



**UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO**  
**DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA**

---

**Instalación y análisis de datos de la estación  
solarimétrica de la Universidad de Quintana Roo**

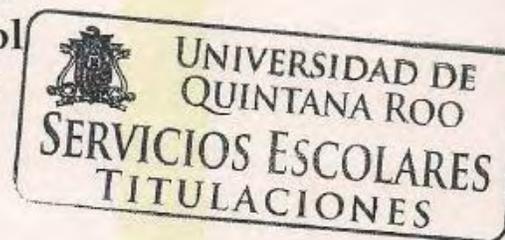
---

**TESIS**  
Para obtener el grado de  
**Ingeniero en Sistemas de Energía**

**PRESENTA**  
**Yasser Hussein Aleman Berrios**

**DIRECTOR DE TESIS**  
**M.E.S. Roberto Acosta Olea**

**ASESORES**  
**Ing. Set Jubal Castillo Ávila**  
**Dr. Jorge Ovidio Aguilar Aguilar**  
**Dr. Gliserio Romeli Barbosa Pool**  
**Dr. José Hernández Rodríguez**





**UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO**  
**DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA**

---

Trabajo de Tesis elaborado bajo supervisión del Comité de asesoría y aprobada  
como requisito parcial para obtener el grado de:

**INGENIERO EN SISTEMAS DE ENERGÍA**

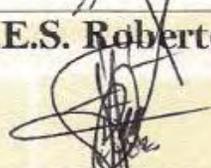
---

**Comité de Trabajo de Tesis**

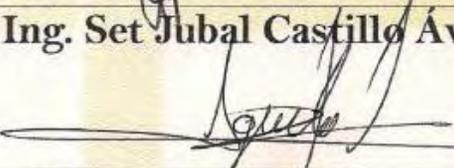
**Director:** \_\_\_\_\_

  
**M.E.S. Roberto Acosta Olea**

**Asesor:** \_\_\_\_\_

  
**Ing. Set Jubal Castillo Ávila**

**Asesor:** \_\_\_\_\_

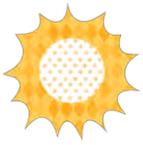
  
**Dr. Jorge Ovidio Aguilar Aguilar**



UNIVERSIDAD DE  
QUINTANA ROO

**SERVICIOS ESCOLARES  
TITULACIONES**

Chetumal, Quintana Roo, México, marzo de 2014



## Dedicatoria

A mi madre **Elsy Marina** por todo su apoyo, amor y comprensión y demostrarle que si se puede y que este orgullosa de mi.

¡¡Muchas gracias Mamá!!

A mis hermanos:

**Himmler** un ejemplo a seguir.

**Bryan** por el apoyo que me ha dado hasta ahora.

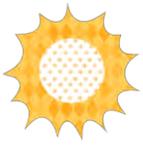
**Guenadi** para que le eche ganas a todo.

¡¡Con amor para ellos!!

Y a todos aquellos que no se rinden y que luchan por alcanzar sus metas sin importar que tan difícil sea el camino que tengan que recorrer.

“Cuando uno trata de dominar algo, esto puede terminar en un éxito o en un fracaso  
Pero en el intento en sí mismo donde uno encuentra el verdadero valor  
Creer en tu propio poder y recorrer tu propio camino”

**Oki**



## Agradecimientos

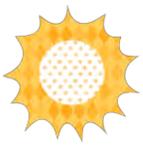
Quiero agradecer al **M.E.S.** y amigo **Roberto Acosta Olea**, quien considero como un padre ya que siempre me ha dado su apoyo incondicional, sin importar el obstáculo a superar siempre me ha enseñado a nunca darme por vencido y lograr todas las metas que me he propuesto.

Al **Dr. Jorge Ovidio Aguilar Aguilar** por darme la confianza necesaria, ya que siempre me ha hecho dar mi máximo esfuerzo ya sea en sus clases como en mis proyectos académicos.

Al **Ing. Set Jubal Castillo Ávila** por concederme su amistad y por ser parte de este logro, sin duda una de las personas que más respeto le tengo a pesar de haberlo conocido hasta la mitad de mi carrera.

Quiero dar un agradecimiento muy especial a **Dios** por estar siempre conmigo dándome la fuerza necesaria para seguir adelante y seguir de pie, porque sólo él sabe cuál fue mi camino para llegar hasta aquí, porque sé que ahí estará en los momentos más duros de mi vida y cuando más lo necesite.

**¡¡MUCHAS GRACIAS!!**



# Contenido

## Agradecimientos

Resumen .....	I
Lista de figuras .....	II
Abreviatura y nomenclatura .....	IV

## Capítulo I: Introducción.

1.1 Introducción.....	1
1.2 Radiación solar sobre la superficie de la tierra.....	3
1.3 Solarimetría.....	5
1.4 Objetivos .....	7

## Capítulo II: Métodos de estimación de la radiación solar.

2.1 Medida de la radiación solar .....	8
2.1.1 Estimación con base en modelos físicos y empíricos .....	9
2.1.2 Estimación con base en mediciones de satélite .....	10
2.1.3 Estimación con base en atlas de radiación .....	11
2.1.4 Medición directa de la radiación solar .....	12
2.2 instrumentos de medición de la radiación solar.....	13
2.2.1 Piranómetro.....	13
2.2.2 Pirheliómetro .....	15
2.2.3 Heliógrafo.....	16
2.3 Posición del sol .....	16
2.3.1 Geometría del movimiento solar.....	17



## Capítulo III: Estación solarimétrica de la Universidad de Quintana Roo

3.1 Componentes de la estación solarimétrica de la UQROO .....	19
3.1.1 Instrumentos de medición .....	21
3.1.2 Unidad de adquisición de datos .....	24
3.1.3 Unidad central .....	25
3.2 Sistema de registro de datos.....	28
3.3 Tratamiento de la base de datos .....	30
3.3.1 Descripción de filtros de la base de datos .....	30

## Capítulo IV: Análisis de resultados

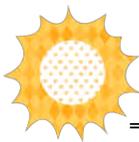
4.1 Montaje experimental e instrumentación .....	33
4.2 Experimentación.....	37
4.3 Análisis de los resultados obtenidos .....	38
4.3.1 Análisis de datos registrados de la semana 1 .....	38
4.3.2 Análisis de datos registrados de la semana 2 .....	39
4.3.3 Análisis de datos registrados de la semana 3 .....	40
4.3.4 Análisis de datos registrados de la semana 4 .....	41
4.3.5 Análisis de datos registrados de la semana 5 .....	42
4.3.6 Análisis de datos registrados de la semana 6 .....	43
4.3.7 Análisis de datos registrados de la semana 7 .....	44
4.3.8 Análisis de datos registrados de la semana 8 .....	45
4.3.9 Análisis de datos registrados de la semana 9 .....	46
4.3.10 Análisis de datos registrados de la semana 10 .....	47
4.3.11 Análisis de datos registrados de la semana 11 .....	48
4.3.12 Análisis de datos registrados de la semana 12 .....	49
4.3.13 Análisis de datos registrados de la semana 13 .....	50

## Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones.....	51
5.2 Recomendaciones.....	52

<b>Referencias .....</b>	<b>53</b>
--------------------------	-----------

<b>Anexos .....</b>	<b>55</b>
---------------------	-----------



## Resumen

Se presenta el proceso de instalación de la estación solarimétrica de la Universidad de Quintana Roo, así como el análisis de los datos registrados en esta estación con el fin de conocer el potencial del recurso solar en el sitio de medición.

El trabajo está estructurado en cinco capítulos, que se describen brevemente a continuación:

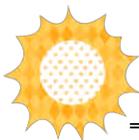
En el primer capítulo se presenta, de manera general, una introducción al tema de la solarimetría, se inicia con una reflexión de la importancia de las energías renovables y de lo primordial que es cuantificar estos recursos. Específicamente se dan las justificaciones de este trabajo de tesis. Se describen brevemente las características físicas principales del Sol, así como el efecto de la radiación solar sobre la superficie terrestre y posteriormente se plantean los objetivos de esta tesis.

En el segundo capítulo se describen brevemente cuatro de los métodos más comunes para la estimación de la radiación solar, específicamente se abordará con cierta profundidad el método de medición directa, en donde se detallan los diferentes tipos de instrumentos empleados así como las ventajas y desventajas de los mismos.

En el tercer capítulo se describen particularmente los componentes de la estación solarimétrica de la Universidad de Quintana Roo, particularmente se describe el tratamiento que recibe la base de datos, así como los criterios de evaluación para asegurar la calidad de estos para su posterior análisis.

En el cuarto capítulo se atiende el principal objetivo de este trabajo, que es la descripción del proceso de monitoreo y almacenamiento de los datos solarimétricos registrados, así como los resultados y discusiones de los datos obtenidos.

Finalmente en el quinto capítulo se dan las conclusiones de este trabajo de tesis, así como las recomendaciones para el mantenimiento que se le tiene que dar a la estación solarimétrica.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.-Fotografía de la Estrella solar.

Figura 2.- Diagrama de componentes Radiación Solar.

Figura 3.- Diagrama de la Energía Solar

Figura 4.- Diagrama de la radiación solar sobre la superficie terrestre.

Figura 5.- Portada del software Meteonorm.

Figura 6.- Mapa de radiación global.

Figura 7.- Atlas solar de radiación solar directa.

Figura 8.- Fotografía del Piranómetro black&white, Eppley.

Figura 9.- Esquema del piranómetro.

Figura 10.- Fotografía de Piranómetro con banda sombreadora.

Figura 11.- Fotografía de Sombreo sobre el piranómetro.

Figura 12.- Accesorios del pirheliómetro.

Figura 13.- Diagrama de componentes de un Pirheliómetro.

Figura 14.- Diagrama de medición de radiación directa con un Pirheliómetro.

Figura 15.- Diagrama de partes del heliógrafo.

Figura 16.- Fotografía de diferentes modelos de Heliógrafos Campbell-Stokes.

Figura 17.- Movimiento de rotación de la tierra alrededor del sol.

Figura 18.- Trayectoria solar sobre el plano del observador.

Figura 19.- Fotografía de la ubicación de la estación solarimétrica.

Figura 20.- Fotografía de vista de la estación solarimétrica UQROO.

Figura 21.- Fotografía de Piranómetro para la medición de la radiación solar global.

Figura 22.- Fotografía de Piranómetro con banda sombreadora para la medición de radiación.

Figura 23.- Fotografía de Pirheliómetro para la medición de la radiación solar Directa.

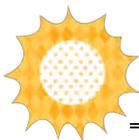


Figura 24.- Fotografía de los componentes de la unidad de adquisición.

Figura 25.- Fotografía de la unidad central de medición.

Figura 26.- .Fotografía interfaz Datalogger CR5010 – Usuario.

Figura 27.- Diagrama de la estación solarimétrica de la Universidad de Quintana Roo.

Figura 28.- Ejemplo de archivo CR510 obtenido el 1° de Diciembre del 2013.

Figura 29.- Fotografía piranómetro dañado en pintura.

Figura 30.- Foto de aseguramiento de la banda Sombreadora con tornillos y tuercas.

Figura 31.- Foto de aseguramiento y nivelación de los piranómetros.

Figura 32.- Foto de conexión de los dispositivos de medición a la unidad de adquisición.

Figura 33.- Foto de armado del sistema de adquisición con el modulo fotovoltaico para su carga.

Figura 34.- Grafica de comportamiento de la radiación solar 4 de septiembre del 2013.

Figura 35.- Graficas de Irradiancia Solar de la semana 1 de estudio.

Figura 36.- Graficas de Irradiancia Solar de la semana 2 de estudio.

Figura 37.- Graficas de Irradiancia Solar de la semana 3 de estudio.

Figura 38.- Graficas de Irradiancia Solar de la semana 4 de estudio.

Figura 39.- Graficas de Irradiancia Solar de la semana 5 de estudio.

Figura 40.- Graficas de Irradiancia Solar de la semana 6 de estudio.

Figura 41.- Graficas de Irradiancia Solar de la semana 7 de estudio.

Figura 42.- Graficas de Irradiancia Solar de la semana 8 de estudio.

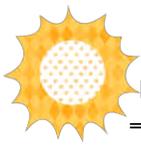
Figura 43.- Graficas de Irradiancia Solar de la semana 9 de estudio.

Figura 44.- Graficas de Irradiancia Solar de la semana 10 de estudio.

Figura 45.- Graficas de Irradiancia Solar de la semana 11 de estudio.

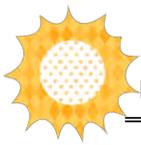
Figura 46.- Graficas de Irradiancia Solar de la semana 12 de estudio.

Figura 47.- Graficas de Irradiancia Solar de la semana 13 de estudio.



## Nomenclatura y abreviatura

<b>CA</b>	Corriente alterna	<b>W</b>	Watts
<b>CD</b>	Corriente directa	<b>MW</b>	Megawatts
<b>V</b>	Voltaje	<b>W-h</b>	Watts hora
<b>VCA</b>	Voltaje en corriente alterna	<b>W/m<sup>2</sup></b>	Watts sobre metro cuadrado
<b>VCD</b>	Voltaje en corriente directa	<b>kW</b>	Kilowatts
<b>mm</b>	Milímetro	<b>kWh.</b>	Kilowatts hora
<b>cm</b>	Centímetro	<b>G<sub>b</sub></b>	Radiación Directa
<b>cm<sup>2</sup></b>	Centímetro al cuadrado	<b>G<sub>d</sub></b>	Radiación Difusa
<b>m</b>	Metro	<b>G<sub>T</sub></b>	Radiación Global
<b>m<sup>2</sup></b>	Metro cuadrado	<b>λ</b>	Longitud de onda electromagnética
<b>km.</b>	Kilómetro	<b>UV</b>	Ultravioleta



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presenta, de manera general, una introducción al tema de la solarimetría, se inicia con una reflexión de la importancia de las energías renovables y de lo primordial que es cuantificar estos recursos. Específicamente se dan las justificaciones de esta tesis. Se describen brevemente las características físicas principales del Sol, así como el efecto de la radiación solar sobre la superficie terrestre y posteriormente se plantean los objetivos de esta tesis.

### 1.1 introducción

El Sol es una estrella cuyo diámetro es de aproximadamente 1, 400,000 km, 100 veces mayor que el diámetro de la Tierra (Duffie y Beckman, 1991). El astro rey calienta e ilumina a la tierra: gracias a su calor y a su luz puede haber vida en la Tierra, ya que todo el combustible y los alimentos proceden en última instancia de las plantas que utilizan la energía de la luz del Solar. El Sol es la esencial de nuestro sistema planetario (figura 1).

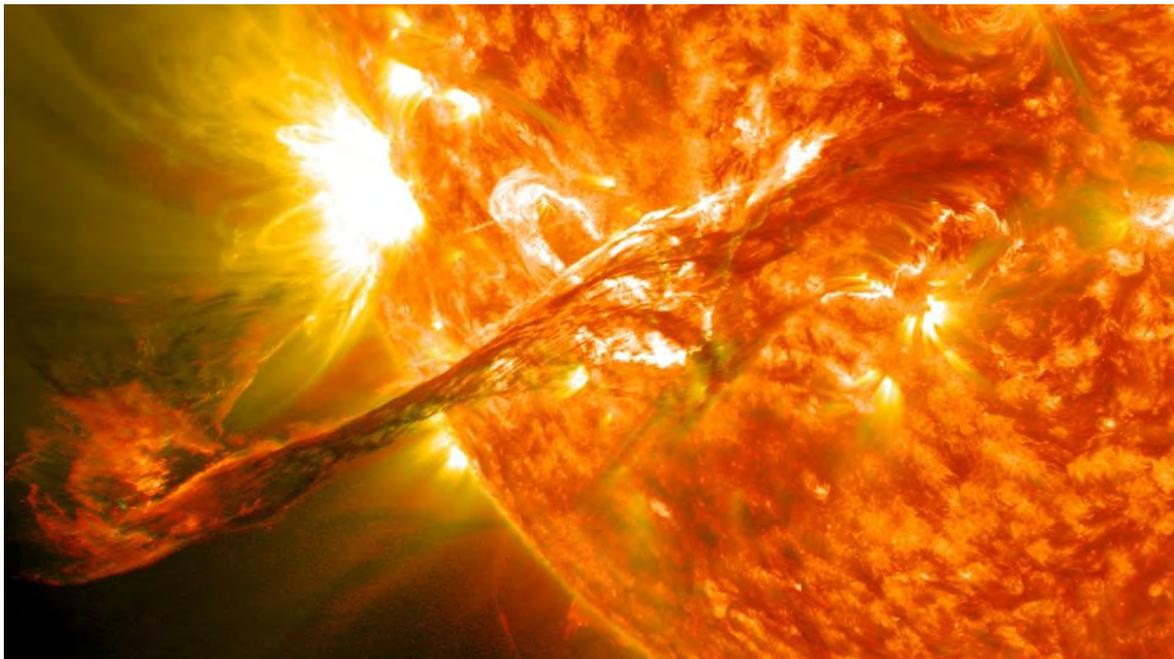
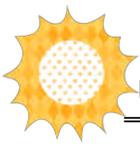


Figura 1. Fotografía de la Estrella solar (Fuente: <http://www.nasa.gov/>)

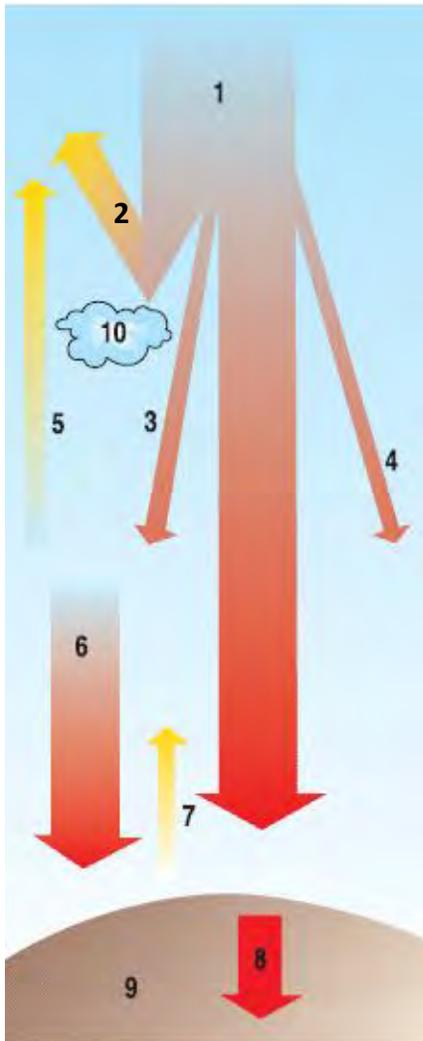


La masa del Sol está compuesta de un 75% de hidrógeno y 24.9% de Helio. Otros elementos químicos más pesados que el helio son denominados "metales" y no sobrepasan el 0.1%.

La distancia media Sol - Tierra, es de 150 millones de kilómetros (máxima 152,106, 000 de km y mínima 143,103, 000 de km).

La energía que emana del Sol cada segundo es difícil de imaginar. La Tierra recibe sobre su superficie aproximadamente 1000 W por cada metro cuadrado de potencia cuando no hay nubes. Esto permite que la vida llene cada rincón de la Tierra, gracias a la fotosíntesis y la diversidad biológica que existe. La energía solar se ha usado tradicionalmente para la obtención de cosechas de alimento por medio de una agricultura-ganadería perdurable.

Sin embargo, del total de la energía que llega a la tierra procedente del Sol, solo  $\frac{3}{4}$  partes entran a través de la atmósfera (Figura 2).

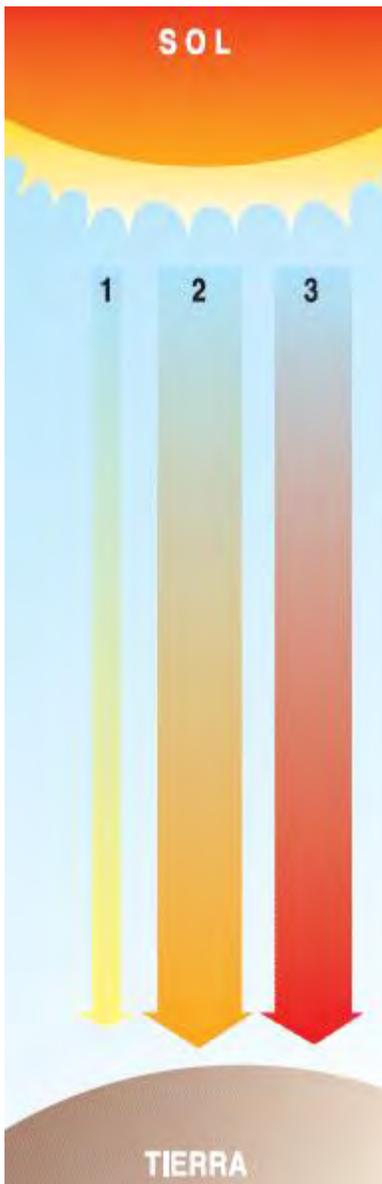
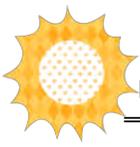


1. radiación solar (100%)
2. Reflexión de las nubes (30%)
3. Dispersión difusa (7%)
4. Absorción atmosférica (14%)
5. Dispersión difusa que reflejan los gases
6. Radiación celeste
7. Reflexión de la tierra (4%)
8. Radiación total que llega a la tierra (51%)
9. Superficie terrestre
10. Nubes

Esta radiación en forma de luz, esta a su vez está constituida de fotones que se han generado por el producto de reacciones nucleares en el Sol, los fotones llegan agrupados a la tierra en forma de haces de luz. Solo un fragmento del haz de luz es perceptible al ojo humano, en una gama de color que va del rojo al violeta (Figura 3). Sin embargo, el haz se extiende hasta el color ultravioleta e infrarrojo.

Esta energía disponible emitida por el Sol, ha de ser captada para lograr su aprovechamiento. La forma de captación, solo puede producirse a través de la absorción por algún tipo de material y así lograr transformarla en energía térmica, química o eléctrica.

Figura 2. Diagrama de componentes Radiación Solar (Fuente: Ente Vasco de la Energía)



1. Rayos ultravioleta (7%)
2. Luz visible (violeta, azul, verde, amarillo, rojo) (47%)
3. Rayos infrarrojos (46%)

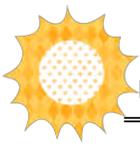
La optimización del aprovechamiento de la energía solar depende de la cantidad de radiación recibida (variable según época del año), materiales utilizados para su captación y de las formas de almacenamiento y consumo de la energía captada.

Puesto que la utilización común de la energía solar es su aprovechamiento en forma lumínica y térmica, es preciso considerar cómo la radiación sólo se produce a lo largo de unas determinadas horas del día, que con frecuencia no coinciden con las del consumo directo de la misma. Es por ello por lo que un factor importante a considerar ha de ser la previsión de almacenamiento de la energía obtenida, de modo que pueda disponerse de ella en los momentos que se precise.

La producción de electricidad mediante la energía solar se realiza por medio de lo que se denomina efecto fotovoltaico.

El efecto fotovoltaico consiste en producir un voltaje en un material que tenga características de semiconductor mediante la absorción de una radiación electromagnética como la luz. Básicamente un semiconductor es una sustancia o material que posee una conductividad eléctrica intermedia. Esto significa que de acuerdo a la energía de activación se puede comportar como aislante o conductor.

Figura 3. Diagrama de la Energía Solar  
(Fuente: Ente Vasco de la Energía)



## 1.2 Radiación solar sobre la superficie de la tierra.

Una vez conocidas las características principales del Sol, en esta sección se describe la naturaleza de la radiación solar. No toda la radiación solar que intercepta la superficie terrestre es la misma, aún en condiciones de cielo despejado (figura 4).

Existen tres diferentes tipos de radiación solar que inciden sobre la superficie de la Tierra:

- Radiación Directa ( $G_b$ ): Como su propio nombre indica, es la que proviene directamente del Sol. Es la radiación que corresponde al ángulo sólido limitado por el disco solar sin tener en cuenta la dispersión atmosférica.
- Radiación Difusa ( $G_d$ ): Es aquella recibida de la atmósfera como consecuencia de la dispersión de parte de la radiación del sol en la misma. Esta energía puede ser aproximadamente un 15% de la radiación global en los días soleados, pero en los días nublados, en los cuales la radiación directa es muy baja, la radiación difusa representa un porcentaje mucho mayor. Por otra parte, las superficies horizontales son las que más radiación difusa reciben, ya que "ven" toda la semiesfera celeste, mientras que las superficies verticales reciben menos porque solo "ven" la mitad de la semiesfera celeste. Corresponde a la radiación solar dispersada por los diferentes componentes de la atmósfera.
- Radiación Global (o Total) ( $G_T$ ): Es la suma de ambas radiaciones (directa y difusa) en términos prácticos.

