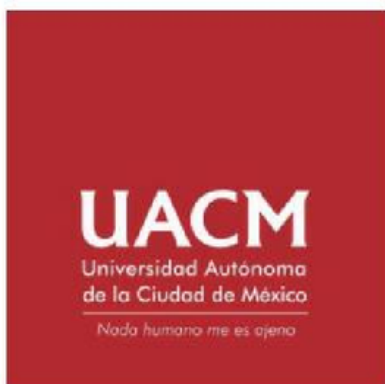




**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE LA CIUDAD DE
MÉXICO**

COLEGIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

PROGRAMA DE ENERGÍA

**Monitoreo de Irradiancia en el
plantel San Lorenzo Tezonco de la
UACM**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE

LICENCIATURA EN:

INGENIERÍA EN

SISTEMAS ENERGÉTICOS

PRESENTA:

Edgar David Flores Hernández

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Rogelio Mendoza Pérez (Academia de matemáticas)

Ciudad de México, abril de 2026

INTEGRACIÓN DEL JURADO:

Presidente: Dr. José Alfredo Del Oso Acevedo

Secretario: Dr. Rogelio Mendoza Pérez

Vocal: Dr. Alvaro Eduardo Lentz Herrera

Suplente: Dr. Lester Augusto Alfonso Díaz

Lugar donde se realizará la carrera:

Plantel San Lorenzo Tezonco, UACM.

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Rogelio Mendoza Pérez

Universidad Autónoma de la Ciudad de México

SISTEMA BIBLIOTECARIO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO COORDINACIÓN ACADÉMICA

RESTRICCIONES DE USO PARA LAS TESIS DIGITALES

DERECHOS RESERVADOS[©]

La presente obra y cada uno de sus elementos está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor; por la Ley de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México, así como lo dispuesto por el Estatuto General Orgánico de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México; del mismo modo por lo establecido en el Acuerdo por el cual se aprueba la Norma mediante la que se Modifican, Adicionan y Derogan Diversas Disposiciones del Estatuto Orgánico de la Universidad de la Ciudad de México, aprobado por el Consejo de Gobierno el 29 de enero de 2002, con el objeto de definir las atribuciones de las diferentes unidades que forman la estructura de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México como organismo público autónomo y lo establecido en el Reglamento de Titulación de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México.

Por lo que el uso de su contenido, así como cada una de las partes que lo integran y que están bajo la tutela de la Ley Federal de Derecho de Autor, obliga a quien haga uso de la presente obra a considerar que solo lo realizará si es para fines educativos, académicos, de investigación o informativos y se compromete a citar esta fuente, así como a su autor ó autores. Por lo tanto, queda prohibida su reproducción total o parcial y cualquier uso diferente a los ya mencionados, los cuales serán reclamados por el titular de los derechos y sancionados conforme a la legislación aplicable.

Agradecimientos

Las realizaciones que tenemos como personas, casi siempre, son un trabajo en equipo. Muchas veces ese trabajo es silencioso, otras más activo, pero en su mayoría, se realiza a partir de trabajo en conjunto. En el proceso de la realización de mi formación académica y este trabajo, mucha gente estuvo involucrada directa o indirectamente, siempre se los agradeceré.

Primero agradezco a mi núcleo familiar: mi madre Rosa Elia, mi padre José Luis, y mis hermanos Rebeca y José Luis, por el apoyo tan incondicional en mi proceso como estudiante y los sacrificios que conllevó ser pilar en esa etapa. Los logros alcanzados son, en gran medida, gracias a ellos, por ellos y para ellos. La familia, en general, es un sistema que mantuvo vivo este camino, y por ello, siempre estaré agradecido.

También agradezco a las personas que de diversas formas me sostuvieron emocionalmente, que fueron una motivación e inspiración para alcanzar esta y otras metas. Gracias a mi otra familia (mis amigos), gracias por esa cerveza, ese abrazo y esas palabras de aliento.

Dentro de la universidad, nosotros los estudiantes, somos semillas que los profesores se encargan de germinar, la mera actividad de la enseñanza es un acto tan valioso y humilde, que mantiene vivo el conocimiento de la sociedad. Yo no tengo más que palabras de agradecimiento a todos esos profesores que, en su actividad, fueron sembrando conocimiento valioso para la realización profesional de cada uno de nosotros los estudiantes. En este sentido, quien dirigió el camino del proceso de este trabajo, y con quien más agradecido estoy por la realización del mismo, es con mi director de tesis, el Dr. Rogelio Mendoza Pérez, quien fue parte activa en muchos sentidos de este trabajo, y aunque quizá no lo recuerde sembró la semilla del interés en la energía solar, pues siendo profesor de mi primer semestre dejó la idea implantada.

En el trabajo se menciona un enorme apoyo por parte del personal de la Coordinación de Obras y Conservación del plantel, a quienes agradezco profundamente, principalmente del apoyo del Arquitecto Luis Frago, por facilitarnos las herramientas y mecanismos necesarios, así como la mención y agradecimiento especial al trabajador de esta misma área, el Sr. Enrique Silva Jiménez, quien fue parte fundamental en el montaje del piranómetro en el edificio B del plantel San Lorenzo Tezonco de la UACM.

También agradezco a quienes apoyaron de diferentes maneras este proyecto dentro del laboratorio de LACyTES, como profesores y compañeros, que siempre estuvieron dispuestos a dar una mano y mantener un increíble ambiente académico para que, no solo este, si no que todos los trabajos que se realizaron en mi estancia fueran posibles. A mis

lectores de tesis: el Dr. Álvaro Eduardo Lentz Herrera, al Dr. José Alfredo Del Oso Acevedo y al Dr. Lester Augusto Alfonso Díaz, por su paciencia, conocimiento y tiempo para ayudar a enriquecer este trabajo.

Y al final, pero no menos importante, agradecer al proyecto de CONACYT titulado “Diseño e instalación de un laboratorio de pruebas y certificación para colectores solares destinados al calentamiento de agua”, con número 263488 y proveniente de la convocatoria 2014-01, ya que, proporcionó los medios para que la universidad contara con el equipo necesario para la realización de este trabajo y muchos más en el futuro.

