



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

**Evaluación de la operación, mantenimiento y confiabilidad de heliógrafos
de fabricación local**

Anibal Alonzo López Mazariegos

Asesorado por Ing. Erick Mauricio González de León

Guatemala, octubre de 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DE LA OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y CONFIABILIDAD
DE HELIÓGRAFOS DE FABRICACIÓN LOCAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

ANIBAL ALONZO LÓPEZ MAZARIEGOS

ASESORADO POR ING. ERICK MAURICIO GONZÁLEZ DE LEÓN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE LA JUNTA DIRECTIVA

| | |
|------------|--------------------------------------|
| Decano | Ing. Sydney Alexander Samuels Milson |
| Vocal I | Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos |
| Vocal II | Lic. Amahán Sánchez Alvarez |
| Vocal III | Ing. Julio David Galicia Celada |
| Vocal IV | Br. Keneth Issur Estrada Ruiz |
| Vocal V | Br. Elisa Yazminda Vides Leiva |
| Secretario | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco |

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

| | |
|------------|--|
| Decano | Ing. Sydney Alexander Samuels Milson |
| Examinador | Ing. Roberto Guzmán Ortíz |
| Examinador | Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza |
| Examinador | Ing. Víctor Eduardo Izquierdo Palacios |
| Secretario | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco |

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

EVALUACIÓN DE LA OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y CONFIABILIDAD DE HELIÓGRAFOS DE FABRICACIÓN LOCAL

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica con fecha 12 de febrero de 2004.

Anibal Alonzo López Mazariegos

DEDICATORIA

A DIOS

Fuente de sabiduría

A MIS PADRES

Anibal Enrique López Ordóñez
Rosana Judith Mazariegos de López
Por su ejemplo, amor y apoyo incondicional

A MI HERMANA

Ismary López de García y esposo
Lester García
Con amor fraternal

A MIS ABUELOS

Francisco López Laparra (Q.E.P.D.)
Olimpia Ordóñez de López (Q.E.P.D.)
Alonso Mazariegos Barrios
Esther López de Mazariegos
Orgullosa ejemplo para mi vida

A MI FAMILIA EN GENERAL, EN ESPECIAL A

A mi tía Julieta Mazariegos López
Por su cariño y apoyo

A MIS AMIGOS

Por su valiosa amistad y apoyo durante toda
mi carrera

A XELA

Aunque no me viste nacer, siempre te llevaré
en mi corazón

AGRADECIMIENTOS

A Dios; porque no es, sino gracias a Él y su infinito amor, que todo se lleva a cabo.

A la Universidad de San Carlos de Guatemala.

A la Facultad de Ingeniería, en especial a la Escuela de Mecánica.

Al ingeniero Erick Mauricio González de León; por su apoyo a este trabajo de graduación, que considero de incalculable valor, y por la calidad humana y el profesionalismo que demostró como asesor.

Al ingeniero Mario Bautista; por su colaboración al facilitar la investigación de este trabajo de graduación en la Estación Labor Ovalle.

Al personal de la Estación Labor Ovalle, por la ayuda y apoyo brindado.

A la familia Míncez Valderramos, por tratarme como un hijo durante el tiempo que conviví con ellos.

A Wilson Sacalxot y Max López, por brindarme su apoyo incondicional, y su amistad sincera.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|----------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES | IV |
| LISTA DE SÍMBOLOS | VII |
| GLOSARIO | VIII |
| RESUMEN | X |
| OBJETIVOS | XI |
| INTRODUCCIÓN | XIII |
| | |
| 1. DESARROLLO DE LA ENERGÍA SOLAR | 1 |
| 1.1 Energía..... | 1 |
| 1.1.1 Recursos energéticos..... | 2 |
| 1.1.2 Unidades de medida de energía..... | 2 |
| 1.2 Fuentes de energía..... | 3 |
| 1.2.1 Energías no renovables..... | 3 |
| 1.2.2 Energías renovables..... | 4 |
| 1.3 Energía solar..... | 5 |
| 1.3.1 Energías provenientes del Sol..... | 8 |
| 1.3.2 Aprovechamiento de la energía solar..... | 9 |
| 1.3.3 Solaremetría en insolación..... | 11 |
| 1.3.3.1 Tipos de insolación..... | 12 |
| 1.3.3.2 Factores que afectan la energía incidente..... | 12 |
| 1.3.3.3 Climatología y seguimiento solar..... | 13 |
| 1.3.3.4 Heliofanía..... | 14 |
| 1.3.3.5 Irradiancia..... | 15 |
| 1.4 Radiación solar en la superficie terrestre..... | 15 |
| 1.4.1 La constante solar..... | 15 |

| | | |
|---------|--|----|
| 1.4.2 | Distribución espectral de la radiación solar extraterrestre..... | 18 |
| 1.5 | Radiación y brillo solar en Guatemala..... | 23 |
| 2. | HELIÓGRAFOS..... | 27 |
| 2.1 | Heliógrafos con cualidades necesarias para estaciones metereológicas..... | 27 |
| 2.1.1 | Heliógrafos de Campbell–Stokes..... | 30 |
| 2.1.2 | Cartas heliográficas..... | 32 |
| 2.2 | Heliógrafos de fabricación local..... | 34 |
| 2.2.1 | Materiales para heliógrafos de fabricación local..... | 36 |
| 2.2.1.1 | Heliógrafo tipo A..... | 36 |
| 2.2.1.2 | Heliógrafo tipo B..... | 37 |
| 2.2.2 | Material para cartas heliográficas..... | 37 |
| 2.2.3 | Componentes de los heliógrafos de fabricación local..... | 37 |
| 2.2.4 | Optimización de los heliógrafos de fabricación local..... | 40 |
| 2.2.5 | Coste de los heliógrafos de fabricación local..... | 41 |
| 2.2.5.1 | Coste del heliógrafo tipo A y tipo B..... | 41 |
| 3. | INSTALACIÓN DE LOS HELIÓGRAFOS DE FABRICACIÓN LOCAL EN LABOR OVALLE..... | 45 |
| 3.1 | Autorizaciones..... | 45 |
| 3.2 | Construcción de soportes para los heliógrafos de fabricación local..... | 45 |
| 3.3 | Instalación de los heliógrafos..... | 46 |
| 4. | ADQUISICIÓN DE DATOS..... | 49 |
| 4.1 | Parte preparatoria..... | 49 |
| 4.1.1 | Especificación de las cartas heliográficas, de los | |

| | |
|--|----|
| heliógrafos de fabricación local | 49 |
| 4.1.2 Elaboración de documentos de registro de datos | 50 |
| 4.2 Registro de datos..... | 52 |
| | |
| 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS..... | 67 |
| 5.1 Análisis de horas - sol..... | 67 |
| 5.1.1 Regresión y correlación de datos entre los heliógrafos locales y los heliógrafos del INSIVUMEH..... | 67 |
| 5.2 Análisis de los resultados..... | 87 |
| 5.3 Descripción de operación y mantenimiento | 89 |
| 5.3.1 Operación de los heliógrafos de fabricación local..... | 89 |
| 5.3.2 Mantenimiento de los heliógrafos de fabricación local..... | 89 |
| | |
| CONCLUSIONES..... | 91 |
| RECOMENDACIONES..... | 93 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 95 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

| | | |
|----|---|----|
| 1 | Balance de la radiación solar | 17 |
| 2 | Balance de la radiación terrestre | 18 |
| 3 | Curva estándar de la radiación solar extraterrestre | 20 |
| 4 | Heliógrafo de Campbell – Stokes A | 29 |
| 5 | Heliógrafo de Denis – Jordan | 30 |
| 6 | Heliógrafo de Campbell – Stokes B | 31 |
| 7 | Carta heliográfica tipo recta | 33 |
| 8 | Carta heliográfica tipo curva corta | 33 |
| 9 | Cara heliográfica tipo curva larga | 34 |
| 10 | Heliógrafo tipo A | 35 |
| 11 | Heliógrafo tipo B | 35 |
| 12 | Armazón del heliógrafo tipo A | 38 |
| 13 | Foco tipo globo | 38 |
| 14 | Armazón del heliógrafo tipo B | 39 |
| 15 | Bola de agua con rosa en medio | 39 |
| 16 | Optimización del heliógrafo tipo A | 40 |
| 17 | Optimización del heliógrafo tipo B | 41 |
| 18 | Soportes para los heliógrafos de fabricación local | 46 |
| 19 | Instalación de los heliógrafos | 47 |
| 20 | Tarjetas heliográficas de heliógrafos locales | 50 |
| 21 | Regresión lineal entre el heliógrafo A1 y el heliógrafo del INSIVUMEH | 69 |

| | | |
|----|--|-----|
| 22 | Regresión lineal entre el heliógrafo A2 y el heliógrafo del INSIVUMEH | 71 |
| 23 | Regresión lineal entre el heliógrafo B1 y el heliógrafo del INSIVUMEH | 73 |
| 24 | Regresión lineal entre el heliógrafo B2 y el heliógrafo del INSIVUMEH | 75 |
| 25 | Regresión lineal entre el heliógrafo A1 y el sensor del heliógrafo electrónico del INSIVUMEH | 77 |
| 26 | Regresión lineal entre el heliógrafo A2 y el sensor del heliógrafo electrónico del INSIVUMEH | 79 |
| 27 | Regresión lineal entre el heliógrafo B1 y el sensor del heliógrafo electrónico del INSIVUMEH | 81 |
| 28 | Regresión lineal entre el heliógrafo B2 y el sensor del heliógrafo electrónico del INSIVUMEH | 83 |
| 29 | Interacción de heliógrafos locales e instrumentos del INSIVUMEH | 85 |
| 30 | Interacción acumulada de heliógrafos locales e instrumentos del INSIVUMEH | 86 |
| 31 | Isométrico del heliógrafo tipo A | 97 |
| 32 | Elevación frontal del heliógrafo tipo A | 98 |
| 33 | Perfil del heliógrafo tipo A | 99 |
| 34 | Planta del heliógrafo tipo A | 100 |
| 35 | Isométrico del heliógrafo tipo B | 101 |
| 36 | Elevación frontal del heliógrafo tipo B | 102 |
| 37 | Perfil del heliógrafo tipo B | 103 |
| 38 | Planta del heliógrafo tipo B | 104 |
| 39 | Mapa solar de Guatemala | 105 |

TABLAS

| | | |
|-------|---|----|
| I | Longitudes de onda electromagnéticas | 6 |
| II | Radiación solar extraterrestre | 22 |
| III | Radiación y brillo solar en Guatemala | 24 |
| IV | Fechas de cambio de las cartas heliográficas | 33 |
| V | Coste del heliógrafo tipo A | 42 |
| VI | Coste del heliógrafo tipo B | 43 |
| VII | Documento de registro de datos | 51 |
| VIII | Datos del heliógrafo INSIVUMEH en el mes de abril | 53 |
| IX | Datos sensores del INSIVUMEH en el mes de abril | 54 |
| X | Datos heliógrafo del INSIVUMEH en el mes de mayo | 55 |
| XI | Datos sensores del INSIVUMEH en el mes de mayo | 56 |
| XII | Datos del heliógrafo local A1, en el mes de abril | 57 |
| XIII | Datos del heliógrafo local A2, en el mes de abril | 58 |
| XIV | Datos del heliógrafo local B1, en el mes de abril | 59 |
| XV | Datos del heliógrafo local B2, en el mes de abril | 60 |
| XVI | Datos del heliógrafo local A1, en el mes de mayo | 61 |
| XVII | Datos del heliógrafo local A2, en el mes de mayo | 62 |
| XVIII | Datos del heliógrafo local B1, en el mes de mayo | 63 |
| XIX | Datos del heliógrafo local B2, en el mes de mayo | 64 |
| XX | Radiación mínima necesaria para el funcionamiento de heliógrafos de fabricación local | 65 |
| XXI | Datos comparativos entre los heliógrafos locales e instrumentos del INSIVUMEH | 68 |
| XXII | Resultado de correlación entre los heliógrafos | 88 |

LISTA DE SÍMBOLOS

| Símbolo | Significado |
|-------------------------------------|------------------------------------|
| $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ | micro watt por centímetro cuadrado |
| $\text{cal}/\text{min}/\text{cm}^2$ | Caloría-minuto por metro cuadrado |
| J | julios |
| K | Grados Kelvin |
| kcal | kilocaloría |
| kW | kilowatt |
| SI | sistema internacional de medidas |
| W/m^2 | watt por metro cuadrado |

GLOSARIO

| | |
|-----------------------------|--|
| Energía | Es la capacidad de un sistema físico para realizar trabajo. |
| Energía Fotovoltaica | Es la energía eléctrica obtenida de la transformación de energía solar por medio del efecto invernadero |
| Energía solar | La energía solar es la energía radiante producida en el Sol como resultado de reacciones nucleares de fusión que llegan a la Tierra a través del espacio en cuantos de energía llamados fotones que interactúan con la atmósfera y la superficie terrestre. |
| Energía térmica | Transforma la energía procedente del Sol en energía calorífica. |
| Heliofanía | Tiempo, en horas, durante el cual el Sol tiene un brillo solar efectivo en el que la energía solar directa alcanza o excede un valor umbral variable entre 120 y 210 W/m ² , que depende de su localización geográfica, del equipo, del clima y del tipo de banda utilizada para el registro. |
| Heliofanía efectiva | Es el período (expresado en horas) durante el cual el lugar de observación ha recibido radiación solar directa (es decir, que no ha sido interceptada por obstáculos) y que ha sido, además, registrada por el instrumental |

- Heliógrafos** Los heliógrafos son los instrumentos destinados a medir la duración de la insolación durante un día en horas - sol
- Horas – sol** También conocido como brillo solar y es el número de horas durante un día en que se recibe la radiación del sol directa.
- Irradiancia** Potencia solar incidente en una superficie por unidad de área.
- Radiación solar** La radiación solar es una forma de energía de baja concentración, fuera de la atmósfera, la intensidad de radiación oscila entre 1,300 y 1,400 W/m².

RESUMEN

En el presente trabajo de graduación se encuentra la evacuación de la operación, mantenimiento y confiabilidad de los heliógrafos construidos localmente.

Este estudio fue fundamental ya que con él se llegó a la conclusión de que estos heliógrafos funcionan con un 95 % de confiabilidad.

En el capítulo 1 se encontró una descripción completa del estudio de la energía solar, tanto a nivel mundial como en Guatemala.

En el capítulo 2 se describen los heliógrafo, tanto los de cualidades metereológicas, como los construidos localmente. Dando una explicación detallada de los mismos

El capítulo 3 se describe la manera en que fueron instalados los heliógrafos fabricados localmente en la estación Labor Ovalle del ISIVUMEH. El capítulo 4 se refiere a la adquisición de datos del estudio de estos, y el capítulo 5 habla del análisis de los resultados obtenidos.

OBJETIVOS

- **General**

Evaluar la operación, el mantenimiento y confiabilidad de heliógrafos fabricados con recursos locales en la estación meteorológica Labor Ovalle, Quetzaltenango.

- **Específicos**

1. Optimizar heliógrafos de fabricación local.
2. Instalar heliógrafos de fabricación local dentro de las instalaciones de Labor Ovalle, Quetzaltenango.
3. Registrar por un período menor de tres meses, datos de horas - sol obtenidos con los heliógrafos de fabricación local y con el heliógrafo de la Labor Ovalle, Quetzaltenango.
4. Analizar datos obtenidos para determinar el grado de confiabilidad de los heliógrafos de fabricación local.
5. Determinar posibles deficiencias de operación y mantenimiento de los heliógrafos de fabricación local.

INTRODUCCIÓN

A pesar de la existencia de un mapa de isohélias elaborado al final de los años 70's por el Ing. Edwin Bracamontes aún hace falta puntualizar datos de insolación e irradiación solar en el territorio guatemalteco. En el año 2003 los estudiantes del curso de Geografía, del Centro Universitario de Occidente (CUNOC), como parte de los trabajos del mismo, elaboraron 19 prototipos de heliógrafos de fabricación local de los cuales dos modelos resultaron bastante aceptables desde el punto de vista de construcción, durabilidad, economía y operación. Este trabajo se realizó por la necesidad de comparar tales heliógrafos con un heliógrafo de cualidades metereológicas, para saber si éstos eran confiables en la recolección de datos de horas –sol.

El contar con heliógrafos de fácil adquisición y fabricación, facilitará la recolección de datos más específicos sobre horas - sol en Guatemala, a través de la construcción, instalación y distribución a todas las municipalidades de la República.

Este proyecto fue realizado en las instalaciones de la estación Labor Ovalle del INSIVUMEH, donde se hizo la comparación de funcionamiento de los heliógrafos de fabricación local, con el heliógrafo de cualidades metereológica instalado allí. Obteniendo además un apoyo incondicional de las autoridades del INSIVUMEH, especialmente del Ingeniero Mario Bautista.

Quiero agradecer de manera especial al ingeniero Erick Mauricio González de León; por el apoyo a este proyecto, que considero de incalculable valor, y por la calidad humana y el profesionalismo que demostró como asesor.

El presente trabajo de graduación consta de cinco capítulos. En el capítulo 1 hay una descripción del desarrollo de la energía solar en Guatemala. En el capítulo 2 se detalla que es un heliógrafo de cualidades metereológicas, así como la descripción detallada del diseño y construcción de los heliógrafos de fabricación local. En el capítulo 3 se encuentra la forma en que fueron instalados los heliógrafos de fabricación local en la Estación Labor Ovalle. En el capítulo 4 se presenta la forma en que fueron recolectados los datos de los heliógrafos de fabricación local.

Y en el capítulo 5 se encuentra el análisis de los resultados obtenidos de la comparación de los heliógrafos de fabricación local con el heliógrafo de cualidades metereológicas, encontrando que los heliógrafos de fabricación local tienen una eficiencia de 95% con respecto de los heliógrafos de cualidades metereológicas.

Por último encontrar las conclusiones y recomendaciones para futuras investigaciones sobre este tema.

1. DESARROLLO DE LA ENERGÍA SOLAR

1.1 Energía

La energía es la capacidad de un sistema físico para realizar trabajo. La materia posee energía como resultado de su movimiento o de su posición en relación con las fuerzas que actúan sobre ella. Se manifiesta en varias formas, entre ellas la energía mecánica, térmica, química, eléctrica, radiante (o de luz) o atómica. Todas las formas de energía pueden convertirse en otras formas mediante los procesos adecuados. En el proceso de transformación puede perderse o ganarse una forma de energía, pero la suma total permanece constante. Es decir, que si se quema un papel, la energía que pierde el papel, pasa una parte a la luz y otra al calor, pero es igual a la inicial.

En la transformación de la energía se tiende a producir calor, que es la forma más degradada de la energía (segunda ley de termodinámica). En los dispositivos mecánicos la energía no empleada para realizar trabajo útil se disipa como calor de rozamiento, y las pérdidas de los circuitos eléctricos se producen fundamentalmente en forma de calor.

Las observaciones empíricas del siglo XIX llevaron a la conclusión de que aunque la energía puede transformarse no se puede crear ni destruir. Cuando las velocidades se empiezan a aproximar a la de la luz, como ocurre en las reacciones nucleares, la materia puede transformarse en energía y viceversa (según la teoría de la relatividad, expresada por Einstein). En la física moderna se unifican ambos conceptos, la conservación de la energía y de la masa (primera ley de la termodinámica).

1.1.1 Recursos energéticos

Los recursos energéticos son el conjunto de medios con los que los países del mundo intentan cubrir sus necesidades de energía. La energía es la base de la civilización industrial; sin ella, la vida moderna dejaría de existir. Durante la década de 1970, el mundo empezó a ser consciente de que los recursos de energía tienen un límite. A largo plazo es posible que las prácticas de conservación de energía proporcionen el tiempo suficiente para explorar nuevas posibilidades tecnológicas. Mientras tanto el mundo seguirá siendo vulnerable a trastornos en el suministro de petróleo que después de la II Guerra Mundial se ha convertido en la principal fuente de energía.

1.1.2 Unidades de medida de energía

La energía se manifiesta realizando un trabajo. Por eso sus unidades son las mismas que las del trabajo.

En el SI (Sistema Internacional de Unidades) la unidad de energía es el julio. Se define como el trabajo realizado cuando una fuerza de 1 newton desplaza su punto de aplicación 1 metro.

En la vida corriente es frecuente usar la caloría. $1 \text{ Kcal} = 4.86 \times 10^3 \text{ julios}$. Las calorías con las que se mide el poder energético de los alimentos son en realidad kilocalorías (mil calorías).

Para la energía eléctrica se usa el kilovatio-hora. Es el trabajo que realiza una máquina cuya potencia es de 1 KW durante 1 hora. $1 \text{ KW-h} = 36 \times 10^5 \text{ J}$.

Cuando se estudian los combustibles fósiles como fuente de energía se usan dos unidades

- tec (tonelada equivalente de carbón): es la energía liberada por la combustión de 1 tonelada de carbón (hulla) $1 \text{ tec} = 29.3 \times 10^9 \text{ J}$
- tep (tonelada equivalente de petróleo): es la energía liberada por la combustión de 1 tonelada de crudo de petróleo. $1 \text{ tep} = 41.84 \times 10^9 \text{ J}$

1.2 Fuentes de energía

En el ámbito de la física, se diferencia una ingente variedad de procesos capaces de generar energía en alguna de sus manifestaciones. Sin embargo, las fuentes clásicas de energía utilizadas por la industria han sido de origen térmico, químico o eléctrico, recíprocamente intercambiables entre sí y transformables en energía mecánica.

Las fuentes de energía se pueden clasificar en

- Energías no renovables
- Energías renovables

1.2.1 Energías no renovables

Son las fuentes de energía que se agotan. Los combustibles fósiles son relativamente fáciles de obtener y utilizar, pero hay dos inconvenientes: se agotan y contaminan el medio ambiente.

1.2.2 Energías renovables

Las energías renovables, también llamadas energías alternativas o blandas, engloban una serie de fuentes energéticas que en teoría no se agotarían con el paso del tiempo. Estas fuentes serían una alternativa a otras tradicionales y producirían un impacto ambiental mínimo.

Las energías renovables comprenden

- Energía solar
- Energía hidroeléctrica (se genera haciendo pasar una corriente de agua en una turbina)
- Energía eólica (derivada de la solar, ya que se produce por un calentamiento diferencial del aire y de las irregularidades del relieve terrestre)
- Energía geotérmica (producida por el gradiente térmico entre la temperatura del centro de la tierra y de la superficie)
- Energía de la biomasa (se genera a partir del tratamiento de la materia orgánica)
- Energía mareomotriz (energía producida por la fuerza del mar)

Cuando a partir de 1973, el precio del petróleo subió, la investigación y el uso de estas fuentes alternativas crecieron.

Antes del comienzo de la Guerra de Irak, se explicaba los beneficios: “Lo mejor que puede salir de esto para la economía mundial, si se puede llamar así, sería un precio del petróleo de 20 dólares el barril”. Los precios del petróleo en Nueva York alcanzaron en mayo de 2004 casi los 40 dólares el barril, el precio más alto de los últimos 13 años.

El petróleo es un recurso finito; no se han descubierto grandes campos desde 1976 y los expertos sospechan que no queda nada por encontrar. Algunos analistas sugieren que la producción mundial ya está cerca de su cenit, aunque la mayoría dicen que el progreso tecnológico, que permitirá una mayor explotación de fuentes conocidas, como las arenas bituminosas de Canadá, harán que suba la producción, durante una o dos década más (Appenzeller, 2004.70)

Se sabe, desde luego, que tales predicciones ya se han hecho antes, durante la crisis energética de los 70. Pero el final de esa crisis se ha malinterpretado de forma generalizada: los precios cayeron, no porque el mundo encontrase nuevos recursos, sino porque encontró nuevas formas de hacer las cosas con menos (Appenzeller, 2004.70).

Durante los 80, el consumo del petróleo cayó en todo el mundo, como consecuencia de los efectos retardados de la crisis energética, lo que nos llevó a producir automóviles más eficientes, mejores aislamientos en las casas y demás.

1.3 Energía solar

El Sol, la estrella más próxima, es el lugar donde ocurren conversiones de tipo fusión nuclear, o sea que átomos de hidrógeno se fusionan para dar origen a átomos de helio. Pequeñas cantidades de masa resultan convertidas en energía radiante, fenómeno que se lleva a cabo en condiciones de elevadísima temperatura (15.000.000° C) y gran presión (340 mil veces la presión del aire en la Tierra al nivel del mar).

La energía generada por este proceso de fusión nuclear atraviesa las diferentes capas que integran el globo solar, llegando a su superficie, donde se tiene una temperatura relativamente baja entre 5,500 y 6,000 grados centígrados. De allí es emitida al espacio en forma de ondas electromagnéticas de diversa naturaleza, cada una con diferente poder penetrante y cantidad de energía portada. La energía se va dispersando conforme se aleja del Sol y llega a la Tierra con aproximadamente sólo 2 billonésimos de aquel lote de energía emitidos originalmente.

La energía cuando es emitida a través de espacios vacíos, tal como lo hace el Sol, se mueve a través de un fenómeno conocido como transferencia de calor por radiación. Como su nombre lo indica, la energía viaja en forma de ondas radiantes, conocidas también como ondas electromagnéticas, las cuales se caracterizan por poseer diferentes longitudes.

Cada una de las longitudes de onda se asocia con un determinado poder penetrante y portación energética, siendo que entre más corta sea la onda, más energía porta y más poder penetrante posee. El Sol emite una gama diversa de estas diferentes ondas, las cuales se clasifican de acuerdo a su longitud de onda. Ver tabla I.

Tabla I. Longitudes de onda electromagnéticas

| Longitud de onda electromagnética | Nanómetros (nm) |
|-----------------------------------|------------------|
| Cósmicas | 0.0 – 0.000009 |
| Gamma | 0.000009 – 0.006 |
| X | 0.006 – 12 |
| Ultra violeta | 12 – 380 |
| Luz visible | 380 – 760 |
| Infra-rojo | 760 – 3000 |
| Ondas mayores | 3000 ó más |

Fuente: Ministerio de Energía y Minas, **Fundamentos sobre el aprovechamiento solar en Guatemala**. Pág. 10

La energía solar es la energía radiante producida en el Sol como resultado de reacciones nucleares de fusión que llegan a la Tierra a través del espacio en cientos de energías llamados fotones que interactúan con la atmósfera y la superficie terrestre. La intensidad de la radiación solar en el borde exterior de la atmósfera, si se considera que la Tierra está a su distancia promedio del Sol, se llama constante solar, y su valor medio es de unas 2 cal/min/cm².

El Sol, en concreto la radiación solar interceptada por la tierra en su desplazamiento a su alrededor, constituye la principal fuente de energía renovable a nuestro alcance. Nuestro planeta recibe del Sol la asombrosa cantidad de energía anual de 5.4×10^{24} J, una cifra que representa 4,500 veces el consumo mundial de energía. Aunque es muy abundante el aprovechamiento de la radiación solar está condicionada por tres aspectos: la intensidad de radiación solar recibida por la tierra, los ciclos diarios y anuales a los que está sometida y las condiciones climatológicas de cada emplazamiento.