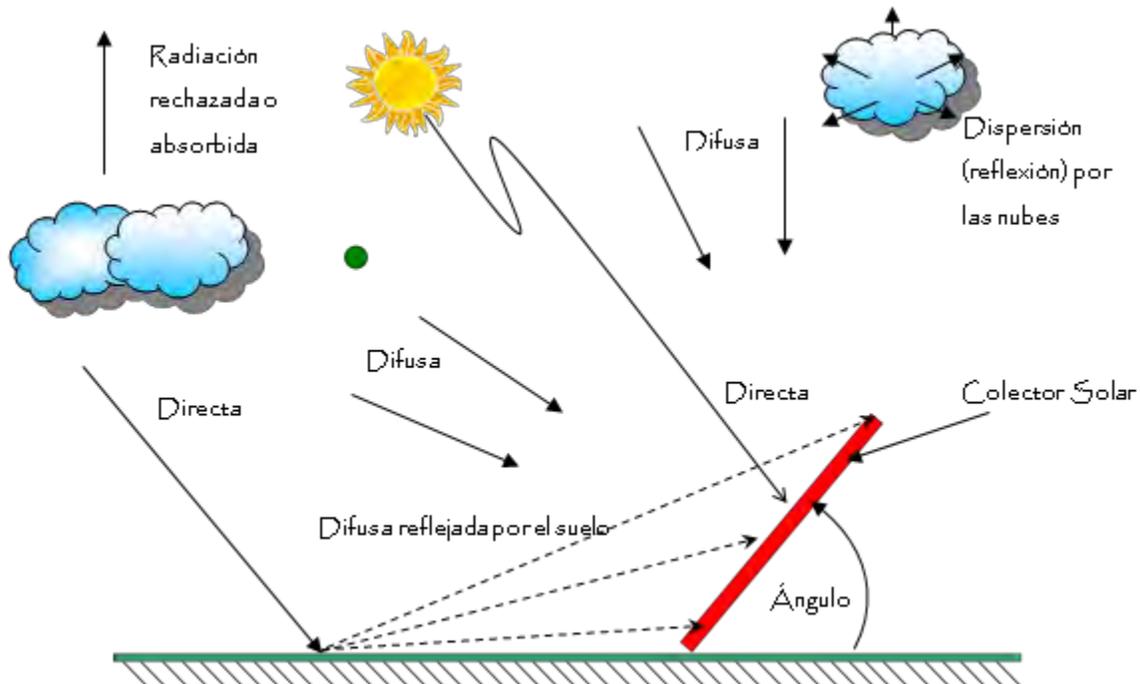
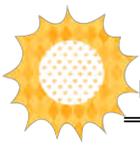


Figura 4. Diagrama de la radiación solar sobre la superficie terrestre



## 1.3 Solarimetría

La solarimetría, también llamada actinometría, es la ciencia y tecnología de la medición de la energía de radiación de ondas electromagnéticas. No obstante, la energía solar es intermitente y difusa. Su baja intensidad es uno de los mayores obstáculos para el aprovechamiento mayor.

El material de observación obtenido en las mediciones de rutina ha sido básico para el desarrollo tanto de los diferentes proyectos de investigación relacionados con el aprovechamiento de la energía solar, así como la instalación de dispositivos o equipos que emplean la energía solar (calentadores, destiladores, estufas solares, sistemas fotovoltaicos, entre otros).

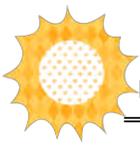
En este contexto, instituciones nacionales se han ido sumando al esfuerzo de contar con información solarimétrica, entre las que se pueden destacar: el Instituto de Energías Renovables y el Instituto de Geofísica ambos de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), la Universidad de Sonora (Grupo de Energía), La Universidad de Colima, La Universidad Veracruzana y la Universidad Autónoma Metropolitana unidades Azcapotzalco e Iztapalapa. Todo este esfuerzo es debido principalmente a la falta de información en el ámbito climatológico y en especial a la falta de datos de radiación solar.

Uno de los objetivos de la Universidad de Quintana Roo (UQROO) tiene como finalidad involucrar a estudiantes en sus proyectos y así, generar futuros profesionistas e investigadores en el área de energías renovables en el estado, haciendo uso de su propia información obtenida y analizada en la misma institución.

La importancia de contar con información solarimétrica es fundamental ya que se han puesto en marcha proyectos que no han sido del todo racionales (por ejemplo se han instalados aerogeneradores en lugares con poco o nulo recurso eólico o sistemas de bombeo fotovoltaico en lugares con nublados en la mayor parte del año).

Específicamente para el caso del aprovechamiento de la energía solar, con este trabajo se pretende sentar las bases para tener una estación solarimétrica con la cual se puedan obtener datos confiables y continuos. Esto permitirá tomar mejores decisiones en la instalación de equipos solares, a su vez ayudará a conocer si su desempeño es el correcto, ya que de esto dependen mucho los costos para cualquier instalación.

El porcentaje de la radiación solar incidente, es un parámetro importante que tiene consecuencias no solo en el desempeño de los equipos solares, sino también en la recuperación de la inversión económica, lo cual puede generar alguno de los siguientes casos:



Si la radiación solar disponible en cierta localidad es menor que la estimada, el desempeño será deficiente y las metas económicas no se alcanzaran. Por otro lado, si la radiación solar disponible en la localidad es mayor que la estimada, el desempeño y las proyecciones económicas pueden ser conservadoras.

Actualmente en México, hay un gran interés por el aprovechamiento de la energía solar, esto ha permitido desarrollar algunos proyectos de gran importancia mundial, los cuales por muy diversas razones no se han logrado consolidar. Hay varios esfuerzos realizados en instituciones nacionales para proporcionar de manera rutinaria y sistemática los requerimientos de información solarimétrica de calidad, esto con el fin de realizar adecuados diseños de los sistemas de aprovechamiento solar. Pero debido a que en muchas ocasiones no hay datos solarimétricos disponibles, ha traído como consecuencia que los diferentes usuarios generen sus propios datos para satisfacer sus necesidades de información, aunque estos no siempre sean de calidad.

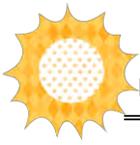
Mucho se habla en nuestro País de la cantidad de energía solar que recibe, particularmente el estado de Quintana Roo se menciona como uno de los estados con mayor riqueza en radiación solar, la cuestión es: ¿con base a que datos se puede afirmar lo anterior?, ya que en la mayoría solo se basan en cuestiones empíricas, sin hacer referencia a datos confiables (ya sean medidos o estimados).

En el caso específico de la Universidad de Quintana Roo se pueden mencionar dos hechos importantes:

**1)** A partir del año 2000 se han adquirido equipos de medición de radiación solar como son dos Piranómetros Eppley modelo 8-48 (instrumentos de primera clase), uno de ellos cuenta con su banda sombreadora con el fin de medir radiación solar difusa y con el otro se mide radiación solar global o total. Un Pirheliómetro Eppley modelo NIP así mismo un adquisidor de datos. Estos instrumentos se usan de manera esporádica cuando se están realizando prácticas de laboratorio de las materias de Energía Solar Fotovoltaica, Energía Solar Fototérmica y Heliodiseño o cuando se requiere tener información para un proyecto específico.

**2)** En los cuerpos académicos de ingeniería en sistemas de energía y de sistemas mecatrónicos autónomos se están desarrollando proyectos relacionados con el uso y aprovechamiento de energías renovables, específicamente solar y eólico.

Con base a lo anterior se puede mencionar que se tiene los elementos necesarios para contar con una estación solarimétrica permanente en la Universidad de Quintana Roo, la cual suministraría información confiable de radiación solar a los proyectos y prácticas que lo requieran. Con los datos obtenidos de radiación solar, se podría caracterizar el potencial solar del sitio y confirmar si es óptimo o no para una aplicación dada. Adicionalmente se espera



integrarse a la red de estaciones solarimétricas nacionales, la cual es coordinada por el Instituto de Geofísica de la UNAM y tener en un futuro cercano información solarimétrica nacional, que sirva para la toma de decisiones en la promoción e implantación de proyectos relacionados con el tema.

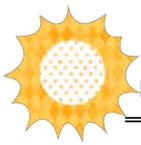
## **1.4 Objetivos**

El objetivo principal de este trabajo monográfico es:

- Instalación y puesta en funcionamiento la estación solarimétrica

Como objetivos particulares, se tienen:

- Habilitar las bases que soportarán los equipos de medición de la estación solarimétrica
- Seleccionar el sitio para instalación de la estación solarimétrica.
- Montaje de los equipos piranómetros, banda sombreadora, pirheliómetro y adquisidor de datos (Datalogger CR510).



## CAPÍTULO II

### *Métodos de estimación de la radiación solar*

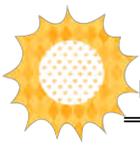
En este capítulo se describen brevemente cuatro de los métodos más comunes para la estimación de la radiación solar. Específicamente se abordará con cierta profundidad el método de medición directa, en donde se detallan los diferentes tipos de instrumentos empleados así como las ventajas y desventajas de los mismos.

#### **2.1 Medida de la radiación solar**

La irradiación solar ( $H_s$ ) corresponde al valor acumulado de la irradiancia en un intervalo de tiempo determinado. Siendo esta la magnitud de mayor interés para la ingeniería solar. Las redes de estaciones meteorológicas automáticas miden la irradiancia, el valor instantáneo de la energía solar que alcanza a la superficie, que es almacenada, filtrada y puesta en disposición de los usuarios como radiación en base horaria, diaria o mensual (*Ibáñez et al, 2005*).

Los cuatro métodos más comunes, usados para la estimación de la radiación solar son:

1. Estimación con base en modelos físicos y empíricos.
2. Estimación con base en mediciones de satélite.
3. Estimación con base en atlas de radiación.
4. Medición directa con instrumentos (piranómetros, pirheliómetros, radiómetros UV, etc.)



### 2.1.1 Estimación con base en modelos físicos y empíricos

Los modelos para la estimación de la radiación solar son indispensables, con el fin de hacer estimaciones de la cantidad de radiación solar en ciertos sitios de interés, en donde no se cuenta con mediciones.

En el pasado la medición de la radiación solar era poco común, de manera que los primeros modelos que se desarrollaron tenían como objetivo la determinación de la radiación solar global a partir de variables meteorológicas ampliamente medidas, como son la humedad, la precipitación pluvial, la cubierta de nubes y la insolación (horas de Sol brillante, también llamada heliofanía). Al volverse más común la medición de la radiación solar global se desarrollaron modelos para determinar los componentes directa y difusa.

El ejemplo más conocido de la aplicación de modelos físicos y empíricos para estimación de la radiación solar es el software **Meteonorm** (Figura 5.), que parte a partir de una base de datos de estaciones meteorológicas ubicadas en todo el mundo, para la realización de los cálculos de energía solar.

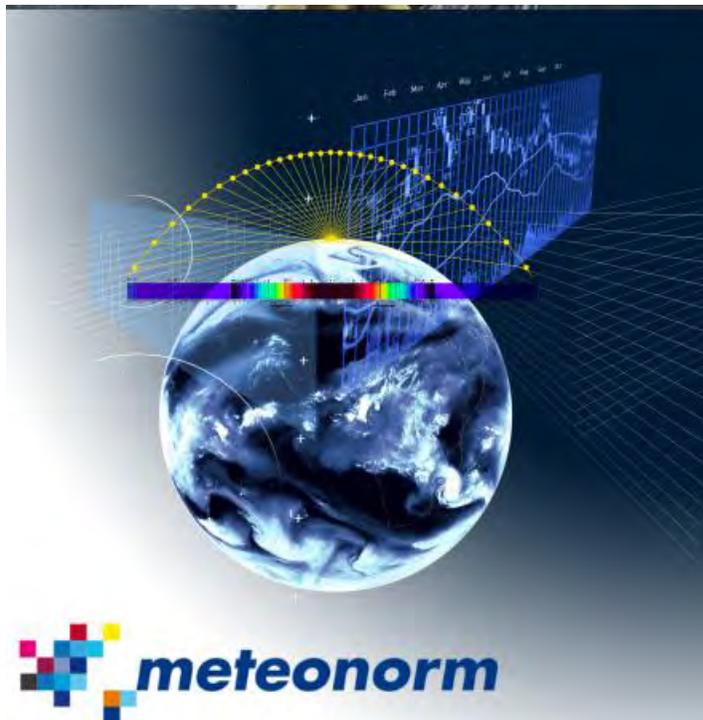
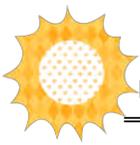


Figura 5 Portada del software Meteonorm.



## 2.1.2 Estimación con base en mediciones de satélite

Los satélites geoestacionarios llevan a cabo un monitoreo de la atmósfera y la cubierta de nubes de la tierra de manera continua en el tiempo y abarcando extensas regiones del mundo. La resolución sobre las regiones de gran cobertura geográfica es aproximadamente de 1 km<sup>2</sup>, cuando se trata de imágenes en el espectro visible. Al ser la cubierta de nubes el parámetro que más influencia tiene sobre la radiación solar, esta capacidad de los satélites de brindar una información detallada de dicha cubierta se traduce en un importante potencial para evaluar el recurso solar (*Renné et al, 1999*).

La gran ventaja de los métodos de estimación de radiación solar basados en datos satelitales es precisamente su resolución espacial. Con ellos es posible generar mapas de radiación solar con una resolución muy detallada (de 1 a 10 km<sup>2</sup>) sobre regiones específicas (Figura 6).

Yearly sum of Global Horizontal Irradiation (GHI)

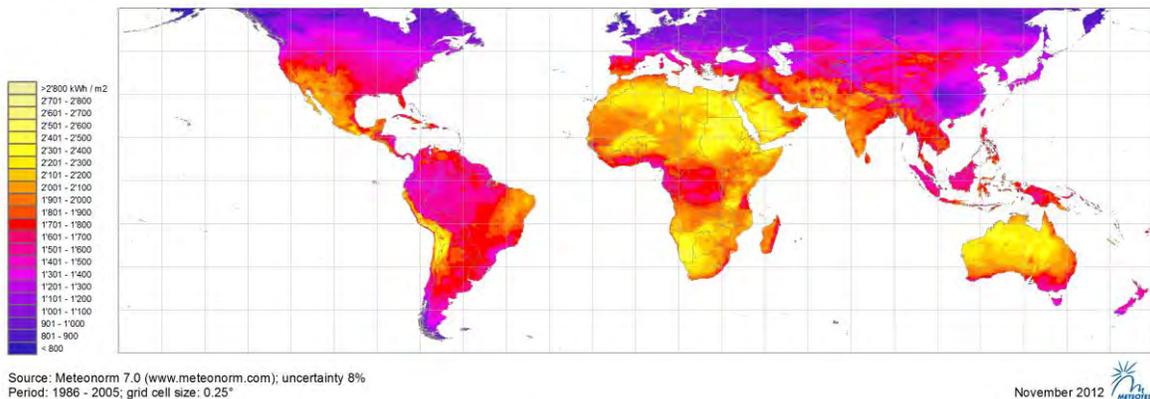
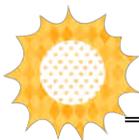


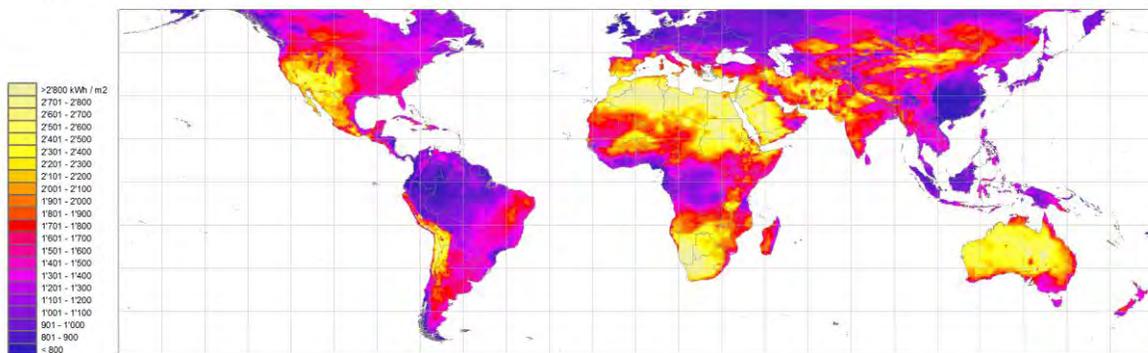
Figura 6. Mapa de radiación global (fuente: [www.meteonorm.com](http://www.meteonorm.com)).



### 2.1.3 Estimación con base en Atlas de radiación

Diferentes investigadores han publicado varios mapas y tablas de radiación solar para México. Al ser relativamente escasos los datos medidos en tierra que han estado disponibles para la elaboración de estos mapas y tablas, todos ellos se basan en métodos estimativos de diferentes tipos (Figura 7). Como se ha discutido anteriormente, cada metodología tiene sus propias limitaciones (*Estrada et al., 2005*)

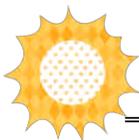
Yearly sum of Direct Normal Irradiation (DNI)



Source: Meteonorm 7.0 ([www.meteonorm.com](http://www.meteonorm.com)); uncertainty 15%  
Period: 1986 - 2005; grid cell size: 0.25°

September 2012 

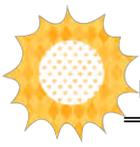
Figura 7. Atlas solar de radiación solar directa (Fuente: [www. Meteonorm.com](http://www.Meteonorm.com))



## 2.1.4 Medición directa de la radiación solar

Existen distintos instrumentos para medir la radiación solar. Estos instrumentos tienen algún tipo de sensor, los cuales hay de diferentes clases, entre los principales están:

- A. ***Sensores calorimétricos.*** En estos sensores la energía solar incidente se transforma en calor, produciéndose un aumento de la temperatura del sensor o de un fluido en circulación. El aumento de la temperatura es una medida de la potencia solar recibida por él.
- B. ***Sensores termomecánicos.*** El sensor está constituido por una cinta bimetálica. Al incidir la radiación solar sobre una de las cintas, la energía absorbida produce un aumento de su temperatura y con ello un aumento de su deformación. La deformación es una medida de la potencia solar incidente.
- C. ***Sensores termoeléctricos.*** Estos consisten de dos alambres metálicos (termopar) de diferentes materiales, cuyos extremos (puntas) se mantienen a diferentes temperaturas, produciéndose una FEM (fuerza electromotriz inducida), este fenómeno se conoce como el efecto Seebeck). La intensidad de la FEM depende de los materiales empleados y de la diferencia de temperaturas. La intensidad de la FEM es una medida de la potencia solar incidente. En los instrumentos de medición, la punta caliente se expone a la radiación solar mientras que la fría se oculta de ella.
- D. ***Sensores fotovoltaicos.*** En años recientes se han estado utilizando sensores del tipo fotovoltaico (fotodiodo de silicio) los cuales por sus características físicas han resultado ser unos buenos simuladores de piranómetro. Las comparaciones contra piranómetros de primera clase a los que se han sometido bajo diferentes condiciones de cielo (despejados, nublados, etc.) dan como resultado un alto grado de correlación estadística, lo cual permite decir que las mediciones tienen una precisión dentro de un  $\pm 2\%$  en días despejados y hasta un  $\pm 5\%$  en días nublados; Además, estos sensores tienen una constante de tiempo de aproximadamente  $10\mu s$ , característica física que se ha aprovechado para construir los llamados "Piranómetros con banda rotatoria", dispositivos que permiten medir casi simultáneamente la radiación global y la radiación difusa, a partir de lo cual es posible calcular la radiación directa.



## 2.2 Instrumentos de medición de la radiación solar

Existen dos tipos de dispositivos básicos para la medición de la radiación solar, el piranómetro y el pirheliómetro, siendo estos los dispositivos instalados en la estación solarimétrica de la Universidad de Quintana Roo.

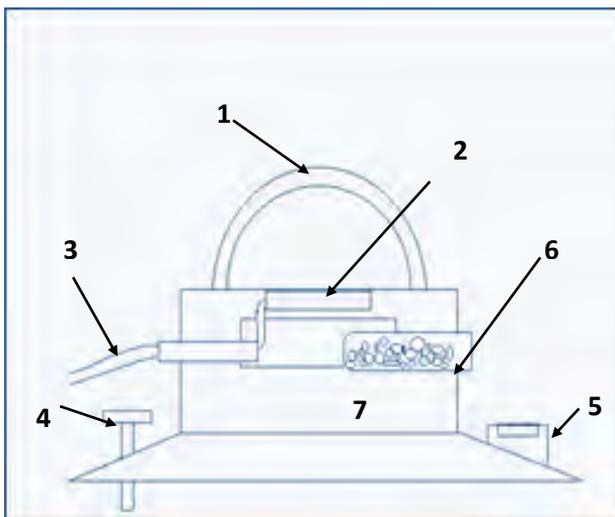
### 2.2.1 Piranómetro



El piranómetro es el instrumento más común para medir la radiación solar (Figura 8), se emplea para registrar la radiación solar total dentro de su campo de vista hemisférico. El aparato usualmente se coloca sobre una superficie horizontal con el fin de registrar la radiación global en un sitio dado. La señal eléctrica generada puede servir para obtener gráficamente la radiación solar como función del tiempo, o bien, procesada en un integrador electrónico, puede servir además para obtener el total de la energía incidente en un periodo de tiempo dado (cada hora ó cada día). En la figura 9, se muestran los componentes de un piranómetro.

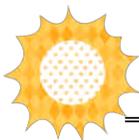
Figura 8. Fotografía del Piranómetro black&white, Eppley.

#### Componentes de un Piranómetro (figura 9):



1. Domo de vidrio o cuarzo
2. Sensor
3. Cable
4. Tornillos de balanceo
5. Nivel
6. Desecador
7. Base y sumidero de calor

Figura 9 Esquema del piranómetro (Fuente: Sánchez, 2005).



## Principio de funcionamiento

Para la medida de la irradiancia solar se emplean dos tipos de piranómetros. Un primer tipo se basa en el calentamiento de una superficie. En estos encontramos una superficie negra protegida del enfriamiento por una doble cúpula. La temperatura de esta superficie es determinada con una termopila. En el caso de los piranómetros Kip Zonen clásico la termopila está formada por una serie de 14 termopares, láminas planas de 10 mm de longitud, 1 mm de anchura y 5 mm de espesor, dispuestas en un plano horizontal, en el que las extremidades están soldadas a unas barras de cobre verticales solidarias a una placa de latón maciza. El conjunto está protegido por un barniz negro mate especial que absorbe la radiación. El calor de la superficie negra es evacuado parte por conducción a la masa de la termopila que es buena conductora. Debido a que las láminas son malas conductoras aparece una diferencia de temperaturas del orden de 20° C entre la línea mediana y las extremas y, por consiguiente una diferencia de potencial. El dispositivo se calibra comparándolo con otro de referencia.

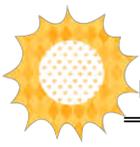
El piranómetro se puede aplicar a la medida de la radiación difusa empleando una banda sombreadora que sombree el instrumento a la radiación directa. Como se ve en las figuras 10 y 11.



Figura 10. Fotografía de Piranómetro con banda sombreadora.



Figura 11. Fotografía de Sombreo sobre el piranómetro.



## 2.2.2 Pirheliómetro

El pirheliómetro tiene una abertura colimada que restringe su visión de la bóveda celeste, habitualmente a  $5^\circ$ , y por ello se utiliza para la medida de la radiación directa enfocándolo al sol. Los datos obtenidos del pirheliómetro deben interpretarse cuidadosamente en el diseño de concentradores solares de enfoque que permiten alcanzar altas temperaturas de operación.



Figura 12. Accesorios del pirheliómetro: a) receptor de señal. b) adquisidor de datos c) filtros solares

En la figura 12 se muestran los principales componentes de un pirheliómetro y en la figura 13 un diagrama de los componentes de un pirheliómetro y en la figura 14 puede verse el diagrama de medición de la radiación solar directa.