ÍNDICE

Agradecimientos	III
Resumen	1
1.Capítulo I	2
1.1 Introducción	2
1.2 Abstract	3
1.3 Objetivo general	3
1.4 Objetivos secundarios	3
1.5 Metodología	4
2. Capítulo II. Conceptos y antecedentes	5
2.1El Sol	5
2.1.1 Formación y vida del Sol	5
2.1.2 Estructura y composición del Sol.....	6
2.1.3 Fusión nuclear en el Sol	7
2.1.4 Ciclo solar y Actividad solar.....	8
2.1.5 Radiación solar.....	9
2.1.6 Irradiancia e irradiación	11
2.1.7 Instrumentos de Medición de los diferentes tipos de radiación	14
2.2 Geometría solar	15
2.2.1. Ángulo de incidencia solar	16
2.2.3 Distancia entre el Sol y la Tierra	18
2.2.4 Día Solar	19
2.3 Recurso Solar	20
2.3.1 Recurso Solar en el Mundo	20
2.3.2 Recurso Solar en México	21
2.4 Aspectos climatológicos.....	22
2.4.1 Temperatura	22
2.4.2 Calentamiento global	23
2.4.3 Humedad Relativa	24

2.4.4 Índice de Nubosidad	25
2.4.5 Índice de Claridad	26
2.4.6 Albedo	27
2.5 Trabajos previos	28
3.1 Instrumentos para la instalación	28
3.1.1 Piranómetro.....	28
3.1.1.2 Piranómetro LP PYRA 02, DELTA OHM	30
3.1.2 Capturador de datos DELTA OHM y software	31
3.2 Instalación del equipo	34
3.2.1 Gestión Administrativa	34
3.2.2 Lugar de Instalación	34
3.2.3 Instalación de Piranómetro en Edificio B	35
3.2.4 Instalación del software	38
3.2.5 Instalación del sensor	39
3.3 Adquisición y manejo de datos.	42
4. Capítulo IV. Análisis de Resultados	44
4.1 Junio, mediciones de experimentación.....	44
4.2 Mediciones del mes de Julio	47
4.3 Mediciones del mes de Agosto	51
4.4 Mediciones del mes de Septiembre	55
4.5 Mediciones del mes de Octubre	59
4.6 Mediciones del mes de noviembre	63
4.7 Mediciones del mes de diciembre	66
4.8 Acumulado del semestre julio-diciembre 2023	70
5. Conclusiones	74
6. Trabajos Futuros	75
Bibliografía	76
ANEXO 1	77
ANEXO 2	77

ÍNDICE DE GRÁFICAS

GRÁFICA 4. 1. PRIMERA MUESTRA, IRRADIANCIA 15 DE JUNIO. PROPIA.	44
GRÁFICA 4. 2. CURVAS DE IRRADIANCIA PARA LOS DÍAS 18 Y 26 DE JUNIO, QUE CORRESPONDEN A LOS DÍAS CON VALORES MÍNIMOS Y MÁXIMOS DE INSOLACIÓN. PROPIA.	45
GRÁFICA 4. 3. INSOLACIÓN MES DE JUNIO DE 2023. PROPIA.	46
GRÁFICA 4. 4. GRÁFICA DE CAJA Y BIGOTES DE LA QUINCENA DE JUNIO. PROPIA.	47
GRÁFICA 4. 5. PRIMER REGISTRO DE JULIO. PROPIA.	48
GRÁFICA 4. 6. COMPARATIVA, DÍAS DE MÍNIMO Y MÁXIMO DE IRRADIANCIA DE JULIO. PROPIA.	49
GRÁFICA 4. 7. IRRADIACIÓN DEL MES DE JULIO DEL 2023. PROPIA.....	50
GRÁFICA 4. 8. BOXPLOT DEL MES DE JULIO. PROPIA.	51
GRÁFICA 4. 9. PRIMER REGISTRO DE AGOSTO. PROPIA.	52
GRÁFICA 4. 10. MÍNIMO Y MÁXIMO DEL MES DE AGOSTO, 2023. PROPIA.	53
GRÁFICA 4. 11. IRRADIACIÓN DEL MES DE AGOSTO DEL 2023. PROPIA.	54
GRÁFICA 4. 12. DIAGRAMA BOXPLOT DEL MES DE AGOSTO, 2023. PROPIA.	55
GRÁFICA 4. 13. PRIMER REGISTRO DE SEPTIEMBRE. PROPIA.	56
GRÁFICA 4. 14. MÍNIMO Y MÁXIMO DEL MES DE SEPTIEMBRE, 2023. PROPIA.	57
GRÁFICA 4. 15. IRRADIACIÓN DEL MES DE SEPTIEMBRE DEL 2023. PROPIA.	58
GRÁFICA 4. 16. DIAGRAMA BOXPLOT DEL MES DE SEPTIEMBRE, 2023. PROPIA.	59
GRÁFICA 4. 17. PRIMER REGISTRO DE OCTUBRE. PROPIA.	60
GRÁFICA 4. 18. MÍNIMO Y MÁXIMO DEL MES DE OCTUBRE, 2023. PROPIA.	61
GRÁFICA 4. 19. IRRADIACIÓN DEL MES DE OCTUBRE DEL 2023. PROPIA.....	62
GRÁFICA 4. 20. DIAGRAMA BOXPLOT DEL MES DE OCTUBRE, 2023. PROPIA.	63
GRÁFICA 4. 21. PRIMER REGISTRO DE DATOS DE NOVIEMBRE. PROPIA.	64
GRÁFICA 4. 22. MÍNIMO Y MÁXIMO DEL MES DE NOVIEMBRE, 2023. PROPIA.....	64
GRÁFICA 4. 23. IRRADIACIÓN DEL MES DE NOVIEMBRE DEL 2023. PROPIA.	65
GRÁFICA 4. 24. DIAGRAMA BOXPLOT DEL MES DE NOVIEMBRE, 2023. PROPIA.	66
GRÁFICA 4. 25. PRIMER REGISTRO DE DATOS DE DICIEMBRE. PROPIA.	67
GRÁFICA 4. 26. MÍNIMO Y MÁXIMO DEL MES DE DICIEMBRE, 2023. PROPIA.	68
GRÁFICA 4. 27. IRRADIACIÓN DEL MES DE DICIEMBRE DEL 2023. PROPIA.	69
GRÁFICA 4. 28. DIAGRAMA BOXPLOT DEL MES DE DICIEMBRE, 2023. PROPIA.	70
GRÁFICA 4. 29. ACUMULACIÓN SEMESTRE II 2023 DE IRRADIACIÓN O INSOLACIÓN EN UACM SAN LORENZO TEZONCO. PROPIA.	71
GRÁFICA 4. 30. H MÁXIMA, H MÍNIMA Y H MEDIA DEL SEMESTRE II DEL 2023. PROPIA.	72
GRÁFICA 4. 31. BOXPLOT DE LOS DATOS DE IRRADIACIÓN DEL SEGUNDO SEMESTRE DEL 2023. PROPIA.	73

Resumen

En este trabajo se presenta el monitoreo durante seis meses de la radiación solar en las instalaciones del plantel San Lorenzo Tezonco de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México (STL-UACM). Para ello, se dividió el trabajo en tres etapas, la primera etapa fue el montaje del equipo de medición, en la segunda etapa se trabajó la instalación y calibración de dicho equipo, la tercera y última etapa fue el monitoreo, y estadística básica de los datos recolectados.

