</b>	<b>XII</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 . . . . .	6
2.3. Objetivos específicos de la solución . . . . .	6
2.4. Requerimientos del sistema . . . . .	7
2.4.1. Requerimientos funcionales . . . . .	7
2.4.2. requerimientos no funcionales . . . . .	7
<b>3. Introducción a la Energía Solar</b>	<b>10</b>
3.1. El Sol . . . . .	10
3.2. La radiación solar . . . . .	12
3.3. Energía Fotovoltaica . . . . .	14



3.4.	Sistemas fotovoltaicos . . . . .	16
3.4.1.	Paneles solares . . . . .	16
3.4.2.	Inversores . . . . .	18
3.4.3.	Almacenamiento . . . . .	18
<b>4.</b>	<b>Solución propuesta</b>	<b>19</b>
4.1.	Arquitectura de la solución . . . . .	19
4.1.1.	Software utilizado . . . . .	21
4.1.2.	Hardware . . . . .	26
4.2.	Diseño de la solución . . . . .	32
4.2.1.	Aplicaciones . . . . .	33
4.2.2.	Estaciones . . . . .	36
4.2.3.	Almacenamiento de datos . . . . .	38
<b>5.</b>	<b>Pruebas del sistema</b>	<b>41</b>
5.1.	Comunicación de las estaciones de monitoreo . . . . .	41
5.1.1.	Estación de monitoreo Fundación Chile, Santiago . . . . .	41
5.1.2.	Estación de monitoreo SubSole, Antofagasta . . . . .	41
5.2.	Comparación de datos y gráficas . . . . .	41
5.2.1.	Datos del proceso de captura anterior . . . . .	41
5.2.2.	Datos del proceso de captura actual . . . . .	41
5.2.3.	Comparación de gráficas . . . . .	41
<b>6.</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>42</b>
<b>7.</b>	<b>Anexos</b>	<b>43</b>

# Índice de Tablas

2.1. Tabla de requerimientos funcionales . . . . .	8
2.2. Tabla de requerimientos no funcionales . . . . .	9
4.1. Características sitio Web RedSolLAC . . . . .	34
4.2. Tabla de requerimientos funcionales . . . . .	37

# Índice de Figuras

1.1. Esquema planta fotovoltaica Subsole 307,2 kWp(STC) a la red eléctrica EMELAT - Región de Atacama . . . . .	2
2.1. Planta fotovoltaica 307,2 kWp, sector Los Loros - Tierra Amarilla, región de Atacama - Chile . . . . .	4
2.2. Estación de medición de radiación solar en Fundación Chile, Vitacura - Santiago. . . . .	4
2.3. Esquema planta fotovoltaica Subsole 307,2 kWp(STC) a la red eléctrica EMELAT - Región de Atacama . . . . .	5
2.4. Gráfico de ejemplo de la curva de demanda de energía versus la generación de energía solar fotovoltaica en la planta Subsole. . . . .	7
3.1. Esquema que muestra la órbita de la Tierra con respecto al Sol y muestra los puntos del Afelio y el Perihelio . . . . .	11
3.2. Gráfico de clasificación del espectro de la radiación solar[4] . . . . .	13
3.3. Distancia que atraviesa la radiación en la atmósfera dependiendo del ángulo de incidencia . . . . .	13
3.4. Descomposición de la radiación solar[4] . . . . .	14
4.1. Diagrama de Arquitectura . . . . .	20
4.2. Datalogger Campbell CR1000 . . . . .	27
4.3. Periférico Campbell NL200 . . . . .	28
4.4. MultiModem Multitech MTCBA-G-F4 . . . . .	29
4.5. Piranómetro psp-eplay . . . . .	30
4.6. Sensor HMP60 . . . . .	30
4.7. Batería PS100 . . . . .	31

4.8. Panel Solar SX310M . . . . .	31
4.9. Diagrama de Despliegue . . . . .	32
4.10. Diagrama de Despliegue . . . . .	34
4.11. Diagrama de Estados solarGraficos . . . . .	35
4.12. Diagrama de Secuencia solarGraficos . . . . .	36
4.13. Imagen de la aplicacion SolarGraficos - Cargando datos . . . . .	36
4.14. Imagen de la aplicación SolarGraficos - Estructura . . . . .	37
4.15. Diagrama de Estado estación meteorológica . . . . .	38
4.16. Diagrama de Secuencia estación meteorológica . . . . .	38
4.17. Diagrama de Estados Sistema de Almacenamiento . . . . .	39

# Glosario

## A

**Afelio** Punto más alejado de la órbita de un planeta alrededor del Sol, p. 11.

**API** Interfaz de programación para aplicaciones del inglés "Application Programming Interface", p. 21.

## B

**bibliotecas** En informática una biblioteca se entiende por un conjunto de librerías, scripts o rutinas de código agrupadas temáticamente con el fin de crear un comportamiento específico en las aplicaciones desarrolladas., p. 21.

## C

**CMS** Sistema Manejador de Contenidos, del inglés "Content Management System", p. 21.

## D

**DNI** Radiación Normal Directa, Direct Normal Irradiation (del inglés). Es la radiación solar medida en dirección normal al sol, p. 14.

## E

**ERNC** Energías Renovables No Convencionales., p. 4.

## **G**

**GHI** Radiación Global Horizontal, Global Horizontal Irradiation(del ingles), Radiación solar mediada en el plano horizontal, es decir en el plano o superficie donde se encuentran los instrumentos de medición., p. 14.

**GI** Radiación Global, Global Irradiation(del ingles), p. 13.

## **P**

**Perihelio** Punto más cercano de la órbita de un cuerpo celeste alrededor del Sol, p. 11.

**Plugins** Esta palabra proviene del ingles "Plug.<sup>el</sup> cual es un tipo de .<sup>en</sup>chufe", por lo tanto. el concepto detras de esta pablar hace referencia a la capacidad del componente de poder agregarse o quitarse de manera rapida y sencilla sin que esto pueda producir un colapso en la aplicacion y que almismo tiempo proporcione funcionalidades diferenciadoras., p. 22.

## **R**

**RD** Radiación Difusa, Cuándo la radiación choca con moléculas en la atmósfera esta se dispersa, la radiación dispersada que alcanza la superficie terrestre se denomina Radiación difusa., p. 14.

## **S**

**SA** Sistema Aysen, sistema de distribucion electrica que abastece de energia a la zona de Aysen en Chile, p. 3.

**SIC** Sistema Interconectado Central, sistema de distribucion electrica que abastece de energia a la zona central de Chile, p. 3.