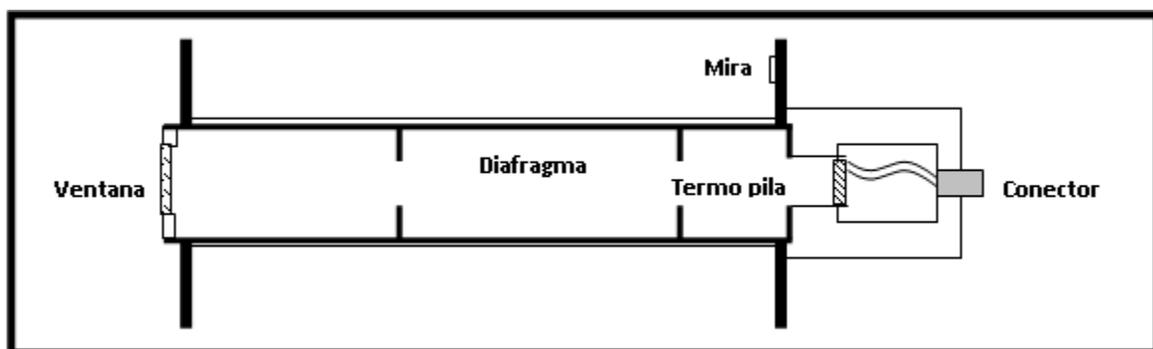


Figura 13. Diagrama de componentes de un Pirheliómetro (Fuente: Sánchez, 2005).

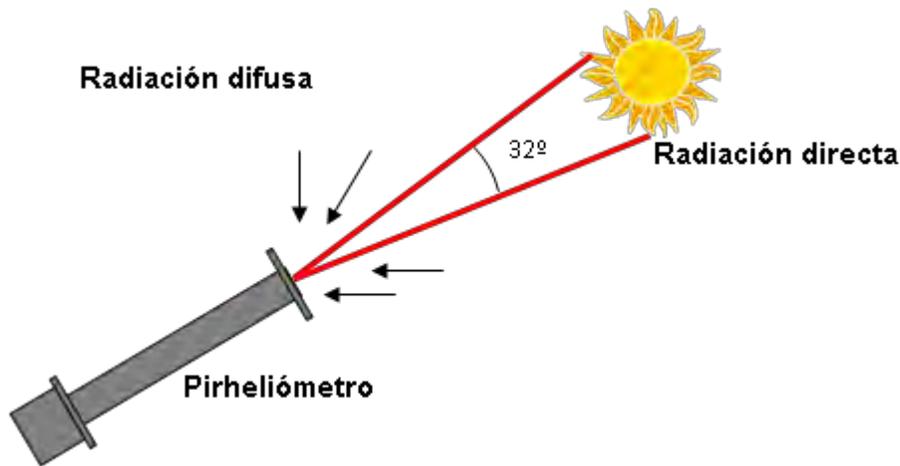
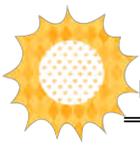


Figura 14. Diagrama de medición de radiación directa con un Pirheliómetro (Fuente: Sánchez, 2005).

### 2.2.3 Instrumentos para la medida de las horas de radiación directa

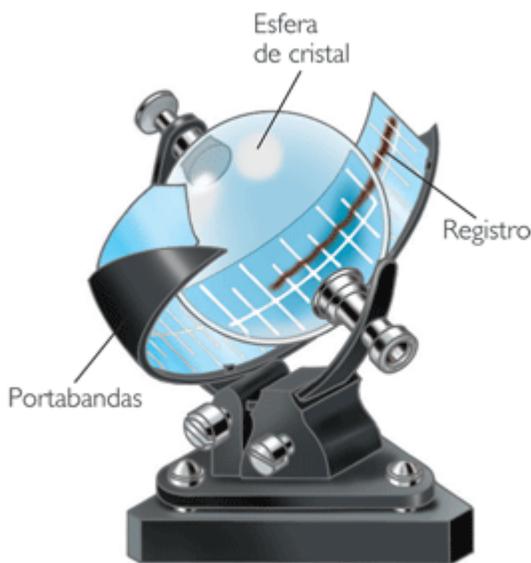


Figura 15. Diagrama de partes del heliógrafo.

Las estaciones meteorológicas más sencillas no disponen de medidas de irradiancia y en ocasiones, emplean otros equipos como heliógrafos, que permiten estimar la irradiancia de forma indirecta.

Los heliógrafos (Figura 15) miden el intervalo de tiempo durante el cual se tiene radiación solar directa superior a un umbral de  $120 \text{ Wm}^{-2}$ . Entre los heliógrafos más utilizados están el Campbell - Stokes y el de Denis - Jordan. La duración de las horas de radiación solar directa es determinada en muchos más lugares que la irradiancia.

Esto es debido al coste y fiabilidad de los instrumentos utilizados para realizar estas medidas. El heliógrafo Campbell-Stokes (Figura 16) utiliza una esfera sólida de cristal como lente para concentrar la radiación directa. Esta radiación es concentrada sobre una banda de papel tratado grabado con una escala horaria. Cuando la irradiancia supera el valor mencionado, la energía concentrada quema el papel. La longitud quemada permite leer manualmente sobre la banda las horas de radiación por encima del umbral.

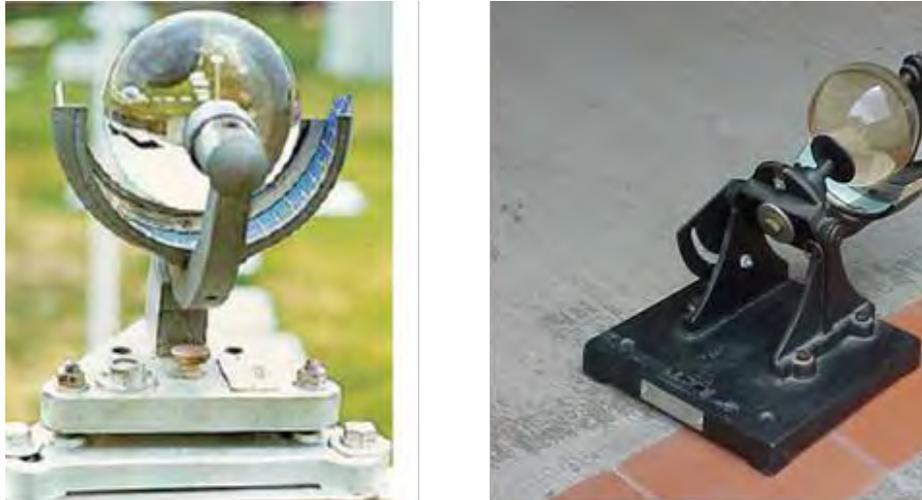
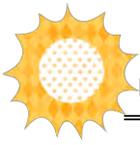


Figura 16. Fotografía de diferentes modelos de Heliógrafos Campbell-Stokes (Fuente: Sánchez, 2005)

### 2.3 Posición del sol

Junto a las condiciones atmosféricas hay otro factor que determina la incidencia de la radiación sobre el captador solar, el movimiento aparente del sol a través de la bóveda celeste, a lo largo del día y del año. La tierra describe un movimiento de traslación alrededor del sol que sigue una trayectoria en forma de elipse, con una excentricidad de un 3%. La línea imaginaria que representa la órbita descrita se llama eclíptica (*Ibáñez et al, 2005*). Esta orbita define el plano de la eclíptica. En su movimiento de traslación el eje de rotación terrestre forma siempre el mismo ángulo de  $23.45^\circ$  con la perpendicular al plano de la eclíptica. El ángulo que forma el plano de la eclíptica con el plano del ecuador se conoce como declinación y este varía a lo largo del año (Figura 17), varía entre  $-23.45^\circ$  el día del solsticio de invierno y  $23.45^\circ$  el día de solsticio de verano.

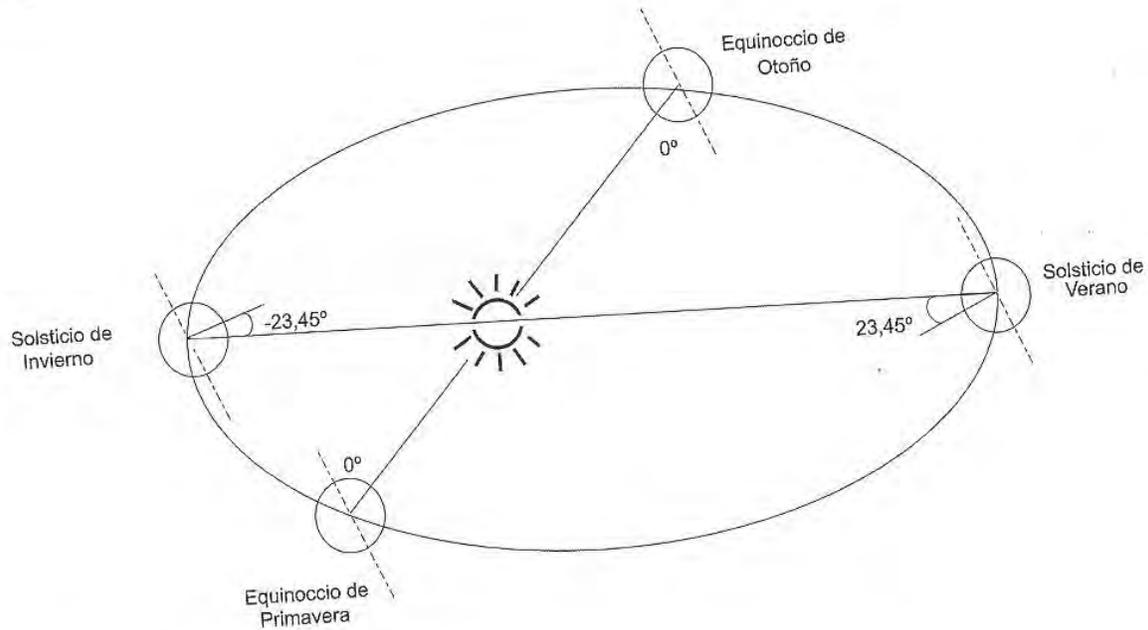
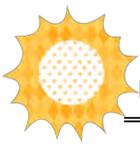


Figura 17. Movimiento de rotación de la tierra alrededor del sol (Fuente: Ibañez, et al, 2005).

### 2.3.1 Geometría del movimiento del Sol

Desde punto de vista del observador sobre la superficie de la tierra, el sol parece describir un arco de círculo desde su salida hasta su puesta (Figura 18). A mitad de este recorrido, al mediodía solar, se sitúa por definición el plano meridiano local. La vertical del observador sobre la superficie terrestre intersecta a la bóveda celeste en un punto llamado como cénit. El eje de la Tierra forma un ángulo igual a la latitud del lugar con el plano horizonte del observador.

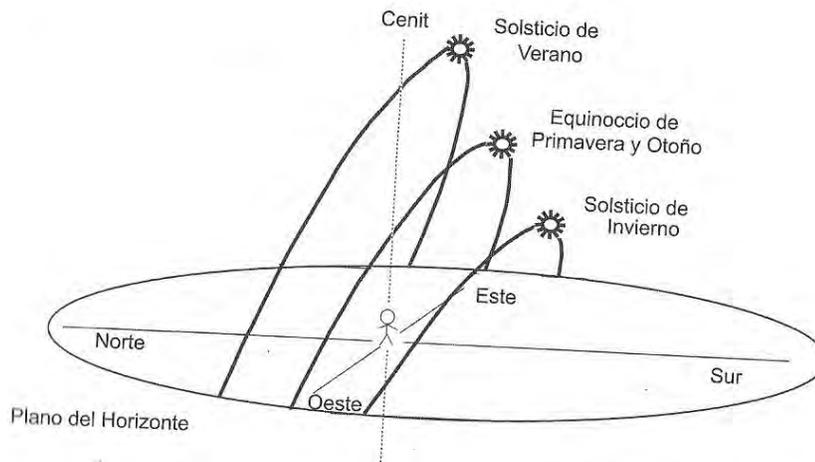
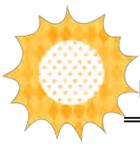


Figura 18. Trayectoria solar sobre el plano del observador (Fuente: Ibañez, et al, 2005)



## CAPÍTULO III

### *Estación solarimetrica UQROO*

Este capítulo se enfoca en la descripción particular los componentes de la estación solarimetrica de la Universidad de Quintana Roo, particularmente se describe el tratamiento que recibe la base de datos, así como los criterios de evaluación para asegurar la calidad de estos para su posterior análisis.

#### **3.1 Componentes de la estación solarimetrica de la UQROO**

La estación solarimetrica de la Universidad de Quintana Roo está situada en la azotea del edificio F Taller de Ingeniería Ing. Luis Felipe Leyva del campus Chetumal desde Agosto del 2014 , siendo sus coordenadas geográficas 18.51º de latitud Norte y 88.26º de longitud Oeste (Figura 19).

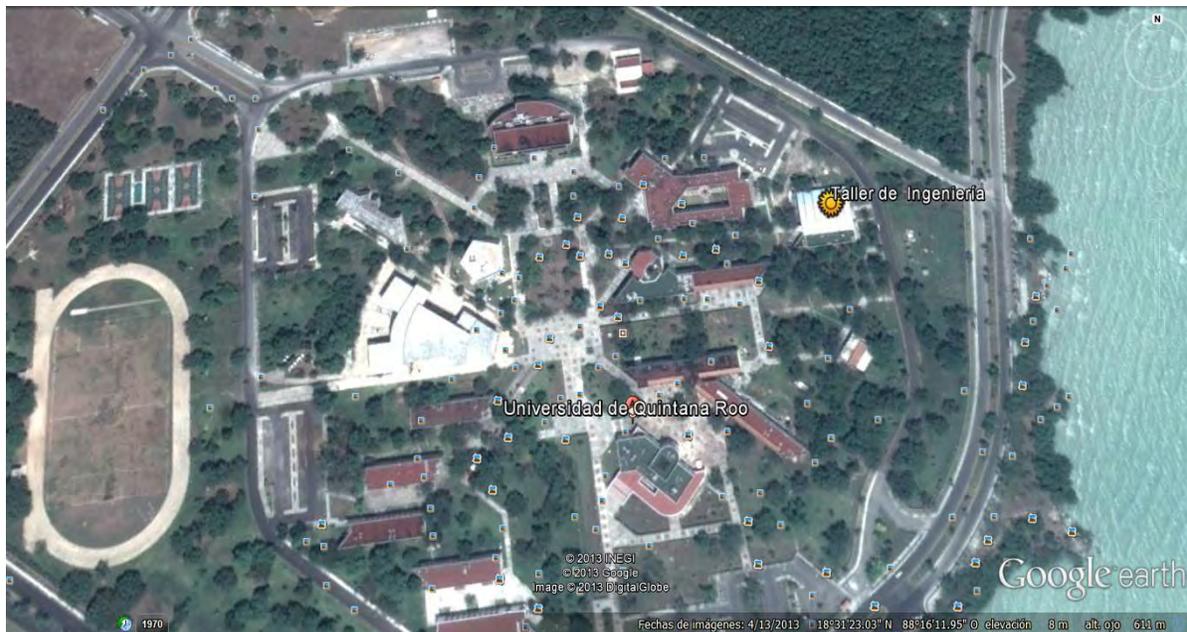
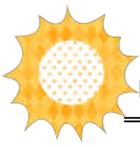


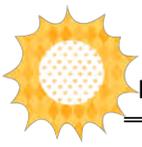
Figura 19. Fotografía de la ubicación de la estación solarimetrica (Fuente Google earth)



La estación solarimétrica (Figura 20) está integrada por un sistema automático que mide, trata y registra digitalmente de forma automática y continuada una serie de variables solarimétricas que se presentan como una diferencia de potencial, con el único detalle que las mediciones registradas por el pirheliómetro no son continuas y el uso de este último es esporádico, ya que no está concebido para la medida continua y rutinaria.



Figura 20. Fotografía de vista de la estación solarimétrica UQROO.



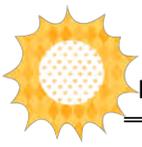
### 3.1.1 Instrumentos de medición

La configuración actual de la estación solarimétrica de la Universidad de Quintana Roo está integrada por:

Un **piranómetro eppley black&White modelo 8-48** para la medida de la radiación solar global sobre la horizontal (Figura 21).



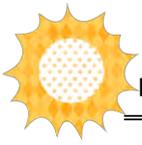
Figura 21. Fotografía de Piranómetro para la medición de la radiación solar global



Un **piranómetro eppley black&White modelo 8-48** con banda sombreadora para la medida de la radiación solar difusa sobre la superficie horizontal (Figura 22).



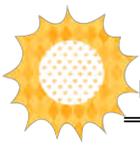
Figura 22. Fotografía de Piranómetro con banda sombreadora para la medición de la radiación solar Difusa.



Un **pirheliómetro eppley modelo NIP** para la medida de la radiación solar directa normal, montado en un **Seguidor Solar eppley modelo ST-1** (Figura 23).



Figura 23. Fotografía de Pirheliómetro para la medición de la radiación solar Directa



### 3.1.2 Unidad de adquisición

La unidad de adquisición realiza las funciones de muestreo, retención y conversión analógico/digital de las señales de los sensores que requieren con anterioridad a su tratamiento digital en la unidad central.

En el caso de la estación solarimétrica UQROO la unidad de adquisición está conformada por el Datalogger Campbell modelo CR510, el cual cuenta con su caja para intemperie y un módulo fotovoltaico de 12 volts de corriente directa para la carga de la batería del Datalogger CR510 (Figura 24).

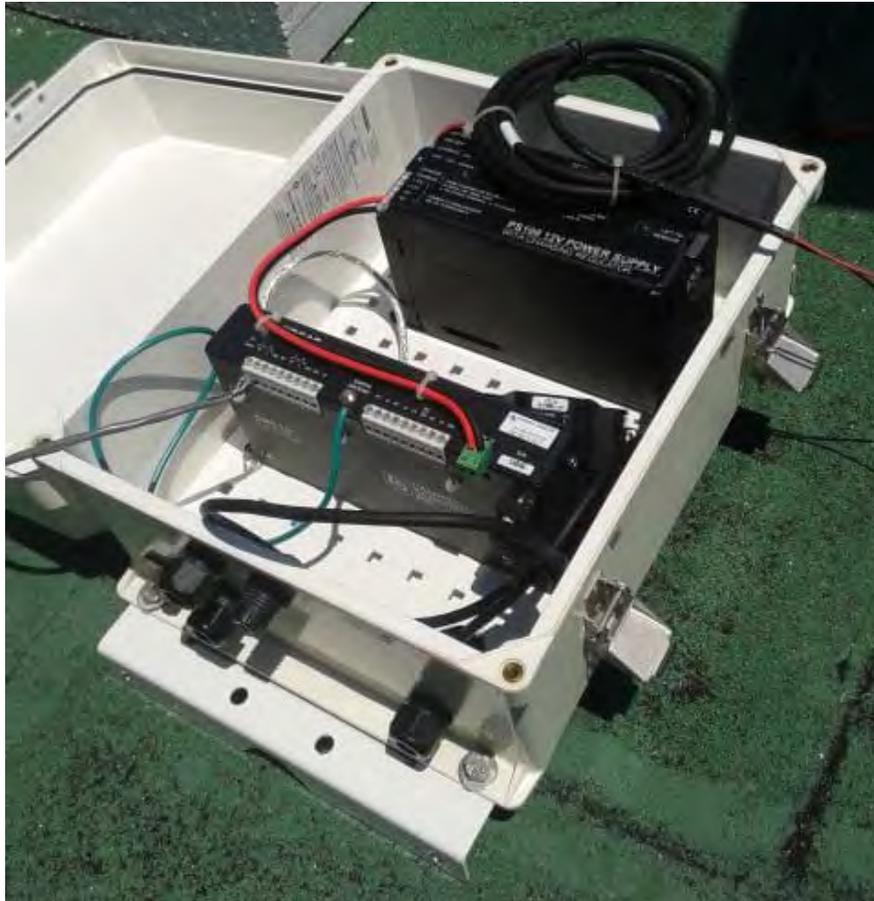
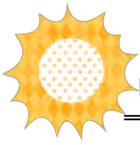


Figura24. Fotografía de los componentes de la unidad de adquisición.



### 3.1.3 Unidad central

La unidad central (Figura 25) se compone de una computadora portátil, interfaz RS-232 (Figura 26) para la conexión con la unidad de adquisición por medio de una interfaz óptica y un conjunto de programas de ordenador (software) para las funciones de control del sistema de adquisición, interfaz de operador y programación y mantenimiento del módulo de adquisición.



Figura 25. Fotografía de la unidad central de medición

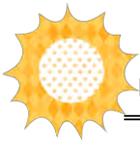
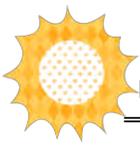


Figura 26. Fotografía interfaz Datalogger CR5010 – Usuario (Fuente Manual de Usuario Campbell).



La estación solarimetrica de la Universidad de Quintana Roo puede ser esquematizada (Figura 27):

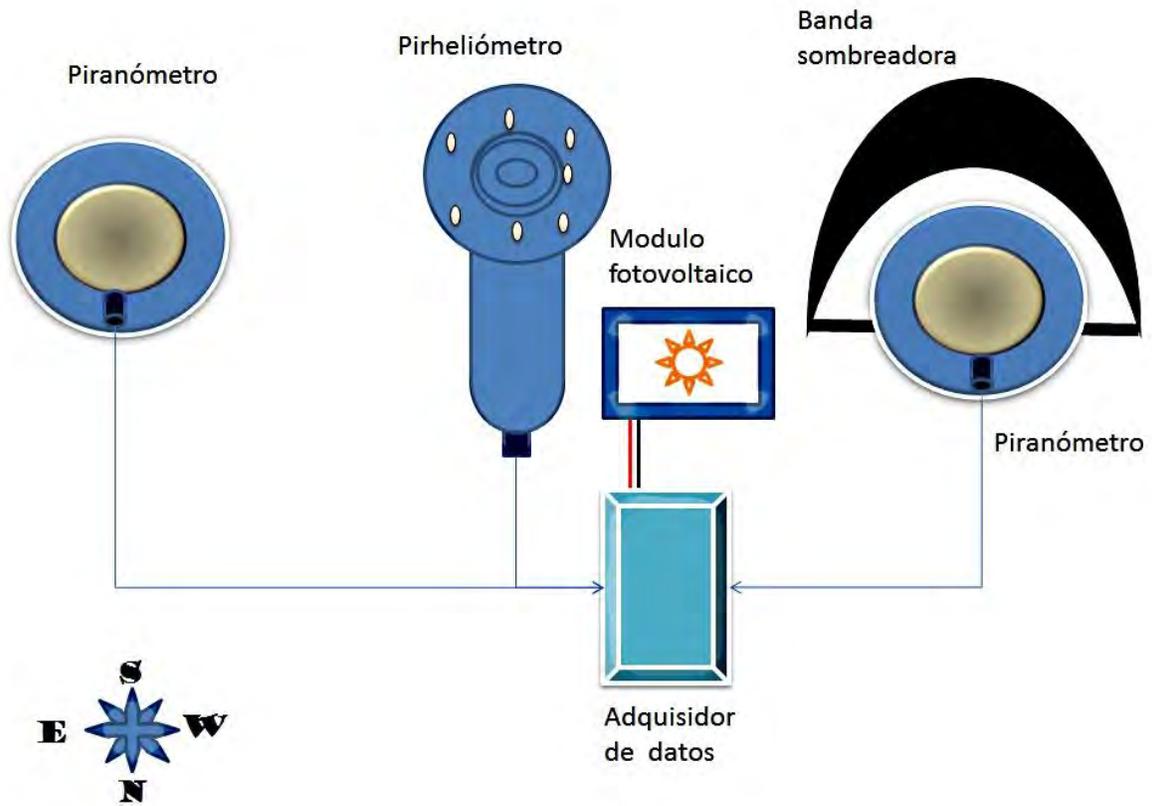
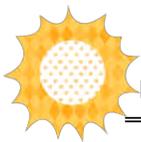


Figura 27. Diagrama de la estación solarimetrica de la Universidad de Quintana Roo



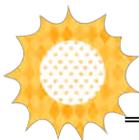
## 3.2 Sistema de registro de datos

La base de datos de la estación solarimétrica de la Universidad de Quintana Roo está configurada para el registro de datos instantáneos y sacando un promedio de estos cada 10 minutos en archivos de texto de modo continuo que se nombra comenzando por el modelo del datalogger \_ seguido por el día/mes/año de la descarga de los datos y la extensión .dat (Figura 28) es decir;

**Ejemplo:** CR510\_final\_storage\_1/11/2013 → contiene los datos del mes de Octubre descargados el primero de Noviembre

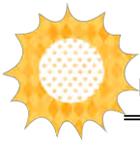
El contenido del fichero es el siguiente, en columnas:

- ❖ **Tiempo**
- ❖ **Año RTM**
- ❖ **Día RTM**
- ❖ **Hora Minuto RTM**
- ❖ **Diferencia de Potencial Radiación Global**
- ❖ **Diferencia de Potencial Radiación Difusa**
- ❖ **Diferencia de Potencial Radiación Directa**



Time	Year	RTM	Day	RTM	Hour	Minute	RTM	SEVolt	SEVolt 2	SEVolt 3
2013-11-04 13:00	2013		308		1300			5.85	3.005	.007
2013-11-04 13:10	2013		308		1310			11.31	3.1	.033
2013-11-04 13:20	2013		308		1320			2.835	1.358	-.039
2013-11-04 13:30	2013		308		1330			9.37	3.196	.03
2013-11-04 13:40	2013		308		1340			8.25	3.261	-.026
2013-11-04 13:50	2013		308		1350			8.48	3.835	-.007
2013-11-04 14:00	2013		308		1400			3.773	1.89	-.046
2013-11-04 14:10	2013		308		1410			2.815	1.529	-.036
2013-11-04 14:20	2013		308		1420			3.609	1.949	.052
2013-11-04 14:30	2013		308		1430			8.7	4.666	.069
2013-11-04 14:40	2013		308		1440			7.69	4.423	.007
2013-11-04 14:50	2013		308		1450			6.775	.607	6.756
2013-11-04 15:00	2013		308		1500			6.676	.633	6.795
2013-11-04 15:10	2013		308		1510			5.177	.656	5.79
2013-11-04 15:20	2013		308		1520			5.928	.518	6.689
2013-11-04 15:30	2013		308		1530			5.649	.489	6.692
2013-11-04 15:40	2013		308		1540			5.187	.417	6.568
2013-11-04 15:50	2013		308		1550			4.901	.4	6.525
2013-11-04 16:00	2013		308		1600			4.554	.387	6.371
2013-11-04 16:10	2013		308		1610			4.226	.381	6.21
2013-11-04 16:20	2013		308		1620			3.93	.384	6.082
2013-11-04 16:30	2013		308		1630			3.501	.354	5.918
2013-11-04 16:40	2013		308		1640			3.143	.348	5.708
2013-11-04 16:50	2013		308		1650			2.762	.318	5.541
2013-11-04 17:00	2013		308		1700			2.388	.295	5.298
2013-11-04 17:10	2013		308		1710			2.008	.276	4.983
2013-11-04 17:20	2013		308		1720			1.637	.249	4.622

Figura 28. Ejemplo de archivo CR510 obtenido el 1° de Diciembre del 2013.