En la primera etapa, y con el apoyo del personal de la Coordinación de Obras y Conservación del plantel, se elaboró una placa base para mayor seguridad en el montaje del piranómetro, y que no quedara a nivel de suelo; ya que el montaje se realizó en la azotea del Edificio B de STL-UACM, arriba del Laboratorio de Ciencia y Tecnología Sustentable (LACyTES), quedando expuesto a la intemperie. Posterior al montaje, y correspondiente a la segunda etapa, se realizó la conexión del piranómetro al adquisidor de datos ubicado dentro del laboratorio y la instalación del software a la PC encargada del monitoreo. Una vez concluido este trabajo se comenzó con el monitoreo de la irradiancia con ensayos de prueba y error. Dichos ensayos se realizaron durante un mes de monitoreo. La tercera etapa consistió de seis meses de monitoreo de la irradiancia, mientras que, con los datos obtenidos, se realizaban cálculos de irradiación a diario con ayuda del software especializado Origin. Esto se llevó a cabo, mediante el cálculo del área bajo la curva de las gráficas de irradiancia; como resultado de este monitoreo se obtuvo una base de datos que nos permitió trabajarlos mediante estadística básica, de donde obtuvimos valores de insolación locales mínimas de 1.44 kWh/m^2 , máximas de 8.01 kWh/m^2 y media de 5.42 kWh/m^2 durante el semestre II del 2023. Dicho trabajo estadístico se realizó con más de medio millón de datos, y permitió conocer los valores de irradiación en el plantel San Lorenzo Tezonco de la UACM, en la Ciudad de México, México.

La recolección de estos datos, ayudaran a la universidad a poder trabajar en la generación de un banco de datos que pueda ser una fuente confiable de información con respecto a el recurso solar en esta zona de la ciudad de México. De tal manera que, proyectos relacionados con el recurso solar puedan tomar citar como fuente al laboratorio de LACyTES.

1.Capítulo I

1.1 Introducción

Se estima que con la energía que llega hasta la Tierra proveniente del Sol de antes del mediodía, podría cubrir la demanda energética anual de la sociedad humana. Esto, si tuviéramos la capacidad de captarla, acumularla y transformarla para las necesidades requeridas como lo son: transporte, industria y uso doméstico. Este hecho ha generado que la comunidad científica se encargue de crear la tecnología necesaria para poder aprovechar una parte de este recurso que, para fines de la sociedad humana, resulta inagotable. Esta tecnología la vemos desarrollada en dispositivos como las celdas solares y los captadores termosolares.

Si bien se conoce un estimado de la energía que se recibe desde el Sol hasta la Tierra, es necesario considerar que existen factores geográficos y climáticos que vuelven variable la incidencia de esta energía que recibimos en forma de radiación, por esto mismo, se vuelve indispensable conocer el recurso energético a lo largo del “globo terráqueo”.

Para conocer este recurso energético, se cuentan con instrumentos de medición denominados radiómetros. Algunos de ellos son el piranómetro, el pirheliómetro, fotómetro solar, entre otros. La diferencia entre estos es el tipo de radiación que se mide en función de su longitud de onda, también el tipo de radiación en función de la incidencia con la superficie, así como el uso particular que se requiera de la radiación. En función de lo necesario, para conocer el recurso energético que se puede aprovechar para las tecnologías antes mencionadas, se utiliza el piranómetro, mismo que nos ayuda a conocer la irradiancia (W/m^2) en un área particular y tiempo instantáneo.

Para conocer el recurso, se necesita un monitoreo constante a lo largo de un lapso de tiempo prolongado que nos permita conocer las circunstancias locales en la medición, como lo pueden ser las temporadas con mayor nubosidad, la humedad en el medio que pueda reducir dicha radiación y la posición geográfica particular, ya que, en dependencia de su longitud, la radiación puede incidir con diferente ángulo que afecta directamente a la cantidad de recurso que se tiene.

Posterior a la obtención de datos de irradiancia se puede calcular la irradiación o insolación (Wh/m^2) en un lapso de tiempo determinado y así tener una certeza más clara del recurso en la zona de estudio.

1.2 Abstract

In this work, we present the monitoring solar radiation for six months at the Universidad Autónoma de la Ciudad de México Campus San Lorenzo Tezonco (STL-UACM). For this purpose, the work was divided into a three stages: the first stage was the assembly of the measuring equipment, the second stage was the installation and calibration of the equipment, and the third and last stage was monitoring and basic statistics.

For the first stage and with the support of the staff of the Coordinación de Obras y Conservación of the campus, a platform was made for the mounting of the pyranometer, for greater safety and not to be at ground level: in addition, the assembly was carried out on the roof of building B of the STL-UACM campus above the Laboratorio de Ciencia y Tecnología Sustentable (LACyTES). After the assembly and corresponding to the second stage, the software was installed and the pyranometer was connected to the laboratory. Once this work was completed, monitoring of the irradiance began with trial-and-error tests. These tests were carried out during a month of monitoring.

The third stage consisted of monitoring irradiance and calculating irradiation, daily with the specialized Origin software; as a result of this monitoring, a data base was obtained that allowed us to work with statistical data, which showed local insolation values for approximately one semester.

The statistical work was carried out with over one million data points, and allowed to determine the values of minimum, maximum, and average irradiation values for the San Lorenzo Tezonco Campus of the UACM, in the México City, México.

1.3 Objetivo general

Monitoreo de irradiancia en el plantel San Lorenzo Tezonco de la UACM, en un periodo de tiempo de seis meses, que nos ayude a conocer el recurso energético en esta zona.

1.4 Objetivos secundarios

Instalar equipo de monitoreo de irradiancia (piranómetro, adquisidor de datos).

Recopilar datos de irradiancia solar global horizontal, en el periodo de julio a diciembre.

Manejo de datos irradiancia mediante estadística básica que nos ayude a interpretar la información de la irradiación.

1.5 Metodología

La organización del trabajo está, de manera muy general, dividida en tres fases:

1. Montaje del equipo de monitoreo:

En esta fase, se realizarán todas las actividades relacionadas con el montaje del equipo, como son: permisos con las instancias correspondientes dentro del plantel, conocer los requerimientos técnicos necesarios para la instalación del equipo, montar el equipo con ayuda del personal de obras del plantel y verificar la correcta instalación.

2. Instalación del equipo de monitoreo:

Aquí el trabajo es realizar la correcta vinculación entre el equipo ya montado, el adquisidor de datos, y el ordenador que contiene el software que controla el equipo, lo que requiere de una previa instalación y pruebas del mismo.

3. Manejo de datos:

La última etapa consistirá en realizar el monitoreo durante aproximadamente seis meses de la irradiancia y con los datos obtenidos se desea calcular la irradiación o insolación con ayuda de software especializado, y con estos datos realizar estadística que nos de información sobre el recurso en esta zona de estudio. Esto se obtendrá realizando la media diaria de irradiación, con esos datos se obtendrá la media mensual y posteriormente con los datos mensuales, se realizará la media semestral. Entiéndase por el valor mínimo y máximo de irradiación como el valor de un día del mes respectivamente y para la irradiación promedio, se obtiene la media aritmética con los valores de todos los días de cada mes.