En general la radiación solar hace referencia a los valores de irradiación global, es decir, la unidad de energía recibida por unidad de superficie en un tiempo determinado. Estos valores normalmente hacen referencia a la energía que proviene directamente del disco solar (radiación directa) y la energía que, difundida por la atmósfera, puede llegar al 100% de la global.

La radiación solar es una forma de energía de baja concentración, fuera de la atmósfera, la intensidad de radiación oscila entre 1,300 y 1,400 W/m². Las pérdidas en la atmósfera por absorción, reflexión y dispersión la reducen un 30%. Si las condiciones climatológicas son buenas se puede llegar a tener 1000 W/m², aunque si las condiciones son pésimas se puede tener sólo 50 W/m², por eso se está obligado a utilizar superficies de captación grandes. En Quetzaltenango en buenas condiciones se puede llegar a tener una radiación solar de 8500 W/m², y en condiciones pésimas del clima se llega a tener una radiación de 500 W/m².

1.3.1 Energías provenientes del Sol

Las energías de que se dispone en nuestro planeta, exceptuando quizás la energía nuclear de fisión, provienen del astro rey; de esta manera la energía hidráulica, eólica, la de las mareas, los compuestos, biomasa, las energías fósiles, todas estas energías provienen del Sol. Éste calienta el aire de la Tierra y lo hace ascender, así se crean las corrientes de aire y el viento, 6×10^{21} J de energía se producen en un año. El Sol envía energía calorífica y luminosa que las plantas utilizan para sintetizar sus minerales y poder realizar los procesos de fotosíntesis, esas plantas crecen y se pueden quemar para obtener calor

Al igual que con el viento, el Sol calienta el mar y da lugar a gradientes térmicos, 6×10^{18} J al año; al calentar el mar, el Sol evapora el agua que se transforma en vapor de agua, en nubes, en lluvia y en ríos, es decir, en energía mecánica o hidráulica, 35×10^{28} J al año, de los cuales menos del 50% son aprovechables a lo largo del año. La energía química de pilas y demás; la biomasa, el conjunto de residuos vegetales y animales que quemados darían 3×10^{21} J. Las mareas, resultado de la atracción que ejercen el Sol y la Luna sobre la Tierra y sobre el mar, 10^{18} J al año se puede seguir así un buen rato pero queda ya claro que el sol es la base de la vida en nuestro planeta, envía mucha energía y es lógico que se intente utilizarla de algún modo. Los datos de energía es un promedio anual en todo el mundo.

1.3.2 Aprovechamiento de la energía solar

La energía solar se aprovecha mediante dos vías: la térmica y la fotovoltaica. La térmica transforma la energía procedente del Sol en energía calorífica. La fotovoltaica convierte directamente la energía solar en energía eléctrica mediante el efecto fotovoltaico. Por otra parte existen también unas centrales de tipo eólico solar.

Los sistemas solares basados en la vía térmica que se utilizan para la producción de electricidad más importantes, son los llamados de alta temperatura. Las centrales de este tipo más extendidas son las centrales termoeléctricas de receptor central. Éstas constan de una amplia superficie de helióstatos, es decir de grandes espejos sostenidos por soportes, que reflejan la radiación solar y la concentran en un pequeño punto receptor, que habitualmente está instalado en una torre.

Los haces del Sol son concentrados y reflejados sobre la caldera que se encuentra en la torre, en ella el aporte calorífico de la radiación solar es absorbido por un fluido térmico (agua, aire, sales fundidas) que es conducido a través de un circuito primario hacia un generador de vapor. En él intercambia calor y vaporiza a un segundo fluido que circula por un circuito secundario (agua), que es quién acciona los alabes del grupo turbina-alternador para generar energía eléctrica. El fluido del circuito secundario es posteriormente condensado para repetir el ciclo. El fluido del circuito primario, vuelve a la caldera y repite también el ciclo.

El helióstato se va moviendo siguiendo la orden de un ordenador central para que en todo momento se encuentre en la posición idónea para captar la radiación solar. Por ejemplo se tiene la Plataforma Solar de Almería, en España, con las centrales DCS (colectores cilíndricos-parabólicos) y CRS (tipo torre central), la CESA-1, también de torre central.

Entre las instalaciones solares a alta temperatura cabe citar también a las centrales solares con discos parabólicos. En la figura geométrica de las superficies reflectantes es la de un paraboloides de revolución.

En los sistemas solares mediante células fotovoltaicas la célula fotoeléctrica se dispone en paneles. La luz solar transporta energía en forma de un flujo de fotones, cuando éstos inciden en determinado tipo de materiales (semiconductores) y bajo ciertas condiciones se convierte la energía luminosa en eléctrica. La explotación a un cierto nivel comercial de este tipo de sistemas, está comenzando a realizarse actualmente.

En cuanto al funcionamiento las centrales eólicas-solares es como sigue

La radiación solar incide sobre una cubierta que calienta el aire contenido en su interior mediante el efecto invernadero. El aire caliente pesa menos que el frío y tiende a subir, canalizado convenientemente se dirige hacia una chimenea de conducción, en el interior de ésta hay alojada una turbina que está asociada a un generador de corriente eléctrica. Este tipo es común verlo en países europeos , como por ejemplo en España.

También, y aunque pueda parecer extraño, otra de las más prometedoras aplicaciones del calor solar será la refrigeración durante las épocas cálidas, precisamente cuando más soleamiento hay. En efecto, para obtener frío hace falta disponer de una fuente cálida, la cual puede perfectamente tener su origen en unos colectores solares instalados en el tejado o azotea. En los países árabes ya funcionan acondicionadores de aire que utilizan eficazmente la energía solar, como ejemplo de este sistema se puede mencionar el instalado en el Centro de Negocios ISI Peregrini, en Trento, Italia.

Las aplicaciones agrícolas son muy amplias. Con invernaderos solares pueden obtenerse mayores y más tempranas cosechas; los secaderos agrícolas consumen mucha menos energía si se combinan con un sistema solar, y, por citar otro ejemplo, pueden funcionar plantas de purificación o desalinización de aguas sin consumir ningún tipo de combustible. Por ejemplo de invernadero solar se tiene los invernaderos en comunidades rurales de la puna jujeña en Argentina.

1.3.3 Solarimetría e insolación

Una vez que se conoce que es la energía solar, se va a estudiar qué parámetros le afectan y controlan. La energía del Sol llega de tres formas diferentes:

- Directa: si entre el Sol y el punto de captación no se interpone obstáculo y la dirección del rayo solar no se altera.
- Difusa: cuando el rayo solar llega a través de nubes, copos de nieve, etc., o sea objetos traslúcidos o transparentes, que refractan dicho rayo y le cambian de dirección.
- Refleja: cuando un objeto reflectivo (conocido como reflector) hace rebotar un rayo luminoso que luego incide en el punto de captación.

1.3.3.1 Tipos de insolación

La mejor calidad energética la tiene los rayos directos, pero en nuestros países (América Central y América del Sur) predomina la insolación difusa en algunas regiones o épocas del año. Se puede decir que para colectores térmicos se aprovecha tanto la luz directa como la difusa, para fotosíntesis ambas; y para conversión fotovoltaica, la directa.

1.3.3.2 Factores que afectan la energía incidente

Se debe aclarar que usualmente se pueden tener dos parámetros generales para medir, son ellos: la cantidad de Brillo Solar, o sea el número de horas por día en que se recibe sol directo. Se emplea para su medición un aparato consistente en una esfera sólida de cristal que concentra los rayos solares directos en una tira de papel que se quema con el rayo concentrado. El dato que ofrece se expresa en horas - sol y el aparato tiene varios nombres como heliógrafo, bolómetro, o esfera de Campbell-Stokes. (Ministerio de Energía y Minas, 1992.17)

El segundo parámetro es conocido como insolación o radiación medida por medio de un aparato conocido como piranómetro, que básicamente mide la cantidad de energía que incide por unidad de área y por unidad de tiempo. Las medidas usuales se expresan como Langley/tiempo, siendo que un Langley equivale a 1 cal/cm^2 . Otra forma típica, (usada en la actualidad por el Sistema Internacional de Medidas) es expresar la insolación en W/m^2 . De acá se deriva otra unidad, la hora pico que equivale a decir por cuantas horas al día se puede tener una insolación promedio de 1 KW/m^2 . (Ministerio de Energía y Minas, 1992.17)

Así los meteorólogos expresan insolación o radiación en Langley/día, los energetistas en W/m^2 y los fotovoltaicos en horas-pico.

Sus equivalencias son

$$1 \text{ hora-pico} = 1 \text{ KW/m}^2 = 1000 \text{ W/m}^2 = 86 \text{ Langley/día}$$

1.3.3.3 Climatología y seguimiento solar

El número de horas Sol y el número de horas pico son funciones de muchos parámetros, siendo las principales: el ángulo solar y la pureza ambiental.

El ángulo solar que se tenga, o sea el ángulo sustentado entre el rayo incidente y el plano de captación; debe ser mayor a 60 grados sexagesimales y de preferencia cercano a 90 grados sexagesimales, (90° Y 60°); pues así se optimiza la captación energética.

La pureza ambiental está relacionada con el microclima local y la contaminación aérea. Mucha humedad (vapor, polvo, humo, copos de nieve) puede convertir sol directo (muy provechoso); en Sol difuso (menos aprovechable).

Así lo que se debe conocer es la posición del Sol y el microclima. La posición del Sol fácilmente se determina conociendo dos ángulos: el azimut y la altura solar, los cuales son función de: latitud, época del año y hora del día. Se encuentra fácilmente en las gráficas solares de Bennet que brindan para latitudes dadas, el punto preciso de posición solar, o sea los ángulos azimut y altura solar, (Ministerio de Energía y Minas, 1992.22).

El azimut es el ángulo que se mide desde el norte geográfico y desplazándose sobre el plano horizontal del lugar estudiado.

El microclima tiene diversas variables, pero las más importantes son: altitud sobre el nivel del mar (entre más elevado mejor insolación); orografía local (mejor llanuras que valles); nubosidad (despejado equivale a tener Sol directo); contaminación de polvo, humo, niebla, vapores y copos de nieve (todos ellos reflejan, defractan o absorben energía radiante y son perjudiciales).

1.3.3.4 Heliofanía (n)

Es el tiempo, en horas, durante el cual el Sol tiene un brillo solar efectivo en el que la energía solar directa alcanza o excede un valor umbral variable entre 120 y 210 W/m², que depende de su localización geográfica, del equipo, del clima y del tipo de banda utilizada para el registro (WMO, 1 992). También se le suele denominar brillo solar o insolación.

1.3.3.5 Irradiancia

Potencia solar incidente en una superficie por unidad de área (RISOL, 1999). Sus unidades son W/m^2 .

1.4 Radiación solar en la superficie terrestre

1.4.1 La constante solar

Desde el punto de vista energético, la masa solar que por segundo se irradia al espacio en forma de partículas de alta energía y de radiación electromagnética es aproximadamente de 5.6×10^{35} GeV y de ella, la Tierra recibe en el exterior de su atmósfera un total de 1.73×10^{14} kW, o sea $1.353 \text{ kW}/m^2$, que se conoce como constante solar y cuyo valor fluctúa en un $\pm 3\%$ debido a la variación periódica de la distancia entre la Tierra y el Sol (Diez., 2002.2)

La atmósfera y la superficie terrestre se encuentran a temperaturas medias distintas y, por lo tanto, también radían energía; así, la longitud de onda de la radiación solar está comprendida entre, $0.05 \mu\text{m}$ y $4 \mu\text{m}$, mientras que la radiación terrestre lo está entre $3 \mu\text{m}$ y $80 \mu\text{m}$, es decir, se trata de emisiones de onda larga.

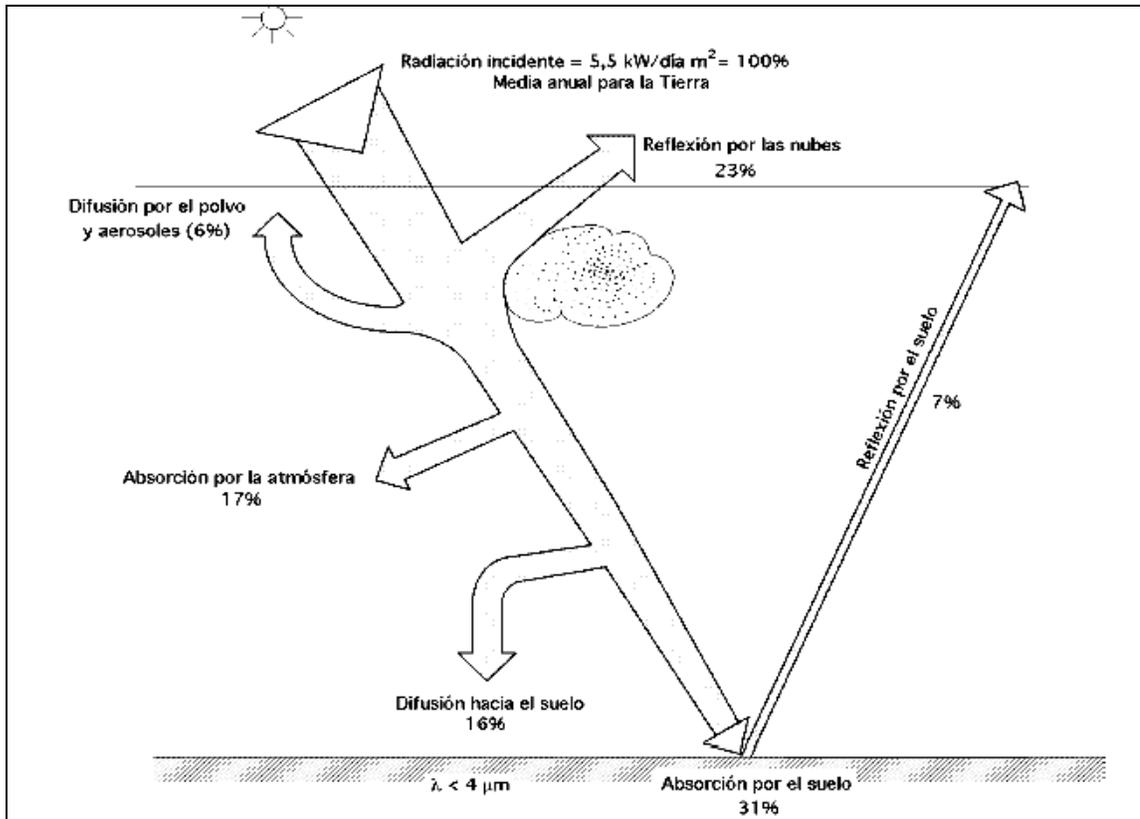
Los 1.73×10^{14} kW de energía solar que inciden sobre la Tierra se reparten en la siguiente forma:

- Energía solar reflejada por la atmósfera hacia el espacio exterior, 30%, 0.52×10^{14} kW.

- Energía solar que se utiliza en calentar la atmósfera, 47%, 0.80×10^{14} kW.
- Energía solar que se utiliza en la evaporación de los océanos, 23%, 0.40×10^{14} kW.
- Energía solar que se utiliza en generar perturbaciones atmosféricas, como el viento, (energía mecánica), 0.0037×10^{14} kW.
- Energía solar utilizada en la fotosíntesis, 0.0004×10^{14} kW.

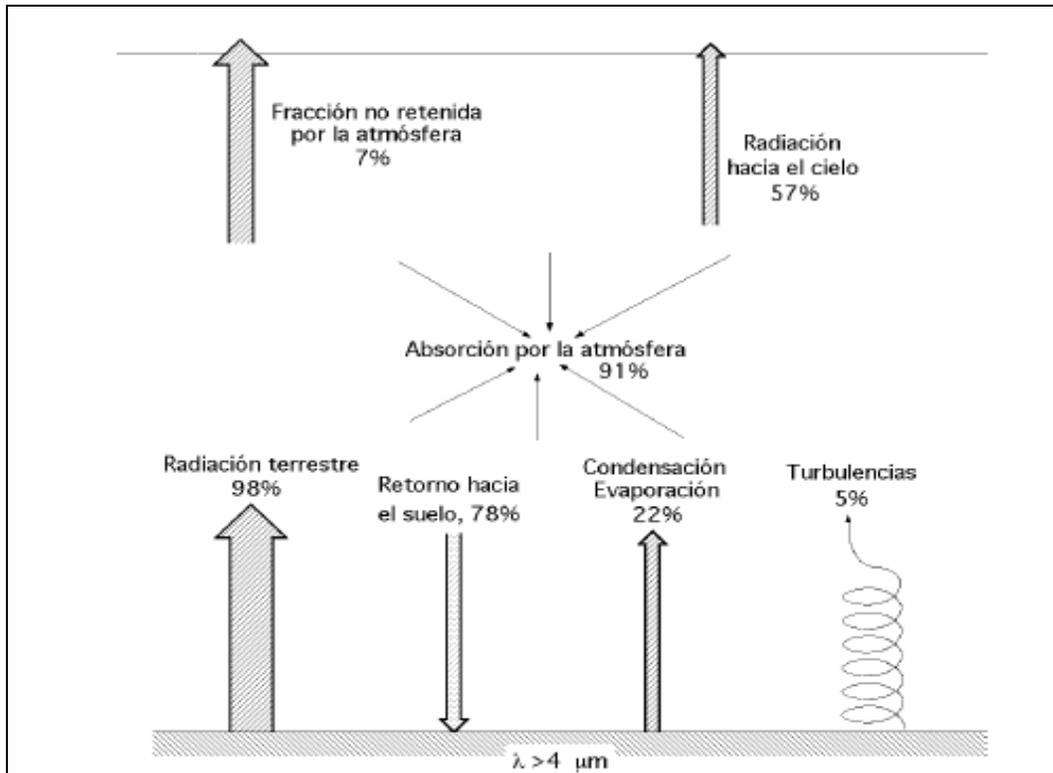
De todo lo anterior, sólo el 47% de la energía solar incidente alcanza la superficie terrestre, de forma que el 31% lo hace directamente y el otro 16% después de ser difundida por el polvo, vapor de agua y moléculas de aire. El 53% de la energía restante no alcanza la superficie de la Tierra, ya que un 2% es absorbida por la estratósfera, principalmente por el ozono, el 15% por la tropósfera, (agua, ozono y nubes), en total $2 + 15 = 17\%$ y por otra parte, un 23% es reflejada por las nubes, un 7% es reflejada por el suelo y el 6% restante corresponde a aquella energía difundida por la atmósfera que se dirige hacia el cielo, figuras 1 y 2.

Figura 1. Balance de radiación solar



Fuente: Pedro Diez, **Procesos termosolares**, en baja, media y alta temperatura. Pág. 3

Figura 2. Balance de la radiación terrestre



Fuente: Pedro Diez, **Procesos termosolares, en baja, media y alta temperatura**. Pág. 3

1.4.2 Distribución espectral de la radiación solar extraterrestre

El Sol se puede considerar como un gigantesco reactor de fusión nuclear, constituido por diferentes gases que se encuentran retenidos en el mismo por fuerzas gravitatorias. La energía en forma de radiación electromagnética, resultado de las reacciones de fusión que tienen lugar en él, fundamentalmente en el núcleo, debe ser transferida a la superficie exterior para, desde allí, ser radiada al espacio. En este proceso de transferencia aparecen fenómenos convectivos y radiativos, así como sucesivas capas de gases, dando lugar a un espectro de emisión continuo.

A pesar de la compleja estructura del Sol, para las aplicaciones de los procesos térmicos derivados del mismo, se puede adoptar un modelo mucho más simplificado. Así, se puede considerar al Sol como un cuerpo negro que irradia energía a la temperatura de 5,762 K, ya que la distribución de energía para cada longitud de onda aprovechable por los procesos térmicos y fototérmicos, es básicamente la misma que la de dicho cuerpo negro. Para otros procesos que dependen de la longitud de onda y en los que la distribución espectral es un factor importante, por ejemplo, en los procesos fotovoltaicos o fotoquímicos, pueden resultar necesarias consideraciones más detalladas.

La Tierra, en su movimiento alrededor del Sol, describe una órbita elíptica, de escasa excentricidad, de forma que la distancia entre el Sol y la Tierra varía aproximadamente un $\pm 3\%$.

La distancia media Tierra - Sol es, $d = 149$ millones de km.

En el solsticio de verano (21 de junio), la Tierra está alejada una distancia del Sol máxima, $d_{\text{máx}} = 1.017$ d.

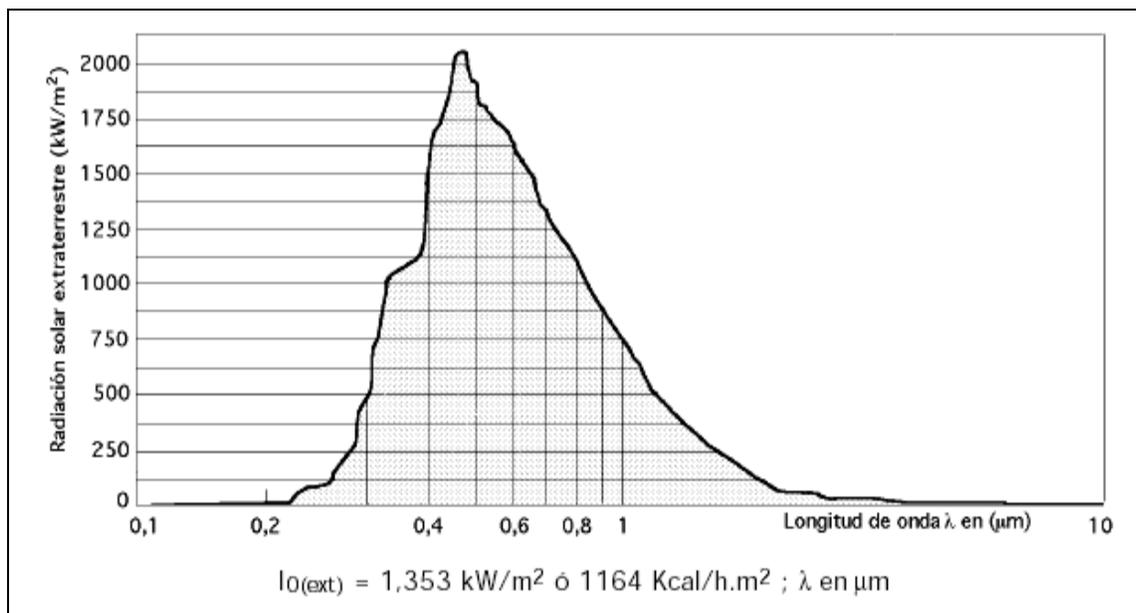
En el solsticio de invierno (21 de diciembre), la Tierra se halla a la distancia mínima del Sol, $d_{\text{mín}} = 0.983$ d.

Con estos datos, un observador terrestre situado sobre un círculo en el cual el Sol ocupase el centro, vería a éste bajo un ángulo de 32 minutos.

La radiación emitida por el Sol y las relaciones espaciales con la Tierra, conducen al concepto de intensidad de radiación en el límite exterior de la atmósfera; su valor es prácticamente constante y se conoce como constante solar, definiéndose como la energía solar por unidad de tiempo recibida sobre una superficie perpendicular a la radiación, de área unidad.

Esta radiación al atravesar la atmósfera, es parcialmente absorbida y difundida por ciertos componentes de la misma; en las últimas décadas, al disponer de satélites artificiales, se han podido realizar mediciones directas de la intensidad solar, libres de la influencia de la atmósfera terrestre, habiéndose dado un valor estándar de la misma $I_{0(\text{ext})}$ (1.353 kW/m^2) propuesto por Thekaekara y Drummond en 1979, figura 3.

Figura 3. Curva estándar de la radiación solar extraterrestre



Fuente: Pedro Diez, **Procesos termosolares, en baja, media y alta temperatura**. Pág. 5

Resulta importante conocer la distribución espectral de la radiación solar, ya que la interacción de la misma con los distintos medios materiales va a ser función de la longitud de onda de la radiación incidente. En la figura 3 se puede observar el espectro de la radiación extraterrestre correspondiente a la distribución de energía que llegaría a la Tierra en ausencia de atmósfera.

La curva estándar de la distribución espectral de la radiación extraterrestre, está basada en medidas hechas en el espacio exterior a gran altitud, en la que el promedio de energía para una anchura de banda de longitud de onda media λ y la energía integrada para longitudes de onda inferiores a λ vienen dadas en la tabla II (Thekaekara, 1979). En ella E_1 es el promedio de radiación solar comprendido sobre una pequeña banda del espectro centrada en la longitud de onda λ , W/cm^2 , μm , $\Delta\lambda$ es el % de la constante solar asociada a longitudes de onda menores que λ .