### 3.3 tratamiento de la base de datos

El control de la calidad de los datos de la estación solarimétrica es de vital importancia para asegurar la veracidad y fidelidad de estos. Con base en lo anterior se han añadido criterios de evaluación para asegurar la calidad de los tres parámetros solarimétricos.

#### 3.2.1 Descripción de filtros

Cada medida de radiación solar será validada con criterios que llamaremos filtros. Con la aplicación de estos criterios no se tratará de corregir los valores de la base de datos de la estación solarimétrica, sino descartar aquellos que no sean fiables para el estudio, no todos los criterios serán excluyentes, algunos nos proporcionarán información sobre la calidad de los datos.

$$\text{Radiación Solar}_{Global} = \text{Radiación Solar}_{Directa} + \text{Radiación Solar}_{Difusa} \dots\dots [1]$$

Lo que lo que permite concluir que la radiación solar global es mayor que cualquiera de sus componentes (directa y difusa).

$$\text{Radiación Solar}_{Global} \gg \text{Radiación Solar}_{Directa}$$

$$\text{Radiación Solar}_{Global} \gg \text{Radiación Solar}_{Difusa}$$

La radiación global y radiación difusa son medidas por piranómetros, mientras que la radiación directa normal es medida por el pirheliómetro con seguimiento en un eje. Aún medidas con distintos aparatos deberían cumplir la igualdad.

En el caso de la estación solarimétrica se tiene que el piranómetro destinado a la medición de radiación solar difusa se encuentra dañado en la pintura de la termopila (Figura 29)

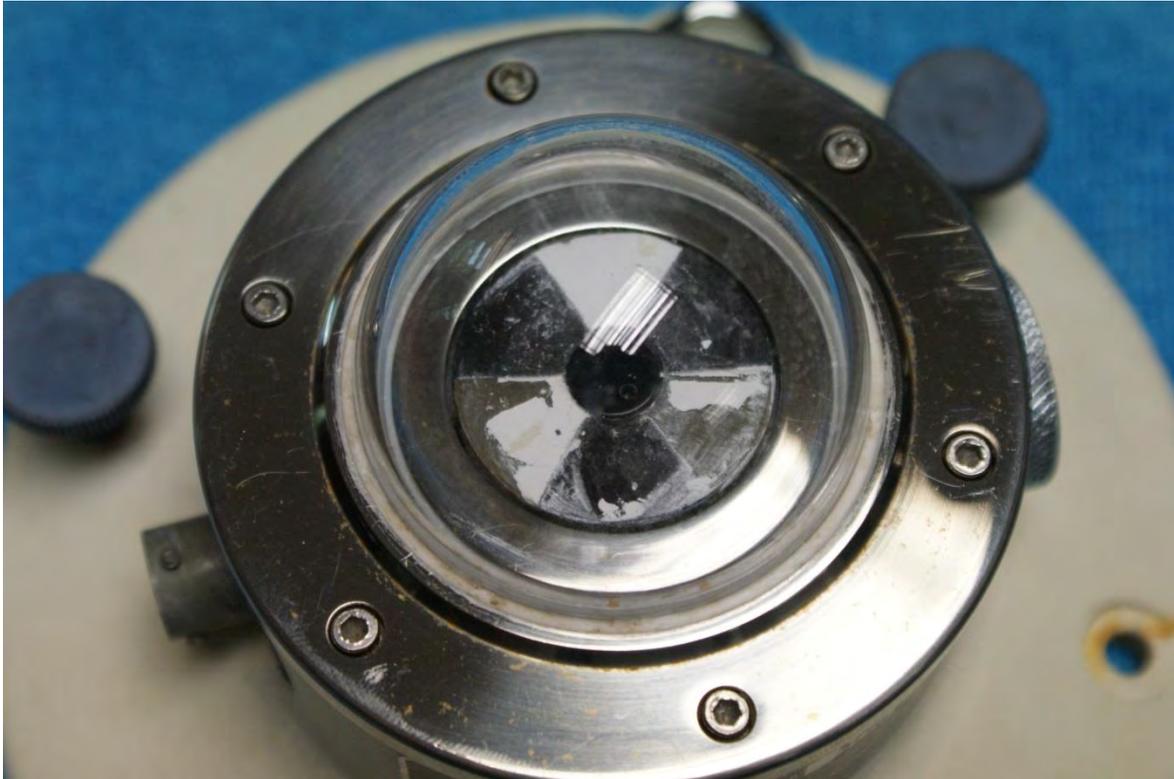
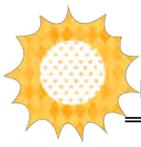
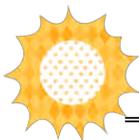


Figura 29. Fotografía piranómetro dañado en pintura.



## CAPÍTULO IV

### *ANÁLISIS DE RESULTADOS*

En este capítulo se presenta, se atiende el principal objetivo de este trabajo, que es la descripción del proceso de monitoreo y almacenamiento de los datos solarimétricos registrados, así como los resultados y discusiones de los datos obtenidos.

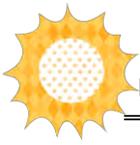
A continuación se describe el proceso de montaje de la Estación Solarimétrica de la Universidad de Quintana Roo. La metodología empleada consiste en:

1. Recabar información acerca del estado del arte del tema (capítulos I y II).
2. Análisis de la problemática presente en la medición de la radiación solar, de su registro y de su análisis matemático-estadístico (capítulo III).
3. Montaje experimental e instrumentación de la estación solarimétrica de la Universidad de Quintana Roo.
4. Experimentación.
5. Análisis de los resultados obtenidos.

#### **4.1 Montaje experimental e instrumentación**

El sitio seleccionado para instalar la Estación Solarimétrica fue la azotea del taller de ingenierías que cuenta con un espacio despejado, amplio, libre de obstáculos y sobretodo la estación no está expuesta a personas ajenas al estudio.

Con las bases y el sistema de adquisición de datos en pleno funcionamiento, se procedió con el montaje de la estación Solarimétrica, que es el objetivo principal de este trabajo. Para lo cual se siguieron estos pasos:



1. Se colocó la banda sombreadora sobre su base y se aseguró con tornillos y tuercas para evitar algún deslizamiento entre esta y la base (Figura 30).



Figura30. Foto de aseguramiento de la banda Sombreadora con tornillos y tuercas.

2. Se colocaron los piranómetros en sus respectivas bases, teniendo precaución de que queden nivelados (Figura 31).

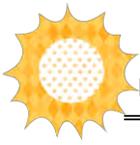


Figura 31. Foto de aseguramiento y nivelación de los piranómetros.

3. Se conectan los cables de los piranómetros: el extremo que tiene el conector se inserta en los piranómetros y el otro extremo al sistema de adquisición de datos (Figura 32), fijándolos con cinchos plásticos.

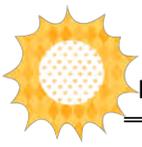
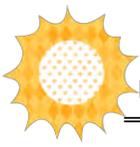


Figura 32. Foto de conexión de los dispositivos de medición a la unidad de adquisición.

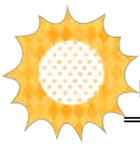


4. Se arma el sistema de adquisición de datos, incluyendo el módulo fotovoltaico de alimentación, como se observa en la figura 33.



Figura 33. Foto de armado del sistema de adquisición con el modulo fotovoltaico para su carga.

Para mayor información consultar Anexo A



## 4.2 Experimentación

La estación solarimétrica de la Universidad de Quintana Roo lleva a cabo un registro de los datos cada diez minutos empezando a las 6:50 a.m. hasta las 7:10 p.m. de cada día de estudio desde el 01 de Septiembre del 2013 hasta el 31 de Noviembre del 2013. Este intervalo coincide con la temporada de huracanes del estado de Quintana Roo por lo cual en varios días de estudio fue imposible orientar el pirheliómetro debido a la nubosidad presente.

A continuación se presenta el comportamiento de la radiación solar en un día típico de medición (Figura 34) siendo el este el 4 de septiembre del 2013.

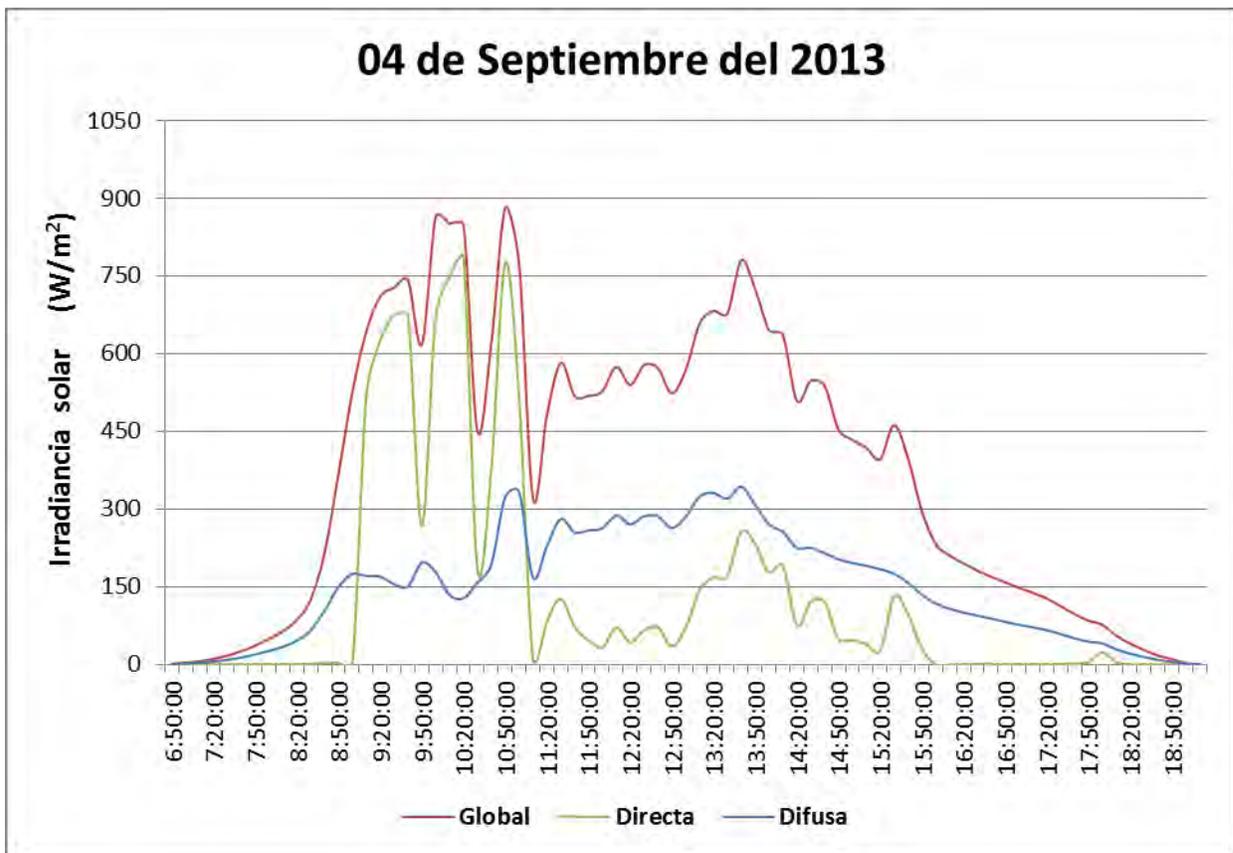
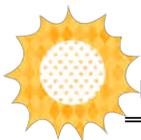


Figura 34. Gráfica de comportamiento de la radiación solar 4 de septiembre del 2013.

Como se puede apreciar en la gráfica la radiación solar en el lugar de estudio tiene un comportamiento muy particular debido los factores climatológicos característicos de la zona así como de la temporada del año en que se realiza su análisis. Por motivos de practicidad para este trabajo de tesis se ha llevado el cálculo de promedios diarios para todo el periodo de estudio con lo cual se puede tener un análisis semanal de los datos registrados.



### 4.3 Análisis de los resultados obtenidos

Para el análisis de los datos de radiación solar global recabados por la estación solarimétrica de la Universidad de Quintana Roo se llevó a cabo su división en trece semanas que fue el tiempo de estudio que se monitorio el recurso solar del lugar de estudio con las coordenadas geográficas 18.51° de latitud Norte y 88.26° de longitud Oeste.

Cada día de mediciones se le calculo el promedio diario de radiación solar, pero en caso particular de la radiación solar global esta se comparó con la medición capturada por la estación meteorológica de la Universidad de Quintana Roo la cual para su medición cuenta con un Piranómetro de fotodiodo que al igual que la estación solarimétrica lleva mediciones cada diez minutos.

#### 4.3.1 Análisis de datos registrados de la semana 1

Con los datos registrados del 1 al 7 de septiembre del 2013, se elaboraron las gráficas de la irradiancia solar global, directa y difusa para la semana 1. Esto se puede ver en la Figura 35.

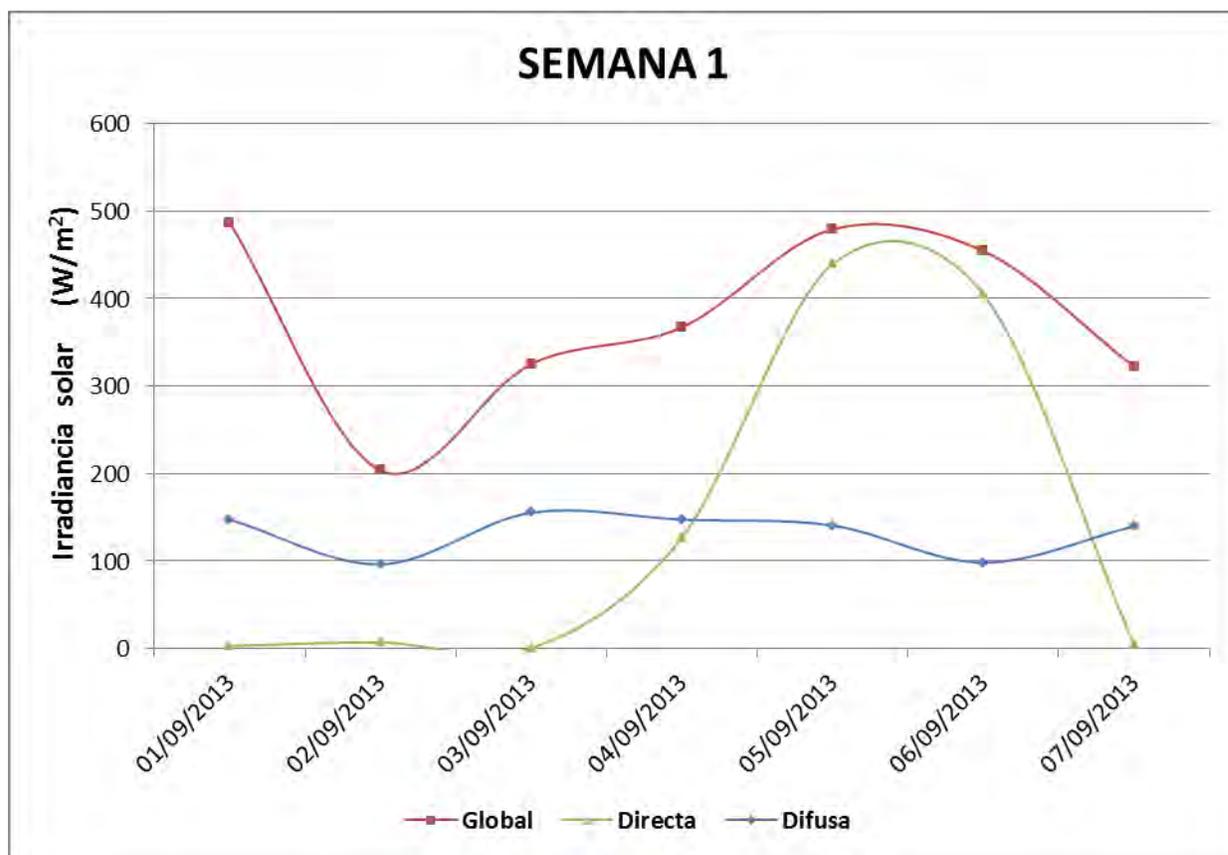
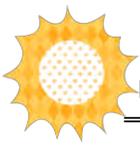


Figura 35. Graficas de Irradiancia Solar de la semana 1 de estudio.



La irradiancia solar de la semana 1 de estudio no es uniforme, al principio de la semana se tiene una irradiancia global promedio por debajo de  $500 \text{ W/m}^2$ ; en la primera mitad de la semana hubo una drástica disminución de irradiancia solar global debido a la gran nubosidad y precipitación pluvial en estos días, en cuanto a la segunda mitad de la semana se puede ver un incremento de irradiancia solar hasta llegar de nuevo a un promedio cercano a los  $500 \text{ W/m}^2$ .

#### 4.3.2 Análisis de datos registrados de la semana 2

Con los datos registrados del 8 al 14 de septiembre del 2013, se elaboraron las gráficas de la irradiancia solar global, directa y difusa para la semana 2. Esto se puede ver en la Figura 36.

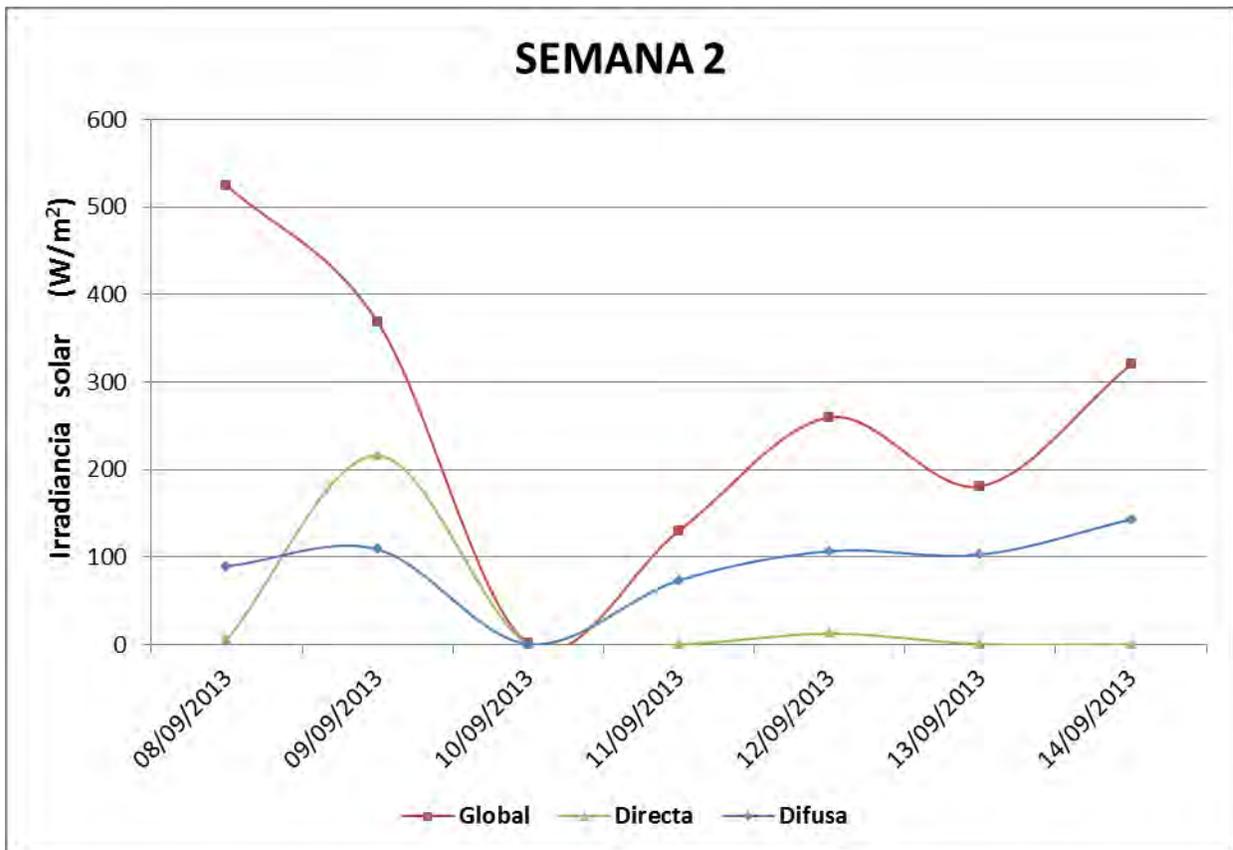
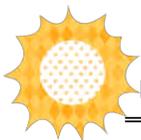


Figura 36. Gráficas de Irradiancia Solar de la semana 2 de estudio.

La irradiancia solar global de la segunda semana de estudio no presenta un patrón uniforme, al principio de la semana la irradiancia solar supero los  $500 \text{ W/m}^2$ , sin embargo en días posteriores hubo un decrecimiento de esta con una pendiente pronunciada debido al gran cantidad de precipitación que se presentó a la mitad de la semana cayendo la radiación solar global hasta un valor de  $1.2 \text{ W/m}^2$ ; elevándose este valor en los días posteriores hasta llegar a tener un promedio superior a los  $300 \text{ W/m}^2$  al final de la semana.