**SING** Sistema interconectado del Norte Grande, sistema de distribucion electrica que abastece de enrgia 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, generalmente de manera fiable y ordenada., p. 25.

## **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. 25.

**Themes** Corresponde a la máscara gráfica o visual que forma parte del CMS Wordpress, para efectos de la memoria usaremos la traducción "Perfiles", p. 21.

# Capítulo 1

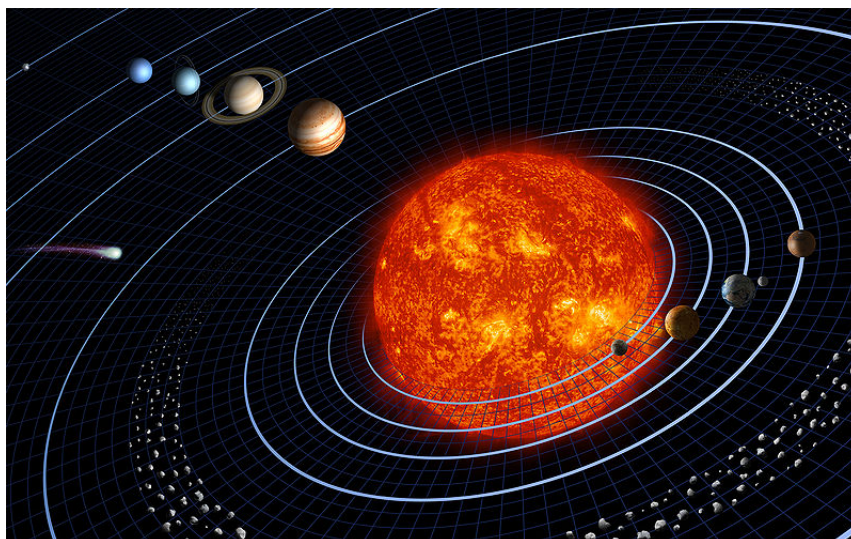
## Introducción

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 porción de la energía que llega 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.

Esta Memoria tiene por objetivo desarrollar un sistema informático, que compuesto del software y los 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[7]. El objetivo de esta red es generar a corto y mediano





**Figura 1.1:** Esquema planta fotovoltaica Subsole 307,2 kWp(STC) a la red eléctrica EMELAT - Región de Atacama

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 solar.

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 de energía 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 implementan dos estaciones de medición y se desarrollara un software que permita difundir los datos capturados así como herramientas que ayuden en la toma de decisiones respecto de la instalación de equipos productores de energía solar a todo nivel de actividad. En los primeros capítulos se abarcaran 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 (SICSIC, SINGSING, SMSM, SASA), 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[6], Subsole[8] entre otras.

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. Para apoyar la construcción de la plataforma de difusión de RedSolLac, esta ha encargado el desarrollo de una aplicación informática, que permita exponer de forma gráfica información de producción de energía para plantas solares fotovoltaicas, así como de estaciones de monitoreo meteorológicas, además requiere la construcción de una herramienta que le permita calcular costos de construcción y producción de energía para apoyar en la toma de decisiones respecto de la construcción de nuevas plantas de energía solar.

Para el desarrollo de este sistema Fundación Chile utilizará datos de producción de energía provenientes de diferentes fuentes, entre ellas la nueva planta de Subsole (Fig. 2.1), datos de adquisición propia mediante una estación meteorológica ubicada en la comuna de Vitacura en la Región Metropolitana (Fig. 2.2) y datos estadísticos publicados por diferentes



Figura 2.1: Planta fotovoltaica 307,2 kWp, sector Los Loros - Tierra Amarilla, región de Atacama - Chile



Figura 2.2: Estación de medición de radiación solar en Fundación Chile, Vitacura - Santiago.

entidades referentes del tema[**datosSolares:1**].

Subsole S.A[9] es una empresa exportadora de frutas a nivel nacional, a finales del año 2011 finalizó la construcción de una planta solar de 307 kWp[8] con el objetivo de suministrar corriente eléctrica al proceso de riego para la producción de frutas en el valle de Copiapo en la III Región de Atacama. La planta solar de Subsole es un proyecto pionero para el bombeo de agua mediante el uso de la energía solar para una empresa exportadora de frutas y pretende ser un proyecto modelo para el desarrollo de las ERNCERN en los próximos años.

El sistema informático actual recibe datos de los inversores y su sistema de medición de energía y almacenamiento de datos, los envía a un sistema privado, el cual no permite la publicación y uso de información, por lo que es necesario implementar un sistema que permita publicar dicha información.

La planta eléctrica de Subsole(Fig. 2.3), tiene como objetivo producir suficiente energía

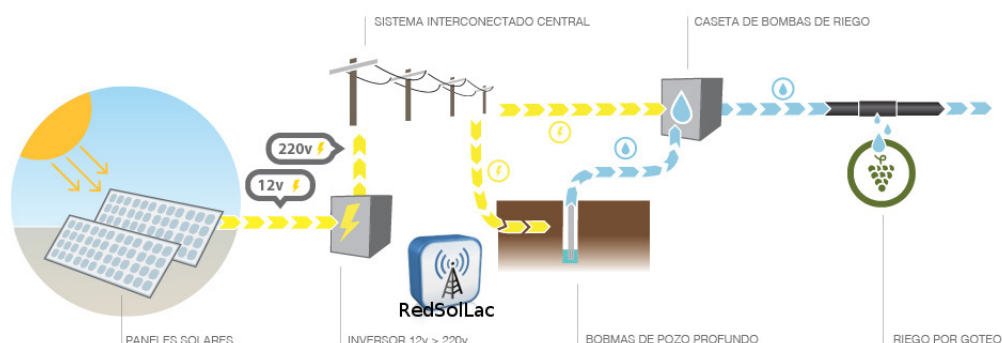


Figura 2.3: Esquema planta fotovoltaica Subsole 307,2 kWp(STC) a la red eléctrica EME-LAT - Región de Atacama

que le permita alimentar los motores que extraen el agua de los pozos destinados al riego por goteo. El proyecto original se diseñó con la intención de vender la energía al SIC y que el sistema de riego utilizara al mismo tiempo energía del SIC, actuando la planta como un productor de energía que le permitiría vender o comprar energía dependiendo de la producción o demanda de esta. Sin embargo esto no se ha podido concretar por dificultades legales, mientras tanto la energía que produce la planta va dirigida directamente al sistema eléctrico interno. Los inversores que figuran en el esquema permiten convertir la electricidad producida por los paneles a corriente alterna y 220 Volt, adicionalmente los inversores tienen la capacidad de registrar la información de potencia que pasa por ellos. Dentro del trabajo realizado en esta memoria se contempla instalar un sistema de comunicación para los inversores que permita enviar la información directamente a una base de datos de la RedSolLac en Internet.