2. Capítulo II. Conceptos y antecedentes

2.1 El Sol

2.1.1 Formación y vida del Sol

Hace aproximadamente 13,800 millones de años, el universo comenzó como una singularidad caliente y densa. Esta singularidad experimentó un evento explosivo conocido como el Big Bang, que generó toda la materia y energía en el universo observable. Esta explosión inicial provocó una inmensa liberación de energía y dio lugar al espacio y al tiempo, marcando el comienzo del universo tal como lo conocemos.

En los primeros momentos después del Big Bang, las temperaturas eran extremadamente altas, pero con el tiempo, aproximadamente tres minutos después, la temperatura comenzó a descender a alrededor de mil millones de grados Kelvin. A medida que el universo continuó expandiéndose y enfriándose durante unos 50 millones de años, la mayoría de la materia se formó en una mezcla compuesta en su mayoría de hidrógeno y helio, llamada la "sopa cósmica".

Con el paso del tiempo, las regiones más densas de esta sopa cósmica comenzaron a formar oasis de calor, conocidos como nebulosas. Estas nebulosas concentraron gas y polvo en cantidades masivas y sirvieron como viveros estelares. En estas nebulosas, las estrellas, como nuestro Sol, comenzaron a formarse.

Nuestro Sol se originó a partir de una de estas nebulosas hace aproximadamente 4,600 millones de años. Inicialmente, era una proto-estrella que se calentó en su núcleo y comenzó a experimentar la fusión nuclear. A medida que se formaba como una estrella, expulsó una gran cantidad de materia, lo que dio lugar a un disco de gas y polvo alrededor de la estrella en formación. A partir de este disco, se formaron los planetas que componen nuestro sistema solar.

Aunque han pasado alrededor de 4,600 millones de años desde la formación del Sol, este, se encuentra aproximadamente a la mitad de su vida. Se espera que queden otros 4,600 millones de años antes de que agote su suministro de hidrógeno y evolucione hacia una gigante roja. En esta etapa, el Sol se expandirá y, finalmente, expulsará sus capas exteriores antes de convertirse en una enana blanca (Torti, 2015).

2.1.2 Estructura y composición del Sol

El Sol contiene el 99.8% de la masa del sistema solar, al mismo tiempo contiene unas 333,000 veces la masa de la Tierra. También posee un radio de 700,000 km, o sea unos 109 veces más grande que el radio de nuestro planeta, con lo que se necesitarían al menos 1,300,000 planetas Tierra para llenar nuestra estrella.

La composición del Sol se basa principalmente en hidrógeno y helio. Y aunque la cantidad de estos elementos ha cambiado a lo largo de su vida, hoy se conoce que representa principalmente un 74.9% de hidrógeno y un 23.8% de helio. En tanto, existen otros elementos como el oxígeno que representa tan solo el 1%, el carbono el 0.3% y otros más como el neón y el hierro que poseen solamente un 0.2% dentro de la estructura del astro (Blanco-Cano, 2009).

El Sol es una masa gigantesca de forma esférica que, debido a su naturaleza, la podemos seccionar en capas, así como zonas que nos pueden permitir tener información más ordenada de la estructura de nuestra estrella. El interior del Sol está conformado por tres principales zonas: núcleo, zona radiactiva, zona convectiva. Mientras que, en la superficie del Sol, se encuentran otras regiones como la fotosfera, la cromósfera y la corona (Imagen 1, Estructura del Sol). Además, de otros fenómenos de la estrella que son parte de su estructura como las protuberancias y sus manchas.

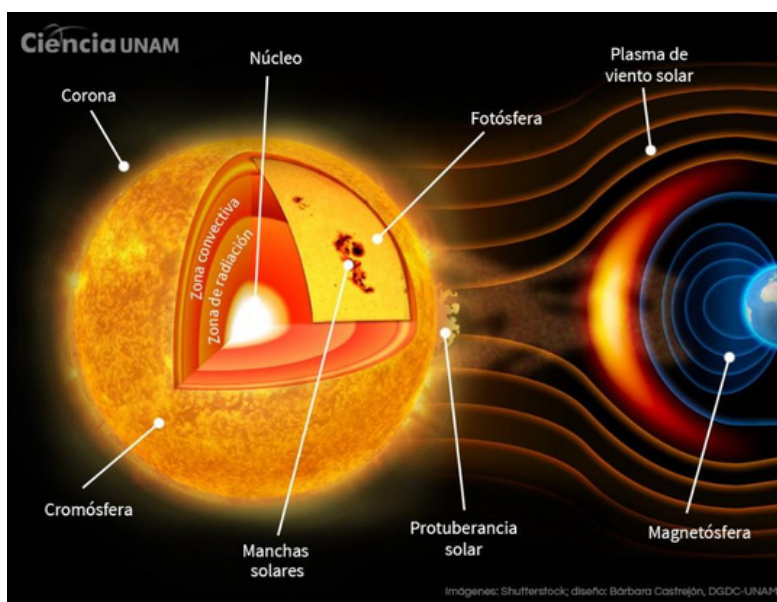


Imagen 2. 1 Estructura del Sol, Ciencia UNAM.

El núcleo del Sol se encuentra en la parte más interna de la estrella, que va desde el interior de ella hasta un radio que es la cuarta parte del radio total. Y aunque esto significa que representa solamente el 1.5% del volumen del Sol, debido a la gran densidad de esta región, aquí se concentra casi la mitad de la masa total. La densidad del núcleo es de 150 g/cm^3 o 150 veces la densidad del agua. Debido a que en esta zona es donde se generan las reacciones nucleares, es también la más caliente del Sol, con alrededor de 15.7 millones de grados Kelvin y es donde se produce la mayor cantidad de energía. En la zona radiactiva, se lleva la transferencia de energía por medio de la radiación, donde las temperaturas alcanzan los 7,000,000 K en su parte interna hasta los 2,000,000 K en la parte más externa, mismas que van de los 0.25 radios solares a los 0.7 radios solares y en donde se tiene una densidad de los $20 \text{ a } 2 \text{ g/cm}^3$. La zona convectiva tiene como particularidad ser donde la energía se transporta por medio de la convección debido a que es donde se forman grandes columnas de gas que se mueven hacia afuera de la superficie y de nuevo al interior del Sol. Su extensión va desde los 0.7 radios solares hasta la superficie del Sol. La densidad aquí es muy pequeña apenas 0.2 g/cm^{-3} (Blanco-Cano, 2009).