### 4.3.3 Análisis de datos registrados de la semana 3

Con los datos registrados del 15 al 21 de septiembre del 2013, se elaboraron las gráficas de la irradiancia solar global, directa y difusa para la semana 3. Esto se puede ver en la Figura 37.

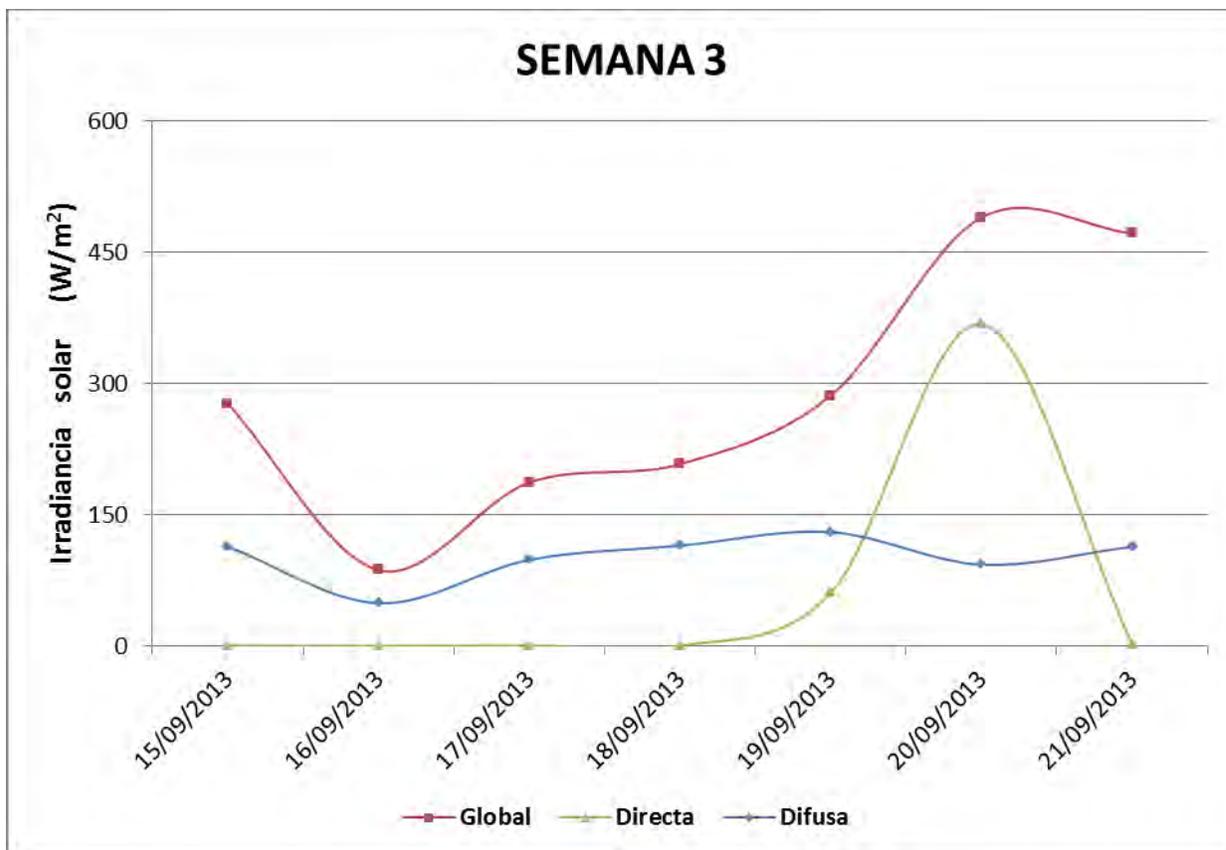
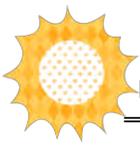


Figura 37. Gráficas de Irradiancia Solar de la semana 3 de estudio.

La irradiancia solar global de la tercera semana de estudio no presenta un patrón uniforme, al principio de la semana la irradiancia solar está por debajo de los  $300 \text{ W/m}^2$ , sin embargo en el día posterior hubo un decrecimiento de irradiancia solar global con una pendiente pronunciada debido al gran cantidad de precipitación que se presentó a la mitad de la semana cayendo la irradiancia solar global hasta un valor por debajo  $100 \text{ W/m}^2$ ; elevándose este valor en los días posteriores hasta llegar a tener un promedio cercano a los  $500 \text{ W/m}^2$  al final de la semana.



#### 4.3.4 Análisis de datos registrados de la semana 4

Con los datos registrados del 22 al 28 de septiembre del 2013, se elaboraron las gráficas de la irradiancia solar global, directa y difusa para la semana 4. Esto se puede ver en la Figura 38.

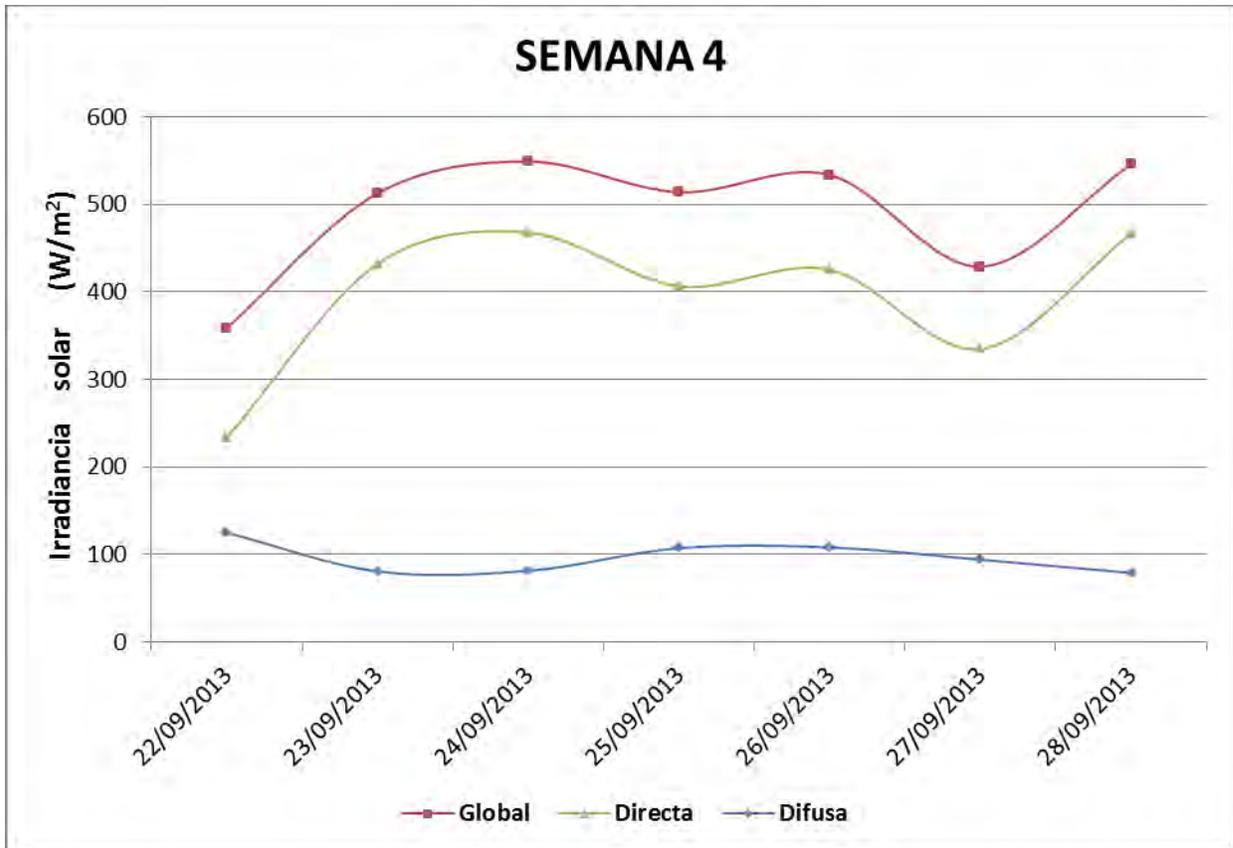
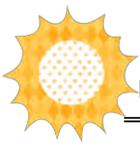


Figura 38. Graficas de Irradiancia Solar de la semana 4 de estudio.

La radiación solar global de la cuarta semana de estudio presenta no presenta un patrón uniforme, al principio de la semana la radiación solar está por arriba de los 350 W/m<sup>2</sup>, y esta se incrementa en días posteriores superando los 500 W/m<sup>2</sup> solo decreciendo la radiación en el penúltimo día debido a gran acumulación de nubosidad durante ese día, volviendo a incrementar en el último día.

#### 4.3.5 Análisis de datos registrados de la semana 5



Con los datos registrados del 29 de septiembre al 5 de octubre del 2013, se elaboraron las gráficas de la irradiancia solar global, directa y difusa para la semana 5. Esto se puede ver en la Figura 39.

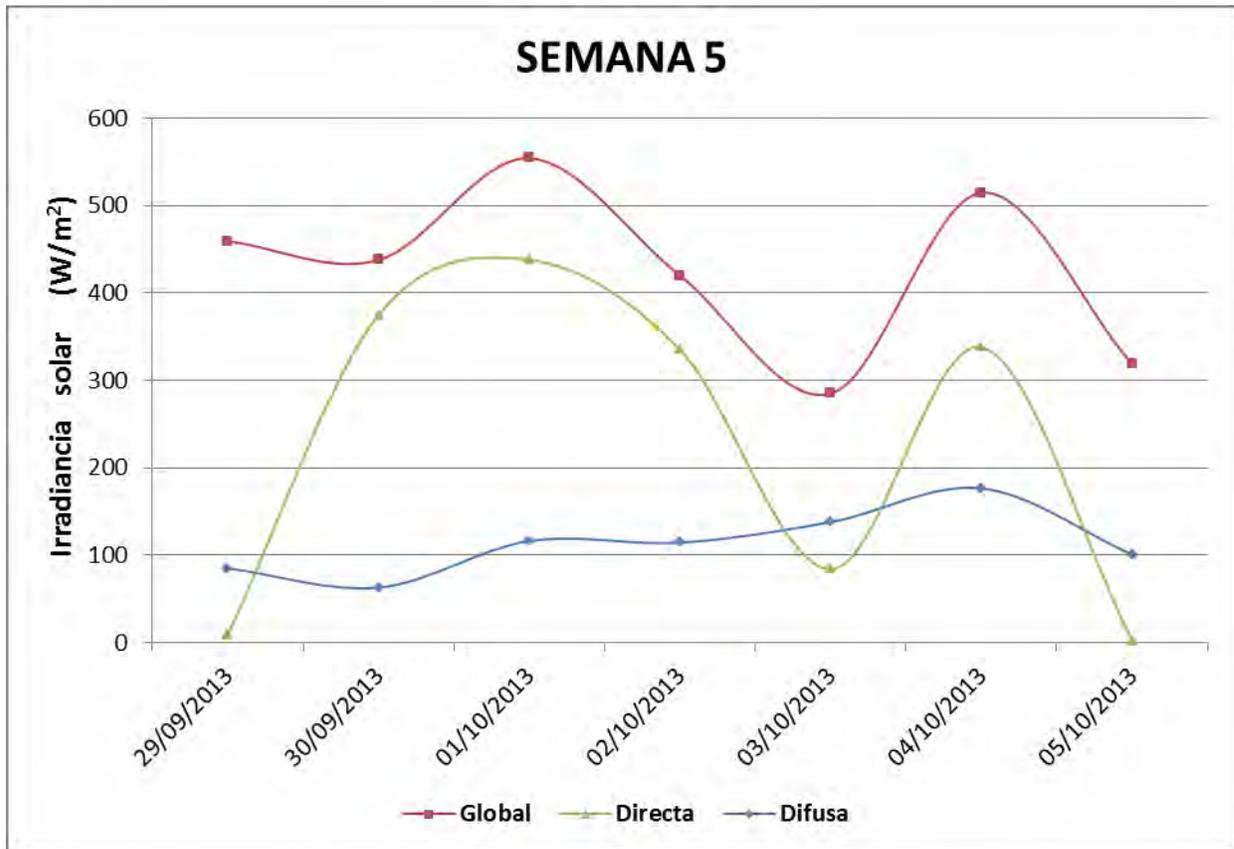
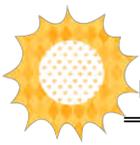


Figura 39. Graficas de Irradiancia Solar de la semana 5 de estudio.

La radiación solar global en la quinta semana de estudio presenta una mayor fluctuación que las semanas anterior ya que al principio de la semana la radiación se encuentra arriba de los 450 W/m<sup>2</sup> teniendo la radiación un decrecimiento en el segundo día pero también tuvo un aumento la radiación solar global en el tercer día; durante la segunda mitad de la semana se presentó una gran cantidad de precipitación lo que se marcó en una reducción de la radiación solar medida durante los días cuarto y quinta, lográndose despejar el cielo en el sexto, mas volviendo las precipitación en el último día de la semana.



### 4.3. 6 Análisis de datos registrados de la semana 6

Con los datos registrados del 6 al 12 de Octubre del 2013, se elaboraron las gráficas de la irradiancia solar global, directa y difusa para la semana 6. Esto se puede ver en la Figura 40.

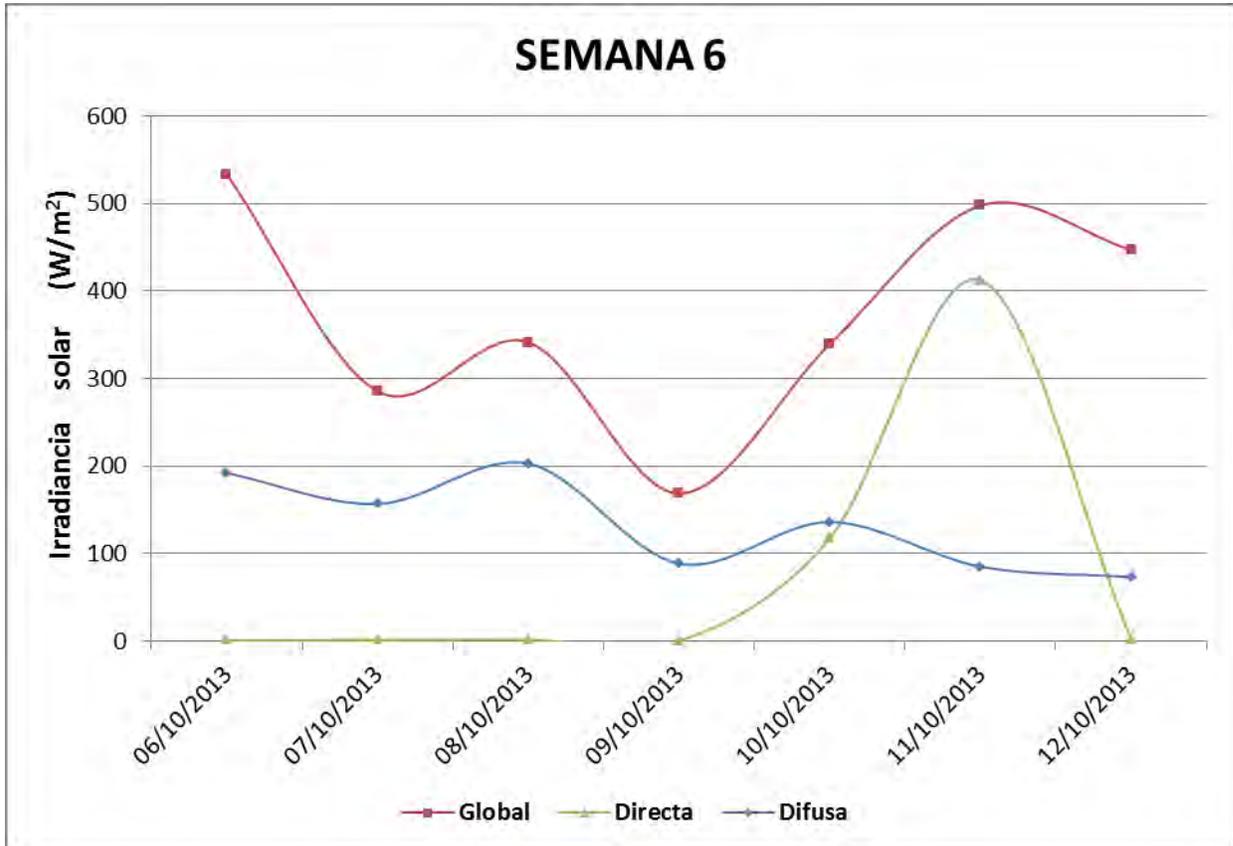
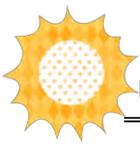


Figura 40. Graficas de Irradiancia Solar de la semana 6 de estudio.

La radiación solar global en la sexta semana de estudio presenta una fluctuación, al principio de la semana la radiación se encuentra arriba de los  $500 \text{ W/m}^2$  teniendo la radiación un decrecimiento en el segundo día pero también tuvo un aumento la radiación solar global en el tercer día; durante la segunda mitad de la semana se presentó una gran cantidad de precipitación lo que se marcó en una reducción de la radiación solar medida durante el cuarto día, lográndose despejar el cielo en el quinto y sexto día, con nubes en el último día de la semana.



### 4.3. 7 Análisis de datos registrados de la semana 7

Con los datos registrados del 13 al 19 de Octubre del 2013, se elaboraron las gráficas de la irradiancia solar global, directa y difusa para la semana 7. Esto se puede ver en la Figura 41.

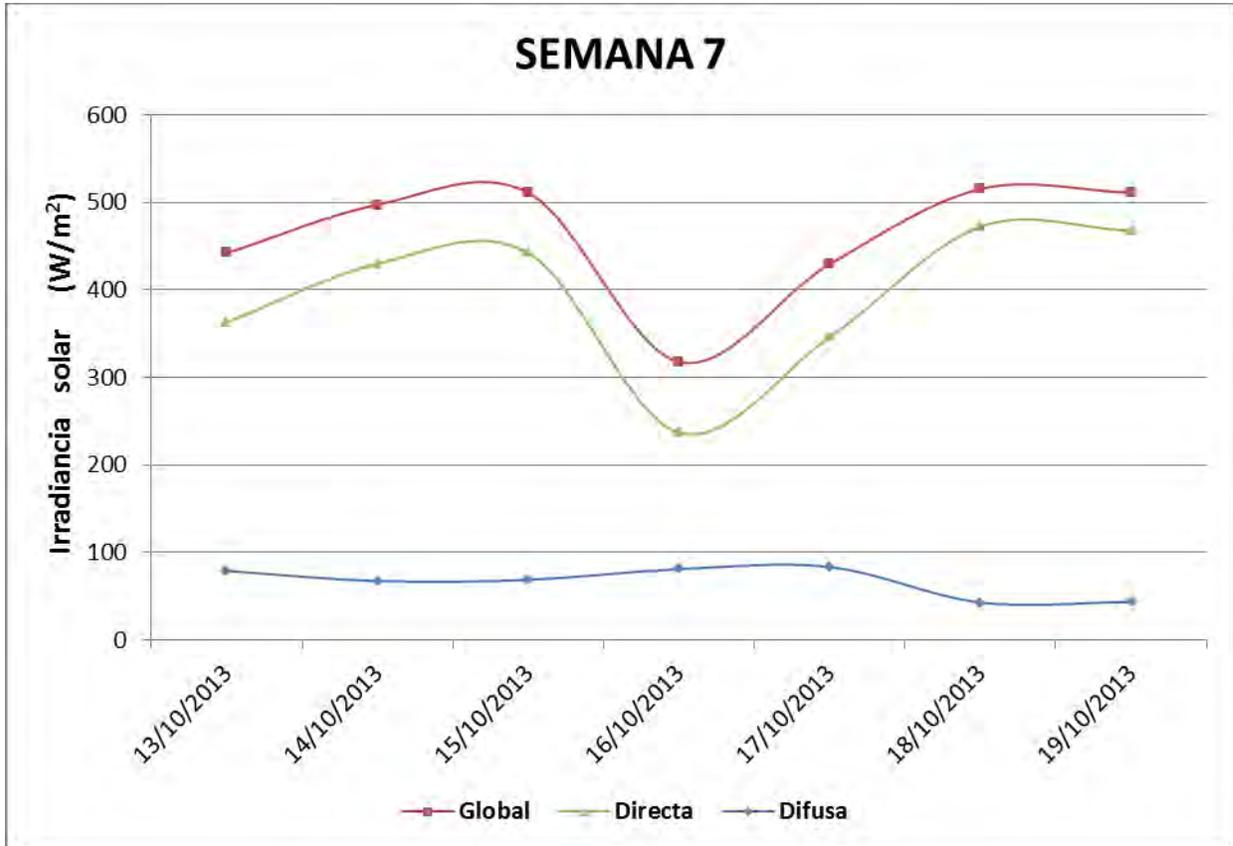
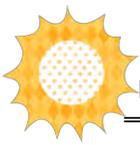


Figura 41. Graficas de Irradiancia Solar de la semana 7 de estudio.

La radiación solar global en la séptima semana de estudio de presento un incremento de radiación solar global superior a  $400 \text{ W/m}^2$  en el principio de la semana e incrementándose con el paso de esta hasta que a la mitad de esta se presenta un decrecimiento debido a precipitaciones, una vez pasadas las precipitaciones del cuarto día la radiación solar comenzó a incrementarse hasta llegar a tener un punto máximo superando los  $500 \text{ W/m}^2$ .



### 4.3. 8 Análisis de datos registrados de la semana 8

Con los datos registrados del 20 al 26 de Octubre del 2013, se elaboraron las gráficas de la irradiancia solar global, directa y difusa para la semana 8. Esto se puede ver en la Figura 42.

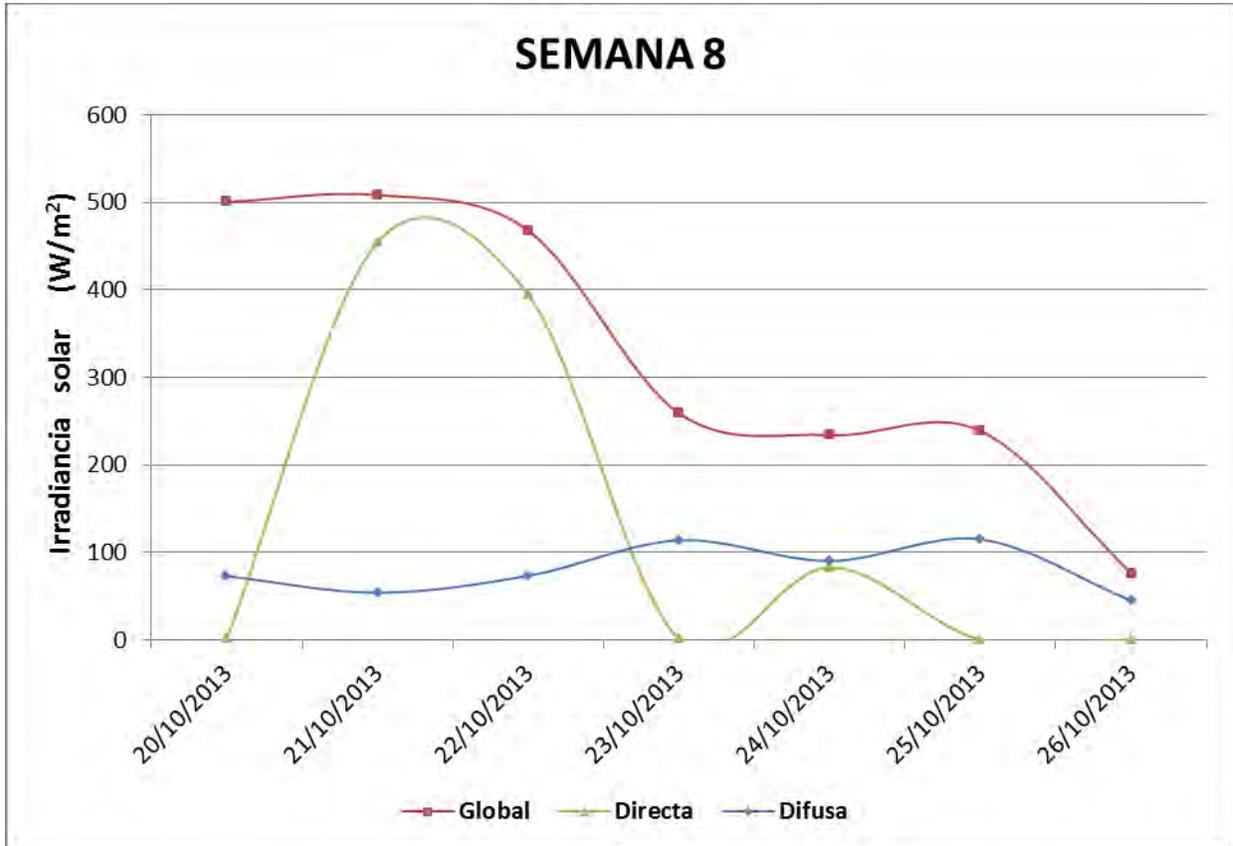
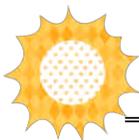


Figura 42. Graficas de Irradiancia Solar de la semana 8 de estudio.