Además se cuenta con 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 (Fig. 2.2) en conjunto con la estación meteorológica de la planta fotovoltaica (Fig. 2.3), proporcionarán la información de radiación solar para la calculadora fotovoltaica. Se espera en el futuro incorporar más estaciones de medición.

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. La información generada por la planta fotovoltaica Subsole busca convertirse en un sitio de referencia para el estudio y desarrollo de nuevas iniciativas solares.

El desarrollo de esta memoria permite la comunidad de la RedSolLac contar con una gran base de datos para ofrecer a 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 solar fotovoltaica, esto se traduce en un beneficio medioambiental directo para toda la comunidad tanto pertenecientes a la red como 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 provenientes de una planta solar ubicada en la región de Atacama, Chile.

## **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 de gran potencia, ubicada en la región de Atacama.

- 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 actividad del método de cálculo y estimación eléctrica implementado en la solución.

## 2.4. Requerimientos del sistema

### 2.4.1. Requerimientos funcionales

### 2.4.2. requerimientos no funcionales

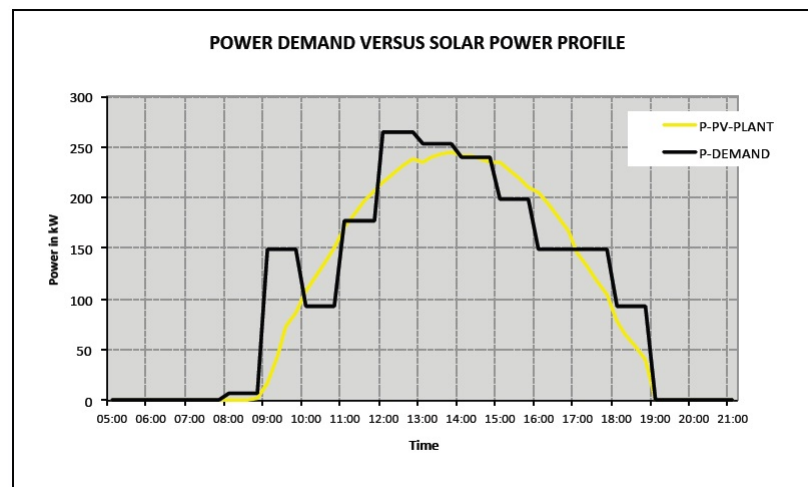


Figura 2.4: Gráfico de ejemplo de la curva de demanda de energía versus la generación de energía solar fotovoltaica en la planta Subsole.

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 aplicacion debe ser capaz de visualizar datos actuales historicos e instantaneos, se debe proporcionar un modulo de visualizacion de datos que permita al usuario visualizar de manera total o parcial los datos registrados por las estaciones, permitiendo seleccionar periodos de tiempo y diferentes tipos de datos proporcionados por los diferentes sensores que conforman la estacion(ver Fig:2.4).
RF-3	Descarga de datos, los datos registrados por las estaciones deben estar disponibles para su descarga en un formato practico para la utilizacion de estos por usuarios expertos, pudiendo estos usuarios descargar datos de acuerdo a un periodo de tiempo especificado.
RF-4	Permitir el ingreso de informacion, la aplicacion debe permitir el ingreso de parametros geograficos, informacion tecnica de planta y datos economicos para realizar los calculos del dimensionamiento de una planta de energia solar
RF-5	Implementar un modelo de calculo de energia horario basado en el document:
RF-6	Calcular y exponer resultados de produccion energetica, los resultados deben ser verificables y comparables con otros sistemas, los calculos deben presentar errores no superiores al 5 %

Cuadro 2.2: Tabla de requerimientos no funcionales

<b>Requerimiento</b>	<b>Detalle</b>
RNF-1	La aplicacion debe ser independiente del Sistema operativo y del navegador utilizado por el usuarios final
RNF-2	Es necesario que la aplicacion se integre con la imagen corporativa de la RedSolLac
RNF-3	El sistema debe entregar estabilidad y muy alta confiabilidad en el registro y amacenamiento de datos
RNF-4	La aplicacion debe ser portable y facilmente adaptable para funcionar con multiples fuentes de datos
RNF-5	La aplicacion debe proporcionar un minimo estandar de seguridad que permita asegurar la confiabilidad de los datos
RNF-6	La aplicacion 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[10], sistema que lleva su nombre por su estrella principal, el Sol.

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[11] 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 millos de años más[12].

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  $3,8 \times 10^{23} [kWatts]$  [13]

La radiación solar medida en  $W/m^2$ , que inside 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.

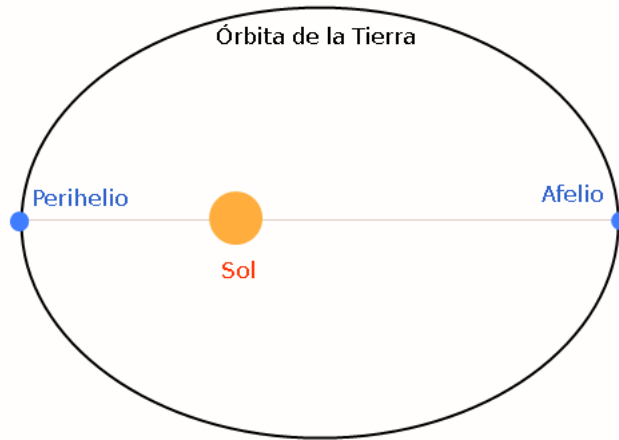


Figura 3.1: Esquema que muestra la órbita de la Tierra con respecto al Sol y muestra los puntos del Afelio y el Perihelio

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.

Como se ha mencionado en los párrafos anteriores, 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 la 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 el tema principal es con qué nivel de eficiencia se ha logrado.

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.

## **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 frecuencia 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. Para los sistemas de producción de energía, el espectro que mas interesa es el espectro de radiación UV, ya que es el más energético en comparación a los demás.