Otra zona interesante del Sol es la superficie solar o fotosfera, y aunque el nombre evoque algo sólido la realidad es que se trata de una capa de unos 100 km de grosor de material gaseoso y esta zona es la que se puede ver desde la Tierra o con telescopios. Aunque se trate de la zona más fría del Sol, la temperatura en esta región es de 5800 K, misma que le otorga el color amarillo tan característico. En la última zona del Sol se encuentra la atmósfera, misma que está conformada por dos regiones, la cromósfera y la corona. La primera es la que se puede observar durante los eclipses de Sol, y en ella se tiene una temperatura de unos 20,000 K. Aquí se tienen fenómenos como las espículas, protuberancias y filamentos. La corona, que es la región más superficial del Sol, y como se mencionó antes, es una región que se puede observar durante los eclipses solares, al poseer una luz blanca, no se logra ver de manera natural. Esta región se ve durante los eclipses como una luz blanca rodeando al Sol. Aquí mismo, y a pesar de que es la zona más alejada al centro del Sol, se registran temperaturas altísimas llegando al millón de grados Kelvin, emitiendo luz ultravioleta extrema y rayos X (Blanco-Cano, 2009).

2.1.3 Fusión nuclear en el Sol

Aunque puede parecer que, en el centro del Sol la materia se encuentra en estado gaseoso, la realidad es que debido a la enorme temperatura y presión a la que se encuentra el núcleo, la materia se encuentra como plasma, ya que ahí los átomos están en constante movimiento y pierde los electrones quedando un gas ionizado.

Bajo estas condiciones es que se produce la fusión nuclear dentro del Sol. Este proceso significa que hay una producción de energía derivado de la unión del núcleo de átomos, en el cual, para que se genere esta producción de energía tiene que haber pérdida de materia que fue transformada. Dentro del Sol se da la unión de átomos de tritio con la de átomos de

deuterio, dadas las características de cada uno, puesto que el tritio tiene un protón y dos neutrones, mientras que el deuterio tiene un protón y un neutrón, por lo que esta unión termina en dos protones y dos neutrones. Este es el átomo de helio más un neutrón que se va a separar con la velocidad de la luz y pasará a convertirse en la energía generada por el proceso, según la famosa relación pensada por Einstein: $E=mc^2$ (Objetos UNAM, 2013).

El enorme problema que se tiene para poder realizar este fenómeno tiene que ver con que, dentro de la naturaleza de los átomos, los protones poseen cargas positivas y estas se repelen con una fuerza descomunal, inversamente proporcional al cuadrado de las distancias que los separa, como lo dicta la ley de Coulomb, por lo que, entre más cerca se encuentren una de la otra, con más fuerza se irá repeliendo. El momento de la fusión ocurre en el caso extremo en el que la fuerza que se requiere vencer, se acerca al infinito, puesto que la distancia entre las partículas es prácticamente cero, por eso este fenómeno es tan maravilloso. Pero, como se menciona antes, este proceso ocurre bajo características muy específicas de temperatura y presión, donde la densidad de la materia es proporcional a las temperaturas y presiones existentes.

2.1.4 Ciclo solar y Actividad solar

Las condiciones naturales del Sol, hacen que tenga una enorme actividad. Simplemente la masa que le conforma y las altas temperaturas que posee nos hablan de lo caótico que es. La forma que se tiene para conocer parte de la actividad del Sol, está relacionada con el fenómeno conocido como manchas solares. Estas se manifiestan como puntos negros que se notan en la superficie de la estrella, pero que en realidad no son puntos negros, si no que se tratan de regiones con menor temperatura que el resto de la superficie, lo que provoca que tengan un menor brillo que el resto del área que está a su alrededor. Las manchas se componen de una parte llamada umbra, la cual se encuentra en la parte central, donde la temperatura es de 4000 K, notablemente más baja que la superficie que posee casi 6000 K, y donde el brillo es de solamente el 30 % de la fotosfera. Esta umbra le rodea una penumbra que tiene un brillo del 70% y tiene una temperatura de 5000 K. Mucho más grandes que la de la Tierra, estas manchas solares pueden ser tan grandes como decenas de miles de kilómetros. También es importante mencionar que estas manchas solares son las bases de las erupciones solares (Blanco-Cano, 2009).

Las manchas solares se pueden monitorear todos los días para generar un registro de ellas y el análisis de este monitoreo sugiere que existe un patrón en la cantidad de manchas solares y que cambia con el tiempo. De esto se han estimado dos periodos de las manchas solares, uno de ellos es el máximo solar que es cuando aparecen la mayor cantidad de estas manchas, mientras que cuando se tiene menos, se conoce como mínimo solar. La frecuencia de estos periodos tiene una duración de 11 años (Blanco-Cano, 2009).

Las tormentas solares, aquellos fenómenos que suelen interferir con las tecnologías satelitales y causan apagones, son parte o suceden durante el máximo solar, y que también tiene como resultado las auroras boreales visibles en los polos del planeta (NISE, s/f).

2.1.5 Radiación solar

Nuestro Sol es una fuente inagotable de radiación electromagnética que abarca desde el infrarrojo hasta el ultravioleta. Su comportamiento se asemeja al de un cuerpo negro, emitiendo energía de acuerdo con la Ley de Planck en un espectro muy amplio de ondas y manteniendo una temperatura de aproximadamente 6000K. En las regiones más internas del Sol, inaccesibles a la observación directa, las temperaturas alcanzan asombrosos 15 millones de grados Celsius, lo que permite que se desencadenen reacciones nucleares que generan su energía. Esta generación de energía proviene de la conversión de masa en energía, como lo describe la famosa ecuación de Einstein, $E=mc^2$, donde "E" representa la energía liberada cuando la masa "m" se transforma en energía, y "c" simboliza la velocidad de la luz en el vacío, que tiene un valor cercano a 3×10^8 m/s (Tejeda Martínez & Gómez- Azpeitia, 2015).

Toda esta energía emitida nos llega en forma de esta radiación electromagnética o luz. Las primeras son ondas generadas por la aceleración de cargas eléctricas, las cuales no requieren de un medio material para poder propagarse, condición que les permite poder distribuirse de manera libre por el espacio vacío interestelar e interplanetario hasta llegar a nosotros. Existen parámetros como la longitud de onda y la frecuencia, que son características de la radiación y que son útiles para poder determinar la energía, visibilidad, poder de penetración y otras características. Una de estas características es que todas estas ondas se desplazan en el vacío a la constante "c" antes mencionada (299.792 km/s).

También cabe mencionar que la radiación se emite en un espectro de longitud de ondas, donde la energía está determinada por la longitud de onda y que cada una es particular. Esta longitud de onda suele ser tan corta que se expresa en nanómetros o hasta micrómetros. La variación entre los diferentes tipos de longitud de ondas va desde billonésimas de metro, como es el caso de los rayos gamma, hasta los kilómetros en el caso de las ondas de radio y para poder categorizarlos existe el espectro electromagnético, mismo que nos permite conocer que a menor longitud de onda, mayor contenido energético, como se muestra en la siguiente imagen (Tejeda Martínez & Gómez-Azpeitia, 2015).