Tabla II. Radiación solar extraterrestre. constante solar, $I_{0(\text{ext})} = 1,353$ kW/m²

| λ | E_{λ} | $\Delta\lambda$ | λ | E_{λ} | $\Delta\lambda$ | λ | E_{λ} | $\Delta\lambda$ |
|-----------|---------------|-----------------|-----------|---------------|-----------------|-----------|---------------|-----------------|
| 0,115 | 0,007 | 0,0001 | 0,43 | 1639 | 12,47 | 0,9 | 891 | 63,37 |
| 0,14 | 0,03 | 0,0005 | 0,44 | 1810 | 13,73 | 1 | 748 | 69,49 |
| 0,16 | 0,23 | 0,0006 | 0,45 | 2006 | 15,14 | 1,2 | 485 | 78,4 |
| 0,18 | 1,25 | 0,0016 | 0,46 | 2066 | 16,65 | 1,4 | 337 | 84,33 |
| 0,2 | 10,7 | 0,0081 | 0,47 | 2033 | 18,17 | 1,6 | 245 | 88,61 |
| 0,22 | 57,5 | 0,05 | 0,48 | 2074 | 19,68 | 1,8 | 159 | 91,59 |
| 0,23 | 66,7 | 0,1 | 0,49 | 1950 | 21,15 | 2 | 103 | 93,49 |
| 0,24 | 68 | 0,14 | 0,5 | 1942 | 22,6 | 2,2 | 79 | 94,83 |
| 0,25 | 70,9 | 0,19 | 0,51 | 1882 | 24,01 | 2,4 | 62 | 95,86 |
| 0,26 | 130 | 0,27 | 0,52 | 1833 | 25,38 | 2,6 | 48 | 96,67 |
| 0,27 | 232 | 0,41 | 0,53 | 1842 | 26,74 | 2,8 | 39 | 97,31 |
| 0,28 | 222 | 0,56 | 0,54 | 1783 | 28,08 | 3 | 31 | 97,83 |
| 0,29 | 482 | 0,81 | 0,55 | 1725 | 29,38 | 3,2 | 22,6 | 98,22 |
| 0,3 | 514 | 1,21 | 0,56 | 1695 | 30,65 | 3,4 | 16,6 | 98,5 |
| 0,31 | 689 | 1,66 | 0,57 | 1712 | 31,91 | 3,6 | 13,5 | 98,72 |
| 0,32 | 830 | 2,22 | 0,58 | 1715 | 33,18 | 3,8 | 11,1 | 98,91 |
| 0,33 | 1059 | 2,93 | 0,59 | 1700 | 34,44 | 4 | 9,5 | 99,06 |
| 0,34 | 1074 | 3,72 | 0,6 | 1666 | 35,68 | 4,5 | 5,9 | 99,34 |
| 0,35 | 1093 | 4,52 | 0,62 | 1602 | 38,1 | 5 | 3,8 | 99,51 |
| 0,36 | 1068 | 5,32 | 0,64 | 1544 | 40,42 | 6 | 1,8 | 99,72 |
| 0,37 | 1181 | 6,15 | 0,66 | 1486 | 42,66 | 7 | 1 | 99,82 |
| 0,38 | 1120 | 7 | 0,68 | 1427 | 44,81 | 8 | 0,59 | 99,88 |
| 0,39 | 1098 | 7,82 | 0,7 | 1369 | 46,88 | 10 | 0,24 | 99,94 |
| 0,4 | 1429 | 8,73 | 0,72 | 1314 | 48,86 | 15 | 0,048 | 99,98 |
| 0,41 | 1751 | 9,92 | 0,75 | 1235 | 51,69 | 20 | 0,015 | 99,99 |
| 0,42 | 1747 | 11,22 | 0,8 | 1109 | 56,02 | 50 | 0,00039 | 100 |

E_{λ} es el promedio de radiación solar, centrada en la longitud de onda λ , en W/cm²μm
 $\Delta\lambda$ es el porcentaje de la constante solar asociada con longitudes de onda inferiores a λ . Thekaekara,1974)

Fuente: Pedro Diez, **Procesos termosolares, en baja, media y alta temperatura**. Pág. 5

Si a partir de estos valores se quiere calcular la fracción de la radiación solar extraterrestre y la magnitud de dicha radiación en el ultravioleta, $\lambda < 0,38$ μm, visible, $0,38 \mu\text{m} < \lambda < 0,78 \mu\text{m}$, e infrarrojo, $\lambda > 0,78 \mu\text{m}$, se obtiene los valores de $\Delta\lambda$ correspondientes a las longitudes de onda de 0,38 μm y 0,78 μm, a partir de los cuales se determina la energía de la banda para $I_{0(\text{ext})} = 1,353$ kW/m².

La radiación emitida desde el núcleo del Sol está localizada en la zona del espectro de rayos gamma y rayos X, aumentando la longitud de onda a medida que la temperatura desciende al alejarnos del núcleo solar.

El estudio detallado de este espectro indica que el 7% de la energía, 95 W/m^2 , corresponde al intervalo de longitudes de onda inferiores a $0,038 \mu\text{m}$, el 47.3%, 640 W/m^2 , a longitudes de onda comprendidas entre 0.38 y $0.78 \mu\text{m}$ y el 45.71% restante a longitudes de onda superiores a $0.78 \mu\text{m}$, a partir de los cuales se podrá determinar la energía de la banda para $I_{0(\text{ext})} = 1,353 \text{ kW/m}^2$.

1.5 Radiación y brillo solar en Guatemala

Ahora que ya se cuenta con la herramienta de medición, o sea las unidades y sus equivalentes, se evalúa cual es el recurso solar en Guatemala. La información no es muy abundante y la antigüedad no es mucha, pero sí tienen congruencia con los datos de los países vecinos. Desafortunadamente Guatemala tiene una configuración muy especial, con una gran diversidad de climas en áreas relativamente contiguas, además de esto, el hecho que las estaciones no necesariamente se ubican en puntos representativos de regiones de clima definido, por lo que es un poco aventurado regionalizar datos, y de allí la necesidad de ampliar la red heliógrafos y actinógrafos.

Los datos a presentar son tomados como los más confiables. Los datos contienen tres valores, que son: horas-luz, horas-sol, y horas-pico, en promedio mensual. Ver tabla III.

Tabla III. Radiación y brillo solar en Guatemala

| Ciudad de Guatemala (templado - seco) | | | | Llanos de la Fragua (cálido - seco) | | | |
|--|-----------|-----------|------------|--|-----------|-----------|------------|
| Mes | Horas-luz | Horas-sol | Horas-pico | Mes | Horas-luz | Horas-sol | Horas-pico |
| Enero | 11.2 | 8 | 5.75 | Enero | 11.22 | 7.5 | 5.1 |
| Febrero | 11.5 | 8.1 | 6.2 | Febrero | 11.5 | 8.2 | 5.8 |
| Marzo | 11.9 | 8.28 | 6.8 | Marzo | 11.9 | 9.03 | 6.52 |
| Abril | 12.3 | 8 | 6.97 | Abril | 12.2 | 8.5 | 6.6 |
| Mayo | 12.7 | 6.45 | 6.29 | Mayo | 12.7 | 7.8 | 6.4 |
| Junio | 12.85 | 5.15 | 5.66 | Junio | 12.9 | 6.76 | 6 |
| Julio | 12.77 | 6.25 | 6.14 | Julio | 12.79 | 7.72 | 6.35 |
| Agosto | 12.47 | 5.93 | 6.02 | Agosto | 12.48 | 7.67 | 6.34 |
| Septiembre | 12.07 | 4.8 | 5.3 | Septiembre | 12 | 6.85 | 5.91 |
| Octubre | 11.65 | 5.75 | 5.41 | Octubre | 11.6 | 6.9 | 5.5 |
| Noviembre | 11.1 | 7.3 | 5.13 | Noviembre | 11.3 | 7.3 | 5.1 |
| Diciembre | 11.1 | 7.3 | 5.3 | Diciembre | 11.1 | 6.92 | 4.8 |
| Promedio año | 12 | 6.8 | 5.96 | Promedio año | 12.7 | 7.6 | 5.88 |

| Cobán (templado - húmedo) | | | | Huehuetenango (Frío - seco) | | | |
|------------------------------|-----------|-----------|------------|--------------------------------|-----------|-----------|------------|
| Mes | Horas-luz | Horas-sol | Horas-pico | Mes | Horas-luz | Horas-sol | Horas-pico |
| Enero | 11.19 | 5.18 | 3.7 | Enero | 11.2 | 8 | 6.1 |
| Febrero | 11.5 | 5.5 | 4.2 | Febrero | 11.5 | 8.5 | 6.8 |
| Marzo | 11.9 | 7.28 | 5.3 | Marzo | 11.9 | 9 | 7.7 |
| Abril | 12.35 | 6.9 | 5.37 | Abril | 12.3 | 8.1 | 7.7 |
| Mayo | 12.72 | 6.62 | 5.22 | Mayo | 12.7 | 6.6 | 7 |
| Junio | 12.9 | 4.94 | 4.39 | Junio | 12.9 | 5.7 | 6.7 |
| Julio | 12.81 | 5.4 | 4.6 | Julio | 12.8 | 7.1 | 7.2 |
| Agosto | 12.5 | 5.2 | 4.5 | Agosto | | | |
| Septiembre | 12 | 4.6 | 4.1 | Septiembre | | | |
| Octubre | 11.6 | 4.1 | 3.6 | Octubre | | | |
| Noviembre | 11.27 | 4.5 | 3.5 | Noviembre | 11.28 | 6.7 | 5.8 |
| Diciembre | 11.1 | 4.7 | 3.3 | Diciembre | 11.1 | 7.83 | 5.9 |
| Promedio año | 12 | 5.44 | 4.34 | Promedio año | 12 | 7.17 | 6.73 |

Fuente: Ministerio de Energía y Minas, **Fundamentos sobre el aprovechamiento solar en Guatemala**. Pág. 24

Tabla III. Radiación y brillo solar en Guatemala

| Quetzaltenango (Frío - húmedo) | | | | Puerto de San José (Litoral) | | | |
|-----------------------------------|-----------|-----------|------------|---------------------------------|-----------|-----------|------------|
| Mes | Horas-luz | Horas-sol | Horas-pico | Mes | Horas-luz | Horas-sol | Horas-pico |
| Enero | 11.23 | 8.3 | 5.7 | Enero | 11.28 | 9.35 | 4.95 |
| Febrero | 11.5 | 8 | 6.1 | Febrero | 11.55 | 9 | 5.3 |
| Marzo | 11.9 | 8.2 | 6.7 | Marzo | 11.9 | 8.9 | 5.7 |
| Abril | 12.34 | 7.6 | 6.6 | Abril | 12.32 | 7.7 | 5.6 |
| Mayo | 12.7 | 5.9 | 5.8 | Mayo | 12.65 | 6 | 5.2 |
| Junio | 12.87 | 4.9 | 5.2 | Junio | 12.8 | 6 | 5.1 |
| Julio | 12.78 | 6.3 | 5.9 | Julio | 12.73 | 7.1 | 5.4 |
| Agosto | 12.48 | 5.8 | 5.7 | Agosto | 12.45 | 7.22 | 5.4 |
| Septiembre | 12 | 4.5 | 4.9 | Septiembre | 12 | 6.3 | 5.1 |
| Octubre | 11.65 | 5.5 | 5.08 | Octubre | 11.67 | 7.4 | 5 |
| Noviembre | 11.3 | 6.8 | 5.2 | Noviembre | 11.3 | 9 | 4.9 |
| Diciembre | 11.13 | 7.4 | 5.4 | Diciembre | 11.19 | 9.3 | 4.8 |
| Promedio año | 12 | 6.67 | 5.57 | Promedio año | 12 | 7.8 | 5.22 |

| | |
|--|---|
| <p>Promedio nacional anual horas - pico = 5.33 horas - sol = 6.47</p> <p>Lugar más propicio = Huehuetenango Lugar menos propicio = Cobán</p> | <p>Mejor mes: marzo, abril Peor mes: septiembre y octubre</p> |
|--|---|

Fuente: Ministerio de Energía y Minas, **Fundamentos sobre el aprovechamiento solar en**

2. HELIÓGRAFOS

2.1 Heliógrafos con cualidades necesarias para estaciones meteorológicas

Para la medición de datos de irradiación solar lo suficientemente precisos y que satisficieran las condiciones estadísticas como para ser considerados representativos en el tiempo y en el espacio, aparecieron alternativas para estimarlos a partir de la información meteorológica existente, siendo uno de los valores utilizados las horas de brillo solar, también conocido como heliofanía efectiva (Diez, 2002.6).

Los heliógrafos (también conocidos como heliofanógrafos) son los instrumentos destinados a medir la duración de la insolación. La Organización Meteorológica Mundial (O.M.M.) se encargó de estudiar el principio de funcionamiento de este equipo, esencialmente la convergencia de los rayos solares sobre una faja de papel que provoca que ésta se queme. Este equipo (inventado por Campbell en 1853 y modificado por Stokes en 1879) consiste en una esfera sólida de vidrio pulido que se comporta como una lente convergente montada de tal manera que en su foco se aloja la faja de registro diario.

El conocimiento de la distribución espacio-temporal de la heliofanía reviste especial interés entonces para la estimación de la radiación solar, si bien también es utilizada para otros fines tales como evaluar la evapotranspiración potencial (ETP) o en modelos de pronóstico de cosecha.

Los heliógrafos sirven para medir la duración de la luz solar, que se puede definir como el intervalo de tiempo durante el cual se ve el disco solar y determinan los períodos del día durante los cuales la intensidad de la radiación directa es superior a un cierto umbral, que está reconocido a nivel mundial y vale 120 W/m^2 .

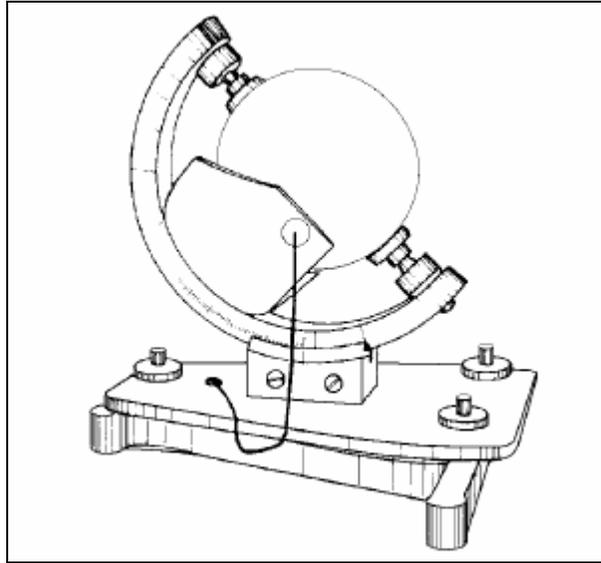
El intervalo de tiempo transcurrido entre la salida y la puesta de Sol, define el máximo tiempo de radiación solar diaria posible, para un día concreto del año y para un lugar determinado.

Los heliógrafos no comienzan a registrar la radiación solar hasta que la radiación directa es superior a un cierto valor, variable de un tipo de aparato a otro. El registrador de referencia intermedio de luz solar (IRSR) tiene un mínimo de intensidad de 210 W/m^2 , equivalente a $1/5$ de la máxima posible; debido a las variaciones entre los instrumentos, este umbral puede oscilar entre 7 y $28 \mu\text{W/cm}^2$.

Entre los heliógrafos más utilizados se puede destacar los de Campbell-Stokes y Denis-Jordan.

En el Campbell-Stokes, figura 4, la radiación directa se concentra con ayuda de una lente esférica sobre un papel coloreado de textura definida; enseguida se produce una quemadura o una decoloración del papel indicando que la radiación directa es más o menos intensa, siendo la longitud de la misma proporcional a la duración de la radiación solar, efectuándose su examen bajo normas muy estrictas. El proceso es manual.

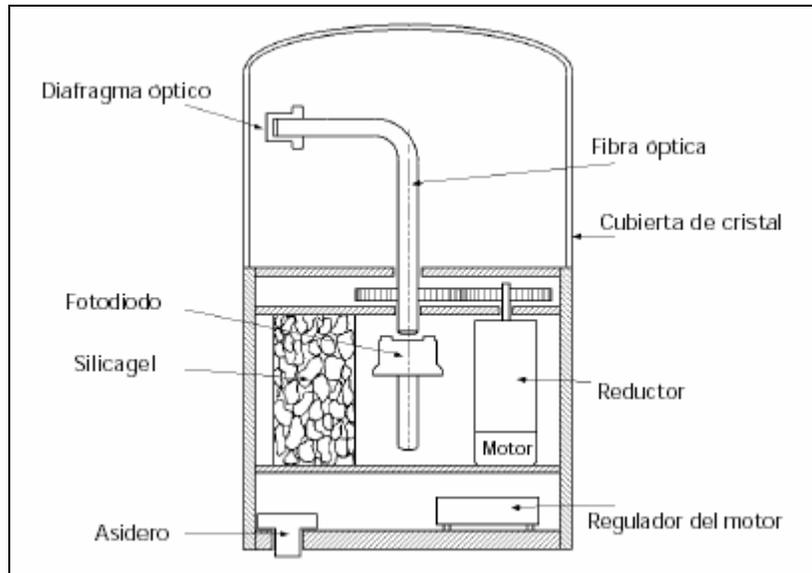
Figura 4. Heliógrafo de Campbell-Stokes A



Fuente: Pedro Diez, **Procesos termosolares, en baja, media y alta temperatura**. Pág. 6

El heliógrafo de Denis-Jordan, figura 5, está constituido por una fibra óptica acodada 90°, accionada por un motor de corriente continua, girando a razón de una vuelta por cada 1/100 de hora. La extremidad de la fibra óptica recibe la radiación solar a través de un diafragma y una célula fotoeléctrica situada en el otro extremo de la fibra produce una señal cuya magnitud es proporcional a la intensidad de la radiación.

Figura 5. Heliógrafo de Denis–Jordan



Fuente: Pedro Diez, **Procesos termosolares, en baja, media y alta temperatura**. Pág. 6

Los heliógrafos que se utilizan en las estaciones meteorológicas por lo general son los llamados heliógrafos de Campbell-Stokes

2.1.1 Heliógrafos de Campbell-Stokes

Este instrumento fue inventado en Inglaterra por Campbell en 1853 y fue modificado por Stokes en 1879. Es un instrumento que mide la cantidad de horas - sol (total en horas y décimos) durante el día en un lugar determinado. Ver figura 6.

Figura 6. Heliógrafo de Campbell–Stokes B



Fuente: <http://www.imn.ac.cr/educa/instrumentos/Heliog.htm>.

Es esencialmente una esfera de vidrio sólido pulido con un eje montado paralelo al eje de la tierra; es necesario orientar el plano vertical que pasa por el eje, e inclinar un ángulo igual a la latitud del lugar.

La esfera actúa como un lente y la imagen focalizada se mueve a lo largo de una banda de papel especialmente preparada que tiene una escala de tiempo (Robinson, 1966). La quemadura de la banda ocurre cuando la irradiación solar directa supera un límite variable de 120 a 210 W/m² (WMO, 1992), que depende de la ubicación (turbidez atmosférica, altitud, humedad atmosférica), el clima, el tipo de banda de registro utilizada y los métodos de análisis (WMO, 1981).

Mediante el uso de correlaciones simples, con coeficientes apropiados, las series históricas de insolación pueden ser utilizadas para estimar irradiación solar diaria, media mensual o anual, con errores mínimos del orden de 10 % (Tiba *et. al.*, 2000).

El heliógrafo de Campbell-Stokes consiste en una esfera de vidrio que, a modo de lente convergente, concentra los rayos solares sobre una cartulina arrollada en forma de semicilindro por la parte exterior de dicha esfera (concéntrica a la misma). Esta disposición permite que en las horas en que el sol brilla la lente actúe de lupa, haciendo que sobre dicha cartulina se vaya registrando una zona quemada cuya longitud y posición indica las horas de insolación correspondientes al período de medida.

Esto es posible gracias a que la cartulina lleva impresas líneas horarias, lo que permite leer directamente el número de horas en que ha habido insolación.

El instrumento debe ser orientado cuidadosamente de manera que la escala de tiempo de cartón coincida con el tiempo solar.

2.1.2 Cartas heliográficas

Las cartas de registro que se utilizan para los heliógrafos deben de ser de un material que resista las inclemencias del tiempo, por ejemplo la lluvia. Por eso se elaboran de cartón tipo alemán, el cual tiene la propiedad de no absorber el agua.

Las cartas heliográficas son de 3 formas diferentes dependiendo del mes del año en que se utilicen (ver tabla IV). Los tipos de cartas heliográficas son los siguientes:

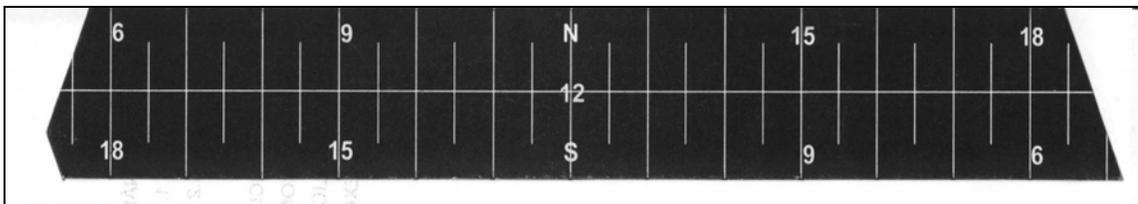
- Carta tipo recta (figura 7)
- Carta tipo curva corta (figura 8)
- Carta tipo curva larga (figura 9)

Tabla IV. Fechas de cambio de la cartas heliográficas

| TIPO | FECHA |
|------------------------|-----------------------------------|
| Carta tipo recta | 1 de marzo al 10 de abril |
| Carta tipo curva larga | 11 de abril al 31 de agosto |
| Carta tipo recta | 1 de septiembre al 10 de octubre |
| Carta tipo curva corta | 11 de octubre al 28/29 de febrero |

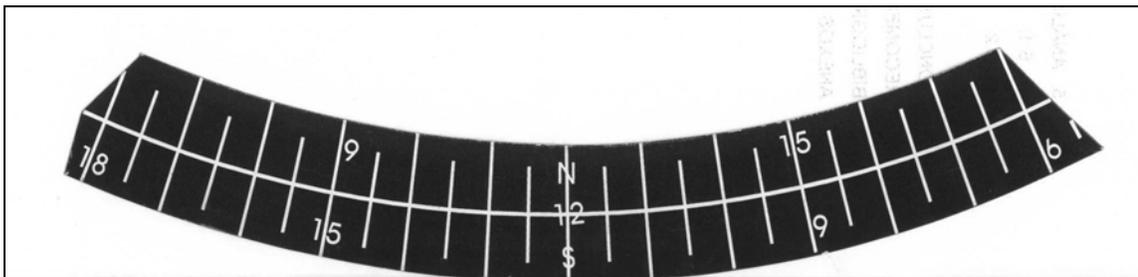
Fuente: **INSIVUMEH**

Figura 7. Carta heliográfica tipo recta



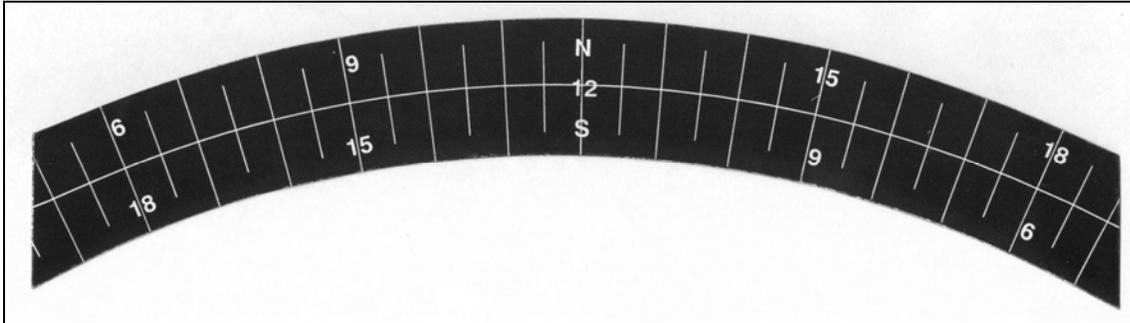
Fuente: **INSIVUMEH**

Figura 8. Carta heliográfica tipo curva corta



Fuente: **INSIVUMEH**

Figura 9. Carta heliográfica tipo curva larga



Fuente: **INSIVUMEH**

2.2 Heliógrafos de fabricación local

Para el análisis del funcionamiento de los heliógrafos de fabricación local, se tomaron dos modelos construidos por los estudiantes de Geografía del Centro Universitario de Occidente; USAC, en el año 2003. Estos modelos resultaron bastante aceptables desde el punto de vista de construcción, durabilidad, economía y operación.

Los modelos se identifican por: heliógrafo tipo A y heliógrafo tipo B. Ver dibujos de cada uno de ellos en las figuras 10 y 11

Figura 10. Heliógrafo tipo A

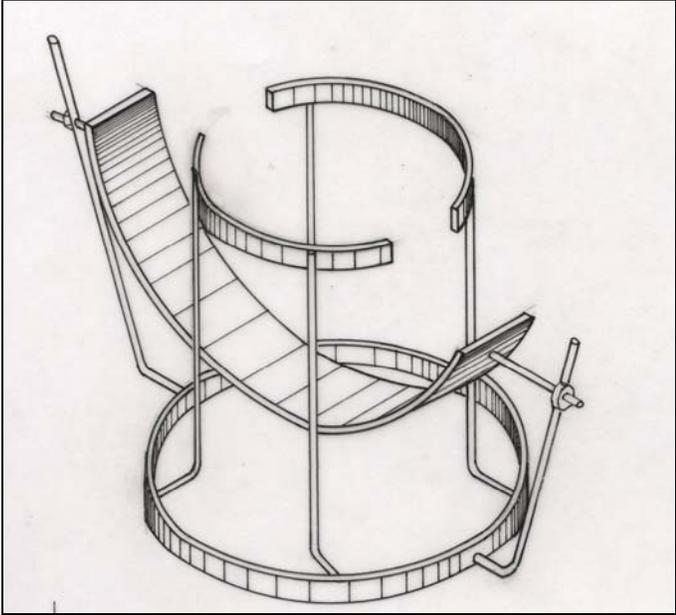
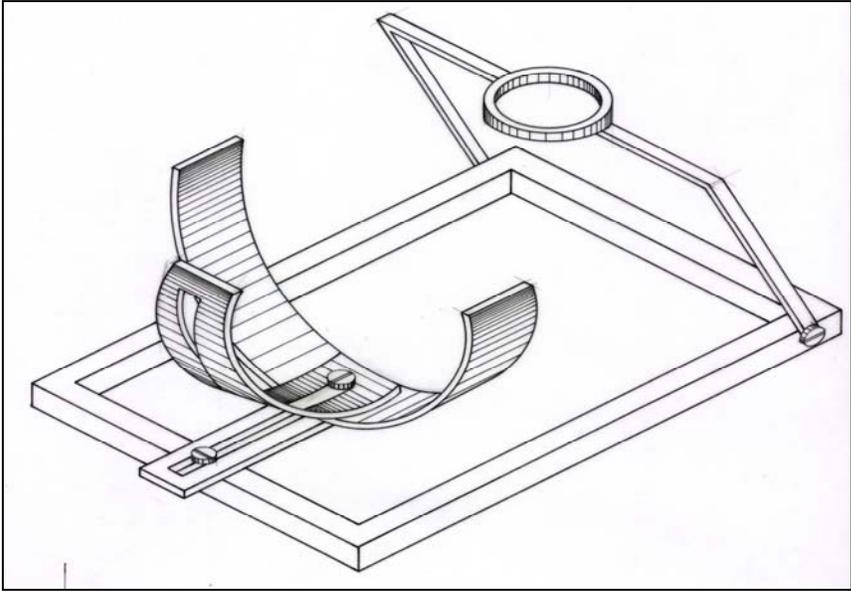


Figura 11. Heliógrafo tipo B



2.2.1 Materiales para heliógrafos de fabricación local

2.2.1.1 Heliógrafo tipo A

Los materiales utilizados para la construcción de este diseño de heliógrafo son los siguientes.

- Llantilla de 1.27 cm. (1/2 pulgada). Espesor de 4 mm. y una longitud de 3.50 metros.
- Hierro de 0.635 cm. (1/4 de pulgada). Espesor de 0.635 cm. y una longitud de 1 metro.
- Foco tipo globo, marca OSRAM, 75 W., G-40, claro, E-26.
- Agua destilada.
- Sellador de silicón; marca Safriflex, tipo blanco.
- Lámina negra de 0.79375 mm. (1/32 de pulgada) de espesor. 4 cm. de ancho y 30 cm. de largo
- Dos tornillos 0.3175 cm. (1/8 de pulgada) de diámetro con dos tuercas cada uno.
- Electrodo 6013 de 0.3175 cm (1/8 de pulgada) de espesor.