La octava semana de análisis de radiación solar global como se puede ver en la figura 37 muestra un decrecimiento comenzando la semana con un promedio de radiación solar global por encima de los  $500 \text{ W/m}^2$  manteniendo esta radiación en el segundo día de la semana pero en los días siguientes se presentó gran cantidad de precipitación lo que provocó una caída de la radiación solar global de un promedio  $500 \text{ W/m}^2$  a uno de promedio menor de  $250 \text{ W/m}^2$  cayendo este en el séptimo día de la semana un promedio de  $80 \text{ W/m}^2$ .



### 4.3. 9 Análisis de datos registrados de la semana 9

Con los datos registrados del 27 de Octubre al 2 de Noviembre del 2013, se elaboraron las gráficas de la irradiancia solar global, directa y difusa para la semana 9. Esto se puede ver en la Figura 43.

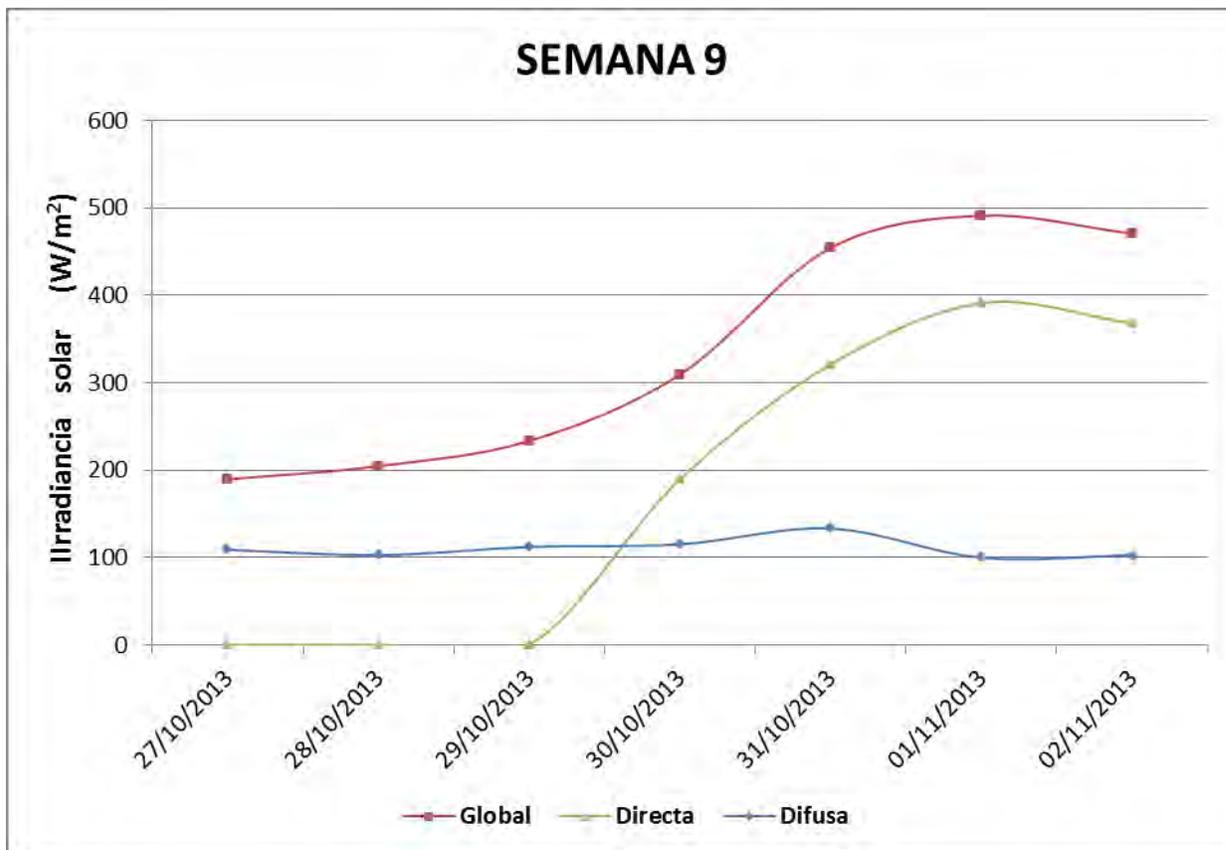
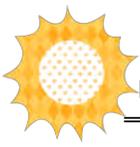


Figura 43. Graficas de Irradiancia Solar de la semana 9 de estudio.

La novena semana de estudio de la radiación solar global comenzó con precipitaciones que marcaron un promedio de  $200 \text{ W/m}^2$  en los primeros dos días de la semana y a partir de tercer día cesaron las precipitaciones lo que se registró en un incremento de la radiación solar global gradual con el paso de la semana llegando a promedios superiores los  $480 \text{ W/m}^2$  a partir del quinto día y  $490 \text{ W/m}^2$  en el sexto día teniendo un ligero decremento en el séptimo día que se registró  $480 \text{ W/m}^2$ .



### 4.3. 10 Análisis de datos registrados de la semana 10

Con los datos registrados del 3 al 9 de Noviembre del 2013, se elaboraron las gráficas de la irradiancia solar global, directa y difusa para la semana 10. Esto se puede ver en la Figura 44.

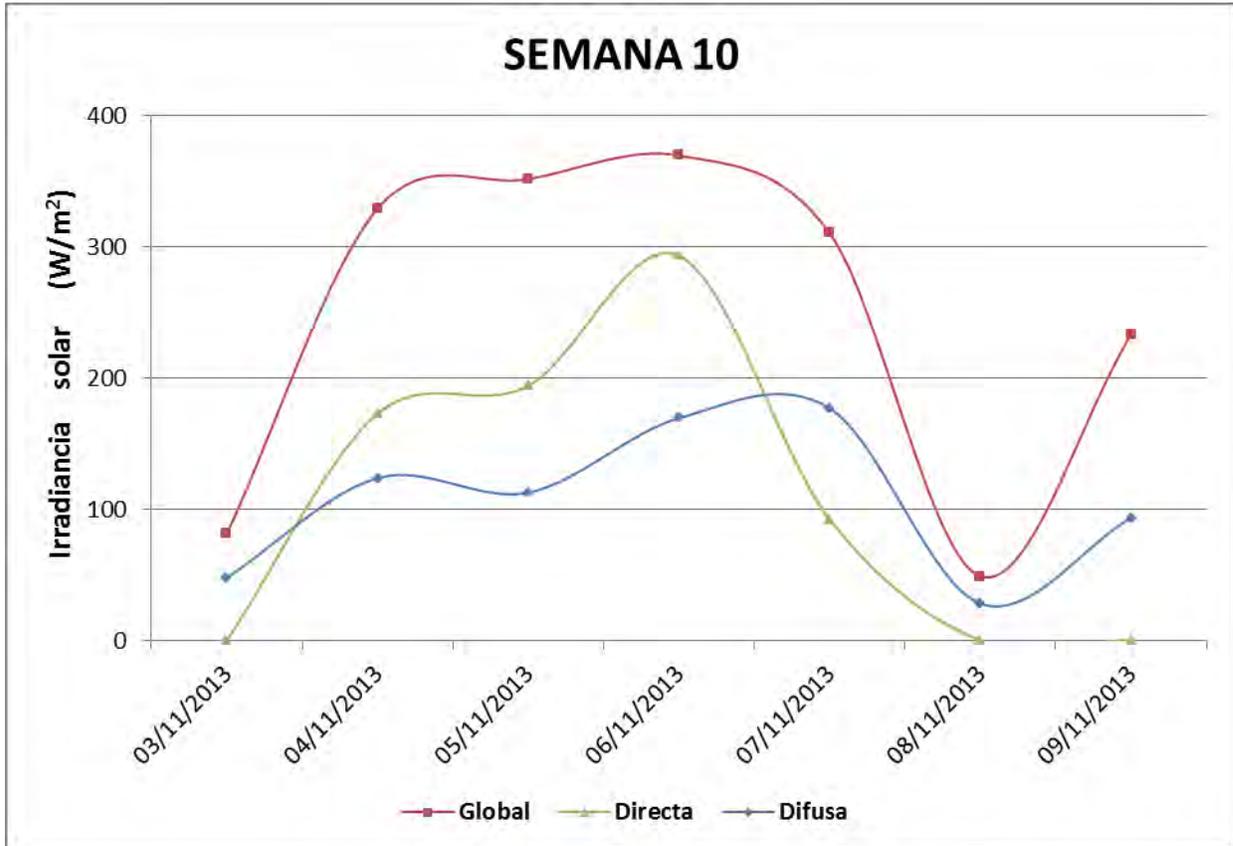
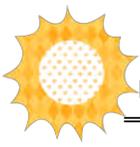


Figura 44. Graficas de Irradiancia Solar de la semana 10 de estudio.

La décima semana de estudio presenta un comportamiento no homogéneo debido a la presencia de precipitaciones al principio de la semana, teniendo esta un promedio de radiación solar global de  $90 \text{ W/m}^2$  en su primer día y teniendo un incremento significativo en el segundo día en el cual se registró un promedio  $330 \text{ W/m}^2$  continuando el aumento hasta alcanzar un promedio  $370 \text{ W/m}^2$  a la mitad de la semana a partir del cual se tuvo un decremento de pendiente pronunciada llegándose a registrar un promedio de radiación solar global de  $50 \text{ W/m}^2$  en el sexto día y terminando la semana con una radiación solar global de  $230 \text{ W/m}^2$ .



### 4.3. 11 Análisis de datos registrados de la semana 11

Con los datos registrados del 10 al 16 de Noviembre del 2013, se elaboraron las gráficas de la irradiancia solar global, directa y difusa para la semana 11. Esto se puede ver en la Figura 45.

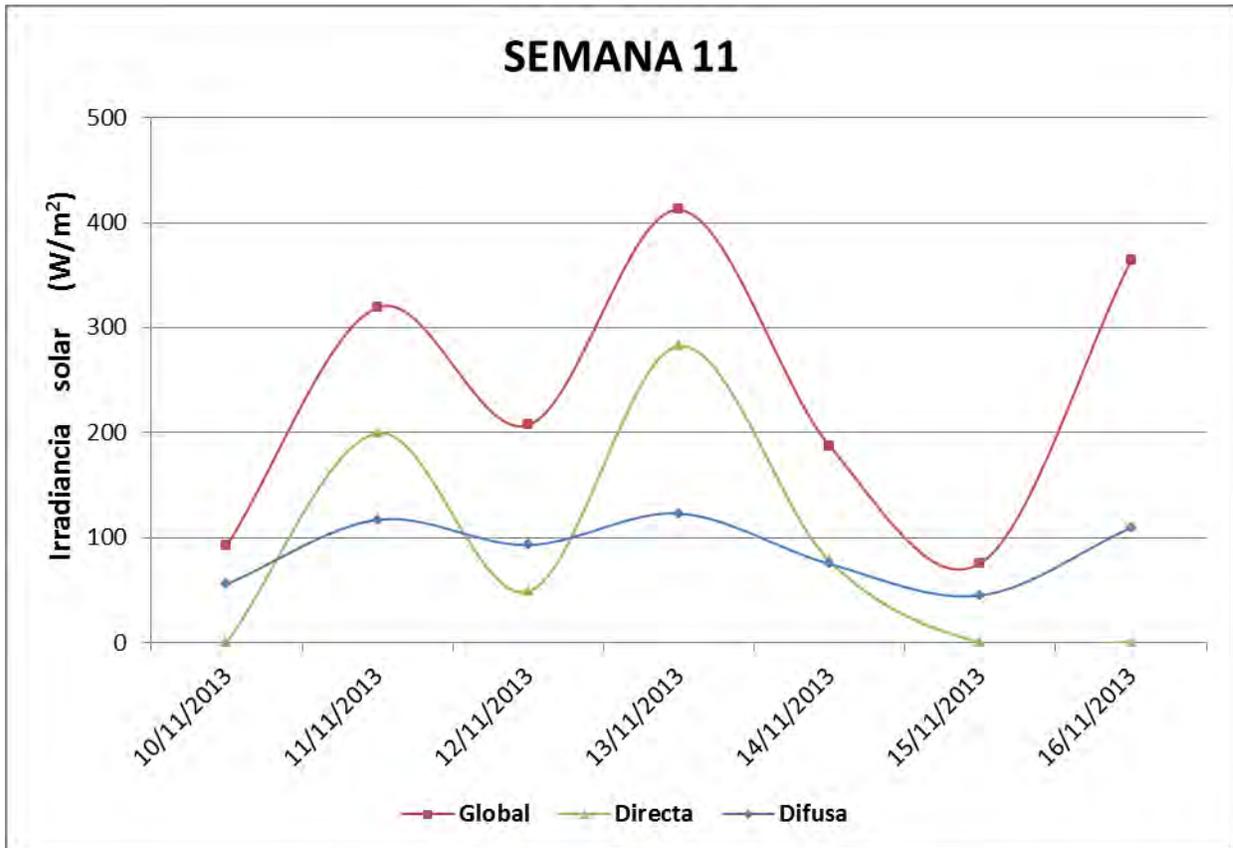
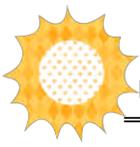


Figura 45. Gráficas de Irradiancia Solar de la semana 11 de estudio.

La décima primera semana presenta un bajo promedio de radiación solar global debido a la presencia de precipitaciones por lo que registra  $90 \text{ W/m}^2$  presentando un aumento en la radiación solar global el segundo día pero conforme avanzan los días de la semana se ve que la radiación comienza a fluctuar debido a que las precipitaciones son esporádicas en cada día; teniendo una gran caída de la radiación solar global en el quinto y sexto día pero logrando tener  $380 \text{ W/m}^2$  de promedio solar global en el séptimo día.



#### 4.3. 12 Análisis de datos registrados de la semana 12

Con los datos registrados del 17 al 23 de Noviembre del 2013, se elaboraron las gráficas de la irradiancia solar global, directa y difusa para la semana 12. Esto se puede ver en la Figura 46.

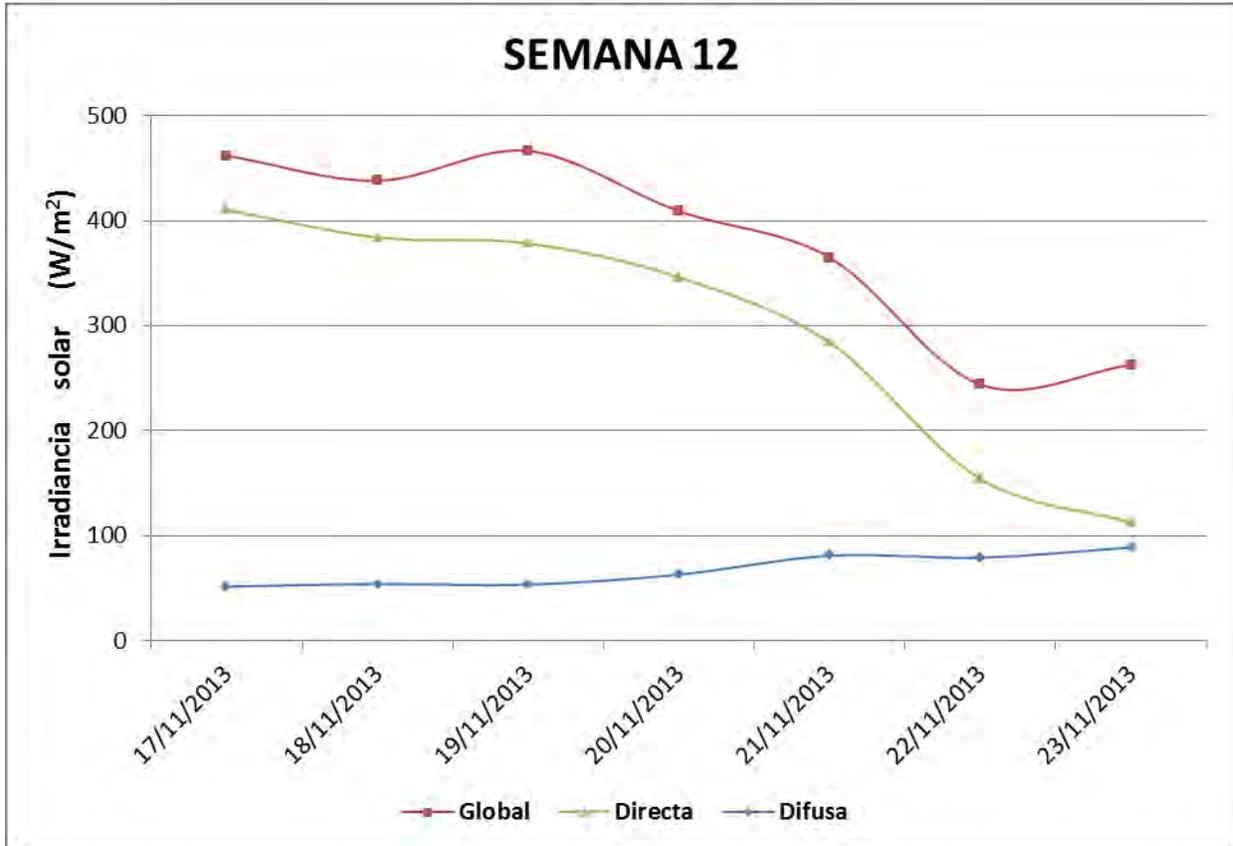
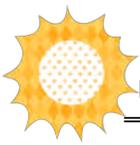


Figura 46. Graficas de Irradiancia Solar de la semana 12 de estudio.

La décima segunda semana de estudio de la radiación solar global presento un excepcional nivel de radiación solar global registrando promedios diarios por arriba de los  $450 \text{ W/m}^2$  en los primera mitad de la semana y posterior a estos e tuvo un decremento en la radiación solar global debido a precipitaciones en la siguiente mitad de la semana lo que se puede apreciar (Figura 41) teniendo promedios muy cercanos a los  $250 \text{ W/m}^2$  en estos últimos días de la semana.



### 4.3. 13 Análisis de datos registrados de la semana 13

Con los datos registrados del 24 al 30 de Noviembre del 2013, se elaboraron las gráficas de la irradiancia solar global, directa y difusa para la semana 13. Esto se puede ver en la Figura 47.

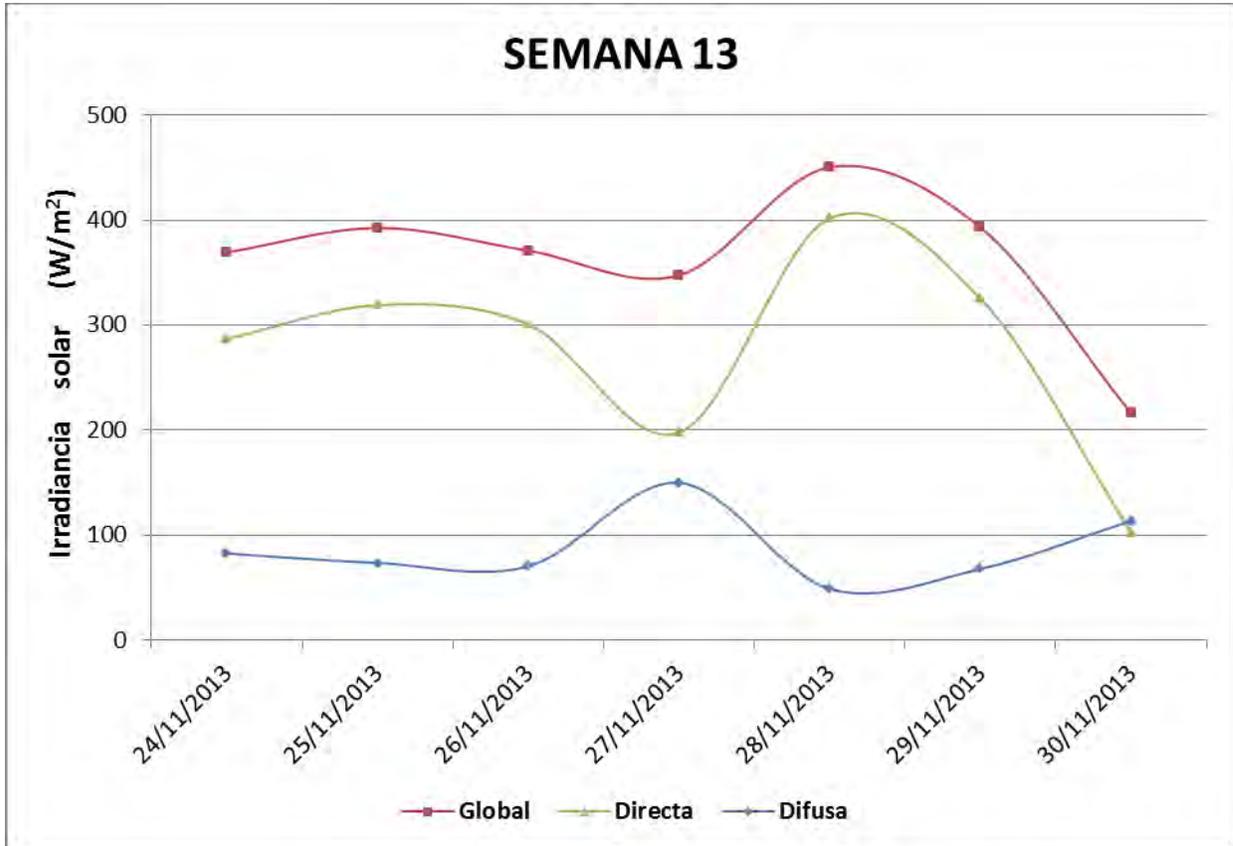
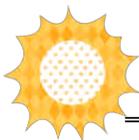


Figura 47. Graficas de Irradiancia Solar de la semana 13 de estudio.

En la décima tercera y última semana del estudio de la radiación solar global, comenzó con una radiación solar global superior a los 350 W/m<sup>2</sup> en la primera mitad de la semana y logrando un registrar 450 W/m<sup>2</sup> ; en dos últimos dos días de la semana se presentaron precipitaciones esporádicas que se reflejaron en un decrecimiento de la radiación solar global llegando a los 210 W/m<sup>2</sup> el final de la semana.



# CAPÍTULO V

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo final se presentan las conclusiones de esta tesis y se describen de qué forma se cumplieron los objetivos planteados al inicio. Finalmente se dan algunas recomendaciones relacionadas al mantenimiento de la estación solarimétrica.

### **5.1 Conclusiones**

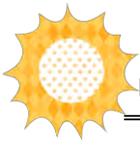
Se puede concluir que se cumplió satisfactoriamente con el principal objetivo de esta tesis, que fue el montaje de la estación solarimétrica de la Universidad de Quintana Roo, la cual actualmente se encuentra en operación, por lo que se espera a corto plazo, contar con las bases de datos con la información solarimétrica de la Ciudad de Chetumal, lo cual servirán como base para el diseño e implementación de proyectos relacionados con el uso de la energía solar.

El periodo de obtención de datos de la estación solarimétrica fue diario durante tres meses, en los cuales se obtuvo información del comportamiento del recurso solar del sitio monitoreado.

Asimismo se puede comentar que la Universidad de Quintana Roo estaría en condiciones de integrarse a la red nacional de Universidades y centros de investigación que cuentan con estaciones solarimétricas.

Adicionalmente se requirió de mucha investigación acerca del tema de la solarimetría, ya que no existe mucha información ni en libros o medios científicos donde se planteen metodologías para este tipo de sistemas, por lo cual puedo decir que este documento se encuentra rico en información en el área de solarimetría, lo que servirá de referencia para los estudiantes de la carrera de ingeniería en sistemas de energía.