Si medimos la radiación solar sobre la atmósfera del planeta obtendríamos lecturas cercanas a los  $1350 \text{ W/m}^2$ , este valor recibe el nombre de constante solar y es calculado como un valor medio entre la redición que recibimos en el periodo en que la Tierra está más cerca del sol y el valor en que la Tierra está más lejos del sol. El problema que se presenta en este punto es que la energía no puede ser captada desde el espacio sino desde la superficie

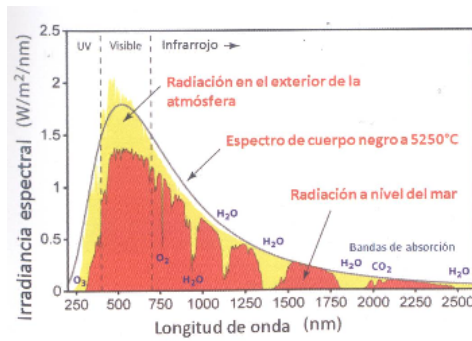


Figura 3.2: Gráfico de clasificación del espectro de la radiación solar[4]

terrestre y para llegar a esto, 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 de nitrógeno y oxígeno[4]. Al calentarse estos gases, producen entre algunos fenómenos los vientos y aportan a la formación de nubes, como consecuencia de esta absorción de energía sobre la superficie terrestre, incide una cantidad de energía bastante menor a la medida en el espacio cercano al planeta.

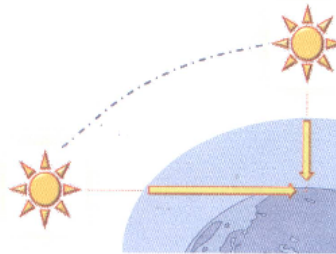


Figura 3.3: Distancia que atraviesa la radiación en la atmósfera dependiendo del ángulo de incidencia

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[1], estiman que en el norte chileno es posible recibir más de  $1000 \text{ W/m}^2$ .

La radiación que inside en la superficie terrestre se denomina GIGI, esta radiación tiene

3 componentes: DNI, Radiación Difusa y la Radiación Reflejada(ver Fig:3.4).

$$GI = DNI + R_{difusa} + R_{reflejada}$$

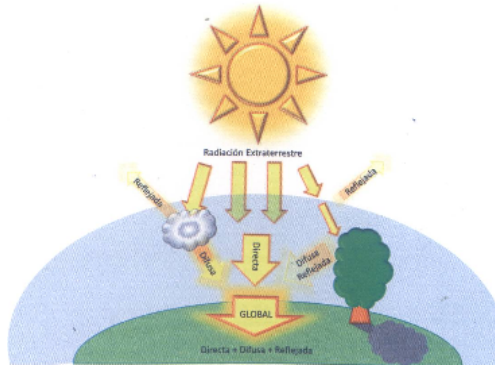


Figura 3.4: Descomposición de la radiación solar[4]

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(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.

$$GHI = DNI \cos \theta + R_{difusa} + R_{reflejada}$$

### 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 anterior. Esto se hace considerando que la luminosidad disminuye con la distancia entre el Sol, la Tierra y la superficie del planeta, este calculo muestra que nuestro planeta recibe  $3,65 \times 10^{23} [KW]$  constantes. Esta cantidad de energía es equivalente a 4.000 veces toda la producción energética del planeta en una año.

Para un mejor entendimiento de este punto, conviene explicar la diferencia entre el concepto de potencia y energía. Cuando hablamos de potencia queremos decir que cierta cantidad de ...

Chile posee características naturales de excelencia en cuanto a la cantidad de energía solar recibida desde el espacio, 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.

La matriz energética de Chile tiene una potencia instalada de 15,558 MW [matrizEnergia:1], de la cual el 64 % es energía termoeléctrica, un 35 % es energía hidroeléctrica y 1 % corresponde a energía eólica. Del 64 % de energía termoeléctrica, se considera la producida por el gas natural, el carbón y el petróleo. Adicionalmente de toda la matriz, el 68 % es importada [colegioIng:1], esto quiere decir que nuestro país al año 2010 es incapaz de auto-abastecerse energéticamente, se depende de la cantidad de energía que esté disponible para la venta desde el exterior, esto suena contradictorio considerando que en el país tenemos uno de los mejores recursos solares del mundo.

A pesar de que la tecnología no se ha desarrollado en nuestro país, si existen importantes experiencias, en investigación y aplicación en donde Chile ha sido pionero [colegioIng:2], 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.

una vivienda promedio en Chile consume....

Los 3 usos principales de la energía en los hogares de Chile son: agua caliente sanitaria, cocción de alimentos y calefacción. El consumo medio nacional de una vivienda es de 10.232 KWh/año incluyendo todos los tipos de energía utilizados en la vivienda. Ahora bien si se elimina la leña consumida en el sur de Chile la media anual disminuye a 4.470 KWh/año

esto debido al bajo precio de la leña y el confort térmico que entrega. calculo aproximado....

<http://www.edicionesespeciales.elmercurio.com/destacadas/detalle/index.asp?idnoticia=2011051871>

[http://www.chilrenuevaenergias.cl/index.php?option=com\\_k2&view=item&layout=item&id=10](http://www.chilrenuevaenergias.cl/index.php?option=com_k2&view=item&layout=item&id=10)

<http://www.ecopotencia.com/vivienda.html>

costos ....

<http://nuevopolitico.bligoo.cl/tag/matrizenergeticadechileano2010>

### **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 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 existen los átomos de silicio.

#### **3.4.1. Paneles solares**

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[panel:1].

Los primeros paneles solares que se fabricaron sólo tenían una eficiencia del 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. Actualmente la eficiencia de los mejores paneles solares alcanza el 30 %**[panel:2]**.

Los paneles solares están fabricados por una gran cantidad de pequeñas celdas hechas de silicio, además de otros materiales como los marcos y los protectores 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 muy caro, pero en la actualidad esto tiene a reducirse de manera significativa gracias al desarrollo de la tecnología y a la masificación de las energías 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.

Los países que actualmente producen la mayor cantidad de celdas de silicio están representados en la gráfica:...

(foto)

Para que un panel solar genere energía eléctrica varios procesos físicos y químicos deben ocurrir, como mencionaba en el primer párrafo el silicio es altamente sensible a la luz, esta propiedad causa que cuando un fotón choca con un átomo de silicio, los electrones de éste saltan de un átomo a otro, sin embargo para aprovechar la energía de esta reacción es necesario que la celda fotovoltaica tenga una configuración especial, los átomos de silicio deben estar separados por una membrana unidireccional que permita que los electrones circulen solo en una dirección, actuando como un diodo.