2.2.1.2 Heliógrafo tipo B

Los materiales utilizados para la construcción de este diseño de heliógrafo son los siguientes:

- Angular de 1.905 cm. (3/4 de pulgada). Espesor de 4 mm. y una longitud de 1 metro.
- Llantilla de 1.27 cm. (1/2 pulgada). Espesor de 4 mm. y una longitud de 30 cm.
- Lámina negra de 0.79375 mm. (1/32 de pulgada) de espesor. 8 cm. de ancho y 20 cm. de largo.
- Cuatro tornillos de 0.635 cm. (1/4 de pulgada) de diámetro con cuatro tuercas de mariposa.
- Agua destilada.
- Una abrazadera de presión
- Una bola de agua con rosa en el centro.
- Electrodo de 6013 de 0.3175 cm (1/8 de pulgada) de espesor.

2.2.2 Material para cartas heliográficas

El material utilizado para elaborar las cartas heliográficas es el cartón tipo alemán. Este papel es utilizado porque no pierde sus cualidades cuando tiene contacto con el agua.

2.2.3 Componentes de los heliógrafos de fabricación local

Los componentes utilizados para la elaboración de estos heliógrafos son los siguientes:

- Para el heliógrafo tipo A los componentes son en sí el armazón (ver figura 12) y un foco tipo globo descrito anteriormente (ver figura 13).

Figura 12. Armazón del heliógrafo tipo A



Armazón modelo original



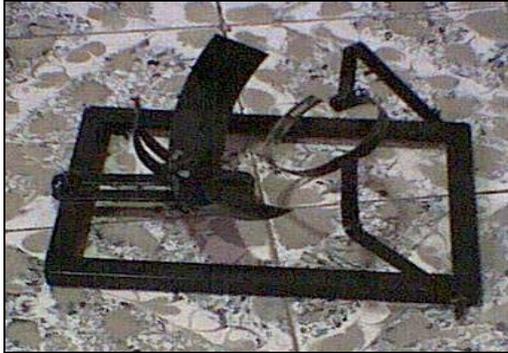
Armazón Modelo modificado

Figura 13. Foco tipo globo



- Para el heliógrafo tipo B los componentes son el armazón (ver figura 14) y una bola de agua con rosa en medio (ver figura 15).

Figura 14. Armazón del heliógrafo tipo B



armazón modelo original



armazón modelo modificado

Figura 15. Bola de agua con rosa en medio



bola de rosa original



bola con agua destilada

2.2.4 Optimización de los heliógrafos de fabricación local

Los heliógrafos construidos para analizarlos con el heliógrafo de cualidades meteorológicas, han tenido pocos cambios con respecto al diseño tomado de los trabajos de los estudiantes del curso de Geografía del Centro Universitario de Occidente, de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Para el heliógrafo tipo A, se cambió la forma de construcción de la lámina que sostiene la carta heliográfica, además de sus dimensiones; ya que en el modelo original esta lámina era demasiado grande y hacía variar los resultados de horas sol durante el día. (Ver figura 16).

Figura 16. Optimización del heliógrafo tipo A



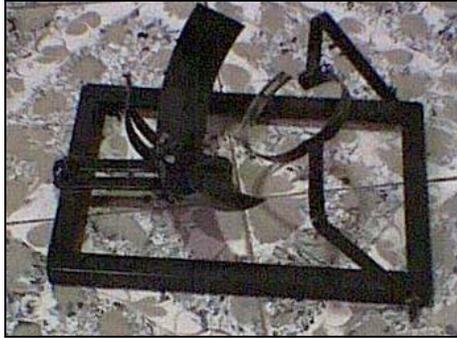
Modelo original



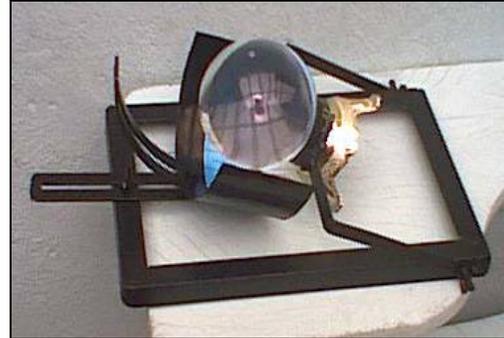
Modelo optimizado

Para el heliógrafo tipo B, se cambió la dimensión de la lámina que sostiene la carta heliográfica, porque ésta era demasiado pequeña y no se podían usar las cartas heliográficas del tipo curva larga y curva corta. (Ver figura 17).

Figura 17. Optimización del heliógrafo tipo B



Modelo original



Modelo optimizado

2.2.5 Coste de los heliógrafos de fabricación local

Los costes para la fabricación de los heliógrafos de fabricación local son importantes para analizar, ya que por medio de ellos se ve la factibilidad de la construcción de los mismos.

2.2.5.1 Coste del heliógrafo tipo A y tipo B

El coste de un heliógrafo tipo A y tipo B, está dado en la tabla V y VI respectivamente.

Tabla V. Coste del heliógrafo tipo A

| Material utilizado | Cantidad | Coste en Quetzales |
|---|----------------------|--------------------|
| Llanta de 1.27 cm. (1/2 pulgada) | 3.50 m.. | 17.50 |
| Hierro de 0.635 cm. (1/4 de pulgada). | 1.00 m. | 3.50 |
| Foco tipo globo, marca OSRAM, 75 W., G-40, claro, E-26. | 1 | 35.00 |
| Agua destilada. | 523.60 mililitros | 10.00 |
| Sellador de silicón; marca Safriflex, tipo blanco. | 1 | 15.00 |
| Lámina negra de 0.79375 mm. (1/32 de pulgada) de espesor | 0.30 m. x 0.04 m. | 5.00 |
| Dos tornillos 0.3175 cm. (1/8 de pulgada) de diámetro con dos tuercas cada uno. | | 4.00 |
| Electrodo 6013 de 0.3175 cm (1/8 de pulgada) de espesor | 5 varillas | 10.00 |
| | Total | 100.00 |

Tabla VI. Coste del heliógrafo tipo B

| Material utilizado | Cantidad | Coste en Quetzales |
|---|-------------------------|--------------------|
| Angular de 1.905 cm. ($\frac{3}{4}$ de pulgada) | 1.00 m. | 6.00 |
| Llantilla de 1.27 cm. (1/2 pulgada) | 0.30 m. | 5.00 |
| Lámina negra de 0.79375 mm. (1/32 de pulgada) de espesor. | 0.20 m. x 0.08 m. | 10.00 |
| Cuatro tornillos de 0.635 cm. (1/4 de pulgada) de diámetro con cuatro de mariposa | | 10.00 |
| Agua destilada | 1150.34 mililitros | 10.00 |
| Una bola de agua con rosa en el centro | 1 | 35.00 |
| Una abrazadera de presión | | 10.00 |
| Electrodo de 6013 de 0.3175 cm (1/8 de pulgada) de espesor. | 5 varillas | 10.00 |
| | total | 96.00 |

3. INSTALACIÓN DE LOS HELIÓGRAFOS DE FABRICACIÓN LOCAL EN LABOR OVALLE

3.1 Autorizaciones

Antes de instalar los heliógrafos de fabricación local en la Labor Ovalle, se procedió a hacer una solicitud dirigida al ingeniero Mario Bautista; el cual, es el encargado de dicha estación.

El ingeniero Mario Bautista, después de observar y probar los heliógrafos de fabricación local, autorizó la instalación de cuatro heliógrafos en la estación (2 heliógrafos tipo A y dos heliógrafos tipo B).

3.2 Construcción de soportes para los heliógrafos de fabricación local

La construcción de los soportes, se hizo después que el ingeniero Mario Bautista autorizara la instalación de dichos heliógrafos en la estación de la Labor Ovalle.

Estos soportes fueron realizados de madera, con una altura de 1 metro. El motivo de utilizar madera para la construcción de estos soportes, es porque sólo se instalarán por un tiempo de 46 días. En la figura 18 se pueden ver estos soportes.

Figura 18. Soportes para los heliógrafos de fabricación local



3.3 Instalación de los heliógrafos

Luego de la elaboración de los soportes para estos heliógrafos, se procedió a la instalación de los mismos en la estación del INSIVUMEH, Labor Ovalle.

Primero se instalaron los cuatro soportes, teniendo que abrir agujeros en el suelo para enclavar las cuatro patas de los soportes.

Después se colocaron los heliógrafos sobre cada soporte, teniendo cuidado de que estos quedaran a nivel con el horizonte y orientados exactamente en la línea imaginaria norte-sur. Ver figura 19.

Figura 19. Instalación de los heliógrafos



En la figura 19, se observa la manera en que quedaron instalados los heliógrafos de fabricación local, en las instalaciones de la Estación Labor Ovalle del INSIVUMEH

4. ADQUISICIÓN DE DATOS

4.1 Parte preparatoria

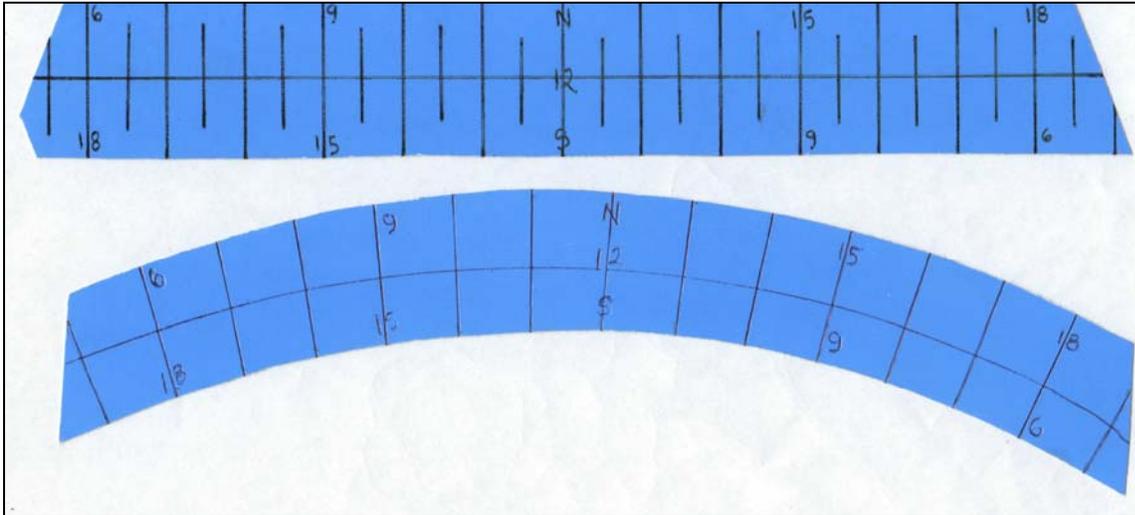
4.1.1 Especificación del material de las cartas heliográficas, de los heliógrafos de fabricación local

El material utilizado para elaborar las cartas heliográficas, como ya se ha dicho anteriormente es el cartón tipo alemán.

No se probó con otro cartón, ya que el que se utilizó tenía las cualidades necesarias para la investigación.

Estas tarjetas se elaboraron a mano y sólo se hicieron las de tipo recta y curva larga, esto por la época del año en que se realizaron las pruebas. Ver figura 20

Figura 20. Tarjetas heliográficas de heliógrafos locales



Estas tarjetas se elaboraron con un modelo que fue proporcionado por el INSIVUMEH.

4.1.2 Elaboración de documentos de registro de datos

Los documentos de registro de datos se diseñaron con el formato que se puede ver en la tabla VII.

Tabla VII. Documento de registro de datos

| HELÍOGRAFO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------------|------------------------|------|-----|------------|--|--|-------|------------------------|---|--|--|---|--|--|---|--|--|---|--|--|---|--|--|---|--|--|---|--|--|---|--|--|---|--|--|----|--|--|----|--|--|----|--|--|----|--|--|----|--|--|----|--|--|----|--|--|----|--|--|----|--|--|----|--|--|----|--|--|----|--|--|----|--|--|----|--|--|----|--|--|----|--|--|----|--|--|----|--|--|----|--|--|----|--|--|----|--|--|----|--|--|
| Latitud | Longitud | Elevación | MSNM | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Estación | Depto. | Municipio | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Observador | | Mes | Año | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">Día</th> <th colspan="2" style="width: 85%;">Insolación</th> </tr> <tr> <td></td> <th style="width: 40%;">Total</th> <th style="width: 45%;">Fracción de insolación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>6</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>7</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>8</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>9</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>10</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>11</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>12</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>13</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>14</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>15</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>16</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>17</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>18</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>19</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>20</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>21</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>22</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>23</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>24</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>25</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>26</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>27</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>28</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>29</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>30</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>31</td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table> | | | | Día | Insolación | | | Total | Fracción de insolación | 1 | | | 2 | | | 3 | | | 4 | | | 5 | | | 6 | | | 7 | | | 8 | | | 9 | | | 10 | | | 11 | | | 12 | | | 13 | | | 14 | | | 15 | | | 16 | | | 17 | | | 18 | | | 19 | | | 20 | | | 21 | | | 22 | | | 23 | | | 24 | | | 25 | | | 26 | | | 27 | | | 28 | | | 29 | | | 30 | | | 31 | | |
| Día | Insolación | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Total | Fracción de insolación | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 19 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 21 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 22 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 23 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 24 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 25 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 26 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 27 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 28 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 29 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 30 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 31 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Firma del observador: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Este diseño se elaboró por lo fácil de su aplicación, ya que toma los datos por meses.

En este documento se registran tanto las horas-sol como el porcentaje de insolación que hubo durante el día.

4.2 Registro de datos

Los datos obtenidos están divididos en: datos obtenidos por instrumentos del INSIVUMEH y datos recolectados de los heliógrafos de fabricación local. Los heliógrafos de fabricación local instalados, como se habló anteriormente son 4, dos heliógrafos tipo A, identificados como A1 y A2; y dos heliógrafos tipo B, identificados B1 y B2. Ver tablas VIII, IX, X, XI, XII, XIII, XIV, XV, XVI, XVII, XVIII y XIX.

Tabla VIII. Datos heliógrafo del INSIVUMEH en el mes de abril

|  INSIVUMEH SECCION DE CLIMATOLOGIA PRECIPITACION E INSOLACION | | | | | | | | | |
|--|--------------------|------------------------------|-------|---------------------------|-----------------|----------------------|----------------|-------------------------------------|-----------------|
| CLAVE <u>13.14.1</u> | | LATITUD _____ | | LONGITUD _____ | | ELEV. <u>21</u> MSNM | | | |
| ESTACION <u>Labor Oralle</u> | | DEPTO. <u>Quetzaltenango</u> | | MUNIC. <u>Olintepeque</u> | | MES <u>Abril</u> | | AÑO <u>2004</u> | |
| NOMBRE DEL OBSERVADOR <u>Jaime Palacios-Rodríguez</u> | | | | | | | | | |
| DIA | PRECIPITACION m.m. | | | | INSOLACION Hrs. | | | RADIACION Cal/cm ² /min. | |
| | CANTIDAD | DURACION | MEDIA | MAXIMA | PLUVIOMET. | TOTAL | Frac. Insolac. | Calorias Media | Calorias Máxima |
| 1 | | | | | 14.6 | 4.1 | 33 | | |
| 2 | | | | | 0.7 | 4.9 | 39 | | |
| 3 | | | | | 0.0 | 3.5 | 28 | | |
| 4 | | | | | 0.0 | 8.4 | 67 | | |
| 5 | | | | | 0.0 | 4.7 | 38 | | |
| 6 | | | | | 0.0 | 6.4 | 51 | | |
| 7 | | | | | 3.1 | 5.9 | 47 | | |
| 8 | | | | | 11.2 | 5.5 | 44 | | |
| 9 | | | | | 0.0 | 7.2 | 58 | | |
| 10 | | | | | 0.0 | 8.3 | 66 | | |
| 11 | | | | | 0.6 | 10.4 | 83 | | |
| 12 | | | | | 0.0 | 10.1 | 81 | | |
| 13 | | | | | 0.0 | 5.0 | 40 | | |
| 14 | | | | | 6.8 | 8.8 | 70 | | |
| 15 | | | | | 0.0 | 10.5 | 84 | | |
| 16 | | | | | 0.0 | 11.1 | 89 | | |
| 17 | | | | | 0.0 | 11.3 | 90 | | |
| 18 | | | | | 0.0 | 11.0 | 88 | | |
| 19 | | | | | 0.0 | 10.5 | 84 | | |
| 20 | | | | | 0.0 | 10.2 | 82 | | |
| 21 | | | | | 0.0 | 8.9 | 71 | | |
| 22 | | | | | 0.0 | 10.6 | 85 | | |
| 23 | | | | | 0.0 | 9.0 | 72 | | |
| 24 | | | | | 0.0 | 5.3 | 42 | | |
| 25 | | | | | 0.0 | 6.0 | 48 | | |
| 26 | | | | | 0.0 | 6.8 | 54 | | |
| 27 | | | | | 0.0 | 6.8 | 54 | | |
| 28 | | | | | 0.0 | 6.6 | 53 | | |
| 29 | | | | | 0.0 | 9.6 | 77 | | |
| 30 | | | | | 0.0 | 8.0 | 64 | | |
| 31 | | | | | | | | | |
| TOTAL | | | | | | | | | |
| Días | | | | | | | | | |

OBSERVACIONES: _____

Fuente: INSIVUMEH

Tabla IX. Datos sensores del INSIVUMEH en el mes de abril



INSIVUMEH
SECCION DE CLIMATOLOGIA
PRECIPITACION E INSOLACION



CLAVE 13.14.1 LATITUD _____ LONGITUD _____ ELEV. 2100 MSNM _____

ESTACION Finca Palacios - Mont. Lora DEPTO. Quezaltenango MUNIC. Olintepeque

NOMBRE DEL OBSERVADOR Finca Palacios - Mont. Lora MES Abril AÑO 2004

| DIA | PRECIPITACION m.m. | | | | | INSOLACION Hrs. | | RADIACION Cal/cm ² /min. | |
|-------|--------------------|----------|-------|--------|------------|-----------------|----------------|-------------------------------------|-----------------|
| | CANTIDAD | DURACION | MEDIA | MAXIMA | PLUVIOMET. | TOTAL | Frac. Insolac. | Calorias Media | Calorias Maxima |
| 1 | | | | | | 8.5 | | | 4932.6 |
| 2 | | | | | | 9.8 | | | 5,236.5 |
| 3 | | | | | | 9.9 | | | 4,606.3 |
| 4 | | | | | | 10.3 | | | 7,061.3 |
| 5 | | | | | | 8.8 | | | 5,900.2 |
| 6 | | | | | | 8.8 | | | 6,448.2 |
| 7 | | | | | | 10.2 | | | 6,118.7 |
| 8 | | | | | | 9.3 | | | 5,672.4 |
| 9 | | | | | | 8.8 | | | 7,185.7 |
| 10 | | | | | | 10.3 | | | 6,309.0 |
| 11 | | | | | | 10.9 | | | 7,830.8 |
| 12 | | | | | | 10.7 | | | 7,957.0 |
| 13 | | | | | | 7.0 | | | 4,491.9 |
| 14 | | | | | | 9.6 | | | 6,577.7 |
| 15 | | | | | | 10.8 | | | 7,902.9 |
| 16 | | | | | | 10.9 | | | 8,065.1 |
| 17 | | | | | | 11.2 | | | 8,485.8 |
| 18 | | | | | | 11.2 | | | 8,470.8 |
| 19 | | | | | | 10.9 | | | 7,973.4 |
| 20 | | | | | | 10.8 | | | 7,506.9 |
| 21 | | | | | | 10.0 | | | 7,167.0 |
| 22 | | | | | | 11.0 | | | 8,086.5 |
| 23 | | | | | | 10.5 | | | 7,212.2 |
| 24 | | | | | | 8.5 | | | 5,321.0 |
| 25 | | | | | | 9.5 | | | 4,704.2 |
| 26 | | | | | | 9.4 | | | 5,882.8 |
| 27 | | | | | | 8.7 | | | 5,614.9 |
| 28 | | | | | | 9.9 | | | 5,229.7 |
| 29 | | | | | | 10.9 | | | 6,672.4 |
| 30 | | | | | | | | | |
| 31 | | | | | | | | | |
| TOTAL | | | | | | | | | |
| Días | | | | | | | | | |

OBSERVACIONES: _____

Fuente: INSIVUMEH

Tabla X. Datos heliógrafo del INSIVUMEH en el mes de mayo

12.8



INSIVUMEH
SECCION DE CLIMATOLOGIA
PRECIPITACION E INSOLACION



| | | | | |
|--|------------------------------|---------------------------|--------------------|------------|
| CLAVE _____ | LATITUD _____ | LONGITUD _____ | ELEV. <u>2,390</u> | MSNM _____ |
| ESTACION <u>Latro Oralle</u> | DEPTO. <u>Quetzaltenango</u> | MUNIC. <u>Chintepique</u> | | |
| NOMBRE DEL OBSERVADOR <u>Jaime Palacios - Rosa J. Jora</u> | MES <u>Mayo</u> | AÑO <u>2004</u> | | |

| DIA | PRECIPITACION m.m. | | | | | INSOLACION Hrs. | | RADIACION Cal/cm ² /min. | |
|-------|--------------------|----------|-------|--------|------------|-----------------|----------------|-------------------------------------|-----------------|
| | CANTIDAD | DURACION | MEDIA | MAXIMA | PLUVIOMET. | TOTAL | Frac. Insolac. | Calorias Media | Calorias Máxima |
| 1 | | — | | | 3.7 | 2.6 | 20 | | |
| 2 | | 0.25 | | | 0.3 | 1.4 | 11 | | |
| 3 | | 2.20 | | | 3.6 | 6.2 | 48 | | |
| 4 | | 0 | | | 0.0 | 2.3 | 18 | | |
| 5 | | 0 | | | 0.0 | 4.6 | 36 | | |
| 6 | | 0 | | | 0.0 | 6.1 | 48 | | |
| 7 | | 0 | | | 0.0 | 9.9 | 77 | | |
| 8 | | 0 | | | 0.0 | 9.5 | 74 | | |
| 9 | | 0 | | | 0.0 | 9.9 | 77 | | |
| 10 | | 0 | | | 0.0 | 8.7 | 68 | | |
| 11 | | 0 | | | 0.0 | 7.8 | 61 | | |
| 12 | | 3.25 | | | 19.2 | 7.5 | 59 | | |
| 13 | | 0 | | | 0.0 | 3.2 | 25 | | |
| 14 | | 0.05 | | | 0.7 | 1.0 | 8 | | |
| 15 | | 0.10 | | | 0.6 | 4.8 | 38 | | |
| 16 | | 2.40 | | | 7.4 | 5.3 | 41 | | |
| 17 | | 2.35 | | | 5.6 | 3.6 | 28 | | |
| 18 | | 4.40 | | | 27.2 | 0.3 | 2 | | |
| 19 | | 0.20 | | | 0.2 | 3.4 | 27 | | |
| 20 | | 0 | | | 0.0 | 4.5 | 35 | | |
| 21 | | 1.15 | | | 3.3 | 4.2 | 33 | | |
| 22 | | 0 | | | 0.0 | 5.4 | 42 | | |
| 23 | | 7.10 | | | 24.3 | 2.6 | 20 | | |
| 24 | | 1.40 | | | 2.6 | 2.1 | 16 | | |
| 25 | | 0.0 | | | 0.0 | 7.3 | 57 | | |
| 26 | | 1.10 | | | 7.8 | 4.0 | 31 | | |
| 27 | | 2.20 | | | 4.3 | 5.7 | 45 | | |
| 28 | | 0.20 | | | 0.4 | 6.9 | 54 | | |
| 29 | | 1.20 | | | 6.0 | 8.5 | 66 | | |
| 30 | | 0.05 | | | 0.4 | 4.7 | 37 | | |
| 31 | | 0.40 | | | 6.0 | 7.9 | 62 | | |
| TOTAL | | | | | | | | | |
| Días | 19 | | | | | | | | |

OBSERVACIONES: _____

Fuente: INSIVUMEH

Tabla XI. Datos sensores del INSIVUMEH en el mes de mayo

| INSIVUMEH SECCION DE CLIMATOLOGIA PRECIPITACION E INSOLACION | | | | | | | | | |
|--|--------------------|---------------|------------------------------|----------------|-----------------|---------------------------|------------------|-------------------------------------|-----------------|
| CLAVE _____ | | LATITUD _____ | | LONGITUD _____ | | ELEV. <u>2,390</u> | | MSNM _____ | |
| ESTACION <u>Lalov Oralle</u> | | | DEPTO. <u>Quetzaltenango</u> | | | MUNIC. <u>Olintepeque</u> | | | |
| NOMBRE DEL OBSERVADOR <u>Faime Palacio - Pox Lidia Sa</u> | | | | | MES <u>Mayo</u> | | AÑO <u>2,004</u> | | |
| DIA | PRECIPITACION m.m. | | | | | INSOLACION Hrs. | | RADIACION Cal/cm ² /min. | |
| | CANTIDAD | DURACION | MEDIA | MAXIMA | PLUVIOMET. | TOTAL | Frac. Insolac. | Calorías Media | Calorías Máxima |
| 1 | | | | | | 9.4 | | | 4288.5 |
| 2 | | | | | | 8.3 | | | 2927.2 |
| 3 | | | | | | 8.0 | | | 4103.2 |
| 4 | | | | | | 10.4 | | | 4863.7 |
| 5 | | | | | | 8.5 | | | 4041.2 |
| 6 | | | | | | 10.9 | | | 5689.2 |
| 7 | | | | | | 11.0 | | | 7642.9 |
| 8 | | | | | | 10.9 | | | 6897.2 |
| 9 | | | | | | 10.5 | | | 7598.2 |
| 10 | | | | | | 10.4 | | | 6381.7 |
| 11 | | | | | | 9.6 | | | 5668.9 |
| 12 | | | | | | 9.5 | | | 5660.9 |
| 13 | | | | | | 7.2 | | | 3764.5 |
| 14 | | | | | | 6.6 | | | 2961.7 |
| 15 | | | | | | 8.6 | | | 5016.3 |
| 16 | | | | | | 7.3 | | | 4266.1 |
| 17 | | | | | | 8.7 | | | 3656.1 |
| 18 | | | | | | 8.6 | | | 2699.5 |
| 19 | | | | | | 8.7 | | | 4881.7 |
| 20 | | | | | | 7.3 | | | 4327.0 |
| 21 | | | | | | 8.4 | | | 5076.9 |
| 22 | | | | | | 7.6 | | | 4439.4 |
| 23 | | | | | | 9.1 | | | 3573.6 |
| 24 | | | | | | 9.3 | | | 3437.7 |
| 25 | | | | | | 9.6 | | | 5939.2 |
| 26 | | | | | | 7.3 | | | 4042.0 |
| 27 | | | | | | 8.7 | | | 5503.3 |
| 28 | | | | | | 9.2 | | | 5597.3 |
| 29 | | | | | | 10.3 | | | 7230.2 |
| 30 | | | | | | 9.6 | | | 5344.7 |
| 31 | | | | | | 9.6 | | | 6031.0 |
| TOTAL | | | | | | | | | |
| Días | | | | | | | | | |