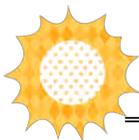
### **5.2 Recomendaciones**



Para asegurar la calidad de los datos obtenidos es necesario contar con un programa de mantenimiento de la Estación Solarimétrica. Por lo que se deben realizar las siguientes acciones:

- Para que los piranómetros operen correctamente, es necesario realizar la limpieza de los domos de cuarzo. Esta limpieza debe realizarse diariamente usando agua limpia (de preferencia agua destilada) procediendo a secar con un lienzo de tela suave que no deje pelusa. También es necesario cambiar regularmente (cada seis meses aproximadamente) el desecador del interior del cuerpo del aparato cuando este se satura adquiriendo un color rosa muy claro.
- Se debe limpiar el modulo fotovoltaico que alimenta la batería del sistema de adquisición de datos cada 15 días, con el fin de asegurar que este en condiciones óptimas de operación.
- Realizar el ajuste de la banda sombreadora cada semana.
- Verificar periódicamente el nivel de los piranómetros.
- Procurar el mantenimiento general una vez al año.
- Calibrar anualmente al menos un piranómetro. Esta calibración se deberá realizar en el Observatorio de Radiación Solar del Instituto de Geofísica de la UNAM que es el Centro Regional de Radiación AR-IV, de la Organización Meteorológica Mundial.

## Referencias



Manrique José A. 1984. *Energía Solar, fundamentos y aplicaciones fototérmicas*. Primera Edición. Harla, México; D.F.

Duffie John A. and Beckman William A. 1991. *Solar Engineering of Thermal Processes*. Second Edition. Wiley Interscience, United States of America.

Goswami Yogi D, Frank Wreith and Jan F. Kreider. 1999. *Principles of Solar Engineering*. Second Edition. Taylor & Francis, Philadelphia.

M. Ibañez Plana, J. R. Rosell Polo y J. I. Rosell Urrutia. 2005. *Tecnología Solar*. Primera Edición. Mundiprensa, Madrid; Barcelona.

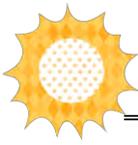
Jan F. Kreider, Charles J. Hoogendoorn and Frank Kreith. 1989. *Solar Design Components, Systems and Economics*. First Edition. Hemisphere Publishing Corporation, United States of America.

Richard H. Motgomery. 1986. *Energía Solar, selección de equipo, instalación y aprovechamiento* Primera Edición. Editorial: Limusa, Grupo Noriega Editores. México, D.F.

Aden B. Meinel y Marjorie P. Meinel. 1982. *Aplicaciones de la Energía Solar*. Primera Edición. Reverte, S. A. España.

Renné, D. S., Perez, R., Zelenka, A., Whitlock, C. 1999. *Use of weather and climate research satellites for estimating solar resources*. In Y. D. Goswami, K. W. Böer, *Advances in Solar Energy*, Vol. 13. American Solar Energy Society, Boulder, Colorado (ISBN 0-89553-256-5). Chapter 5, pp. 171-239.

Claudio A., Camilo A., Rubén Dorantes, Jorge Islas y Agustín Muhlia, Mayo 2005, "Visión a Largo Plazo Sobre la Utilización de las Energías Renovables en México"; *Energía Solar*. Primera Parte: Evaluación del Recurso Solar en México. Archivo PDF. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y el Centro de Investigación de Energía (CIE).



Rafael Almanza, Oscar Callejas, Genaro Correa, Vicente Flores, Gustavo Jiménez, Alvaro Lentz, Ivan Martinez, Marcos Mazari y Gerardo Silvia, Octubre 2003, *Serie de Investigación y Desarrollo: Ingeniería de la Energía Solar II*. Instituto de Ingeniería UNAM

Gustavo Ayala. 11 de Noviembre de 2004. “*Estudian condiciones meteorológicas del D.F.*” La Gaceta, Número 3, 762. Dirección electrónica: <http://www.unam.mx/gaceta>

Laura Romero. 19 de enero de 2006. “*Debe promoverse la radiación solar como fuente de energía limpia*”. La Gaceta, Número 3, 866. Dirección electrónica: <http://www.unam.mx/gaceta>

### Referencias WEB

Textos científicos, 2005, *Energía Solar*, Disponible en:

<http://www.textoscientificos.com/energia/solar>

Calvin J. Hamilton 1997-2000, *El Sol*, Disponible en:

<http://www.solarviews.com/span/sun.htm>

Diego Guzmán, 2004, *Energía Solar*, Disponible en:

<http://www.galeon.com/energiasolar/>

Microsoft Corporation, 1993-2006, *Energía Solar*, Disponible en:

<http://mx.encarta.msn.com/>

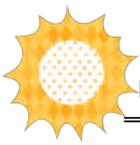
Departamento de Electrónica e Informática (DEI), 2006, *Solarimetría*, Disponible en:

<http://dei.uca.edu.sv/dei/html/proyectos/aulasc/aulasc-fase2-cap1-1.html>

Solartronic, 2003, *Energía Renovable*, Disponible en:

[http://www.solartronic.com/Energia\\_Solar/Radiacion\\_Solar/Meteororm/](http://www.solartronic.com/Energia_Solar/Radiacion_Solar/Meteororm/)

## ANEXOS



## Anexo A : Manejo de Software Short Cut y PC200W

Para la asignación, interpretación y extracción de los datos requeridos se utilizaron dos software:

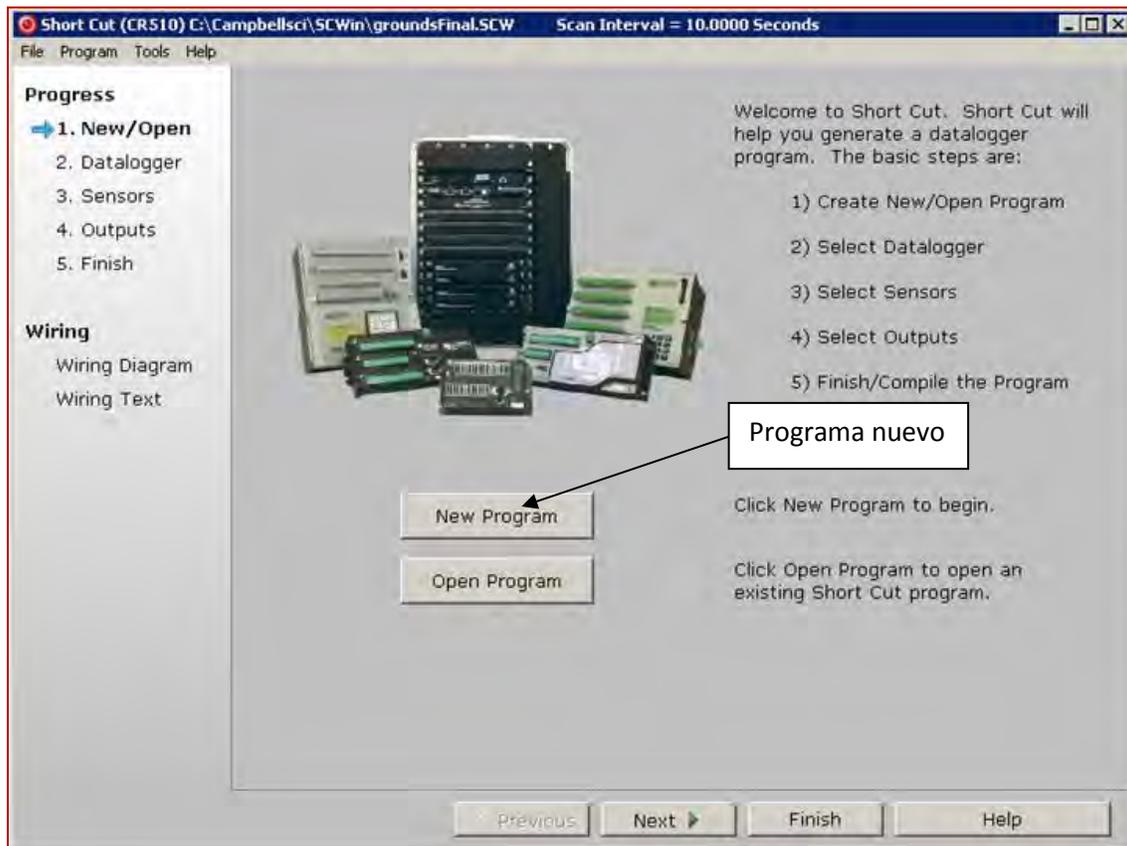
- \*Short Cut.
- PC200W.

El software “Short Cut” se utiliza para la creación del programa que permite dar de alta en el Datalogger los equipos y variables que se monitorearán y el intervalo de tiempo en que esto se hará. El software “PC200W” permite la comunicación con el Datalogger y a través de él se puede programar el Datalogger y bajar los datos colectados.

### El uso del software “Short Cut”

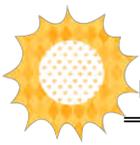
Para crear un nuevo programa se debe hacer lo siguiente:

- a. Instale el software “Short Cut” y ábralo.
- b. Presionar la opción de “ New Program” como se muestra en la Figura 1.

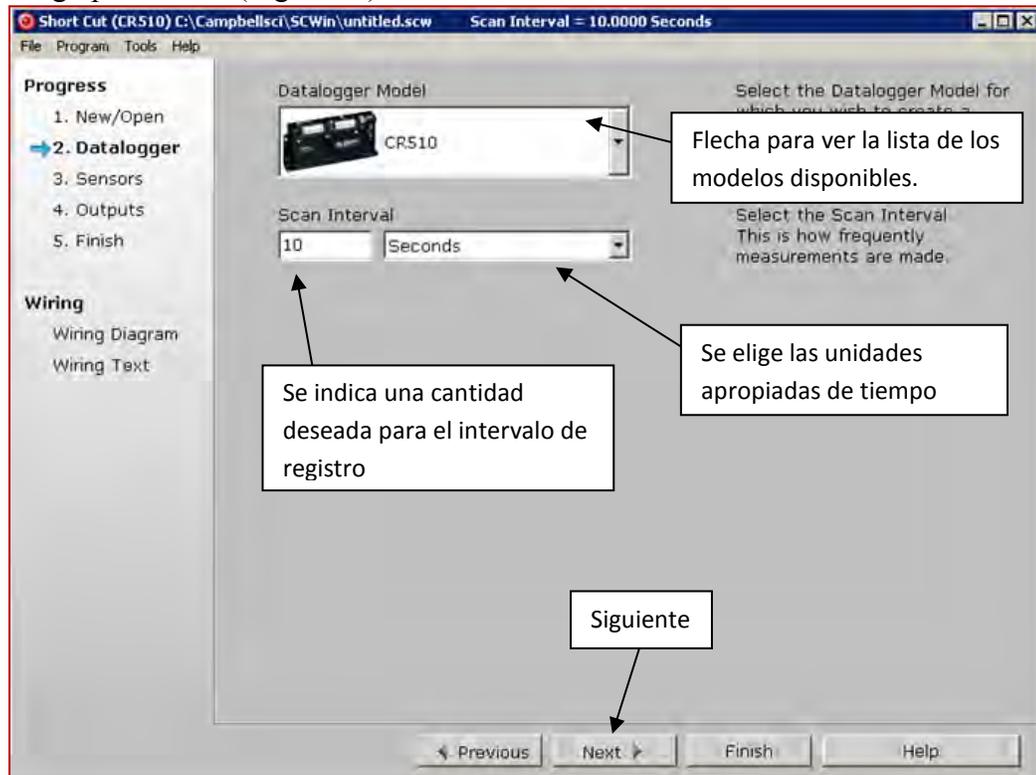


*Figura 1: Pantalla de inicio en Short Cut*

- c. Seleccione en el cuadro de lista, “Datalogger Model”, el modelo del Datalogger para el que desea crear un programa (presione la flecha a la derecha del Datalogger del cuadro de lista para ver todos los Datalogger disponibles), como se muestra en la Figura 28.



- d. Introduzca el intervalo de tiempo para cada medición correspondiente en el cuadro de lista “Scan Interval” y seleccione las unidades, como se muestra en la Figura 2, luego pulse Next (Siguiete).



**Figura 2:** Pantalla para seleccionar modelo de Datalogger y el intervalo para hacer cada medición.

- e. En este paso, se tiene acceso a nuevos cuadros de lista (“Available Sensors and Devices” y “ Selected”) donde puedes elegir los sensores y otros dispositivos. En “Available Sensors and Devices”, parte izquierda de la hoja, se encuentra los sensores y dispositivos disponibles y en la parte derecha (Selected) aparecen los sensores que se hayan seleccionados. De la lista de sensores y dispositivos de “Available Sensores and Devices” se seleccionan los sensores a usar. Para el caso especial de la Estación Solarimétrica de la UQROO, seleccione de la carpeta “Generic Measurements” la opción “Single Ended Voltage”, esto debido a que los equipos con los que se cuenta no son de la misma marca que el Datalogger, por lo que no se encuentra en la lista antes mencionada y solo se especificaran como entradas de voltaje, esto se puede ver en la Figura 3.

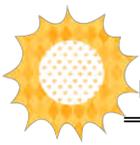


Figura 3: pantalla para seleccionar los tipos de sensores en el sistema.

- f. Se selecciona "Single Ended Voltage" y dele doble clic, para que aparezca la pantalla correspondiente a la Figura 30.

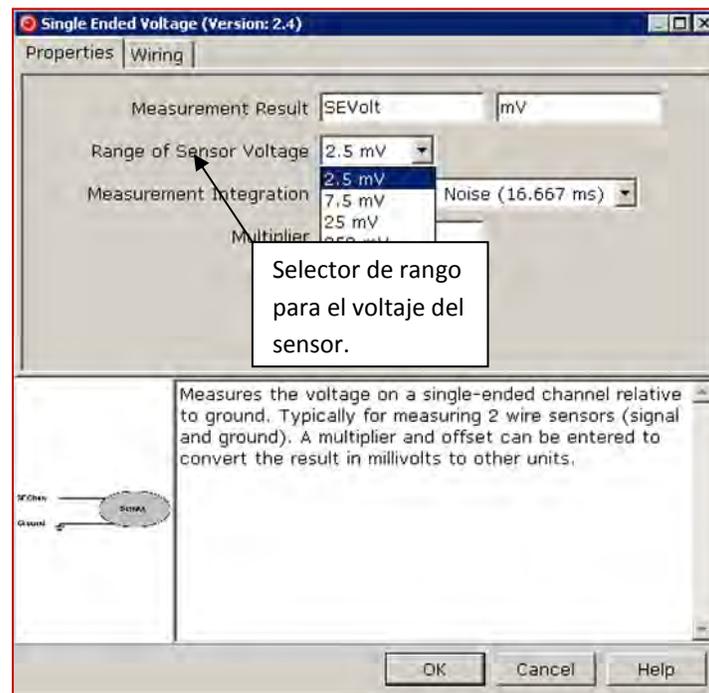
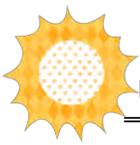
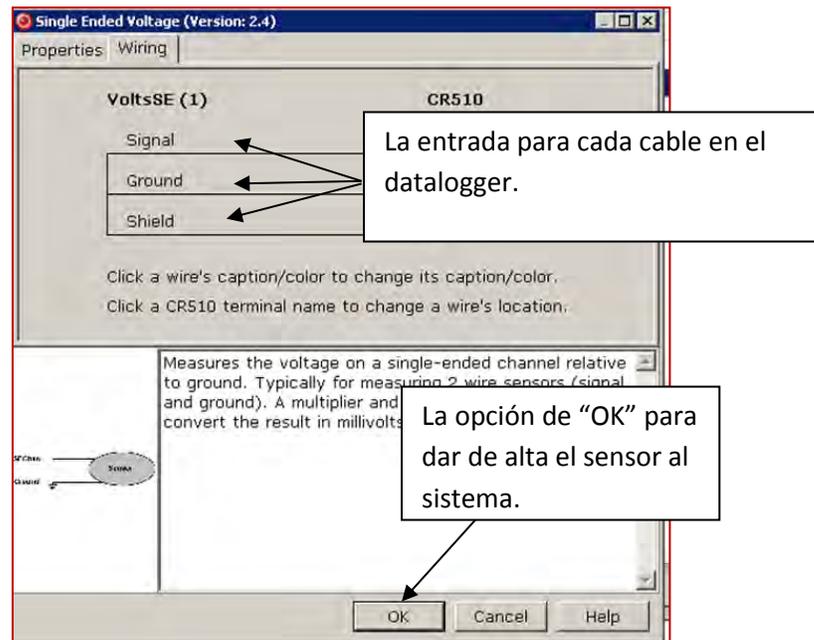


Figura 4: pantalla del sensor elegido y opciones para hacer ajustes.



La pantalla de la Figura 4 nos permite especificar el rango de voltaje (Range of Sensor Voltage), el integrador de medición (Measurement Integration) y el multiplicador (Multiplier) de cada sensor. En el caso de la estación Solarimétrica se elige un rango de 25 mV para evitar algún error de parámetro, un integrador de medición de 60 Hz y un multiplicador de 1. En la sección de “Wiring” en la misma pantalla se puede ver la conexión del dispositivo en el Datalogger, (Figura 5).



*Figura 5: pantalla para ver la forma adecuada de conexión del sensor.*

- g. Para finalizar la elección del sensor se pulsa “OK”, Figura 31. Esto asigna el sensor al sistema. Este proceso se repite según la cantidad de sensores a conectar. En el caso de la estación solarimétrica de la UQROO se realizó tres veces, debido a que la estación tiene tres sensores.
- h. Una vez dado de alta cada sensor pulsar “Next”.
- i. En la pantalla, que aparece después de pulsar “Next”, se muestran dos tablas “Selected Sensors” y “Selected Outputs”. De la lista de “Selected Sensors” se muestran todos los sensores dados de alta en la estación. De la tabla “Selected Outputs” se asignan las salidas de datos para cada sensor. Es decir, en esta pantalla se asignan los intervalos de cada medición, los parámetros que se guardarán y tiempos de captura de las mediciones, esto es para cada sensor previamente asignado (Figura 6).

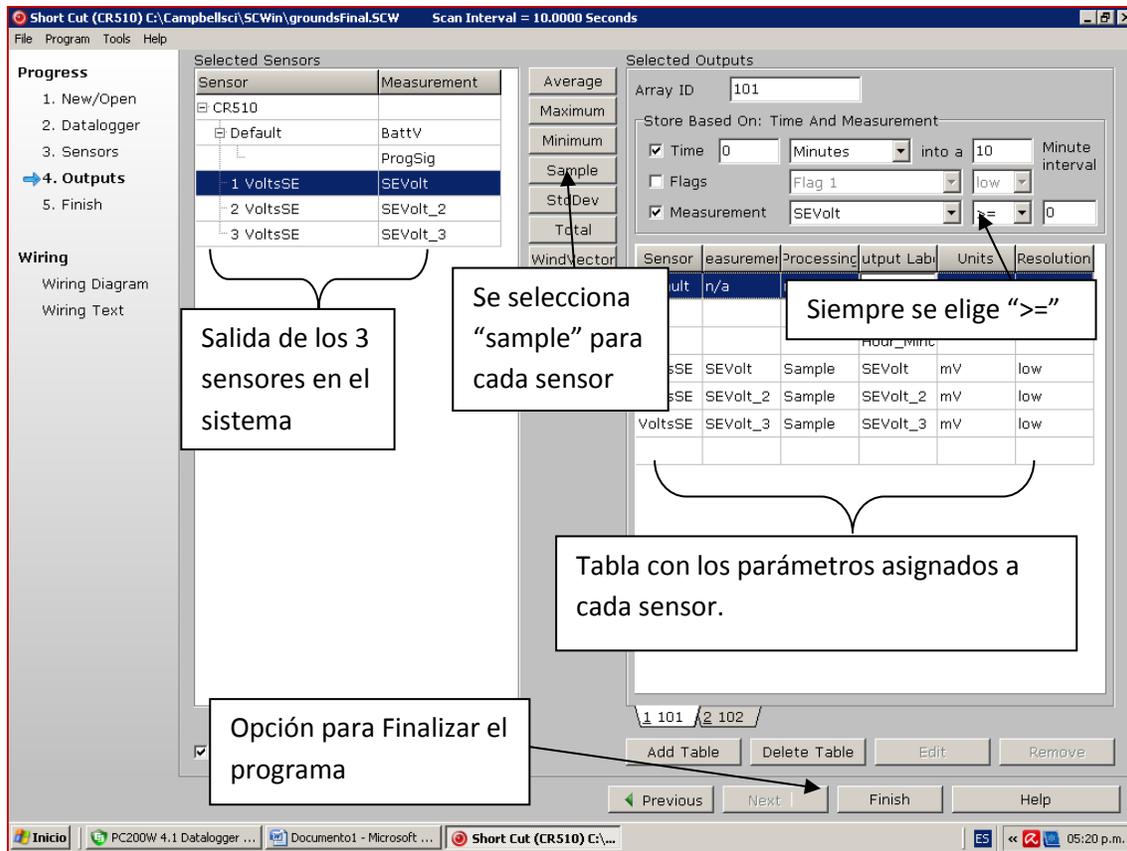
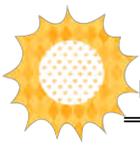


Figura 6: Pantalla para seleccionar los parámetros que se guardaran.

- j. Seleccione un sensor de la tabla "Selected Sensors" y se presione "sample", se verá que este se añade en la tabla de la derecha (Selected Outputs). Esto se hará para todo los sensores (Figura 6).
- k. Se toma en cuenta que solo datos de valores positivos son requeridos para almacenamiento en el Datalogger. Por lo tanto en las opciones ubicadas a la tabla "Selected Sensors" se selecciona "Measurement" y del menú desplegable se selecciona el sensor, posteriormente se especifica que los valores sean mayor o igual a cero. Este proceso se repite para cada sensor previamente agregado. Esta acción permitirá que no se tomen en cuenta valores negativos y los resultados sean lo más preciso posible (Figura 6).
- l. Para finalizar la creación del programa se presiona "Finish" (Figura 6). Si el programa no se ha guardado, se le pedirá un nombre de archivo. Al momento que el programa se guarde, también te permite enviarlo al Datalogger, en la Figura 7 se muestra esto. Esto solo será posible si el Datalogger está conectado a la PC en ese momento. Elija "Yes" si desea enviar el programa.

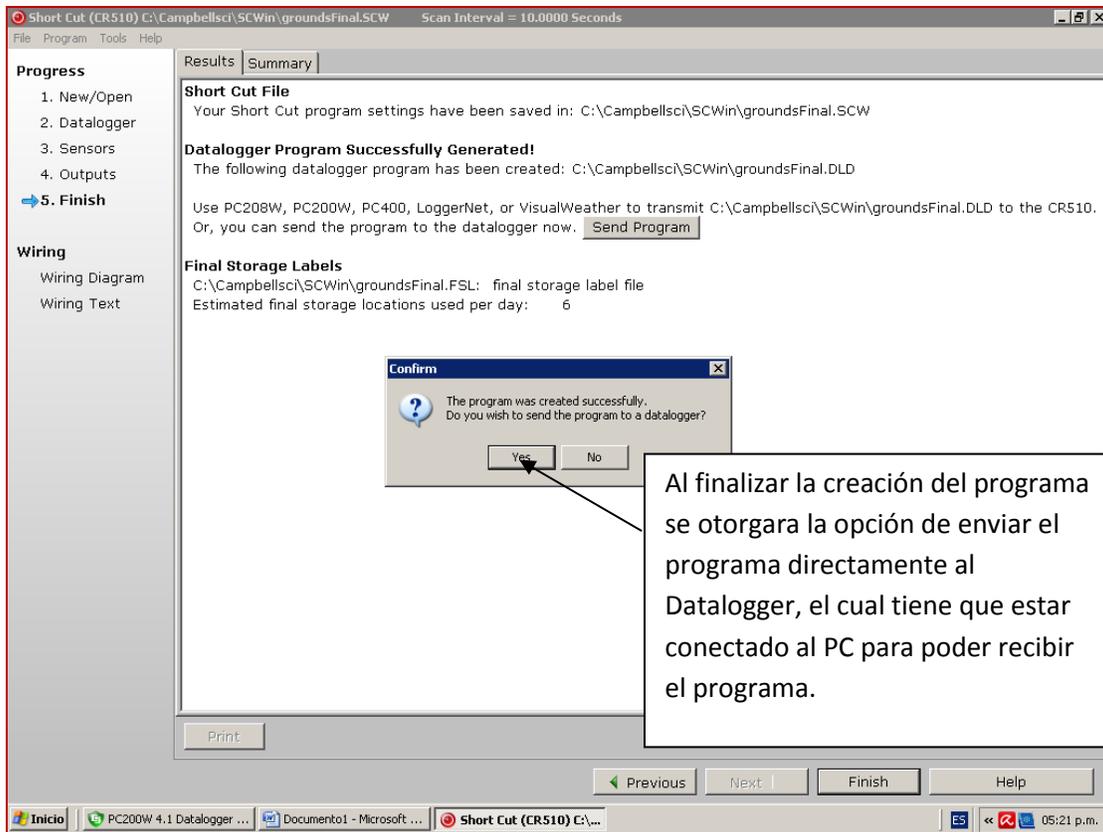
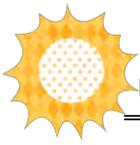
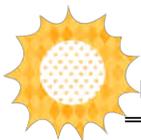


Figura 7: Pantalla en la finalización de crear el programa y enviar al Datalogger.