(foto)

Para producir una diferencia de potencial elevada es necesario juntar muchas celdas fotovoltaicas conectadas en serie, además para lograr una corriente que sea capaz de encender equipos eléctricos es necesario combinar estos arreglos en serie con otros arreglos en serie



conectados en paralelo.

(foto)

Actualmente existen 4 tipos de paneles solares, o aplicaciones de silicio fotovoltaicas. silicio monocristalino, silicio policristalino, silicio amorfo, silicio de capa fina. Adicional a esto existen otras tecnologias como lo son las de concentracion solar, los cuales pueden o no utilizarse para la generacion electrica dependiendo de los requerimientos. Estos paneles de concentracion funcionan concentrando la radiacion solar en un punto unico con el fin de elevar la temperatura de un liquido, usualmente agua, la cual al producir vapor es utilizada para mover turbinas de la misma forma que lo haen las plantas hidroelectricas.

### **3.4.2. Inversores**

### **3.4.3. Almacenamiento**

# 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, 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 lo mas próximo en el tiempo.

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 especificados se propone el siguiente Diagrama General de Arquitectura:

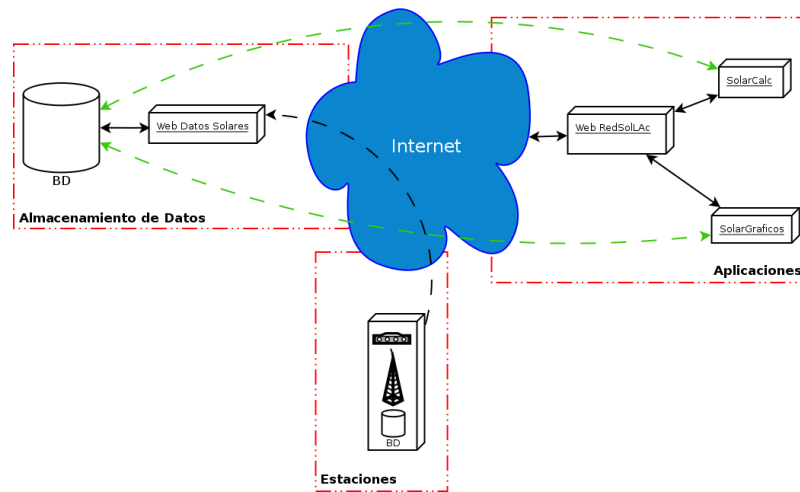


Figura 4.1: Diagrama de Arquitectura

En el diagrama(Fig:4.1) apreciamos las 3 partes que componen el nuevo sistema desarrollado: aplicaciones, el cual consiste en un servidor Web que implementa la plataforma CMS Wordpress, bajo esta plataforma se desarrollan las aplicaciones principales del sistema las cuales serán visitadas por los usuarios finales. Las Estaciones, que son parte fundamental del proceso de adquisición de datos en el sistema a las cuales se les debe integrar un sistema de comunicación compatible con la plataforma de almacenamiento de datos. Finalmente el componente de Almacenamiento de Datos, el cual está compuesto por un servidor Web que administra los procesos de registro, acceso y mantenimiento de datos y un servidor de base de datos para. Cada una de estas partes debe interactuar con las demás de manera muy precisa para conseguir el comportamiento deseado.

A continuación se describen las diferentes herramientas tanto de hardware como de software que implementa 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 con altos estándares de diseño y usabilidad. Es un sistema de manejador de contenidos (CMS) basado en estilo de publicaciones de blogs, además se distribuye bajo la licencia GPL2. Está echo 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 del otro proyecto llamado b2/cafeolog. Actualmente esta plataforma está en su versión 3.0 y ha sido descargada más de 65 millones de veces. 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.

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. Además cuenta con un framework y una API que facilita la labor de los programadores.

**Perfil Gráfico** La parte visual de esta plataforma funciona a través de un sistema llamado Themes(para efectos prácticos en adelante "Perfiles"). Los "Perfiles"son un conjunto de bibliotecas programadas en PHP y JavaScript que permiten organizar la forma en que se presentan los contenidos del sitio sin alterar el contenido. 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 "Perfil"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 creador.

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 paquete 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.

**Plugins** Los "Plugins" funcionan casi de la misma manera que los "Perfiles" así también la mayoría de los componente que dispone Wordpress. Estos son un conjunto de bibliotecas programadas en PHP y JavaScript que pueden instalarse o desinstalares 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 de 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 y pueden y 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, "The PHP Group[3]" sirve como el estándar de facto para

PHP al no haber una especificación formal. 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 "socketsTCP/IP.<sup>en</sup> 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

El nombre hojas de estilo en cascada viene del inglés Cascading Style Sheets, del que toma sus siglas. CSS es un lenguaje usado para definir la presentación de un documento estructurado escrito en HTML o XML. El W3C (World Wide Web Consortium) 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 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 la técnica 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[5] y la Licencia Pública General de GNU v2[2], permitiendo su uso en proyectos libres y privativos.<sup>1</sup> 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 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 de monitoreo para plantas de energía solar así como elementos comunes empleados en la construcción de estas mismas.

La principal estación de monitoreo utilizada para la realización de las pruebas de software se ubica en el techo del edificio principal de Fundación Chile en la región metropolitana comuna de Vitacura, esta estación cuenta con los siguientes componentes:

**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 o pantallas. Además cuenta con un sistema operativo que permite ingresar scripts para controlar su funcionamiento.

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 CRBasic el cual está basado en **[Basic??]**, 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 al "datalogger" de manera de lograr una conexión a la red Ethernet de manera directa(Fig:4.3). Es mediante este aparato que la información recopilada de la Estación de monitoreo Fundación Chile Vitacura envía los datos al servidor donde se alojan las aplicaciones desarrolladas y la base de datos.



Figura 4.3: Periférico Campbell NL200

Como característica adicional hay que mencionar 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 es un módem que permite conectarse a una red GSM y/o GPRS. Este módem funciona en conjunto con el "datalogger" Campbell de la misma forma que lo hace el periférico NL200 salvo que este aparato provee al "datalogger" de una conexión a la Red de manera inalámbrica permitiendo conectar estaciones de monitores en lugares remotos del país(Fig:4.4).



Figura 4.4: MultiModem Multitech MTCBA-G-F4

Para poder operar con este módem es necesario tener contratado un plan de datos de telefonía móvil con alguna de las compañías que operan en el sector donde se instalan las 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.
- Packet data up to 85.6K bps.
- Pila TCP/IP embedida.
- Conector de antena SMA.
- 2 años de garantía.