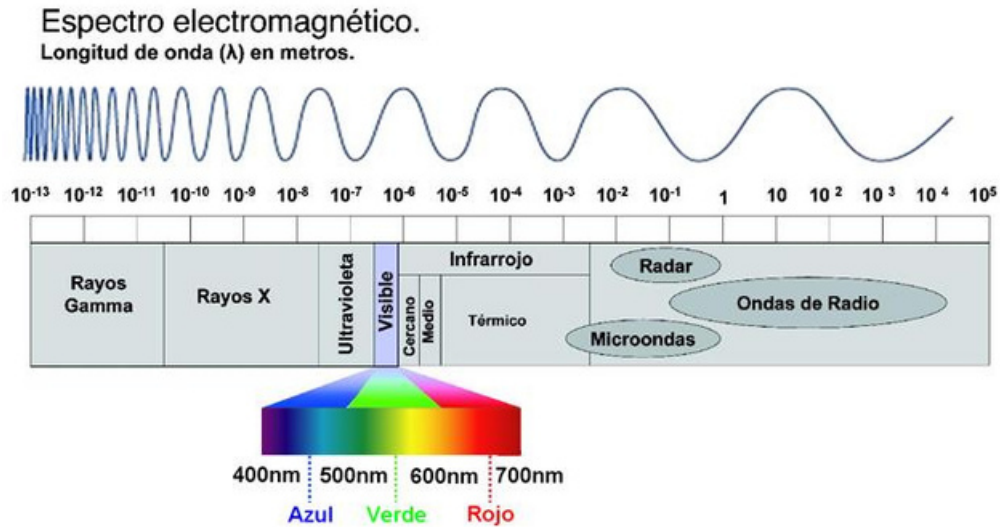


Imagen 2. 2. Espectro electromagnético, ViLab, 2023.

En el caso de la radiación solar, como se mencionó, está conformada por onda corta, dentro de la banda del ultravioleta, visible e infrarrojo cercano, donde la longitud de onda varía entre los 0.2 y 3 micrómetros.

La radiación extraterrestre solar es de 1367 W/m^2 , mientras la alcanzada sobre la superficie de la Tierra no es uniforme, ya que sufre variaciones debido a diversos efectos en la atmósfera terrestre. Parte de esta radiación es absorbida por fenómenos atmosféricos. Aproximadamente el 40% de la radiación que llega a la superficie terrestre se percibe como radiación infrarroja en lugar de luz visible, el resto de radiación que llega está dentro del espectro de lo no visible, como el ultravioleta.

Existen magnitudes radiométricas que nos ayudan a clasificar el tipo de radiación incidente en el planeta según su origen, como son la radiación difusa, directa, reflejada, global, u otras como la radiación térmica o la radiación ultravioleta. Cada una tiene características que le definen. La radiación directa es la que llega hasta la superficie de la Tierra sin recibir ninguna alteración en su dirección. La radiación difusa es aquella que llega de todas direcciones diferentes de la radiación directa para incidir en la superficie de la Tierra. La radiación reflejada es aquella que, una vez incidió en la superficie de la Tierra, rebota para salir de la misma. La radiación global es la suma de las radiaciones anteriormente mencionadas. La radiación térmica es la que podemos experimentar como la temperatura, pero esta está sujeta a otras condiciones naturales como la humedad, lluvia, viento, etc. Mientras que la radiación ultravioleta es la mencionada anteriormente (IDEAM, s,f).

2.1.6 Irradiancia e irradiación

La irradiancia [I] es la potencia (emitida por el Sol) que incide sobre una superficie en una unidad de área de manera instantánea. Las unidades de esta irradiancia son las de Watts sobre metro cuadrado (W/m^2). Durante un día, con una nubosidad nula, obtenemos una gráfica parecida a la campana de Gauss, debido a que la radiación en las primeras horas del día se incrementa hasta alcanzar su cresta a mediodía cuando tenemos la mayor irradiancia, para después, disminuir en el atardecer y llegar a su valor mínimo durante la noche. El intervalo de la irradiancia es desde las 06:00 h hasta las 18:00 h, aproximadamente; como se muestra en la siguiente gráfica (Imagen 2.3. Irradiancia de un día común en Ciudad de México).

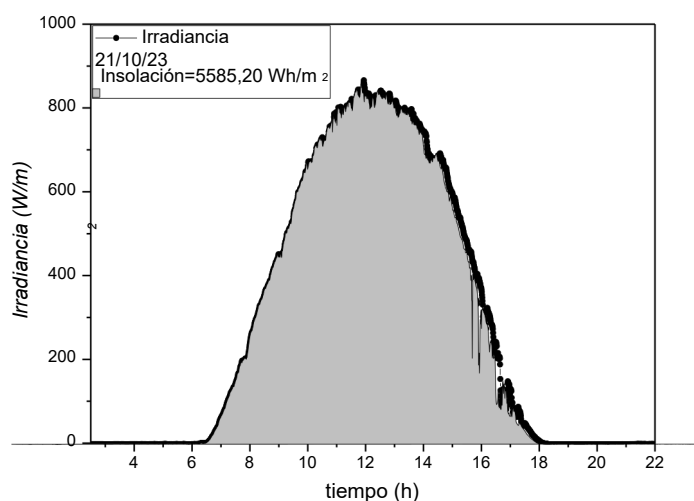


Imagen 2. 3. Gráfica de irradiancia del 21 de Octubre de 2023 en UACM SLT, Ciudad de México. Propia.

Ahora bien, el área que se encuentra debajo de esta curva es la irradiación, su unidad de medida son los J/m^2 , aunque igual se puede encontrar como J/cm^2 o el más común Wh/m^2 . Para encontrarla, podemos utilizar la definición de integral, la cual nos dice que la forma más sencilla de encontrar el área bajo cualquier curva es seccionando el área en aproximaciones con forma de rectángulos verticales, como se muestra en la siguiente imagen (Imagen 4. Aproximaciones de la curva).

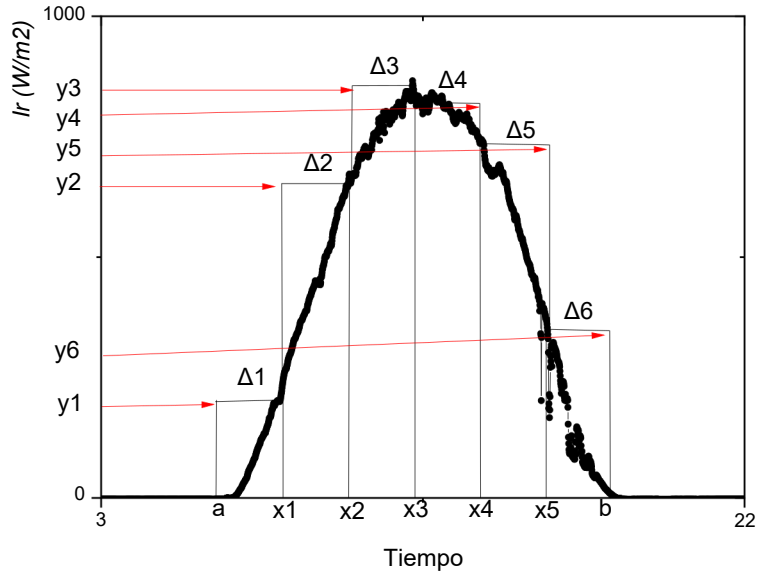


Imagen 2. 4. Gráfica de aproximaciones de la curva. Propia.