OBSERVACIONES: _____

Fuente: INSIVUMEH

Tabla XII. Datos del heliógrafo local A1, en el mes de abril

| HELIOGRAFO A1 | | | | |
|----------------------|-----------------|------------------|------------------------|-------------------------------|
| Latitud | 14°52'12" | Longitud | 91°30'50" | Elevación 2380 MSNM |
| Estación | Labor Ovalle | Depto. | Quetgo. | Municipio Olinstepeque |
| Observador | Anibal López M. | | Mes | Abril Año 2004 |
| | Día | Insolación Horas | | |
| | | Total | Fracción de insolación | |
| | 1 | | | |
| | 2 | | | |
| | 3 | | | |
| | 4 | | | |
| | 5 | | | |
| | 6 | | | |
| | 7 | | | |
| | 8 | | | |
| | 9 | | | |
| | 10 | | | |
| | 11 | | | |
| | 12 | | | |
| | 13 | | | |
| | 14 | | | |
| | 15 | | | |
| | 16 | 10.60 | 84.80 | |
| | 17 | 11.10 | 88.80 | |
| | 18 | 12.30 | 98.40 | |
| | 19 | 11.30 | 90.40 | |
| | 20 | 9.40 | 75.20 | |
| | 21 | 8.20 | 65.60 | |
| | 22 | 11.30 | 90.40 | |
| | 23 | 8.20 | 65.60 | |
| | 24 | 3.30 | 26.40 | |
| | 25 | 4.10 | 32.80 | |
| | 26 | 5.70 | 45.60 | |
| | 27 | 4.90 | 39.20 | |
| | 28 | 6.50 | 52.00 | |
| | 29 | 8.10 | 64.80 | |
| | 30 | 8.00 | 64.00 | |
| | 31 | | | |

Firma del observador 

Tabla XIII. Datos del heliógrafo local A2, en el mes de abril

| HELIOGRAFO A2 | | | | | |
|----------------------|-----------------|------------------|------------------------|------------------|-----------------|
| Latitud | 14°52'12" | Longitud | 91°30'50" | Elevación | 2380 MSNM |
| Estación | Labor Ovalle | Depto. | Quetgo. | Municipio | Olintepeque |
| Observador | Anibal López M. | | Mes | Abril | Año 2004 |
| | Día | Insolación Horas | | | |
| | | Total | Fracción de insolación | | |
| | 1 | | | | |
| | 2 | | | | |
| | 3 | | | | |
| | 4 | | | | |
| | 5 | | | | |
| | 6 | | | | |
| | 7 | | | | |
| | 8 | | | | |
| | 9 | | | | |
| | 10 | | | | |
| | 11 | | | | |
| | 12 | | | | |
| | 13 | | | | |
| | 14 | | | | |
| | 15 | | | | |
| | 16 | 10.70 | 85.60 | | |
| | 17 | 11.00 | 88.00 | | |
| | 18 | 12.40 | 99.20 | | |
| | 19 | 11.40 | 91.20 | | |
| | 20 | 9.70 | 77.60 | | |
| | 21 | 8.30 | 66.40 | | |
| | 22 | 11.10 | 88.80 | | |
| | 23 | 8.00 | 64.00 | | |
| | 24 | 3.80 | 30.40 | | |
| | 25 | 4.50 | 36.00 | | |
| | 26 | 6.00 | 48.00 | | |
| | 27 | 4.80 | 38.40 | | |
| | 28 | 6.10 | 48.80 | | |
| | 29 | 8.30 | 66.40 | | |
| | 30 | 7.80 | 62.40 | | |
| | 31 | | | | |

Firma del observador 

Tabla XIV. Datos del heliógrafo local B1, en el mes de abril

| HELIOGRAFO B1 | | | | |
|----------------------|-----------------|------------------|------------------------|-------------------------------|
| Latitud | 14°52'12" | Longitud | 91°30'50" | Elevación 2380 MSNM |
| Estación | Labor Ovalle | Depto. | Quetgo. | Municipio Olinstepeque |
| Observador | Anibal López M. | | Mes | Abril Año 2004 |
| | Día | Insolación Horas | | |
| | | Total | Fracción de insolación | |
| | 1 | | | |
| | 2 | | | |
| | 3 | | | |
| | 4 | | | |
| | 5 | | | |
| | 6 | | | |
| | 7 | | | |
| | 8 | | | |
| | 9 | | | |
| | 10 | | | |
| | 11 | | | |
| | 12 | | | |
| | 13 | | | |
| | 14 | | | |
| | 15 | | | |
| | 16 | 10.80 | 86.40 | |
| | 17 | 11.00 | 88.00 | |
| | 18 | 12.50 | 100.00 | |
| | 19 | 11.60 | 92.80 | |
| | 20 | 9.50 | 76.00 | |
| | 21 | 8.20 | 65.60 | |
| | 22 | 11.20 | 89.60 | |
| | 23 | 8.10 | 64.80 | |
| | 24 | 3.60 | 28.80 | |
| | 25 | 4.40 | 35.20 | |
| | 26 | 5.90 | 47.20 | |
| | 27 | 5.00 | 40.00 | |
| | 28 | 6.40 | 51.20 | |
| | 29 | 8.10 | 64.80 | |
| | 30 | 7.90 | 63.20 | |
| | 31 | | | |

Firma del observador 

Tabla XV. Datos del heliógrafo local B2, en el mes de abril

| HELIOGRAFO B2 | | | | | |
|----------------------|-----------------|------------------|------------------------|------------------|-----------------|
| Latitud | 14°52'12" | Longitud | 91°30'50" | Elevación | 2380 MSNM |
| Estación | Labor Ovalle | Depto. | Quetgo. | Municipio | Olintepeque |
| Observador | Anibal López M. | | Mes | Abril | Año 2004 |
| | Día | Insolación Horas | | | |
| | | Total | Fracción de insolación | | |
| | 1 | | | | |
| | 2 | | | | |
| | 3 | | | | |
| | 4 | | | | |
| | 5 | | | | |
| | 6 | | | | |
| | 7 | | | | |
| | 8 | | | | |
| | 9 | | | | |
| | 10 | | | | |
| | 11 | | | | |
| | 12 | | | | |
| | 13 | | | | |
| | 14 | | | | |
| | 15 | | | | |
| | 16 | 10.50 | 84.00 | | |
| | 17 | 11.50 | 92.00 | | |
| | 18 | 12.50 | 100.00 | | |
| | 19 | 12.00 | 96.00 | | |
| | 20 | 9.00 | 72.00 | | |
| | 21 | 8.90 | 71.20 | | |
| | 22 | 11.50 | 92.00 | | |
| | 23 | 8.00 | 64.00 | | |
| | 24 | 3.90 | 31.20 | | |
| | 25 | 4.50 | 36.00 | | |
| | 26 | 5.40 | 43.20 | | |
| | 27 | 5.20 | 41.60 | | |
| | 28 | 6.80 | 54.40 | | |
| | 29 | 8.00 | 64.00 | | |
| | 30 | 8.20 | 65.60 | | |
| | 31 | | | | |

Firma del observador 

Tabla XVI. Datos del heliógrafo local A1, en el mes de mayo

| HELIOGRAFO A1 | | | | | |
|----------------------|-----------------|------------------|------------------------|------------------|-----------------|
| Latitud | 14°52'12" | Longitud | 91°30'50" | Elevación | 2380 MSNM |
| Estación | Labor Ovalle | Depto. | Quetgo. | Municipio | Olintepeque |
| Observador | Anibal López M. | | Mes | Mayo | Año 2004 |
| | Día | Insolación Horas | | | |
| | | Total | Fracción de insolación | | |
| | 1 | 9.50 | 74.22 | | |
| | 2 | 0.60 | 4.69 | | |
| | 3 | 7.00 | 54.69 | | |
| | 4 | 1.55 | 12.11 | | |
| | 5 | 5.70 | 44.53 | | |
| | 6 | 9.45 | 73.83 | | |
| | 7 | 10.31 | 80.55 | | |
| | 8 | 11.25 | 87.89 | | |
| | 9 | 12.11 | 94.61 | | |
| | 10 | 9.92 | 77.50 | | |
| | 11 | 9.33 | 72.89 | | |
| | 12 | 8.65 | 67.58 | | |
| | 13 | 3.41 | 26.64 | | |
| | 14 | 0.32 | 2.50 | | |
| | 15 | 6.15 | 48.05 | | |
| | 16 | 5.75 | 44.92 | | |
| | 17 | 4.75 | 37.11 | | |
| | 18 | 0.10 | 0.78 | | |
| | 19 | 3.90 | 30.47 | | |
| | 20 | 6.20 | 48.44 | | |
| | 21 | 4.95 | 38.67 | | |
| | 22 | 7.50 | 58.59 | | |
| | 23 | 3.07 | 23.98 | | |
| | 24 | 2.63 | 20.55 | | |
| | 25 | 8.80 | 68.75 | | |
| | 26 | 5.00 | 39.06 | | |
| | 27 | 6.45 | 50.39 | | |
| | 28 | 8.78 | 68.59 | | |
| | 29 | 9.50 | 74.22 | | |
| | 30 | 4.90 | 38.28 | | |
| | 31 | 9.30 | 72.66 | | |

Firma del observador 

Tabla XVII. Datos del heliógrafo local A2, en el mes de mayo

| HELIÓGRAFO A2 | | | | | |
|----------------------|-----------------|------------------|------------------------|------------------|-----------------|
| Latitud | 14°52'12" | Longitud | 91°30'50" | Elevación | 2380 MSNM |
| Estación | Labor Ovalle | Depto. | Quetgo. | Municipio | Olintepeque |
| Observador | Anibal López M. | | Mes | Mayo | Año 2004 |
| | Día | Insolación Horas | | | |
| | | Total | Fracción de insolación | | |
| | 1 | 9.40 | 73.44 | | |
| | 2 | 0.50 | 3.91 | | |
| | 3 | 7.95 | 62.11 | | |
| | 4 | 1.50 | 11.72 | | |
| | 5 | 5.65 | 44.14 | | |
| | 6 | 9.45 | 73.83 | | |
| | 7 | 10.28 | 80.31 | | |
| | 8 | 11.19 | 87.42 | | |
| | 9 | 12.08 | 94.38 | | |
| | 10 | 9.90 | 77.34 | | |
| | 11 | 9.30 | 72.66 | | |
| | 12 | 8.61 | 67.27 | | |
| | 13 | 3.38 | 26.41 | | |
| | 14 | 0.27 | 2.11 | | |
| | 15 | 6.13 | 47.89 | | |
| | 16 | 6.72 | 52.50 | | |
| | 17 | 4.72 | 36.88 | | |
| | 18 | 0.50 | 3.91 | | |
| | 19 | 3.85 | 30.08 | | |
| | 20 | 6.15 | 48.05 | | |
| | 21 | 4.92 | 38.44 | | |
| | 22 | 7.44 | 58.13 | | |
| | 23 | 3.00 | 23.44 | | |
| | 24 | 2.60 | 20.31 | | |
| | 25 | 8.77 | 68.52 | | |
| | 26 | 4.95 | 38.67 | | |
| | 27 | 6.44 | 50.31 | | |
| | 28 | 8.80 | 68.75 | | |
| | 29 | 9.45 | 73.83 | | |
| | 30 | 4.92 | 38.44 | | |
| | 31 | 9.50 | 74.22 | | |

Firma del observador 

Tabla XVIII. Datos del heliógrafo local B1, en el mes de mayo

| HELIÓGRAFO B1 | | | | | |
|----------------------|-----------------|------------------|------------------------|------------------|-----------------|
| Latitud | 14°52'12" | Longitud | 91°30'50" | Elevación | 2380 MSNM |
| Estación | Labor Ovalle | Depto. | Quetgo. | Municipio | Olintepeque |
| Observador | Anibal López M. | | Mes | Mayo | Año 2004 |
| | Día | Insolación Horas | | | |
| | | Total | Fracción de insolación | | |
| | 1 | 9.90 | 77.34 | | |
| | 2 | 0.70 | 5.47 | | |
| | 3 | 7.20 | 56.25 | | |
| | 4 | 1.60 | 12.50 | | |
| | 5 | 5.80 | 45.31 | | |
| | 6 | 9.50 | 74.22 | | |
| | 7 | 10.40 | 81.25 | | |
| | 8 | 11.30 | 88.28 | | |
| | 9 | 12.20 | 95.31 | | |
| | 10 | 10.00 | 78.13 | | |
| | 11 | 9.40 | 73.44 | | |
| | 12 | 8.76 | 68.44 | | |
| | 13 | 3.88 | 30.31 | | |
| | 14 | 0.35 | 2.73 | | |
| | 15 | 6.50 | 50.78 | | |
| | 16 | 5.82 | 45.47 | | |
| | 17 | 4.85 | 37.89 | | |
| | 18 | 0.20 | 1.56 | | |
| | 19 | 4.00 | 31.25 | | |
| | 20 | 6.23 | 48.67 | | |
| | 21 | 5.00 | 39.06 | | |
| | 22 | 7.58 | 59.22 | | |
| | 23 | 3.20 | 25.00 | | |
| | 24 | 2.71 | 21.17 | | |
| | 25 | 8.88 | 69.38 | | |
| | 26 | 5.17 | 40.39 | | |
| | 27 | 6.53 | 51.02 | | |
| | 28 | 8.82 | 68.91 | | |
| | 29 | 9.52 | 74.38 | | |
| | 30 | 5.00 | 39.06 | | |
| | 31 | 9.60 | 75.00 | | |

Firma del observador 

Tabla XIX. Datos del heliógrafo local B2, en el mes de mayo

| HELIOGRAFO B2 | | | | | |
|----------------------|-----------------|------------------|------------------------|------------------|-----------------|
| Latitud | 14°52'12" | Longitud | 91°30'50" | Elevación | 2380 MSNM |
| Estación | Labor Ovalle | Depto. | Quetgo. | Municipio | Olintepeque |
| Observador | Anibal López M. | | Mes | Mayo | Año 2004 |
| | Día | Insolación Horas | | | |
| | | Total | Fracción de insolación | | |
| | 1 | 9.90 | 77.34 | | |
| | 2 | 0.40 | 3.13 | | |
| | 3 | 6.50 | 50.78 | | |
| | 4 | 2.00 | 15.63 | | |
| | 5 | 5.60 | 43.75 | | |
| | 6 | 9.00 | 70.31 | | |
| | 7 | 10.70 | 83.59 | | |
| | 8 | 10.60 | 82.81 | | |
| | 9 | 12.30 | 96.09 | | |
| | 10 | 9.20 | 71.88 | | |
| | 11 | 8.40 | 65.63 | | |
| | 12 | 8.53 | 66.64 | | |
| | 13 | 3.64 | 28.44 | | |
| | 14 | 0.35 | 2.73 | | |
| | 15 | 5.40 | 42.19 | | |
| | 16 | 5.35 | 41.80 | | |
| | 17 | 3.76 | 29.38 | | |
| | 18 | 0.00 | 0.00 | | |
| | 19 | 3.17 | 24.77 | | |
| | 20 | 6.05 | 47.27 | | |
| | 21 | 4.71 | 36.80 | | |
| | 22 | 7.12 | 55.63 | | |
| | 23 | 3.23 | 25.23 | | |
| | 24 | 2.53 | 19.77 | | |
| | 25 | 8.47 | 66.17 | | |
| | 26 | 4.12 | 32.19 | | |
| | 27 | 5.65 | 44.14 | | |
| | 28 | 8.00 | 62.50 | | |
| | 29 | 9.70 | 75.78 | | |
| | 30 | 5.00 | 39.06 | | |
| | 31 | 9.70 | 75.78 | | |

Firma del observador 

Según las observaciones durante cuarenta y seis días de cada uno de los heliógrafos fabricados con recursos locales, se pudo ver que el heliógrafo identificado como B2 es el más sensible de todos. Ya que necesita una radiación solar menor que los demás para empezar a quemar las cartas heliográficas. Ver tabla XX.

Tabla XX. Radiación mínima necesaria para el funcionamiento de heliógrafos de fabricación local

| Tipo de heliógrafo | Radiación mínima |
|--------------------|------------------------|
| Tipo A1 | 1.2 kW/m ² |
| Tipo A2 | 1.2 kW/m ² |
| Tipo B1 | 1.1 kW/m ² |
| Tipo B2 | 1.05 kW/m ² |

Estos datos fueron obtenidos con un actinógrafo (F FUESS, Berlín Steglitz, Nr: F8468), el cual está instalado en la estación Labor Ovalle del INSIVUMEH. La manera en que se tomaron estos datos fue ver en el actinógrafo el registro de la radiación solar en el momento en que empezaba a quemar la carta heliográfica en cada uno de los heliógrafos de fabricación local.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Análisis de horas - sol

El análisis de horas - sol, se llevó a cabo haciendo una relación entre las horas proporcionadas por cada uno de los heliógrafos de fabricación local (A1, A2, B1, B2); y las horas proporcionadas por el INSIVUMEH, tanto del heliógrafo instalado en dicha estación, como los datos dados por el sensor instalado en el mismo; por medio de gráficas de regresión lineal y correlaciones entre ellas.

5.1.1 Regresión y correlación de datos entre heliógrafos locales y heliógrafos del INSIVUMEH

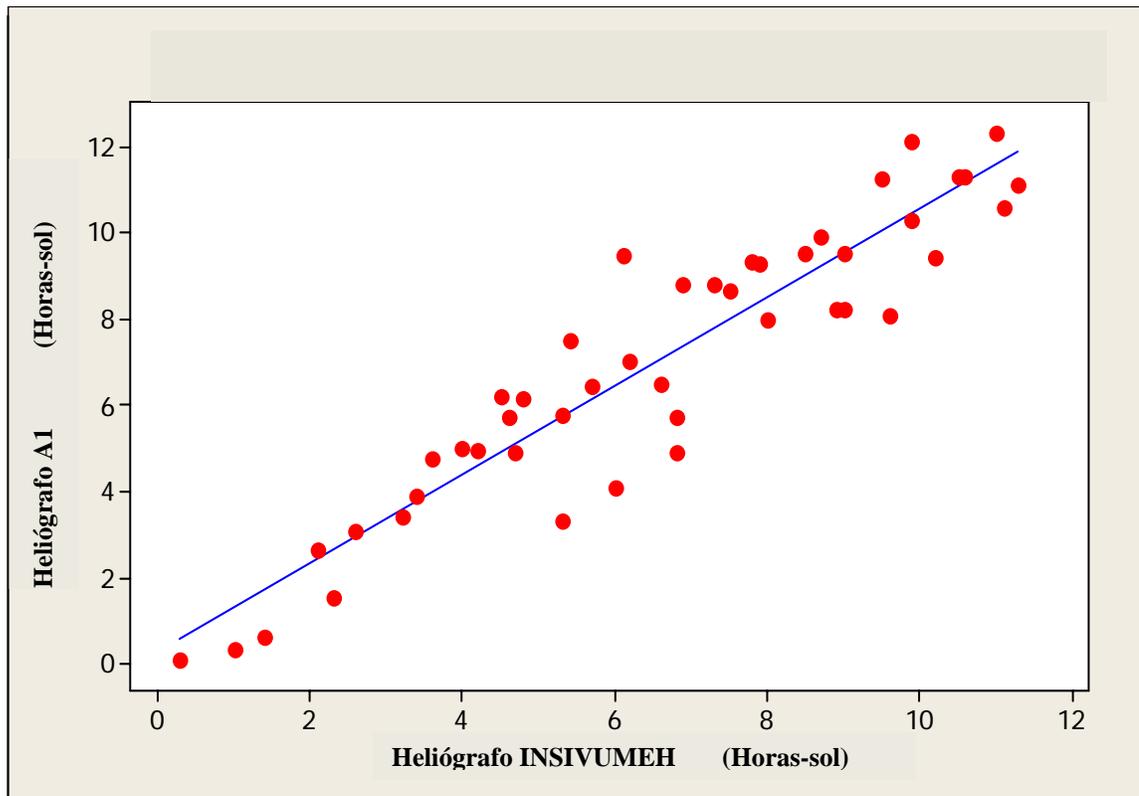
El análisis de horas sol se muestra a continuación por medio de gráficas de regresión lineal y correlaciones. Ver tabla XXI y figuras 21, 22, 23, 24. En esta tabla se puede observar que algunos datos de los heliógrafos de fabricación local varían un poco con los datos proporcionados por el heliógrafo del INSIVUMEH, esto es debido a que los heliógrafos locales proporcionan datos de horas pico, las cuales como se habló en el capítulo 1 son las horas al día que se pide tener una insolación promedio de 1 kw/m^2 . Este dato es muy importante para realizar viabilidad de proyectos con energía solar. El tipo de tarjeta no tuvo nada que ver, es a causa de los heliógrafos de fabricación local.

En la tabla XXI, HA1 y HA2 son heliógrafos A1 y A2 respectivamente; HB1 Y HB2 son heliógrafos B1 y B2 respectivamente; HI es heliógrafo del INSIVUMEH; y SI es el sensor del heliógrafo electrónico del INSIVUMEH.

Tabla XXI. Datos comparativos entre los heliógrafos locales e instrumentos del INSIVUMEH

| Num. | Fecha de observación | HA1 horas-sol | HA2 horas-sol | HB1 horas-sol | HB2 horas-sol | HI Horas-sol | SI horas-sol |
|------|----------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|--------------|
| 1 | 16/04/2004 | 10.60 | 10.70 | 10.80 | 10.50 | 11.10 | 10.90 |
| 2 | 17/04/2004 | 11.10 | 11.00 | 11.00 | 11.50 | 11.30 | 11.20 |
| 3 | 18/04/2004 | 12.30 | 12.40 | 12.50 | 12.50 | 11.00 | 11.20 |
| 4 | 19/04/2004 | 11.30 | 11.40 | 11.60 | 12.00 | 10.50 | 10.90 |
| 5 | 20/04/2004 | 9.40 | 9.70 | 9.50 | 9.00 | 10.20 | 10.80 |
| 6 | 21/04/2004 | 8.20 | 8.30 | 8.20 | 8.90 | 8.90 | 10.00 |
| 7 | 22/04/2004 | 11.30 | 11.10 | 11.20 | 11.50 | 10.60 | 11.00 |
| 8 | 23/04/2004 | 8.20 | 8.00 | 8.10 | 8.00 | 9.00 | 10.50 |
| 9 | 24/04/2004 | 3.30 | 3.80 | 3.60 | 3.90 | 5.30 | 8.50 |
| 10 | 25/04/2004 | 4.10 | 4.50 | 4.40 | 4.50 | 6.00 | 9.50 |
| 11 | 26/04/2004 | 5.70 | 6.00 | 5.90 | 5.40 | 6.80 | 9.40 |
| 12 | 27/04/2004 | 4.90 | 4.80 | 5.00 | 5.20 | 6.80 | 8.70 |
| 13 | 28/04/2004 | 6.50 | 6.10 | 6.40 | 6.80 | 6.60 | 9.90 |
| 14 | 29/04/2004 | 8.10 | 8.30 | 8.10 | 8.00 | 9.60 | 10.90 |
| 15 | 30/04/2004 | 8.00 | 7.80 | 7.90 | 8.20 | 8.00 | 10.00 |
| 16 | 01/05/2004 | 9.50 | 9.40 | 9.90 | 9.90 | 9.00 | 9.40 |
| 17 | 02/05/2004 | 0.60 | 0.50 | 0.70 | 0.40 | 1.40 | 8.30 |
| 18 | 03/05/2004 | 7.00 | 7.95 | 7.20 | 6.50 | 6.20 | 8.00 |
| 19 | 04/05/2004 | 1.55 | 1.50 | 1.60 | 2.00 | 2.30 | 10.40 |
| 20 | 05/05/2004 | 5.70 | 5.65 | 5.80 | 5.60 | 4.60 | 8.50 |
| 21 | 06/05/2004 | 9.45 | 9.45 | 9.50 | 9.00 | 6.10 | 10.90 |
| 22 | 07/05/2004 | 10.31 | 10.28 | 10.40 | 10.70 | 9.90 | 11.00 |
| 23 | 08/05/2004 | 11.25 | 11.19 | 11.30 | 10.60 | 9.50 | 10.90 |
| 24 | 09/05/2004 | 12.11 | 12.08 | 12.20 | 12.30 | 9.90 | 10.50 |
| 25 | 10/05/2004 | 9.92 | 9.90 | 10.00 | 9.20 | 8.70 | 10.40 |
| 26 | 11/05/2004 | 9.33 | 9.30 | 9.40 | 8.40 | 7.80 | 9.60 |
| 27 | 12/05/2004 | 8.65 | 8.61 | 8.76 | 8.53 | 7.50 | 9.50 |
| 28 | 13/05/2004 | 3.41 | 3.38 | 3.88 | 3.64 | 3.20 | 7.20 |
| 29 | 14/05/2004 | 0.32 | 0.27 | 0.35 | 0.35 | 1.00 | 6.60 |
| 30 | 15/05/2004 | 6.15 | 6.13 | 6.50 | 5.40 | 4.80 | 8.60 |
| 31 | 16/05/2004 | 5.75 | 6.72 | 5.82 | 5.35 | 5.30 | 7.30 |
| 32 | 17/05/2004 | 4.75 | 4.72 | 4.85 | 3.76 | 3.60 | 8.70 |
| 33 | 18/05/2004 | 0.10 | 0.50 | 0.20 | 0.00 | 0.30 | 8.60 |
| 34 | 19/05/2004 | 3.90 | 3.85 | 4.00 | 3.17 | 3.40 | 8.70 |
| 35 | 20/05/2004 | 6.20 | 6.15 | 6.23 | 6.05 | 4.50 | 7.30 |
| 36 | 21/05/2004 | 4.95 | 4.92 | 5.00 | 4.71 | 4.20 | 8.40 |
| 37 | 22/05/2004 | 7.50 | 7.44 | 7.58 | 7.12 | 5.40 | 7.60 |
| 38 | 23/05/2004 | 3.07 | 3.00 | 3.20 | 3.23 | 2.60 | 9.10 |
| 39 | 24/05/2004 | 2.63 | 2.60 | 2.71 | 2.53 | 2.10 | 9.30 |
| 40 | 25/05/2004 | 8.80 | 8.77 | 8.88 | 8.47 | 7.30 | 9.60 |
| 41 | 26/05/2004 | 5.00 | 4.95 | 5.17 | 4.12 | 4.00 | 7.30 |
| 42 | 27/05/2004 | 6.45 | 6.44 | 6.53 | 5.65 | 5.70 | 8.70 |
| 43 | 28/05/2004 | 8.78 | 8.80 | 8.82 | 8.00 | 6.90 | 9.20 |
| 44 | 29/05/2004 | 9.50 | 9.45 | 9.52 | 9.70 | 8.50 | 10.30 |
| 45 | 30/05/2004 | 4.90 | 4.92 | 5.00 | 5.00 | 4.70 | 9.60 |
| 46 | 31/05/2004 | 9.30 | 9.50 | 9.60 | 9.70 | 7.90 | 9.60 |

Figura 21. Regresión lineal el entre heliógrafo A1 y el heliógrafo del INSIVUMEH



La figura 21 muestra la relación entre el heliógrafo A1 y el heliógrafo del INSIVUMEH. La ecuación del modelo ajustado (Ec. 5.1) mostrado como una línea recta es :

$$H_{A1} = 0.239 + 1.03 * H_i \quad \text{Ec. 5.1}$$

Donde H_{A1} son las horas - sol medidas por el heliógrafo A1 y H_i son las horas - sol medidas por el heliógrafo del INSIVUMEH.