**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 o bien puede configurarse para un segmento específico.

Se compone de una multi unión circular de hilo bobinado junto a una termopila Eppley que tiene la capacidad de soportar fuertes vibraciones y choques mecánicos(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** 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.



Model PS100 © 2004 Campbell Scientific, Inc.

Figura 4.7: Batería PS100

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



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 mas clara en el Diagrama de Despliegue (Fig:4.16). Este diagrama detalla de manera precisa la implementación que tiene cada uno de los componentes.

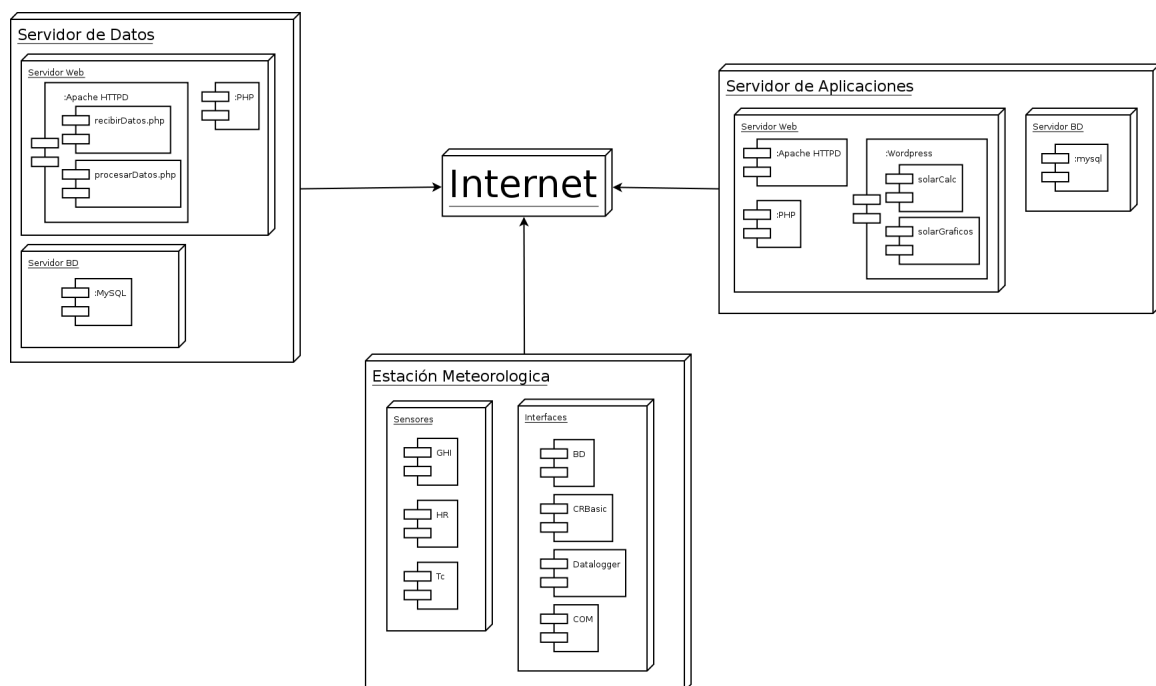


Figura 4.9: Diagrama de Despliegue

### **4.2.1. Aplicaciones**

En la componente de aplicaciones se distinguen 3 partes: Sitio Web de la RedSolLAC el cual fue desarrollado con anterioridad al inicio de esta memoria, la segunda parte es el modulo solarGraficos que permite visualizar los datos originados por las estaciones meteorológicas y la tercera parte el modulo solarCalc, el cual consiste en una calculadora para dimensionar sistemas fotovoltaicos, el cual utilizando el modulo de datos y los parámetros ingresados por el usuario entrega un informe de producción de energía.

#### **Sitio web RedSolLAC**

Inicialmente, antes de desarrollar esta memoria, RedSolLAC en su conformación desarrollo un sitio web el cual le proporciono una valiosa herramienta de difusión. RedSolLAC en un principio no requería de un sistema de publicación Web complejo, necesitaba un sistema que le permitiese de manera sencilla agregar nuevas publicaciones e información, así como de administrar la parte visual, estos requerimientos generaron 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 el sitio.

Las características del sitio sobre el cual se implementan las mejoras planteadas en esta solución son:

#### **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 los datos 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 librería Flot para crear un gráfico que incluye las mediciones individuales de los siguientes parámetros: la Radiación Global Horizontal(GHI), la temperatura Ambiente( $T_c$ ) y la Humedad relativa del aire(HR).



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



Figura 4.10: Diagrama de Despliegue

La aplicación fue desarrollada siguiendo la estructura de programación de plugins de Wordpress[**aplicaciones:wplugins**], 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 de la implementación de jquery solicita la ejecución del fichero php solarGrafico.php, este fichero contiene el código esencial que conforma la

aplicación gráfica.

En primera instancia solarGrafico.php crea la estructura estática de la aplicación(Ver Fig:4.14) y escribe cierto código javascript que permite luego en tiempo de ejecución del lado del cliente hacer las llamadas necesarias que muestran los datos solicitados(Ver Fig:4.12). Una vez creada la estructura de la calculadora se solicita al Servidor de Almacenamiento de datos mediante una consulta ajax sincrónica por los datos del día, el cual es el periodo por defecto. una vez estos datos están completamente cargados, la aplicación crea un gráfico por defecto que contienen las 3 curvas mencionadas con anterioridad(GHI, HR y Tc) en el periodo del día actual, luego de crear el gráfico se cargan las barras que muestran la ultima lectura de cada curva y el modulo de descarga de datos. Finalizada esta carga inicial el sistema ejecuta 3 llamadas ajax sincrónicas(Ver Fig:4.11) al Servidor de Almacenamiento de Datos solicitando datos de los periodos correspondientes a una semana, un mes y un año tomando como referencia la fecha actual. a medida que los datos se cargan la opción de visualizar dicho periodo va estando disponible en la interfaz de usuario(Ver Fig:4.13) para que este pueda solicitar ser graficada. Debido a que las llamadas para cargar los datos de los periodos de tiempo mas extensos son llamadas asincronicas el navegador no se bloquea y el usuario puede seguir utilizando la aplicación mientras que estos datos están cargados.