Se secciona la curva en pequeños pedazos de manera arbitraria, en este caso de tamaños iguales para ejemplificar mejor. La altura se encontrará al definir un punto evaluado de la función correspondiente al ancho de cada delta, donde (2.1):

$$\Delta = \frac{b - a}{n} \quad (2.1)$$

Entonces, encontrar cada altura queda de la forma (2.2):

$$f(x_1) = y_1, f(x_2) = y_2, f(x_3) = y_3, f(x_4) = y_4, f(x_5) = y_5 \quad (2.2)$$

Entonces el cálculo del área queda como (2.3):

$$A = f(x_1)\Delta_1 + f(x_2)\Delta_2 + f(x_3)\Delta_3 + f(x_4)\Delta_4 + f(x_5)\Delta_5 + f(x_6)\Delta_6 \quad (2.3)$$

Y para reducir, se puede ver como una sumatoria del tipo (2.4):

$$A = \sum_{i=1}^6 f(X_i) \Delta x_i \quad (2.4)$$

Para generalizar el caso, se divide la curva en “n” intervalos, y para lograr calcular de manera exacta el área se debe recurrir al concepto de límite. De manera que la integral exacta queda de la siguiente manera (2.5):

$$A = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n f(x_i) \Delta x_i \quad (2.5)$$

Y para no escribir el límite de la sumatoria es que se abrevia con la notación de Leibniz, con una S alargada, de la siguiente manera (2.6) (Madrigal, s.f.):

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n f(x_i) \Delta x_i \rightarrow \int_a^b f(x) dx \quad (2.6)$$

Cuando integramos esta irradiancia con respecto al tiempo, obtenemos la irradiación [H], que es la energía incidente desde el Sol, sobre unidad de área, pero en un lapso determinado de tiempo. De tal manera que podemos ver a la irradiación como la evolución de la potencia solar en el tiempo. Y la ecuación queda de la siguiente manera (2.7).

$$H = \int I(t) dt \quad (2.7)$$

La unidad de la irradiación son los J/m², aunque igual se puede encontrar como J/cm² o el más común Wh/m².

Para medir de manera instantánea la radiación, utilizamos la irradiancia, y para medir la radiación en un periodo de tiempo, utilizamos la irradiación, donde ambos son por unidad de área en el espacio o zona de estudio.

Un concepto de mucha utilidad es la hora solar pico, el cual se refiere a la cantidad de energía, en este caso radiación, que incide por unidad de área en un lapso de tiempo definido. El valor que se le asigna para una hora pico es de 1000 W/m^2 . Se utiliza en los casos en que queremos simular la energía de, por ejemplo, un día en unas cuantas horas, de manera en que hablando de horas pico, la energía recibida representará la suma de está pensando en que cada hora se ha recibido 1000 W/m^2 .

2.1.7 Instrumentos de Medición de los diferentes tipos de radiación

Es indispensable que, para poder cuantificar el recurso solar con el que contamos, se tengan los correctos instrumentos de medición para la radiación que deseamos medir. Y para esto vamos a tener, los siguientes radiómetros: piranómetro, pirheliómetro, fotómetro, pirgeómetro, pirradiómetro y heliógrafo, pero de cada uno de estos mide diferentes parámetros con distintos usos, en relación con la siguiente tabla (tabla 1) (Carrazo, 2007):

Tabla 1. Tipos de radiómetros, parámetros de medición, uso y ángulo de visión. Daniel Pérez Carrasco. Procedimiento de mantenimiento y calibración de estación radiométrica.

CLASIFICACIÓN DEL INSTRUMENTO	PARÁMETRO A MEDIR	USO	ÁNGULO DE VISIÓN
Pirheliómetro	Radiación solar directa. Radiación solar	Patrón secundario para calibraciones y red.	5×10^{-3}
Pirheliómetro absoluto	directa. solar Radiación solar	Patrón primario. Red.	5×10^{-3}
Pirheliómetro espectral Piranómetro	directa en bandas espectrales anchas.		5×10^{-3}
	Radiación global, radiación difusa, radiación reflejada.	Dimensionamiento fotovoltaico, red.	2p
Piranómetro espectral Pirgeómetro	Radiación solar global en espectro de banda ancha.	Red.	2p
	Radiación de onda larga, radiación de onda descendente.	Red.	2p
Fotómetro solar	Radiación solar directa en bandas espectrales directas.	Red.	1×10^{-3}
Pirradiómetro	Radiación total.	Patrón de trabajo.	2p
Pirradiómetro	Radiación total neta.	Red	4p

<i>diferencial</i>			
<i>Heliógrafo</i>	Brillo solar	Red	4p

2.2 Geometría solar

La Tierra experimenta diferentes movimientos, como rotación, traslación, precesión o nutación, de estos, los principales son rotación y traslación. La rotación es el giro de la Tierra sobre su propio eje, lo que da lugar a los ciclos de día y noche. La Tierra completa una rotación aproximadamente cada 24 horas, y este movimiento es responsable de la aparición y desaparición del Sol en el cielo de un lugar determinado. Por otro lado, la traslación es el movimiento de la Tierra alrededor del Sol en una órbita elíptica. Este movimiento lleva aproximadamente 365.25 días para completarse, lo que da lugar a nuestro año calendario. El Sol no está en el centro de esta elipse, sino que el Sol se encuentra en uno de los focos de la elipse, lo que provoca una aceleración cuando la Tierra se acerca al Sol y al mismo tiempo es lo que origina las estaciones en el año.

Debido a la inclinación del eje de rotación de la Tierra, que es de aproximadamente 23.5 grados con respecto al plano de su órbita alrededor del Sol (plano de la eclíptica), experimentamos cambios en la cantidad y la intensidad de la luz solar que llega a diferentes partes del planeta durante el año. Esto da lugar a las estaciones del año. Cuando un hemisferio de la Tierra se inclina hacia el Sol, experimenta el verano, y cuando se aleja, experimenta el invierno (Tejeda Martínez & Gómez-Azpeitia, 2015).