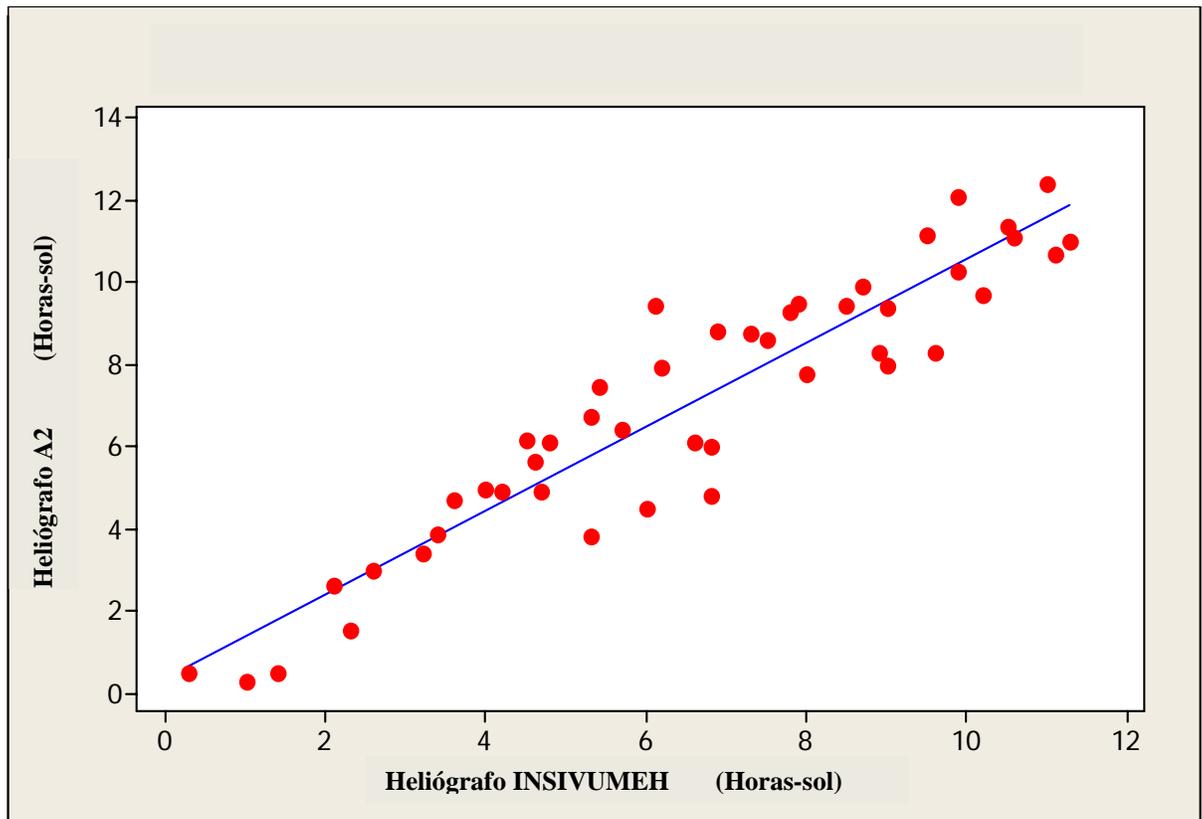
Dando como resultado un coeficiente de correlación r de 0.933767, indicando una relación relativamente fuerte y directamente proporcional entre las variables. El coeficiente de determinación r^2 es de 0.871921; esto es, el modelo toma en cuenta el 87.1921% de la variabilidad presente en los datos.

El coeficiente de correlación indica que hay una diferencia entre las dos variables de 6.62%.

Esto muestra que hay una diferencia menor del 10% entre los resultados del heliógrafo de fabricación local A1 y el heliógrafo del INSIVUMEH.

Los resultados también muestran una varianza δ^2 de 1.40 que se puede observar en la separación de los puntos de la recta en la figura 21.

Figura 22. Regresión lineal el entre heliógrafo A2 y heliógrafo el del INSIVUMEH



La figura 22, muestra la relación entre el heliógrafo A2 y el heliógrafo del INSIVUMEH. La ecuación del modelo ajustado (Ec. 5.2) mostrado como una línea recta es:

$$H_{A2} = 0.324 + 1.02 * H_i \quad \text{Ec. 5.2}$$

Donde H_{A2} son las horas - sol medidas por el heliógrafo A2 y H_i son las horas - sol medidas por el heliógrafo INSIVUMEH.

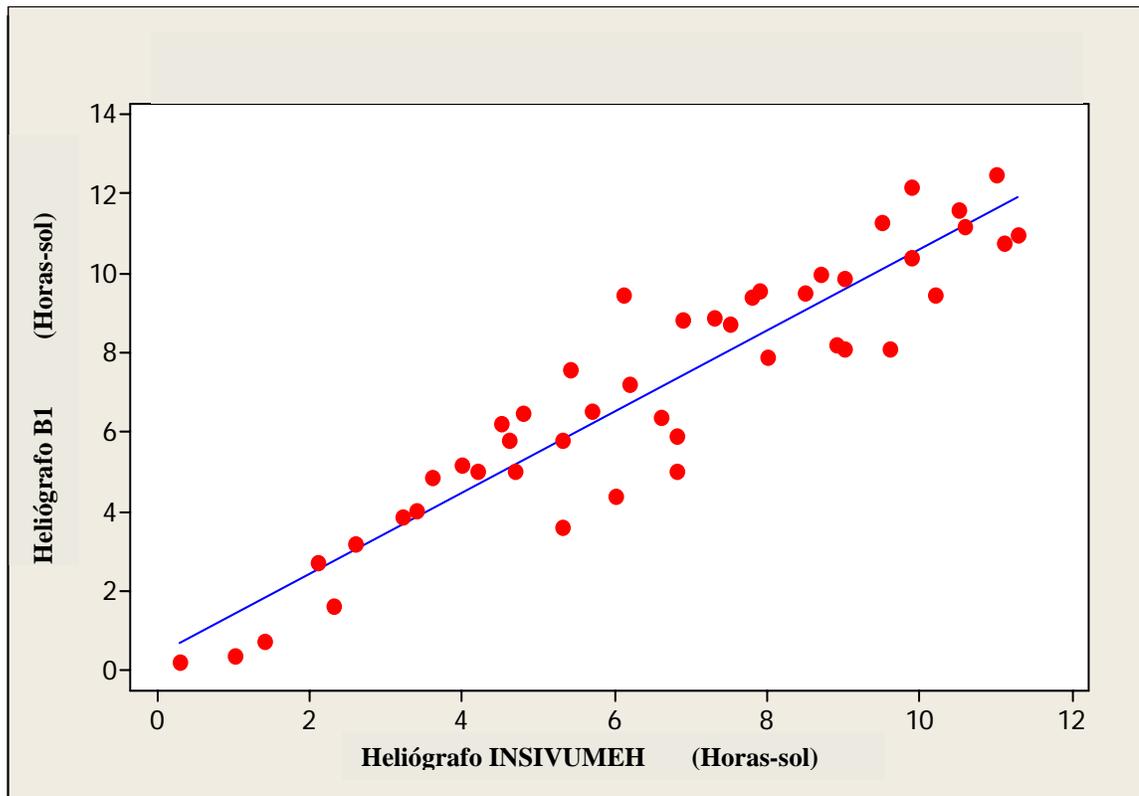
Dando como resultado un coeficiente de correlación r de 0.9354, indicando una relación relativamente fuerte y directamente proporcional entre las variables. El coeficiente de determinación r^2 es de 0.8750, esto es, el modelo toma en cuenta el 87.50% de la variabilidad presente en los datos.

El coeficiente de correlación indica que hay una diferencia entre las dos variables de 6.46%.

Esto muestra que hay una diferencia menor del 10% entre los resultados del heliógrafo de fabricación local A2 y el heliógrafo del INSIVUMEH.

Los resultados también muestran una varianza δ^2 de 1.38 que se puede observar en la separación de los puntos de la recta en la figura 22.

Figura 23. Regresión lineal entre el heliógrafo B1 y el heliógrafo del INSIVUMEH



La figura 23, muestra la gráfica de dispersión, que da la relación entre el heliógrafo B1 y el heliógrafo del INSIVUMEH. La ecuación del modelo ajustado (Ec. 5.3) mostrado como una línea recta es:

$$H_{B1} = 0.383 + 1.02 * H_i \quad \text{Ec. 5.3}$$

Donde H_{B1} son las horas - sol medidas por el heliógrafo B1 y H_i son las horas - sol medidas por el heliógrafo INSIVUMEH.

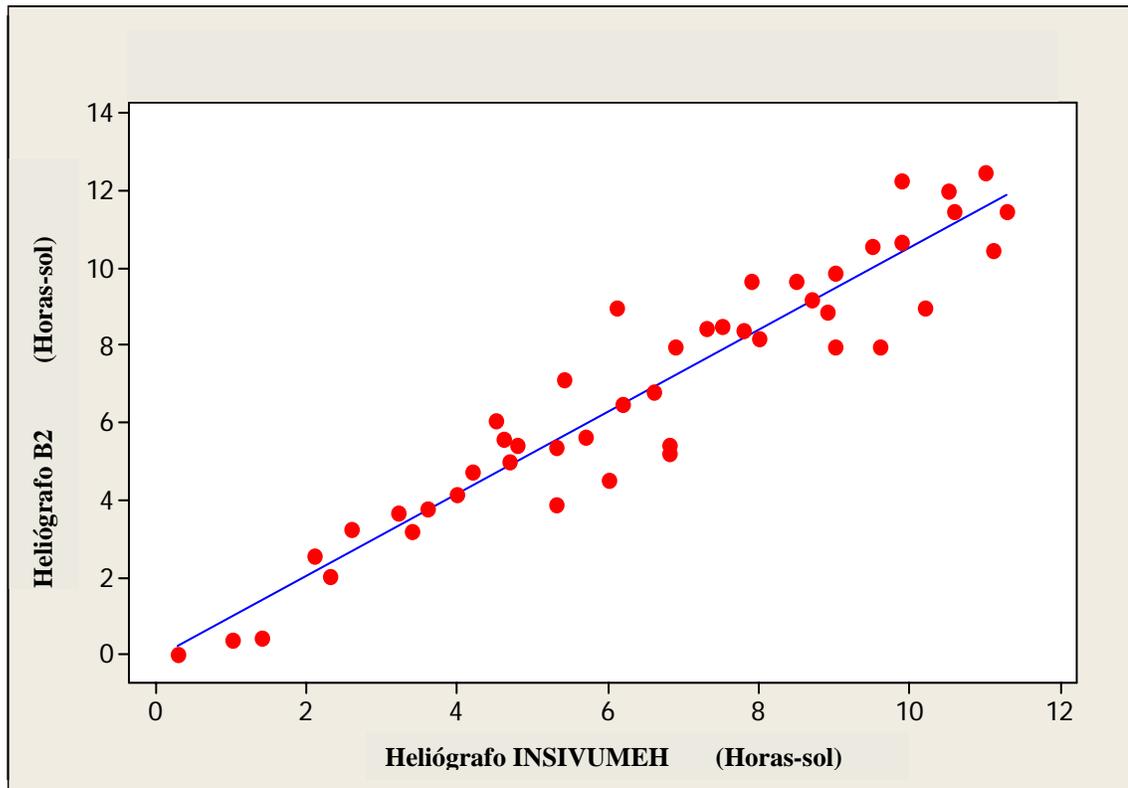
Dando como resultado un coeficiente de correlación r de 0.9327, indicando una relación relativamente fuerte y directamente proporcional entre las variables. El coeficiente de determinación r^2 es de 0.8699; esto es, el modelo toma en cuenta el 87.99% de la variabilidad presente en los datos.

El coeficiente de correlación indica que hay una diferencia entre las dos variables de 6.73%.

Esto muestra que hay una diferencia menor del 10% entre los resultados del heliógrafo de fabricación local B1 y el heliógrafo del INSIVUMEH.

Los resultados también muestran una varianza δ^2 de 1.4 que se puede observar en la separación de los puntos de la recta en la figura 23.

Figura 24. Regresión lineal el entre heliógrafo B2 y el heliógrafo del INSIVUMEH



La figura 24, muestra la relación entre el heliógrafo B2 y el heliógrafo del INSIVUMEH. La ecuación del modelo ajustado (Ec. 5.4) mostrado como una línea recta es:

$$H_{B2} = - 0.087 + 1.06 * H_i \quad \text{Ec. 5.4}$$

Donde H_{B2} son las horas - sol medidas por el heliógrafo B2 y H_i son las horas - sol medidas por el heliógrafo INSIVUMEH.

Dando como resultado un coeficiente de correlación r de 0.9497, indicando una relación relativamente fuerte y directamente proporcional entre las variables. El coeficiente de determinación r^2 es de 0.901930; esto es, el modelo toma en cuenta el 90.1930% de la variabilidad presente en los datos.

El coeficiente de correlación indica que hay una diferencia entre las dos variables de 5.03%.

Esto muestra que hay una diferencia menor del 10% entre los resultados del heliógrafo de fabricación local B2 y el heliógrafo del INSIVUMEH.

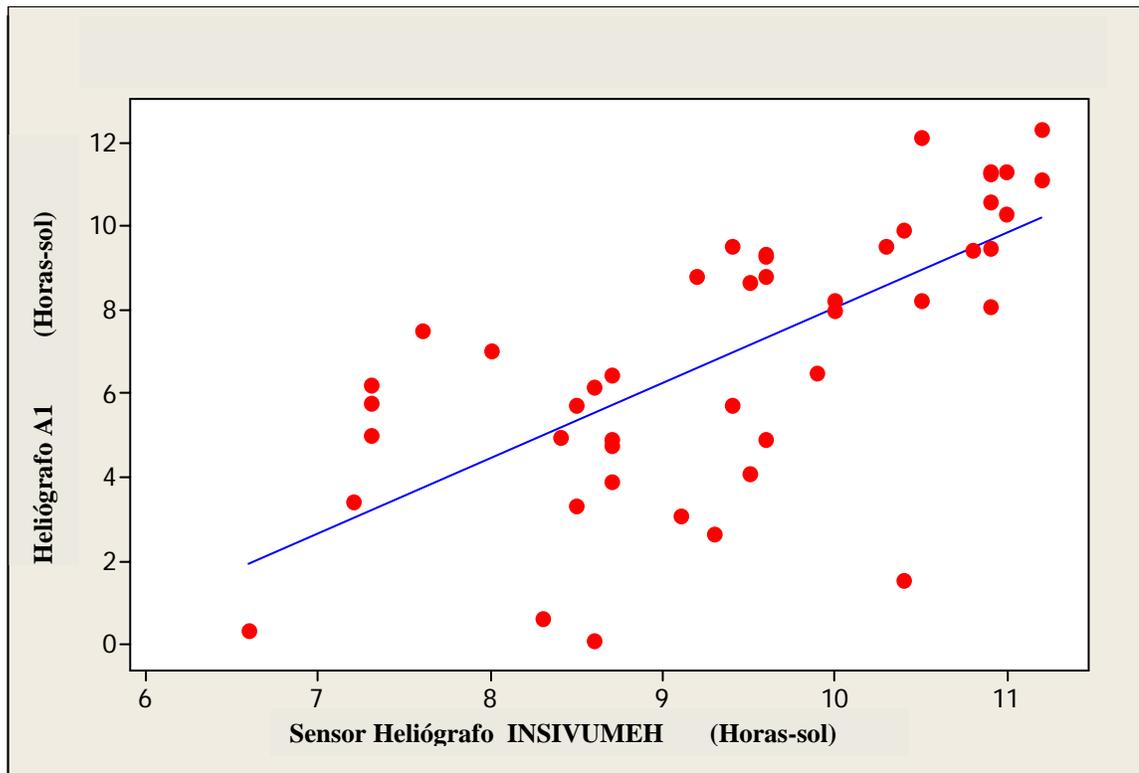
Los resultados también muestran una varianza δ^2 de 1.1 que se puede observar en la separación de los puntos de la recta en la figura 24.

Las gráficas anteriores han dado una comparación entre cada uno de los heliógrafos de fabricación local con el heliógrafo del INSIVUMEH.

Al comparar los datos de los heliógrafos de fabricación local con los datos del sensor del heliógrafo electrónico instalado en el INSIVUMEH, el último muestra datos más exactos que el heliógrafo de cualidades metereológicas, ya que funciona electrónicamente (250 W/m^2).

Los datos para comparación de horas sol se muestran a continuación por medio de graficas de regresión lineal y correlaciones. Ver figuras 25, 26, 27 y 28

Figura 25. Regresión lineal entre el heliógrafo A1 y el sensor del heliógrafo electrónico del INSIVUMEH



La figura 25, muestra la relación entre el heliógrafo A1 y el sensor del heliógrafo del INSIVUMEH. La ecuación del modelo ajustado (Ec. 5.5) mostrado como una línea recta es:

$$H_{A1} = - 10.0 + 1.80 * S_i \quad \text{Ec. 5.5}$$

Donde H_{A1} son las horas - sol medidas por el heliógrafo A1 y S_i son las horas - sol medidas por el sensor del heliógrafo electrónico del INSIVUMEH.

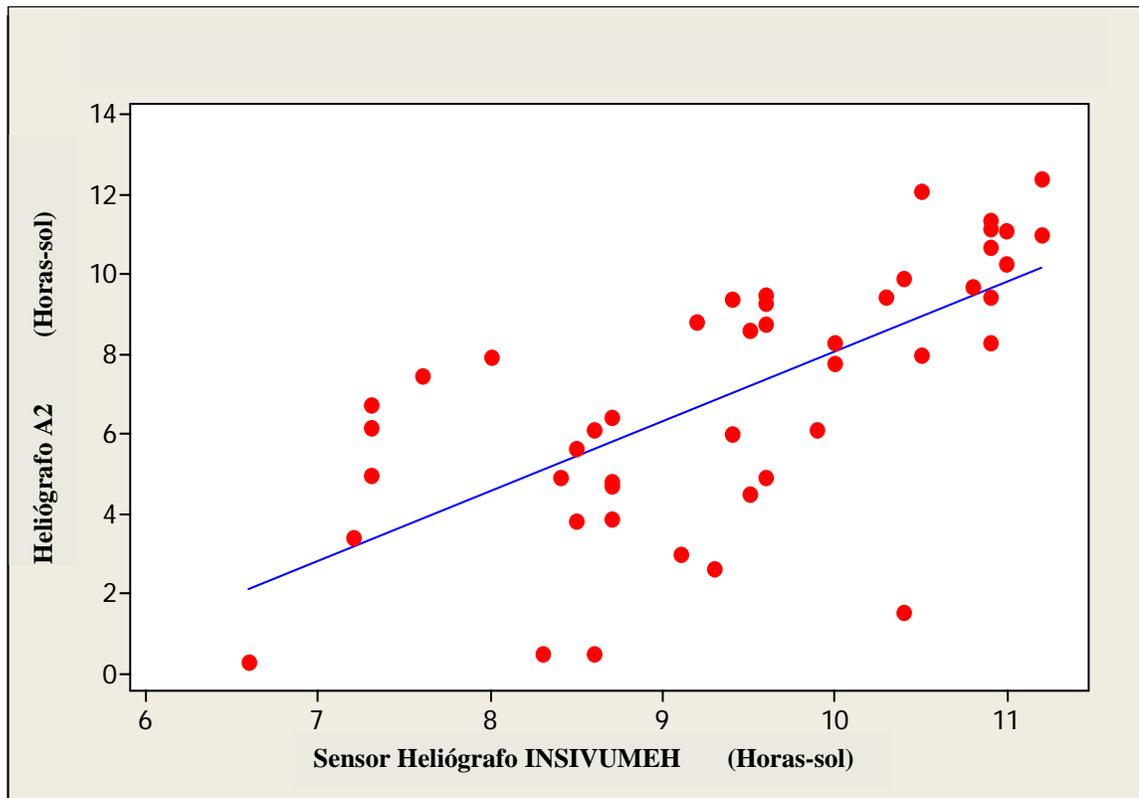
Dando como resultado un coeficiente de correlación r de 0.6870, indicando una relación relativamente mediana y directamente proporcional entre las variables. El coeficiente de determinación r^2 es de 0.471969; esto es, el modelo toma en cuenta el 47.1969% de la variabilidad presente en los datos.

El coeficiente de correlación indica que hay una diferencia entre las dos variables de 31.3%.

Esto muestra que hay una diferencia mayor del 30% entre los resultados del heliógrafo de fabricación local A1 y el sensor del heliógrafo electrónico del INSIVUMEH.

Los resultados también muestran una varianza δ^2 de 6.3 que se puede observar en la separación de los puntos de la recta en la figura 25.

Figura 26. Regresión lineal entre el heliógrafo A2 y el sensor del heliógrafo electrónico del INSIVUMEH



La figura 26, muestra la relación entre el heliógrafo A2 y el sensor del heliógrafo electrónico del INSIVUMEH. La ecuación del modelo ajustado (Ec. 5.6) mostrado como una línea recta es:

$$H_{A2} = - 9.51 + 1.76 * S_i \quad \text{Ec. 5.6}$$

Donde H_{A2} son las horas - sol medidas por el heliógrafo A2 y S_i son las horas - sol medidas por el sensor del heliógrafo electrónico del INSIVUMEH.

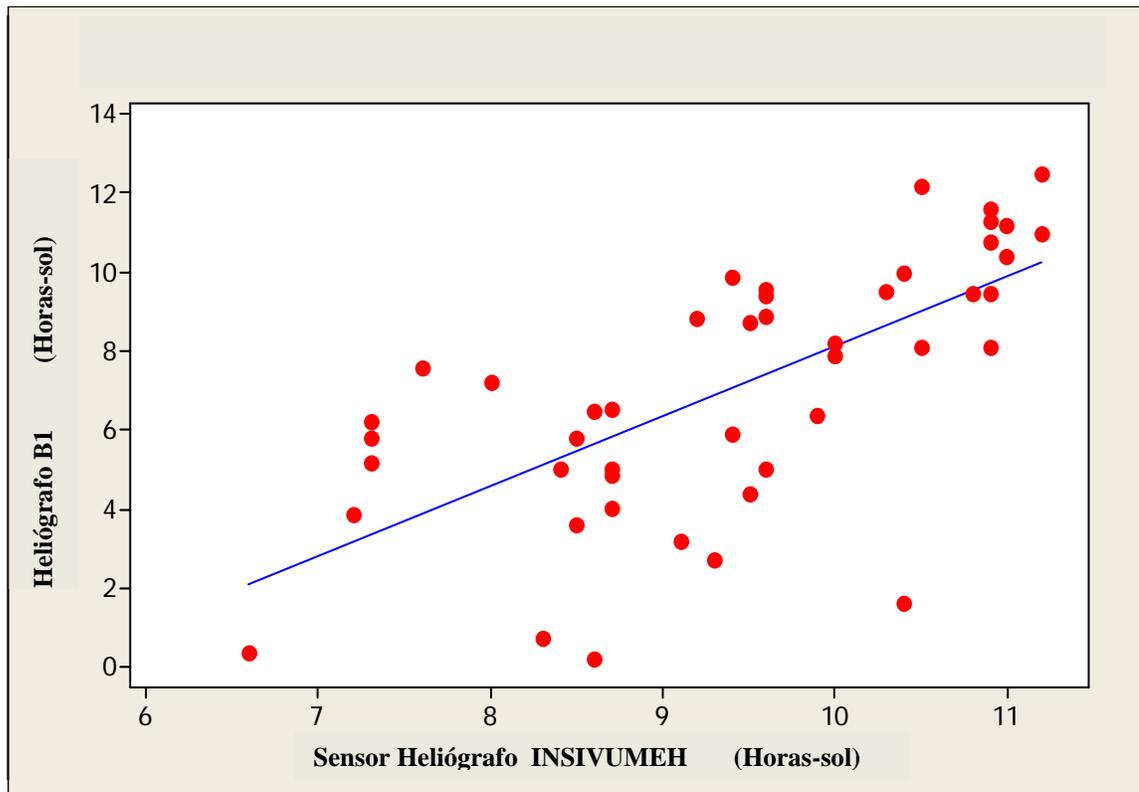
Dando como resultado un coeficiente de correlación r de 0.6736, indicando una relación relativamente mediana y directamente proporcional entre las variables. El coeficiente de determinación r^2 es de 0.453737; esto es, el modelo toma en cuenta el 45.3737% de la variabilidad presente en los datos.

El coeficiente de correlación indica que hay una diferencia entre las dos variables de 32.64%.

Esto muestra que hay una diferencia mayor del 30% entre los resultados del heliógrafo de fabricación local A2 y el sensor del heliógrafo electrónico del INSIVUMEH.

Los resultados también muestran una varianza δ^2 de 5.87 que se puede observar en la separación de los puntos de la recta en la figura 26.

Figura 27. Regresión lineal entre el heliógrafo B1 y el sensor del heliógrafo electrónico del INSIVUMEH



La figura 27, muestra la relación entre el heliógrafo B1 y el sensor del heliógrafo electrónico del INSIVUMEH. La ecuación del modelo ajustado (Ec. 5.7) mostrado como una línea recta es:

$$H_{B1} = -9.63 + 1.78 * S_i \quad \text{Ec. 5.7}$$

Donde H_{B1} son las horas - sol medidas por el heliógrafo B1 y S_i son las horas - sol medidas por el sensor del heliógrafo electrónico del INSIVUMEH.