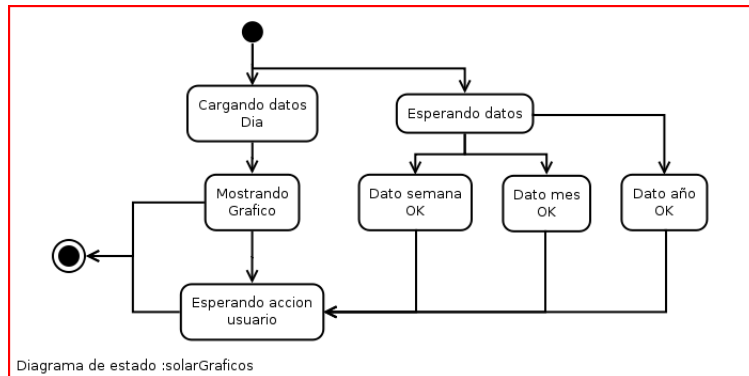


Figura 4.11: Diagrama de Estados solarGraficos

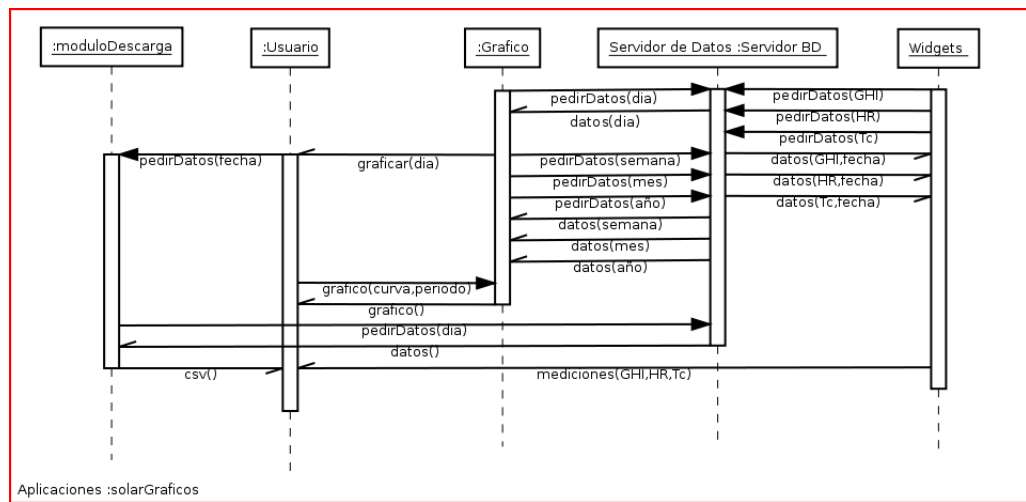


Figura 4.12: Diagrama de Secuencia solarGraficos

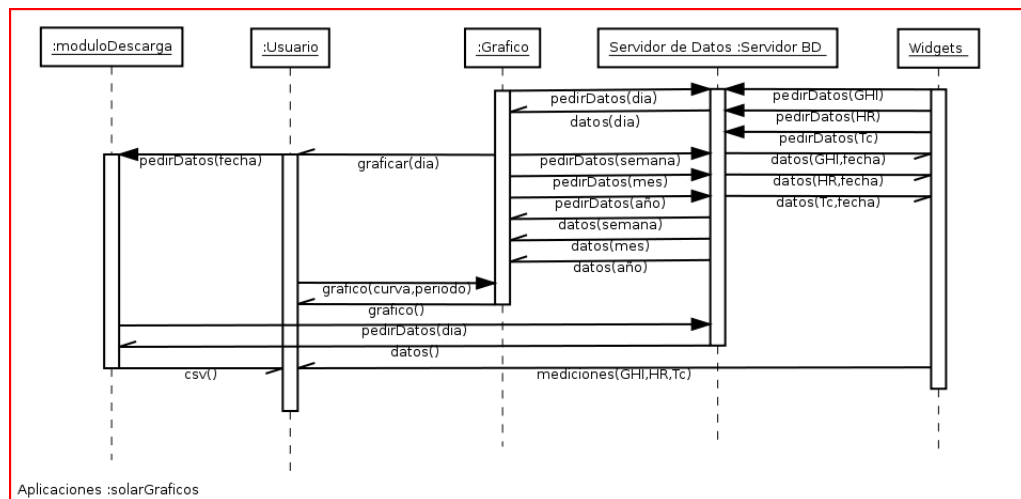


Figura 4.13: Imagen de la aplicacion SolarGraficos - Cargando datos

## SolarCalc

### 4.2.2. Estaciones

El componente Estaciones abarca todas las estaciones de medicion que están adaptadas para registrar datos en la componente de almacenamiento de datos, para ello fue necesario acondicionar cada estación y agregarles un modulo de comunicación, este modulo de comunicación depende del lugar geográfico donde se ubica la estación ya que esto determinara

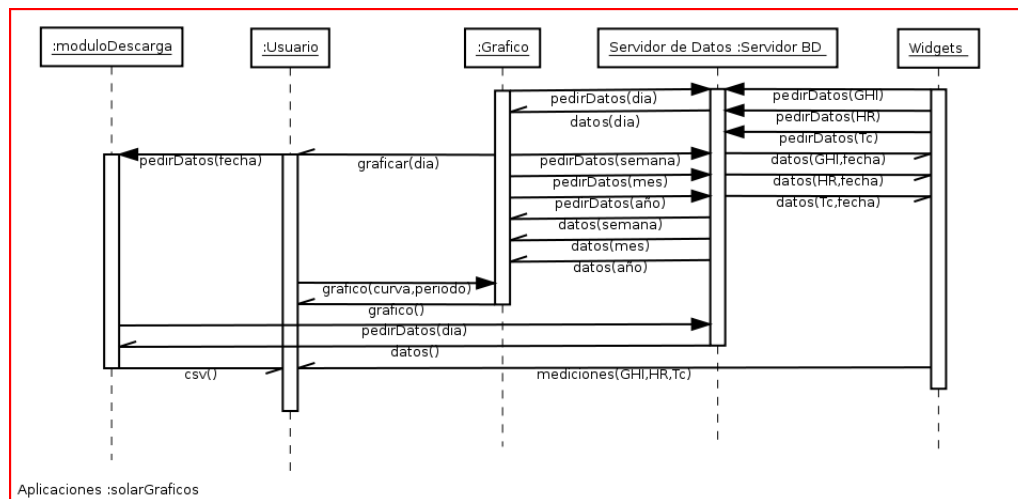


Figura 4.14: Imagen de la aplicación SolarGraficos - Estructura

la tecnología que este modulo implementara, cualquiera sea la tecnología el sistema fue diseñado para que cada estación se conecte a internet y a través de esta red pueda libremente acceder al modulo de almacenamiento de datos. Adicionalmente y para dar cumplimiento a los requerimientos de seguridad y resguardo de datos ante posibles fallas fue necesario programar el modulo para que pudiese almacenar datos de manera local independiente del estado de la conexión, diseñando un protocolo manual de restauración 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 requerimientos de clientes, las especificaciones generales de cada una de las Series se encuentran en la sección de anexos, Dédalo(Ver:??) e Icaro(Ver:??). Para realizar las pruebas del sistema se utilizo una estación Serie Dédalo, las características específicas de esta estación se presentan en el cuadro siguiente(Ver:4.2.2):