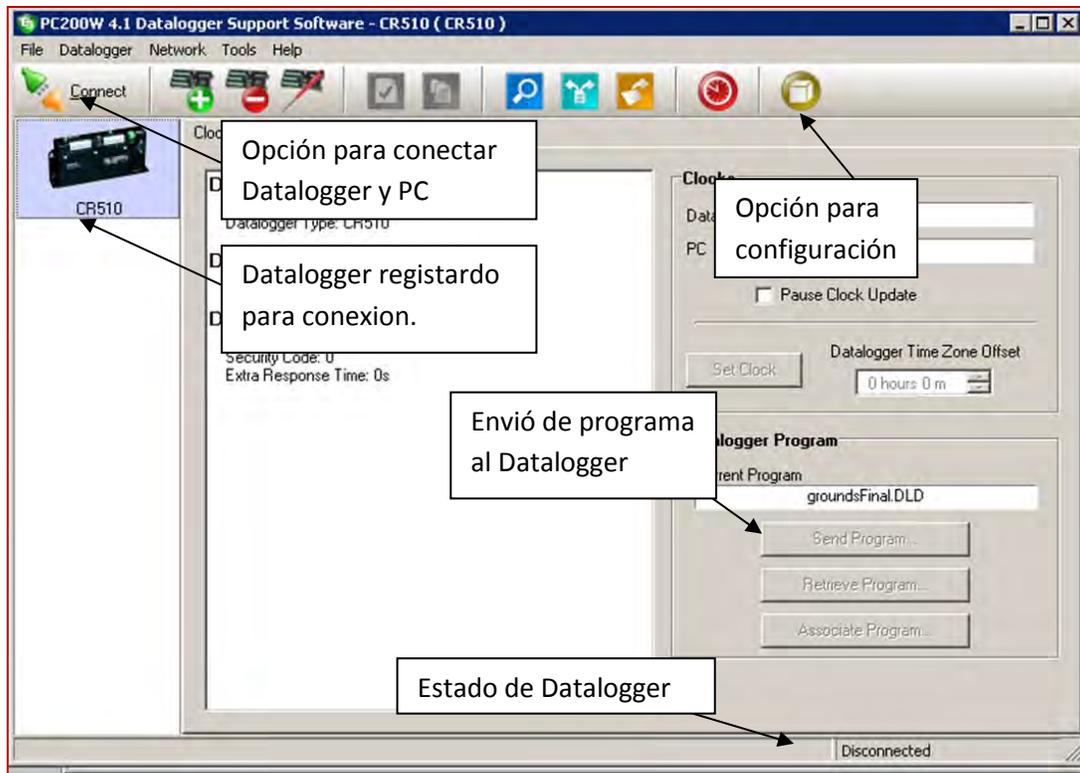
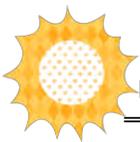


### **El uso del software “PC200W”**

El programa PC200W se utiliza para la comunicación y extracción de datos del Datalogger, a través de una PC. En este software incluso se puede crear graficas con los datos compilados en el Datalogger, facilitando la interpretación de las mediciones.

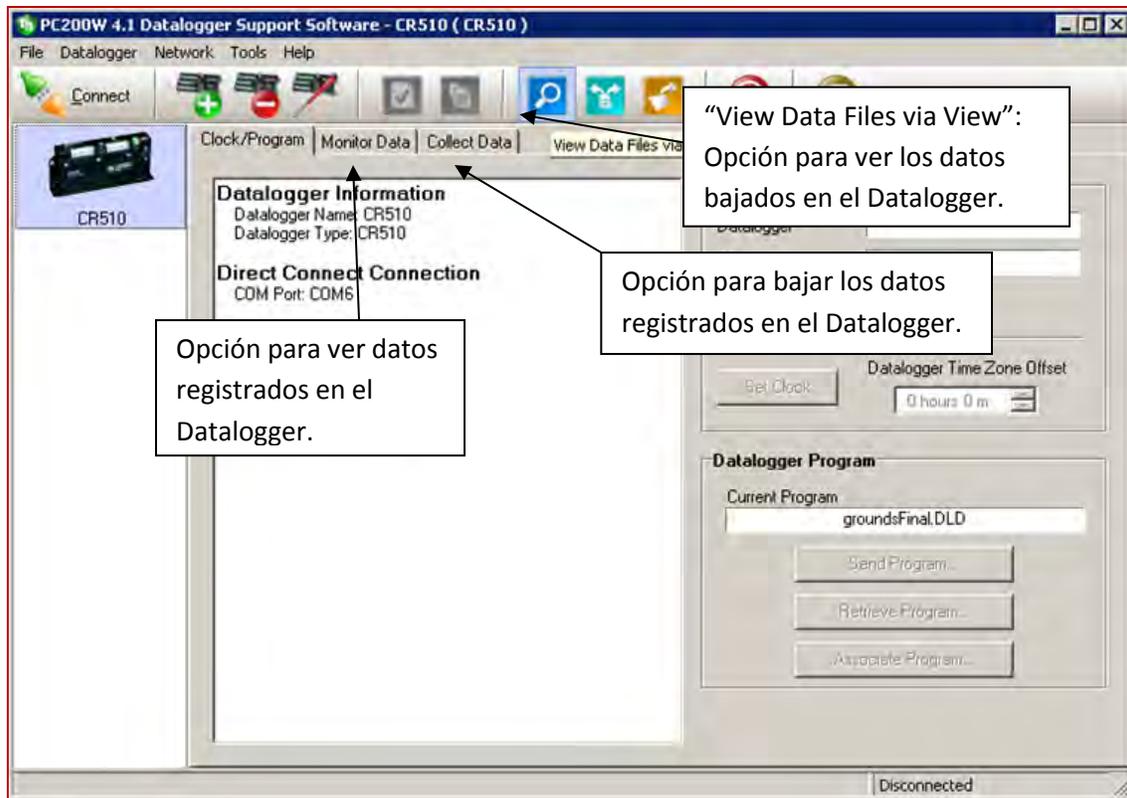
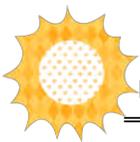
- a. Para iniciar el manejo del programa lo primero es configurar el Datalogger con un Programa creado con el software “ShortCut”, con anterioridad.
- b. Una vez configurado apropiadamente el Datalogger, se debe asegurar que el Datalogger este conectado a la PC.
- c. Se selecciona la opción “Connect” (como se ve en la Figura 34), esto habilitara la comunicación entre la PC y el Datalogger.

**Nota:** en caso de que el programa creado en “Short Cut” no haya sido instalado en el Datalogger se puede instalar mediante el uso del programa “PC200W”. Para ello el Datalogger y la PC deben estar conectados y en comunicación. Entonces “PC200W” nos permite enviar el programa creado en “Short Cut” al Datalogger seleccionando “Send Program” como se muestra en la Figura 8.



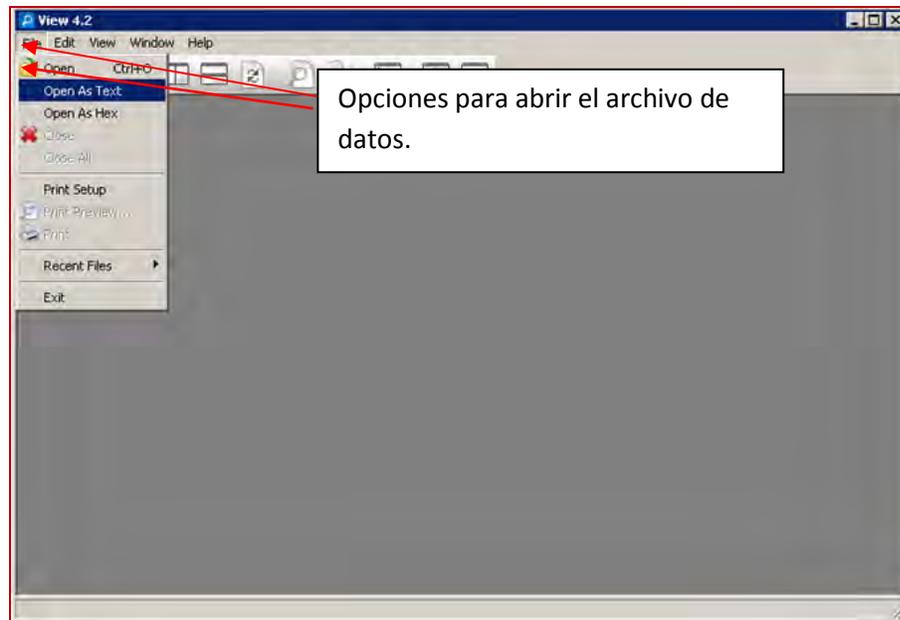
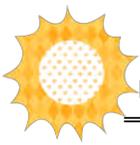
*Figura 8: Pantalla inicial de PC200W.*

- d. Una vez establecida la comunicación entre el Datalogger y la PC se puede realizar dos cosas: ver los datos registrados en el Datalogger o bajar los datos registrados en el Datalogger a la PC.
- e. Dar clic a la opción “Monitor Data” (como se muestra en la Figura 9) si lo que se quiere es ver los datos registrado en el Datalogger.
- f. Dar clic a la opción “Collect Data” (como se muestra en la Figura9) si lo que se quiere es bajar los datos registrados en el Datalogger.
- g. Si los datos fueron descargados a la PC, se podrá acceder a ellos a través de la opción: “View Data Files via View” como se ve en la Figura 35.



*Figura 9: ubicación para iniciar la revisión de datos almacenados en el Datalogger.*

- h. Si elige ver los datos descargados del Datalogger se desplegará una nueva ventana llamada “View 4.2”. Vaya a la opción “Open” (abrir) desde menú archivo o el “icono Open”, como se muestra en la Figura 10.



*Figura 10: Elección de archivo en forma de texto.*

- i. Se localiza y elige el archivo con los datos almacenados y se da clic a la opción Abrir. Aparecerá la ventana “Confirm” donde se pregunta si se quiere cargar el archivo FSL (Load FSL File?), darle clic en si (Yes), esto es necesario porque permitirá ver las tablas con etiquetas. Nuevamente se aparecerá una nueva ventana para localizar el archivo FSL, para ello ir a la unidad (C) > Campbellsci > SCWin > “Archivo creado en Short Cut (con el cual se configuro el Datalogger)”.

**Nota:** el archivo FSL es el programa creado en “Short Cut”, en el cual se especifico los sensores, rango y periodo de medición entre otras cosas.

- j. Después de abrir el archivo FSL, se desplegaran tres ventanas llamadas: Datos ES 130122013.dat Array 101, Datos ES 130122013.dat Array 102 y Datos ES 130122013.dat. La primera ventana muestra los datos registrados en columnas con etiquetas (Nombres de columnas), hora y fecha. La segunda ventana muestra el nivel de voltaje de la batería cada 24 horas. Por último la tercera ventana muestra también los datos, hora y fecha en columnas pero sin etiquetas. Se recomienda trabajar con la primera venta.
- k. Una vez elegida la primera ventana para trabajar con ella, para poder graficar los datos de interés, se debe seleccionar las columnas que contengan a estos. Para esto hay que darle clic en la etiqueta de la columna y esta se seleccionara mostrándose con un determinado color, como se muestra en la Figura 37. Entonces de la barra de herramientas se da clic al icono “New Line Graph” (como se ve en la Figura 11) para que se grafiquen los datos seleccionados.

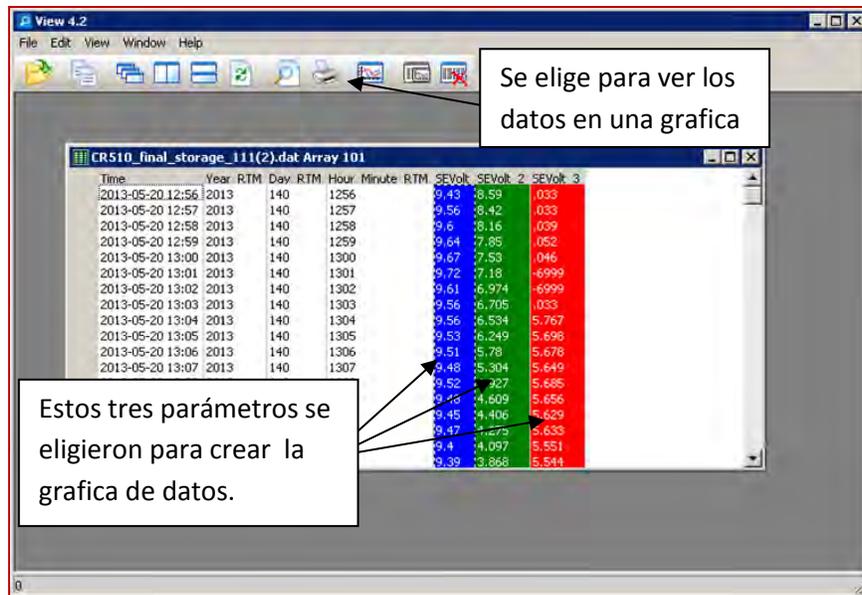
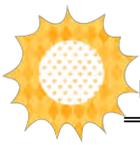


Figura 11: Elección de la columna de datos deseada para graficar.

1. La graficas aparecerá con sus respectivos datos como se ve en la Figura 12.

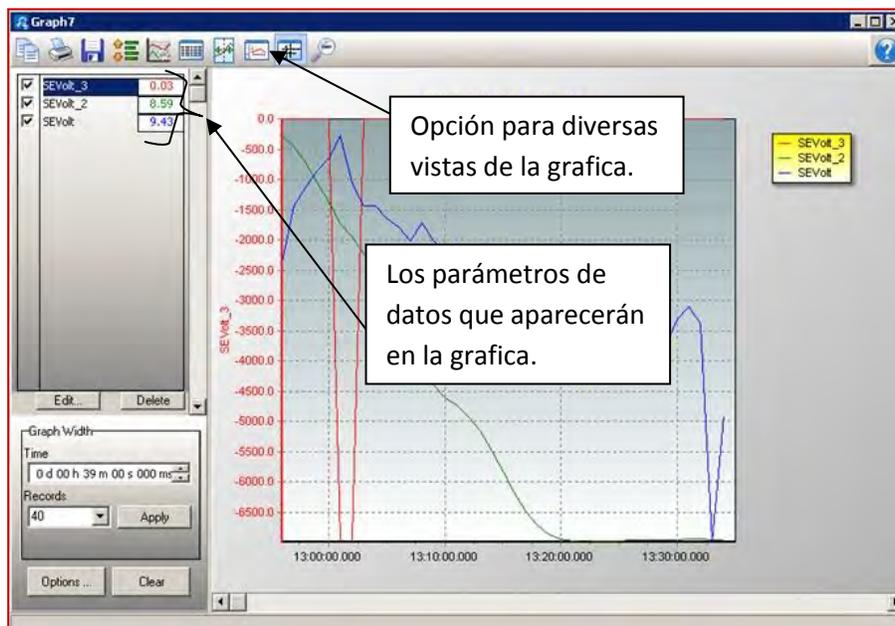


Figura 12: La grafica con los datos previamente elegidos se demuestra en la pantalla.

- m. Para guardar la grafica se da clic al icono “Export” (Guardar), el cual permite especificar el tipo de formato entre los cuales están: JPEG y METAFILE como se muestra en la figura 12. En el caso de la estación solarimétrica de UQROO el formato que se elige es “JPEG”, como se ve en la Figura 13.

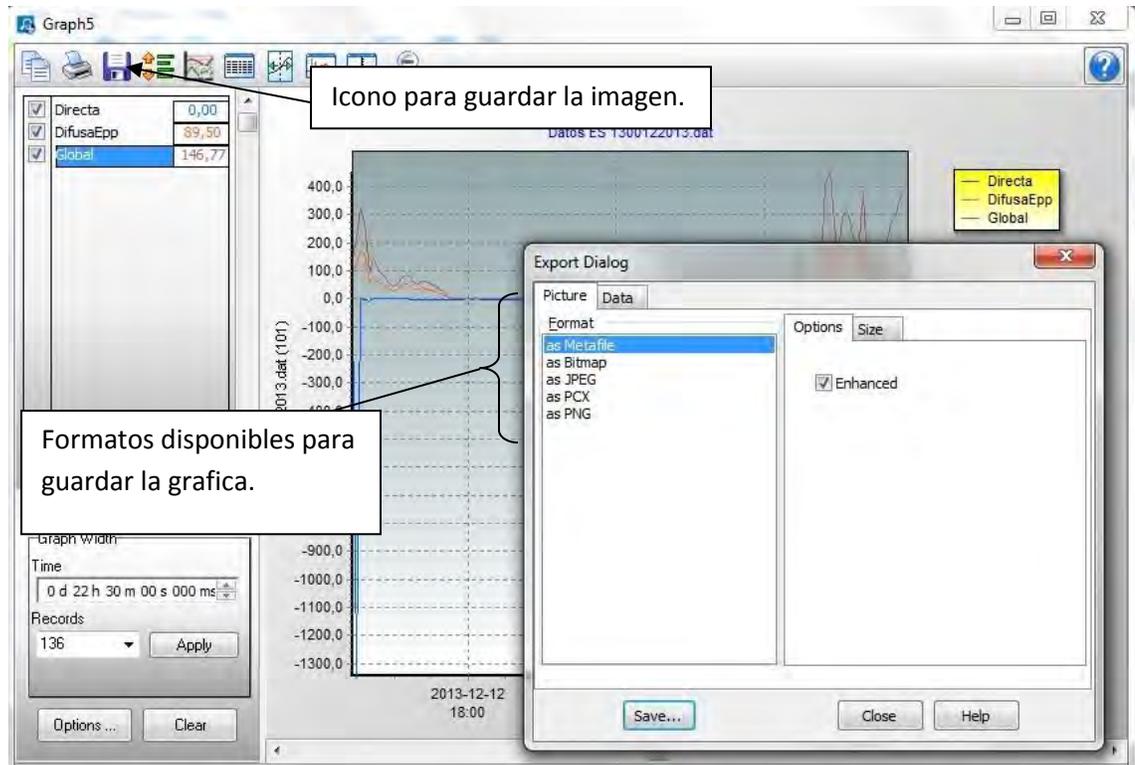
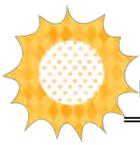


Figura 39: Pantalla que demuestra la ubicación de "Export" y los formatos para guardar.

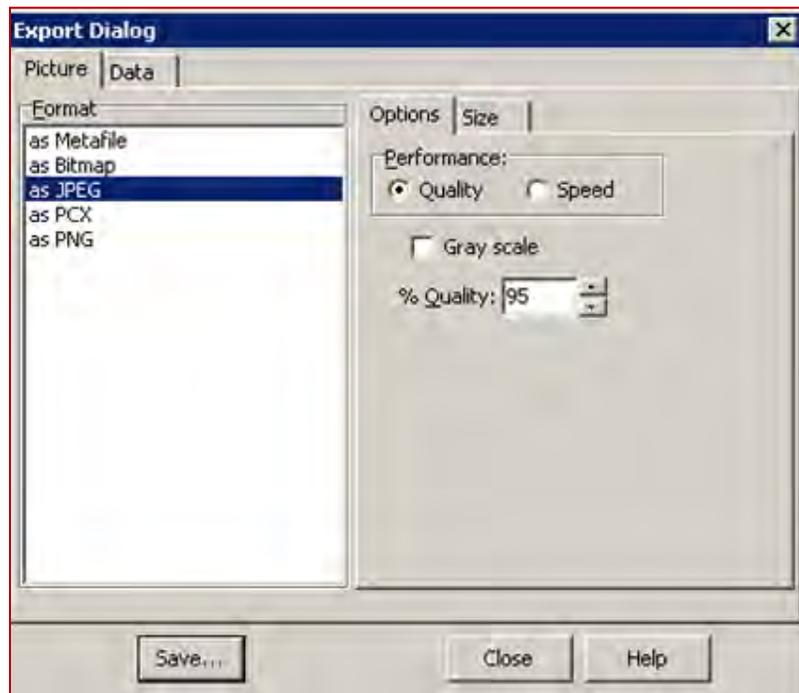
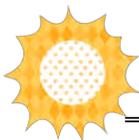
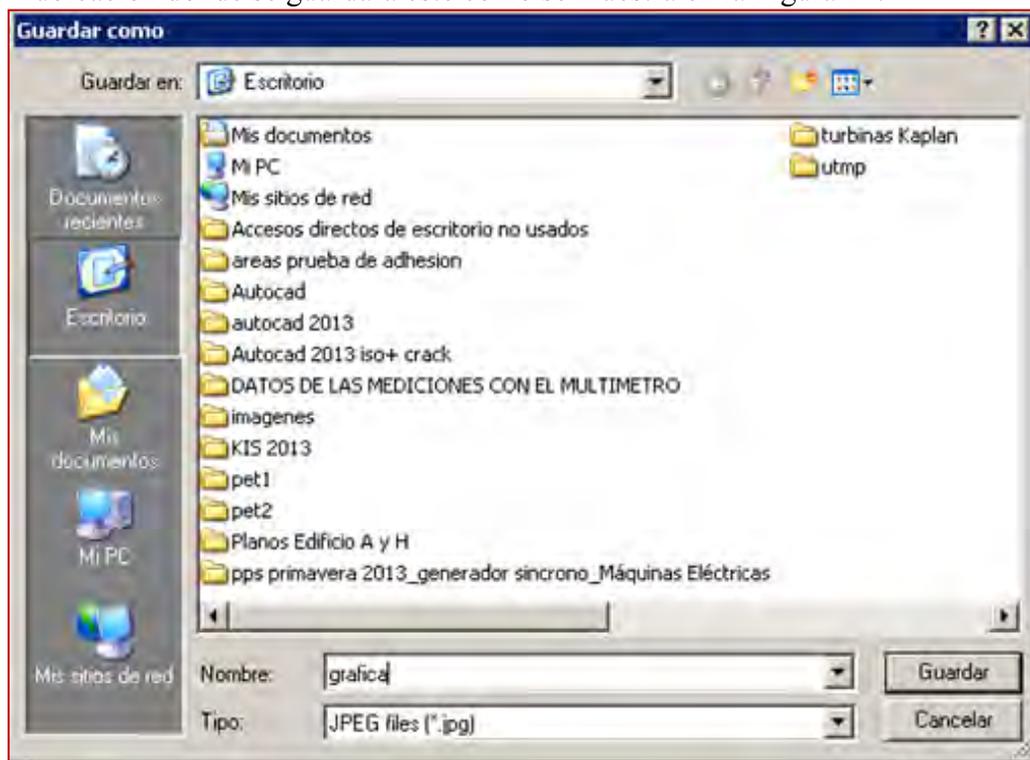


Figura 13: se asigna el formato para el cual se guardara la imagen de la grafica.



- n. Para finalizar se asigna un nombre apropiado para el archivo y se especifica la ubicación donde se guardara este como se muestra en la Figura 14.



*Figura 14: se asigna la ubicación para guardar la grafica y su respectivo nombre de archivo.*

Con lo anterior se finaliza el manual de uso del software” PC200W”, necesario para poder manipular el Datalogger y los datos que este registra.