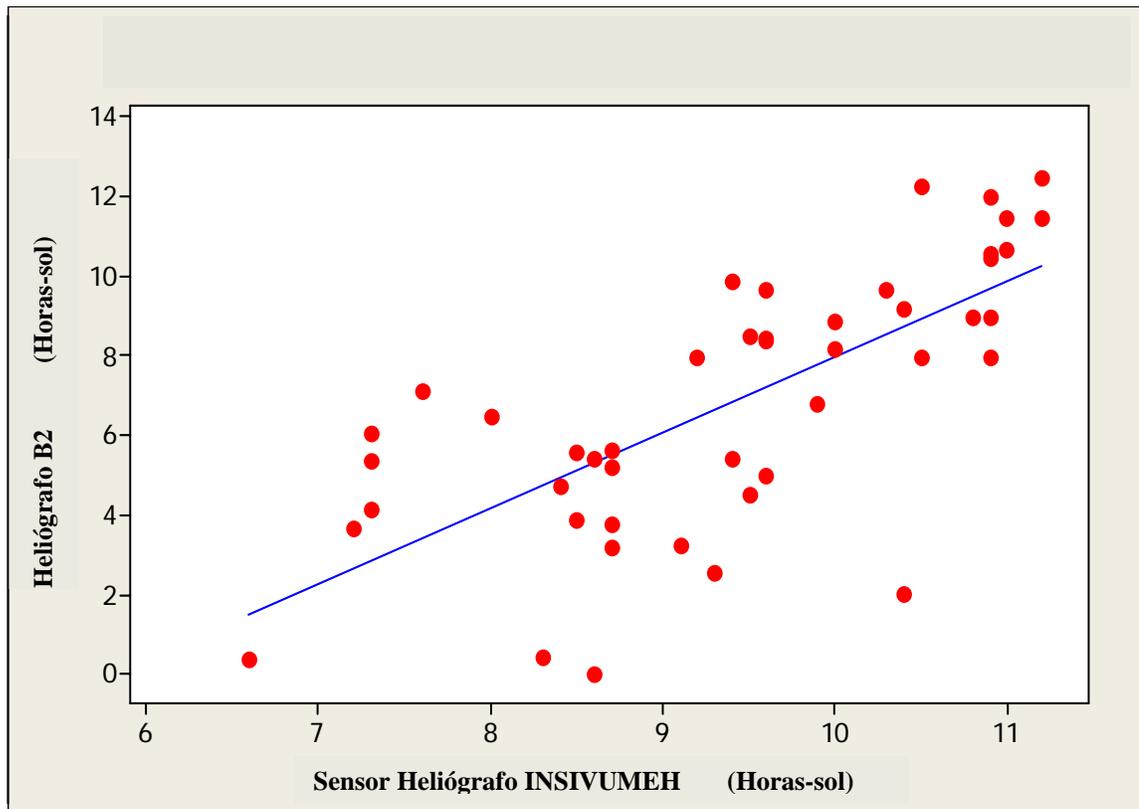
Dando como resultado un coeficiente de correlación r de 0.6792, indicando una relación relativamente mediana y directamente proporcional entre las variables. El coeficiente de determinación r^2 es de 0.461313; esto es, el modelo toma en cuenta el 46.1313% de la variabilidad presente en los datos.

El coeficiente de correlación indica que hay una diferencia entre las dos variables de 32.026%.

Esto muestra que hay una diferencia mayor del 30% entre los resultados del heliógrafo de fabricación local B1 y el sensor del heliógrafo electrónico del INSIVUMEH.

Los resultados también muestran una varianza δ^2 de 5.81 que se puede observar en la separación de los puntos de la recta en la figura 27.

Figura 28. Regresión lineal entre el heliógrafo B2 y el sensor del heliógrafo electrónico del INSIVUMEH



La figura 28, muestra la relación entre el heliógrafo B2 y el sensor de heliógrafo electrónico del INSIVUMEH. La ecuación del modelo ajustado (Ec. 5.8) mostrado como una línea recta es:

$$H_{B2} = - 11.1 + 1.91 * S_i \quad \text{Ec. 5.8}$$

Donde H_{B2} son las horas - sol medidas por el heliógrafo B2 y S_i son las horas - sol medidas por el sensor del heliógrafo electrónico del INSIVUMEH.

Dando como resultado un coeficiente de correlación r de 0.7153, indicando una relación relativamente mediana entre las variables. El coeficiente de determinación r^2 es de 0.511654; esto es, el modelo toma en cuenta el 51.1654% de la variabilidad presente en los datos.

El coeficiente de correlación indica que hay una diferencia entre las dos variables de 28.47%.

Esto muestra que hay una diferencia mayor del 30% entre los resultados del heliógrafo de fabricación local B2 y el sensor del heliógrafo electrónico del INSIVUMEH.

Los resultados también muestran una varianza δ^2 de 5.48 que se puede observar en la separación de los puntos de la recta en la figura 28.

A continuación, se presenta en la figura 29 la interacción de heliógrafos de fabricación local con los instrumentos del INSIVUMEH y en la figura 30 la interacción acumulada de los heliógrafos de fabricación local con los instrumentos del INSIVUMEH. Donde HA1 y HA2 son heliógrafos A1 y A2 respectivamente; HB1 Y HB2 son heliógrafos B1 y B2 respectivamente; HI es heliógrafo del INSIVUMEH; y SI es el sensor del heliógrafo electrónico del INSIVUMEH.

Figura 29. Interacción de heliógrafos locales e instrumentos del INSIVUMEH

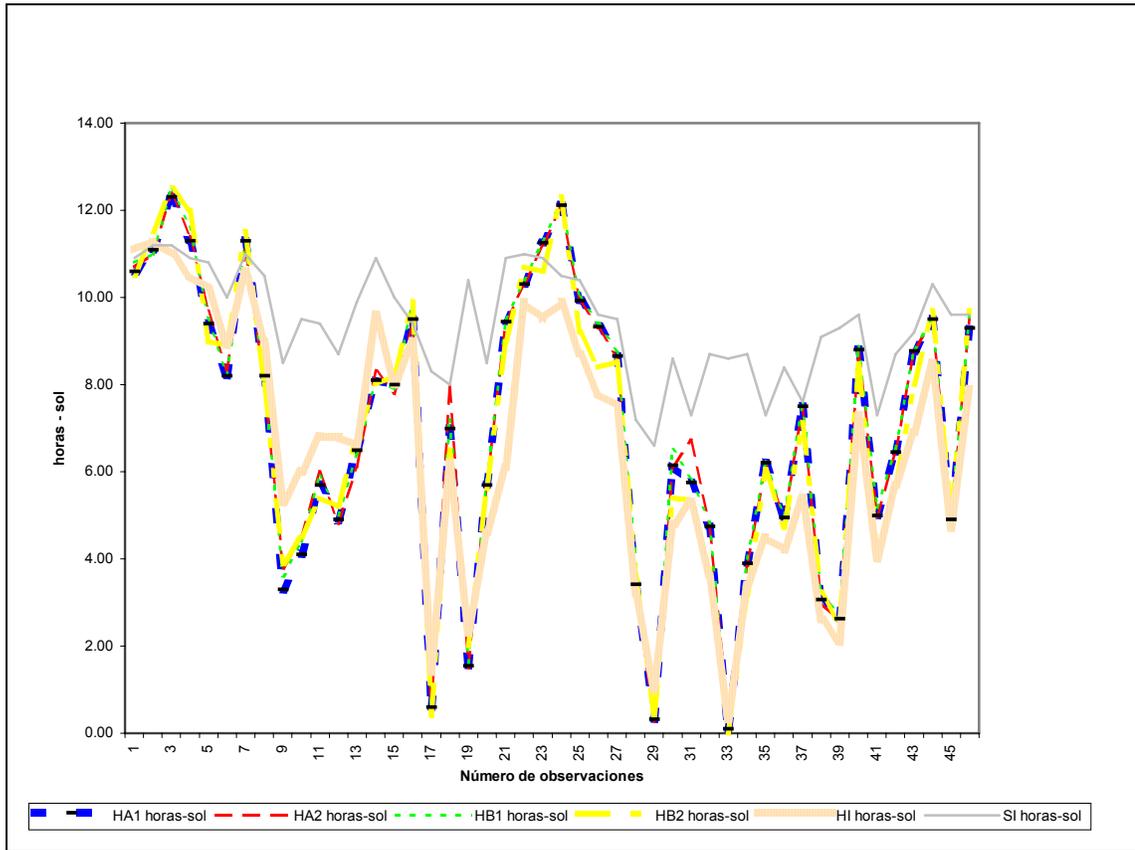
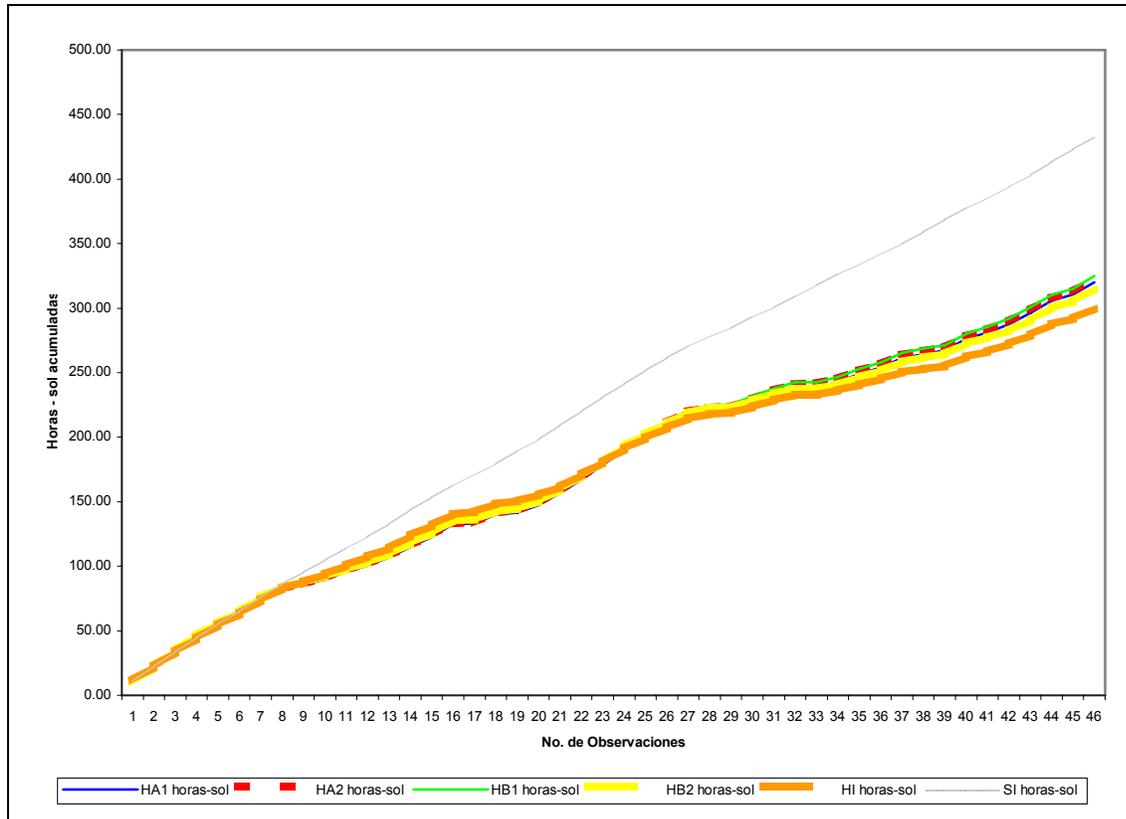


Figura 30. Interacción acumulada de heliógrafos locales e instrumentos del INSIVUMEH



5.2 Análisis de los resultados

Con los resultados de comparación de horas – sol entre los dos modelos de heliógrafos de fabricación local (tipo A y tipo B), con el heliógrafo de cualidades metereológicas y el sensor del heliógrafo electrónico del INSIVUMEH; se puede observar que hay una elevada correlación entre los datos de horas – sol de los heliógrafos de fabricación local con los datos horas – sol del heliógrafo de cualidades metereológicas. Por el contrario, con los datos horas – sol de los heliógrafos de fabricación local y los datos de horas - sol del sensor del heliógrafo electrónico se encontró una baja correlación.

La baja correlación entre los datos de horas – sol de los heliógrafos locales y el sensor del heliógrafo electrónico del INSIVUMEH es debido, como se explicó en el capítulo 4, a que los heliógrafos locales empiezan a quemar a una radiación entre 1.05 kW/m^2 y 1.2 kW/m^2 y el sensor del heliógrafo electrónico empieza a mandar datos al ordenador de horas-sol a una radiación mínima de 250 W/m^2 .

La alta correlación que existe entre los datos de horas - sol de los heliógrafos de cualidades metereológicas y los heliógrafos de fabricación local es debido a que estos empiezan a quemar a una radiación entre 1 y 1.2 W/m^2 .

En la tabla XXII se puede observar un resumen de los resultados obtenidos de los heliógrafos de fabricación local, el heliógrafo de cualidades metereológicas y el sensor del heliógrafo electrónico del INSIVUMEH.

Tabla XXII. Resultados de correlación entre los heliógrafos

| Relación entre heliógrafos | Correlación | Ecuación del modelo ajustado |
|--|-------------|---------------------------------|
| $H_{A1} - H_i$ | 0.9338 | $H_{A1} = 0.239 + 1.03 * H_i$ |
| $H_{A2} - H_i$ | 0.9354 | $H_{A2} = 0.324 + 1.02 * H_i$ |
| $H_{B1} - H_i$ | 0.9327 | $H_{B1} = 0.383 + 1.02 * H_i$ |
| $H_{B2} - H_i$ | 0.9497 | $H_{B2} = - 0.087 + 1.06 * H_i$ |
| $H_{A1} - S_i$ | 0.6870 | $H_{A1} = - 10.0 + 1.80 * S_i$ |
| $H_{A2} - S_i$ | 0.6736 | $H_{A2} = - 9.51 + 1.76 * S_i$ |
| $H_{B1} - S_i$ | 0.6792 | $H_{B1} = - 9.63 + 1.78 * S_i$ |
| $H_{B2} - S_i$ | 0.7153 | $H_{B2} = - 11.1 + 1.91 * S_i$ |
| <p> H_{A1} = Heliógrafo A1 H_{A2} = Heliógrafo A2 H_{B1} = Heliógrafo B1 H_{B2} = Heliógrafo B2 H_i = Heliógrafo INSIVUMEH S_i = Sensor heliógrafo electrónico INSIVUMEH </p> | | |

También hay que mencionar que la esfera del heliógrafo B1, a los cuarenta y cinco días de uso tuvo una rajadura, por lo contrario la esfera del heliógrafo B2 quedó intacta.

Esta rajadura se debió a que la esfera se encontraba muy apretada a la base del heliógrafo y a los cambios de temperatura a que estuvo expuesta.

La solución para que esto no ocurra es no apretar demasiado la esfera a la base, y pintar de blanco o plateado la esfera donde va unida con la base para evitar que se concentre mucho el calor en este lugar.

5.3 Descripción de operación y mantenimiento

5.3.1 Operación de los heliógrafos de fabricación local

La operación de los heliógrafos de fabricación local es básicamente igual a la de los heliógrafos de cualidades meteorológicas, ya que funcionan de la misma manera. La radiación directa se concentra con ayuda de una lente esférica sobre un papel (cartón tipo alemán); enseguida se produce una quemadura del papel indicando que la radiación directa es más o menos intensa (radiación mínima de 1.05 kW/m^2 en los heliógrafos tipo B y 1.2 kW/m^2 en los heliógrafos tipo A), siendo la longitud de la misma proporcional a la duración de la radiación solar, efectuándose su examen bajo normas muy estrictas. El proceso es manual.

Las cartas heliográficas las tiene que cambiar el operador diariamente a las 18 horas.

5.3.2 Mantenimiento de los heliógrafos de fabricación local

El mantenimiento que se le debe de dar a los heliógrafos de fabricación local es mínimo, el cual consiste en lubricar las partes móviles y verificar el estado del agua de las esferas.

A los heliógrafos tipo A, hay que lubricarles las partes móviles cada semana, además, se debe revisar que el agua de las esferas se mantenga sin contaminación.

En los heliógrafos tipo B, también se deben lubricar las partes móviles cada semana, así como verificar que el agua de las esferas no se haya contaminado.

La lubricación de las partes móviles se hace con el lubricante Movilarna 633. Se utiliza este lubricante porque protege contra el óxido y la corrosión en lugares abiertos (a la intemperie), ya que como se sabe el ambiente corroe el hierro.

A las cartas heliográficas no hay que hacerles ningún mantenimiento, sólo colocarlas de manera correcta en el heliógrafo.

CONCLUSIONES

1. Con base en los resultados y por las observaciones de los heliógrafos de fabricación local durante 46 días, se llega a la conclusión de que estos pueden ser utilizados para obtener datos de horas – sol en cualquier lugar donde se instalen.
2. El heliógrafo tipo B2 quema un poco más que el heliógrafo B1(0.05 kW/m² más), esto es por el agua que contienen las esferas. La esfera del heliógrafo tipo B2 contenía agua purificada y la esfera del heliógrafo tipo B1 contenía agua destilada.
3. En el heliógrafo tipo B se hace más versátil colocar las cartas heliográficas que en el heliógrafo tipo A, esto es porque el heliógrafo tipo B se asemeja mucho al heliógrafo de cualidades metereológicas, demostrado con la ecuación hallada entre ambas .
4. La esfera del heliógrafo B1 tuvo una rajadura, la cual se debió a que ésta se encontraba muy apretada a la base y a los cambios de temperatura a la los que estuvo expuesta.
5. La operación de los heliógrafos de fabricación local es básicamente igual a la de los heliógrafos de cualidades metereológicas, ya que funcionan de la misma manera.

6. Cuando la radiación solar durante el día es mayor de 1.1 KW/m^2 los heliógrafos de fabricación local quemaron en un 98% igual que el heliógrafo de cualidades meteorológicas. Por el contrario, cuando la radiación es menor a 1.1 KW/m^2 los heliógrafos de fabricación local quemaron en un 85% igual al heliógrafo de cualidades meteorológicas.

7. El agua que contenían las esferas de los heliógrafos, no sufrió ninguna contaminación durante el tiempo de observación de campo.

RECOMENDACIONES

1. A las autoridades de la Universidad de San Carlos de Guatemala, así como al Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Hidrología y Meteorología, (INSIVUMEH) continuar el estudio de los heliógrafos de fabricación local, ya que éstos son de gran ayuda, especialmente para actualizar el mapa solar de Guatemala.
2. Fabricar heliógrafos locales para poder distribuirlos por toda la República de Guatemala, y obtener datos de horas - sol y poder así actualizar el mapa solar de Guatemala.
3. Al instalar la esferas en los heliógrafos tipo B no apretarlas demasiado, y pintar de blanco o de plateado la esfera que va unida a la base para evitar que se concentre el calor en este lugar.
4. Usar el heliógrafo tipo B, ya que éste es más versátil que el heliógrafo tipo A; y, además, dió los mejores resultados en las observaciones de campo que se hicieron.
5. Usar agua destilada para las esferas de los heliógrafos, ya que con esta agua se logró que los mismos tuvieran una radiación mínima de funcionamiento de 1.05 kW/m^2 .

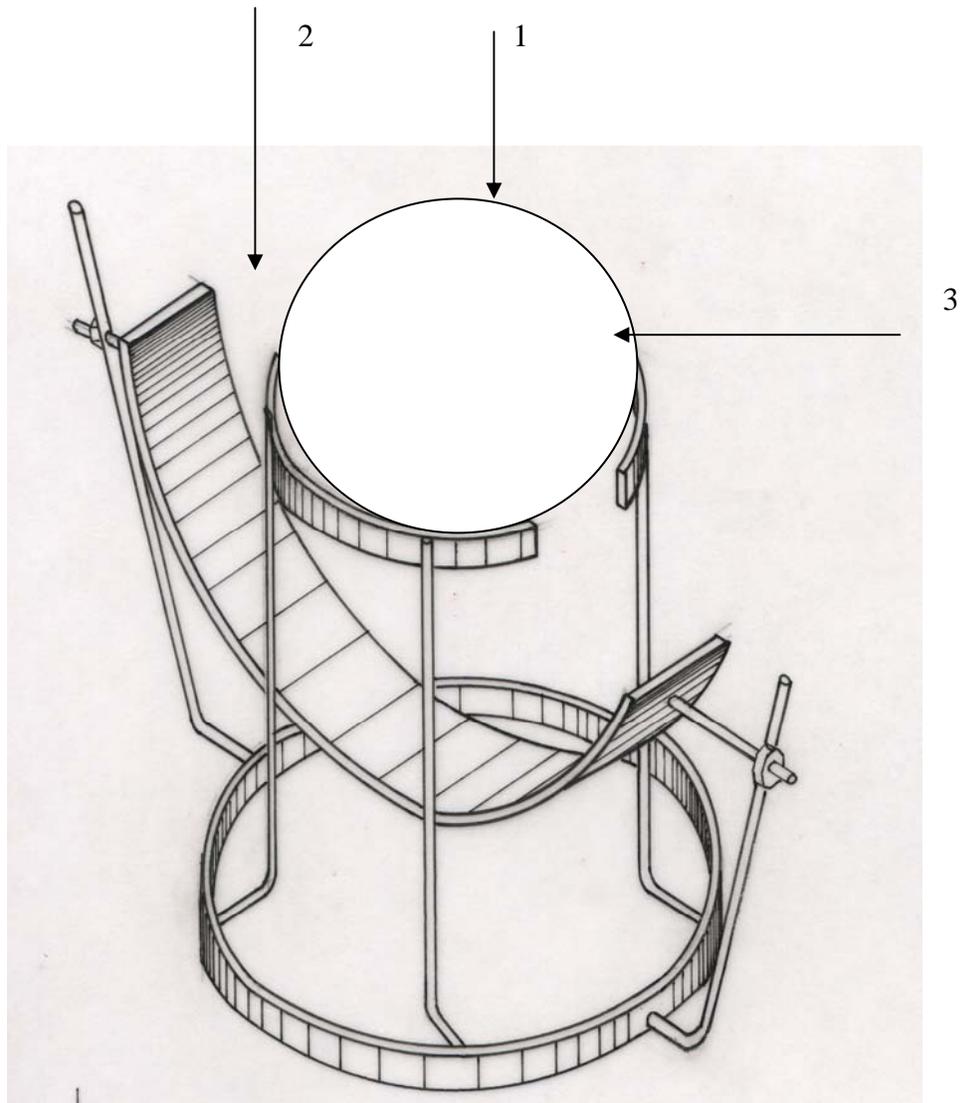
6. Lubricar las partes móviles semanalmente para evitar que en éstas se forme herrumbe y disminuya la vida útil del instrumento.
7. Verificar el agua dentro de las esferas de cristal, ya que si se enturbia los heliógrafos de fabricación local darían datos erróneos de horas – sol.

BIBLIOGRAFÍA

1. Díez, Pedro Fernández. **Procesos termosolares en baja, media y alta temperatura**, España: s.e., 2002. 325 pp.
2. E.S. Cassedy, y P.Z. Grossman. **Introduction to energy**. 2ª ed. Nueva York: Editorial Cambridge University Press, 1998. 540 pp.
3. G.J. Aubrecht. **Energy**. 2ª ed. USA: Editorial Prentice Hall, 1995. 450 pp.
4. Ministerio de Energía y Minas. **Fundamentos sobre el aprovechamiento solar en Guatemala**. Guatemala: s.e., 1992. 30 pp.
5. Quijandría Salmón, Jaime y otros. **Atlas de energía solar en Perú**. Perú: s.e., 2003. 50 pp.
6. R. Hill, P. O'Keefe, y C. Snape. **The future of energy use**. Londres: Editorial Earthscan, 1995. 248 pp.
7. R.A. Ristinen, y J.J. Kraushar. **Energy and the environment**, Nueva Jersey: Editorial John Wiley & Sons, 1999. 435 pp.
8. Rodríguez Fernández, Gloria María. **Evaluación de un método de la radiación solar a partir de registros heliográficos en las provincias habaneras**, Cuba: s.e., 2000. 20 pp.
9. <http://edison.upc.es/curs/llum/fotometria/magnitud.html>>, enero de 2003
10. http://es.encarta.msn.com/encyclopedia_761568724/Recursos_energ%C3%A9ticos.htm>, enero de 2003
11. <http://personales.ya.com/universal/TermoWeb/index.html>>, junio de 2002
12. <http://www.imn.ac.cr/educa/instrumentos/Heliog.htm>>, marzo de 2004
13. http://www.inia.org.uy/disciplinas/agroclima/le/cc_helio.htm>, mayo de 2001
14. http://www.inia.org.uy/disciplinas/agroclima/le/cc_radso.htm>, mayo de 2001

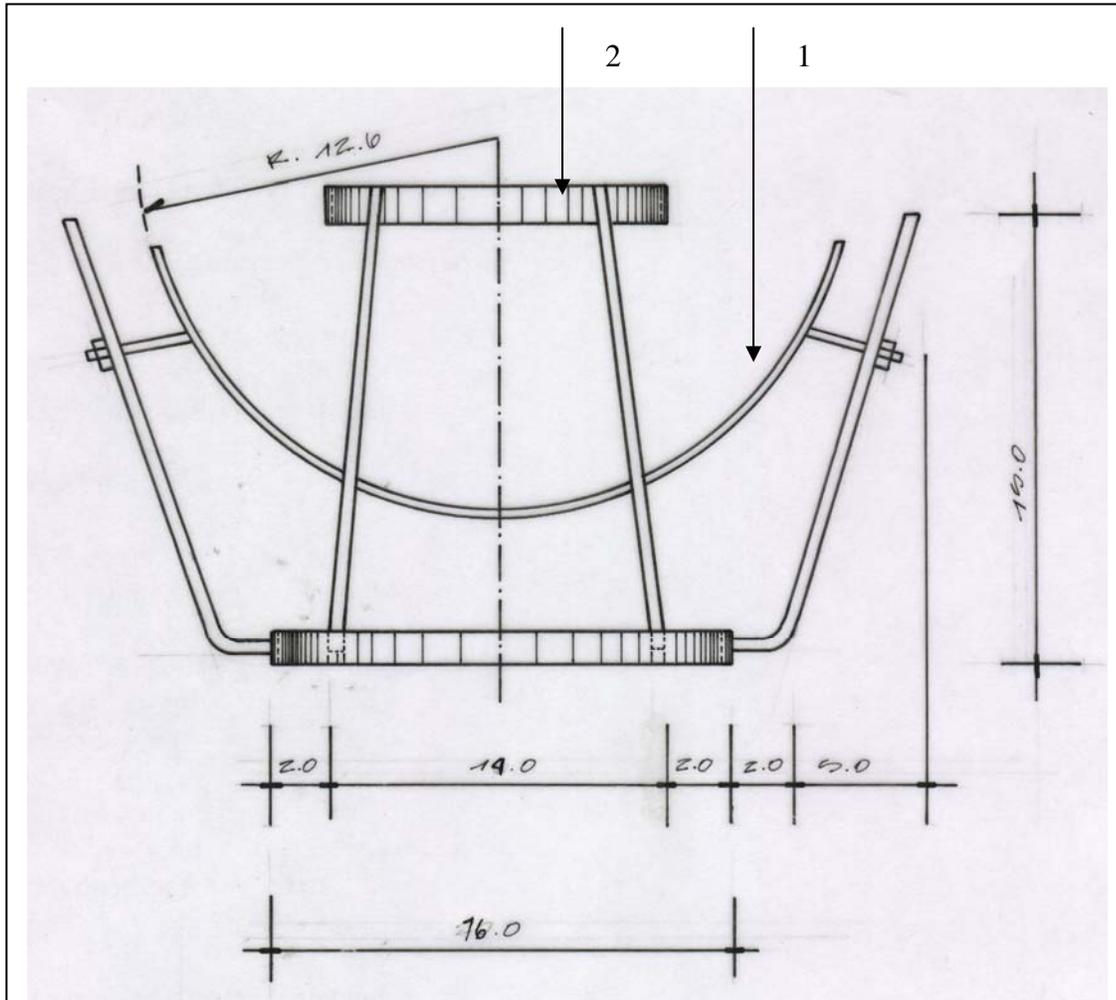
15. <http://www.meteofa.mil.ar/agro/heliofania.htm>>, octubre de 2000
16. [www.met.inf.cu/Memorias/Paginas/Articulos/banos\(pdf\)/Gloria_Rodriguez.pdf](http://www.met.inf.cu/Memorias/Paginas/Articulos/banos(pdf)/Gloria_Rodriguez.pdf)>, octubre de 2000
17. http://www.sgsica.org/energia/noti/noticias/sp/s15122003/presenta/rec_energ.pdf>, diciembre de 2003
18. <http://www.ual.es/~jbarbero/prog-ruvs.doc>>, marzo de 2004
19. http://www.up.ac.pa/unidadesacademicas/facultad/FCNET/publicados/Res_v3_fisica.pdf>, diciembre de 2003