Cuadro 4.2: Tabla de requerimientos funcionales

Requerimiento	Detalle
---------------	---------

Para que dicha estación opere de manera correcta es necesario programar su Datalogger con el siguiente script:

(explicaion del script)

Para graficar de mejor manera cual es el comportamiento de la estación dentro de este

componente del sistema se presenta un diagrama de estados y un diagrama de secuencia del comportamiento que tienen cada una de las estaciones.

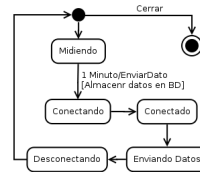


Figura 4.15: Diagrama de Estado estación meteorológica

(explicación diagrama)

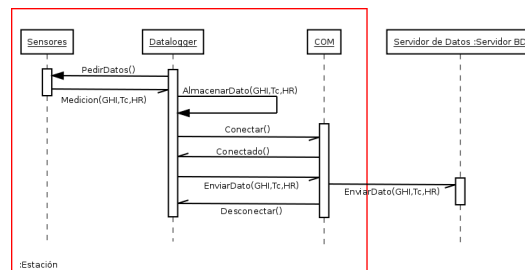


Figura 4.16: Diagrama de Secuencia estación meteorológica

(explicación diagrama)

### 4.2.3. Almacenamiento de datos

El componente de almacenamiento de datos era inexistente, anterior al desarrollo de este sistema cada estación almacenaba datos en su memoria interna y era necesario que una persona accediera físicamente a cada estación, ésta apoyado con un pc portatil se conectaba a las estaciones y descargaba los datos. Este proceso resultaba bastante complejo y en varias ocasiones se perdían datos. Este módulo se compone de un servidor de bases de datos y un servidor Web el cual contiene scripts necesarios para el manejo y mantención de la base de datos, así como proporcionar un acceso seguro para que las estaciones registren sus datos.

El sistema de Almacenamiento de datos esta compuesto por un solo servidor 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 en bruto que llegan desde las

estaciones y atender las solicitudes de datos del componente de aplicaciones mientras que el servicio Web implementa ciertas rutinas escritas en PHP que aportan al sistema de seguridad e integridad de los datos así como a la mantención de los datos, adicionalmente implementa rutinas que forman parte del sistema de respaldo manual que incorpora la componente para casos de perdida de conexión.

Uno de los requerimientos claves de este sistema es la robustas y la integridad de los datos, así como la confiabilidad de ellos. Este sistema tiene restringido el ingreso de datos solo al modulo de estaciones y en ocasiones especiales al sistema de mantenimiento manual, por lo que implementa rutinas en PHP a revés 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 traves del datalogger haciendo llamadas GET con ciertas llaves de seguridad.

El sistema implementa una salida de datos libre, esto quiere decir que cualquiera que te posea acceso a la base de datos puede solicitar el envío de estos a sus aplicaciones sin la necesidad de llaves extras de seguridad. Para el caso especifico de este sistema son algunos elementos de la componente de aplicaciones quienes hacen estas solicitudes.

Cuándo una estación hace una llamada GET, el servidor Web mediante una rutina en PHP verifica las llaves de seguridad, verifica los datos que le son enviados de la estación y luego los envía 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 la llamada no fue recibida. En cualquier caso para el datalogger es indiferente si la petición fue aceptada o no ya que el datalogger implementa su propia base de datos local a modo de respaldo. Una ves que la estación entrega los datos al sistema de almacenamiento esta tampoco tienen la posibilidad de verificar si estos fueron almacenados correctamente.

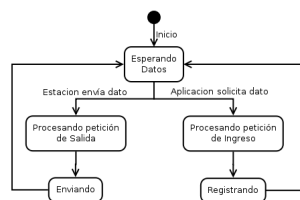


Figura 4.17: Diagrama de Estados Sistema de Almacenamiento

propuesta

# **Capítulo 5**

## **Pruebas del sistema**

### **5.1. Comuicacion de las estaciones de monitoreo**

#### **5.1.1. Estacion de monitoreo Fundacion Chile, Satiago**

#### **5.1.2. Estacion de monitoreo SubSole, Antofagasta**

### **5.2. comparacion de datos y graficas**

#### **5.2.1. Datos del proceso de captura anterior**

#### **5.2.2. datos del proceso de captura actual**

#### **5.2.3. comparacion de graficas**



## **Capítulo 6**

### **Conclusiones**

## **Capítulo 7**

### **Anexos**

# Bibliografia

- [1] CNE/PNUD/UTFSM. 2008. ISBN: 978-956-279-005-5.
- [2] Inc. Free Software Foundation. Licencia GPL. 1996 - 2012. URL: <http://www.gnu.org/licenses/licenses.html>.
- [3] The PHP Group. Licencia PHP. 2001 - 2012. URL: <http://php.net/copyright.php>.
- [4] Rodrigo Escobar/Fernando Hentzchel. 2011, págs. 15-19. ISBN: 978-956-9047-00-8.
- [5] Instituto Tecnológico de Massachusetts. Licencia MIT. 1988 - 2012. URL: <http://opensource.org/licenses/mit-license.php>.
- [6] Prensa Minera. Noticia referente a la puesta en marcha de Calama Solar 3, planta solar que alimenta parte del consumo electrico 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).
- [7] 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/>.
- [8] RedSolLAC. Planta solar fotovoltaica de Subsole. URL: [http://redsollac.org/?page\\_id=1194](http://redsollac.org/?page_id=1194).
- [9] Subsole S.A. Informacion exportadora de frutas Subsole S.A. URL: <http://www.subsole.com>.
- [10] Wikipedia. URL: [http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_Solar](http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_Solar).
- [11] Wikipedia. URL: <http://es.wikipedia.org/wiki/Sol>.

- [12] 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).
- [13] 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).