Figura 31. Isométrico del heliógrafo tipo A



- 1. Esfera de vidrio
- 2. Porta tarjeta heliográfica
- 3. Armazón

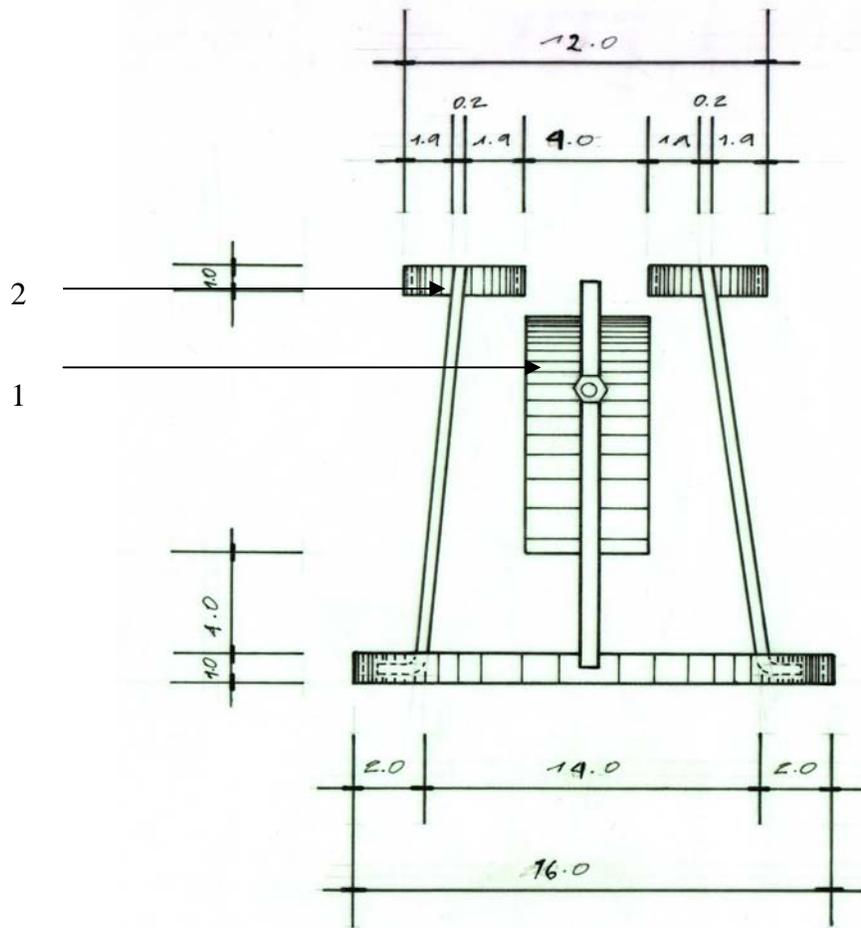
Figura 32. Elevación frontal del heliógrafo tipo A



1. Porta tarjeta heliográfica
2. Armazón

MEDIDAS EN CENTÍMETROS

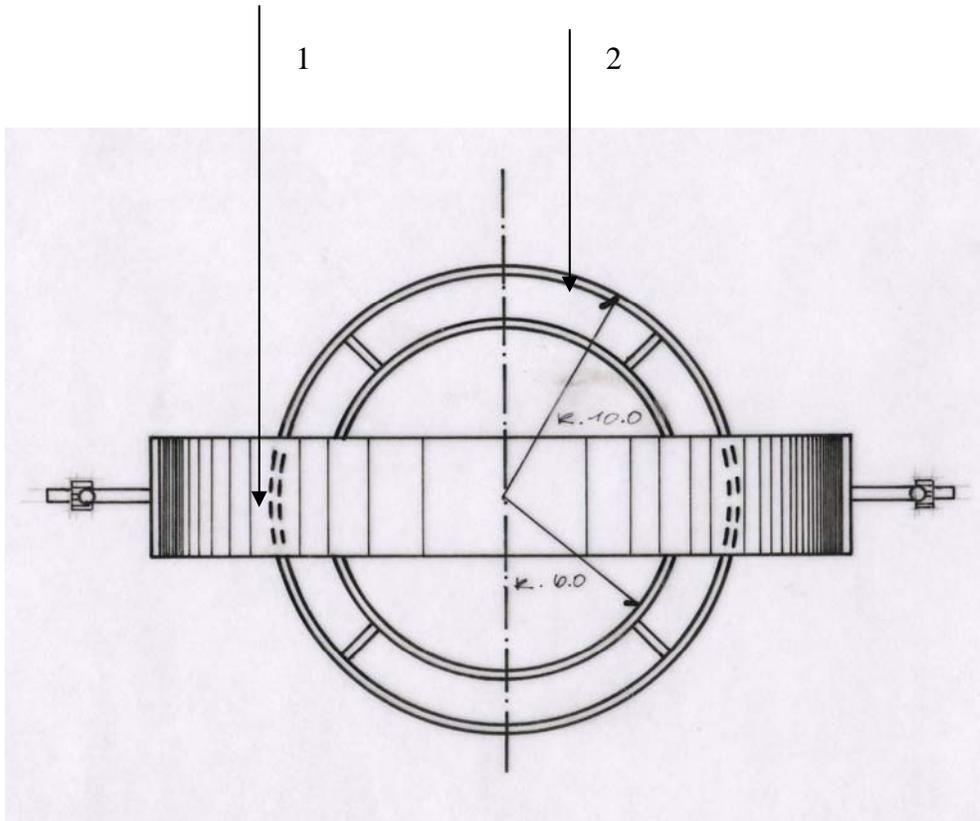
Figura 33. Perfil del heliógrafo tipo A



1. Porta tarjeta heliográfica
2. Armazón

MEDIDAS EN CENTÍMETROS

Figura 34. Planta del heliógrafo tipo A



- 1. Porta tarjeta heliográfica
- 2. Armazón

MEDIDAS EN CENTÍMETROS

Figura 35. Isométrico del heliógrafos tipo B

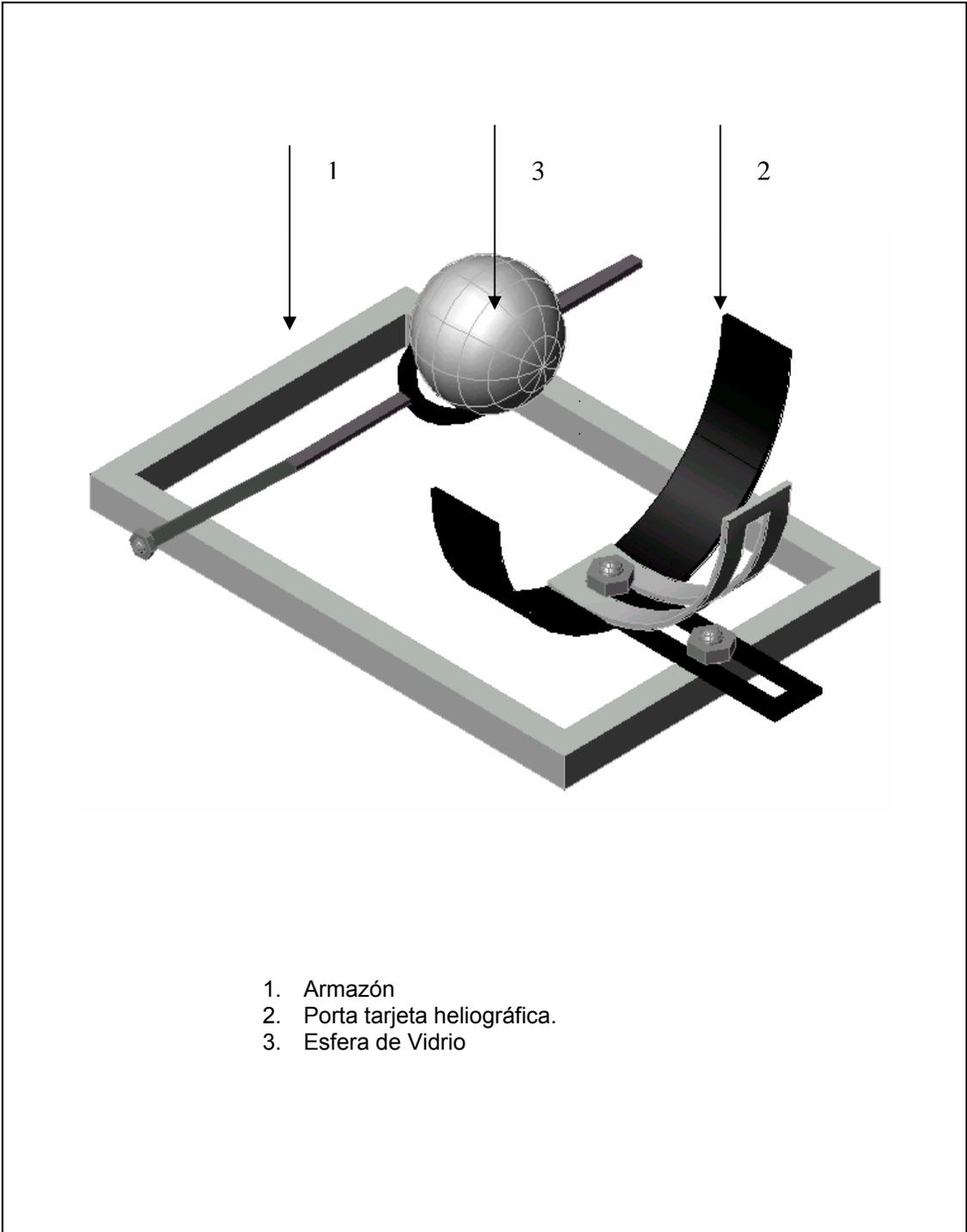


Figura 36. Elevación frontal del heliógrafo tipo B

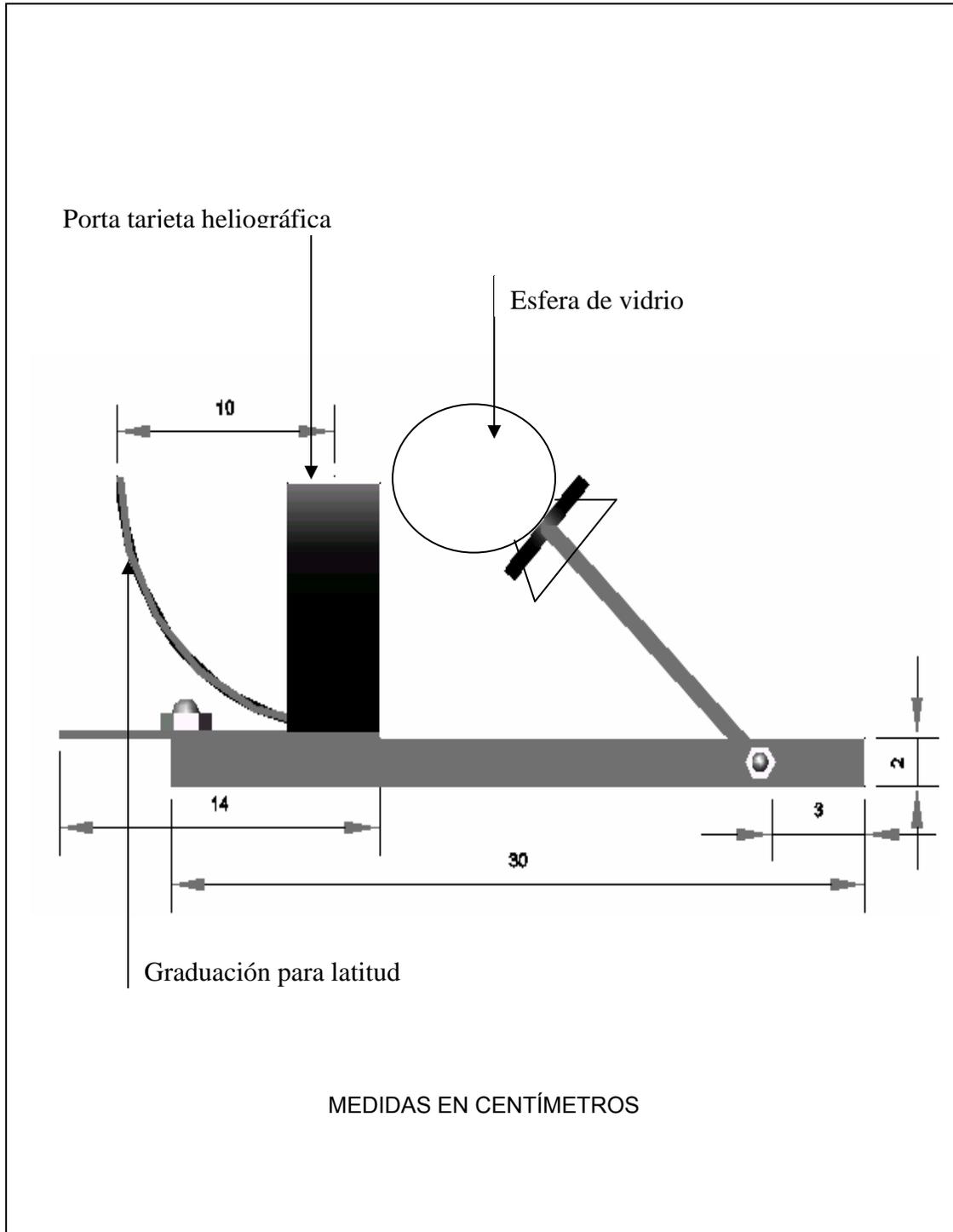


Figura 37. Perfil del heliógrafo tipo B

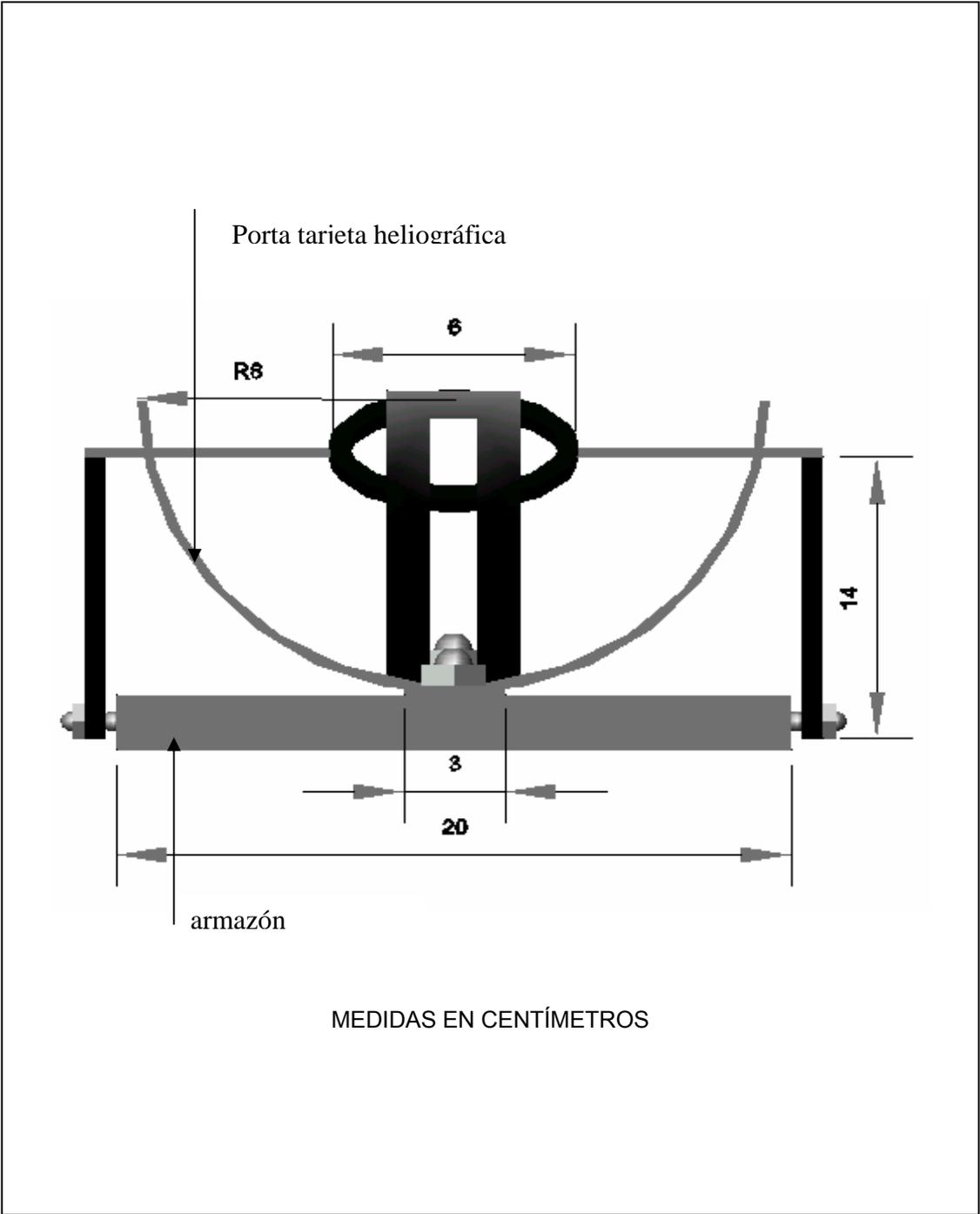


Figura 38. Planta del heliógrafo tipo B

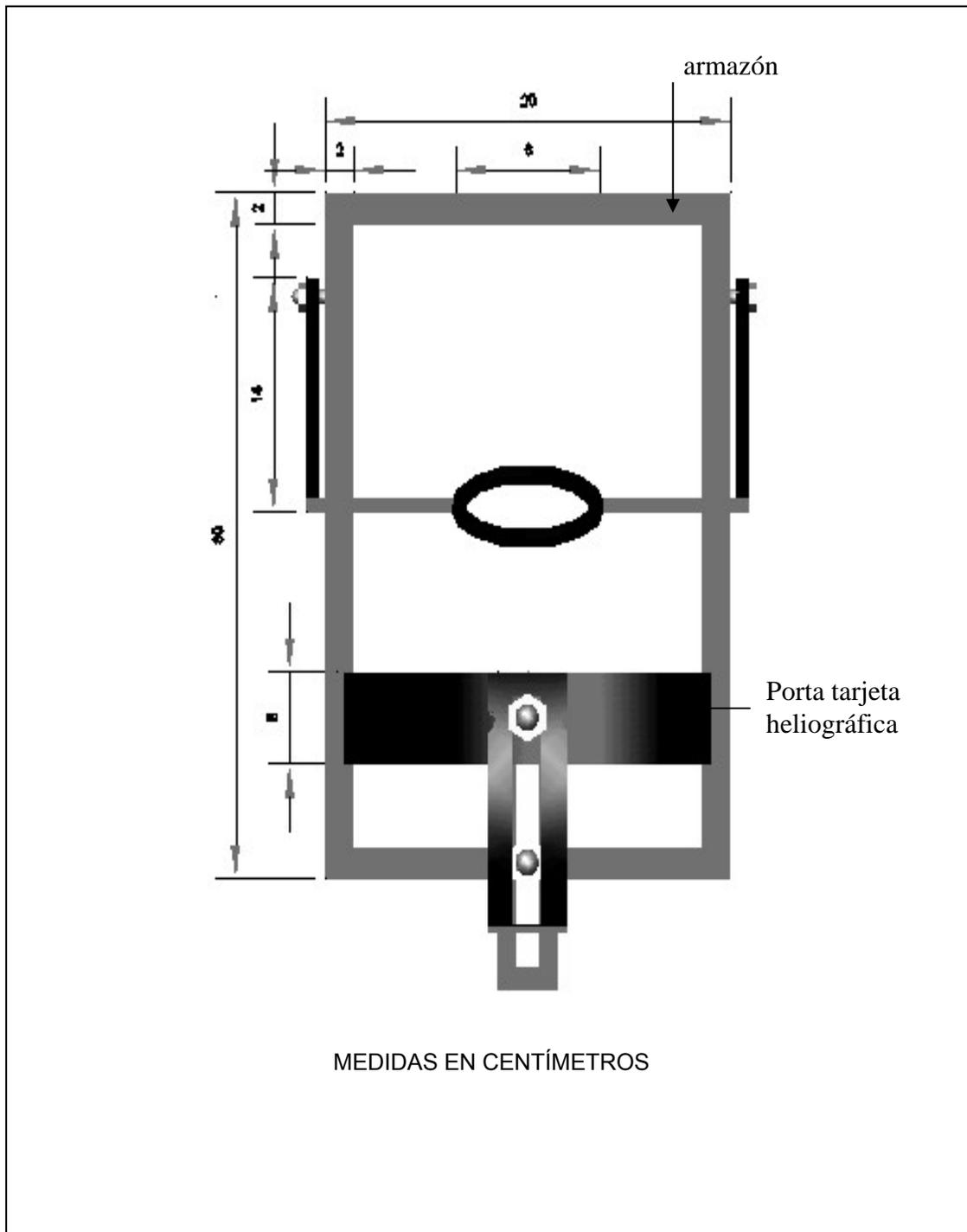
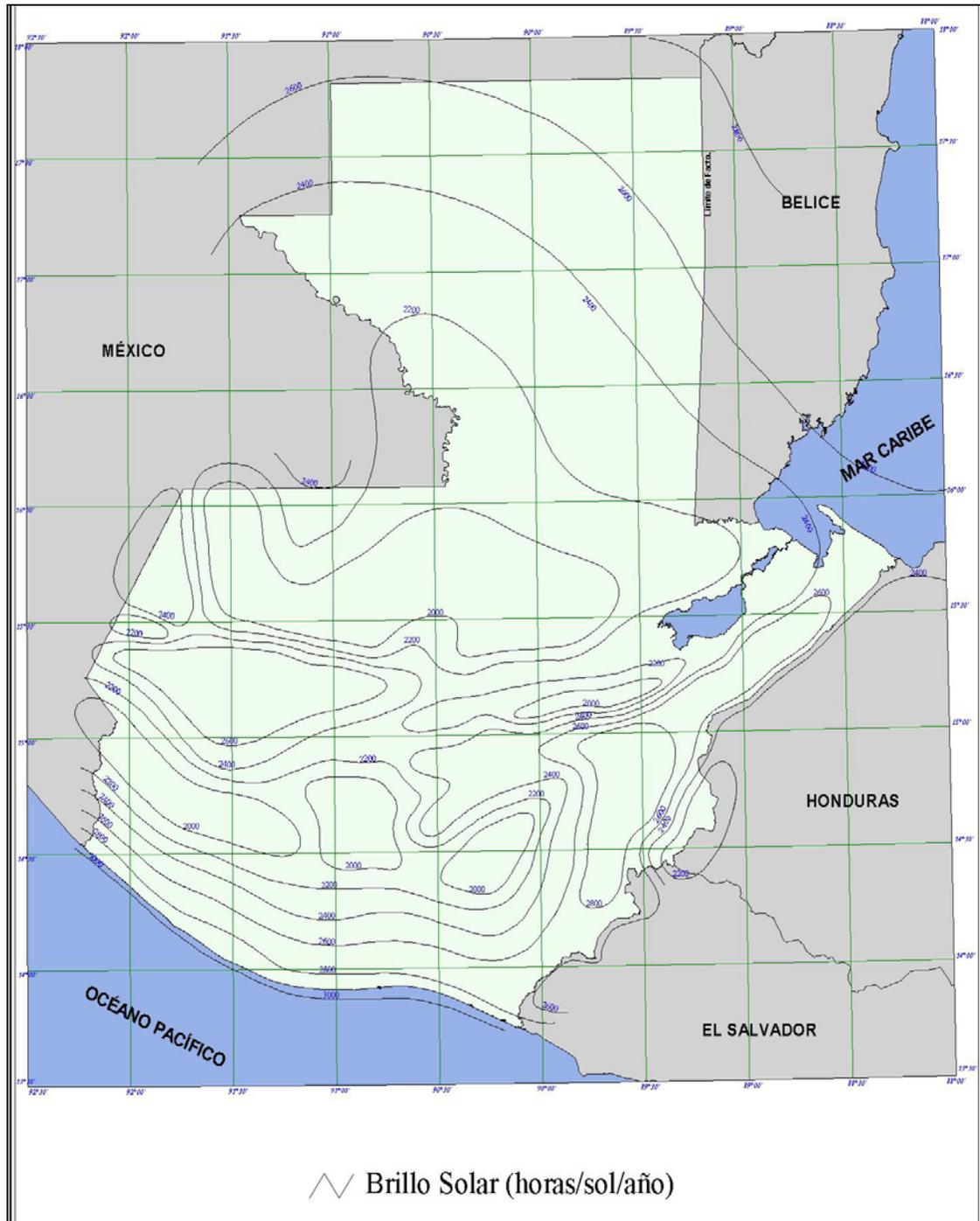


Figura 39. Mapa solar de Guatemala



Fuente: Laboratorio de sistemas de información geográfica, INSIVUMEH y otros.