La latitud del lugar en la Tierra también tiene un impacto significativo en el ángulo de incidencia de la luz solar. En el ecuador, donde la latitud es 0 grados, los rayos solares llegan casi perpendicularmente; mientras que, en las regiones polares, los rayos solares llegan en un ángulo mucho más oblicuo.

Esta variación en la inclinación de los rayos solares afecta la cantidad de energía solar que una región específica recibe durante el día y a lo largo del año, lo que es fundamental para entender la geometría solar y su influencia en la climatología, la agricultura y el diseño de sistemas de energía solar.

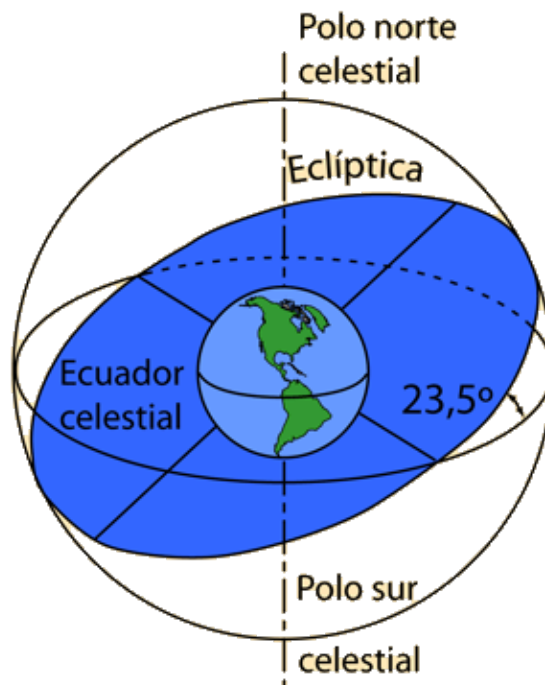


Imagen 2. 5. Disposición de los ejes de rotación de la tierra y la elíptica. Olmo R. Nave, 2005.

La forma en que nosotros experimentamos estos movimientos de la Tierra con respecto al Sol nos da, como ya se mencionó, el día, la noche, el cambio estacionario y otros eventos como los solsticios y equinoccios.

Históricamente hemos experimentado que el Sol sale por el este y desaparece por el oeste, sin importar en qué región del planeta nos encontremos. Ahora, un hecho que sí cambia en nuestra experiencia, es esta inclinación hacia el norte o sur que carga el Sol en ciertas fechas en dependencia de nuestra latitud. Como ejemplo, en Ciudad de México apreciamos que el Sol mayormente está sobre nosotros con una inclinación hacia el sur, jamás hemos despertado y visto el Sol en el horizonte inclinado muy hacia el norte. Justamente, esto tiene que ver con que nosotros nos encontramos en una latitud que corresponde al hemisferio norte, de tal manera que una ciudad como Montevideo que está por debajo del ecuador, correspondiente al hemisferio sur, verán al Sol saliendo de este a oeste, con una inclinación hacia el norte, principalmente.

2.2.1. Ángulo de incidencia solar

Debido a los diferentes factores como la forma esférica de la Tierra y los movimientos que posee, la radiación impacta con un ángulo de inclinación distinto sobre cada área de la superficie de la Tierra. De manera local, se puede conocer este ángulo con la formación del siguiente modelo (Tejeda Martínez & Gómez-Azpeitia, 2015):

La altura solar (h) es el ángulo que forma el Sol con la horizontal del sitio estudiado, y esta va desde los ceros grados, que es cuando el Sol se encuentra en el horizonte, hasta los noventa grados, que es cuando el Sol está en el cenit. Este ángulo está en dependencia del ángulo que tiene durante la hora del día, así como del ángulo que corresponde al día del año y la latitud del sitio.

La expresión para conseguir dicha altura solar es la siguiente ecuación (2.8):

$$\text{sen } h = \text{sen}(\delta)\text{sen}(\phi) + \cos(\delta)\cos(\phi)\cos(\omega) \quad (2.8)$$

h = altura solar δ = declinación solar ϕ = latitud del sitio ω = ángulo horario instantáneo La declinación solar es el ángulo que se forma entre el plano que contiene a la elíptica y el plano del eje de rotación de la Tierra. Este va cambiando a lo largo del año, pero tiene como cotas los 23.45° y los -23.45° , los cuales ocurren en los solsticios de verano e invierno, respectivamente. Mientras que cuando el ángulo entre estos dos planos se vuelve cero, es cuando se forman los equinoccios de primavera y otoño. Entonces, la posición que guarda la elíptica con respecto al plano del ecuador, es lo que va a terminar por definir la declinación (Imagen 2.6).

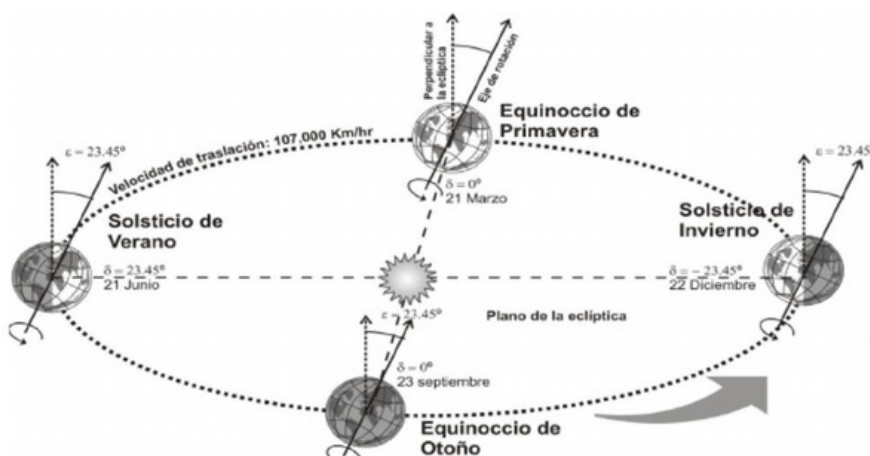


Imagen 2. 6. Declinación solar, Prontuario Solar de México

Para encontrar esta variable, se recurre a otra ecuación (2.9), que, aunque existen muchas otras para conseguirlo, está funciona bien para los fines de ingeniería y aplicaciones relacionadas al seguimiento de radiación:

$$\delta = \varepsilon_{ob} \operatorname{sen} \left(\frac{(360)(284 + n)}{365} \right) \quad (2.9)$$

En donde ε_{ob} es el ángulo que forma el plano de la perpendicular y la elíptica, siendo este una constante de 23.45° . Mientras que “n” será el día en el que se desea hacer el estudio, en función del calendario Juliano, teniendo al 1 de enero igual a 1, y el 31 de diciembre como 365.

Otra variable de nuestro cálculo de la altura solar es, la latitud. Esta la podemos entender como un ángulo que se mide en grados, y está formado desde la vertical del plano del ecuador y el eje de rotación de la Tierra. Dicho ángulo va de los 0° a los 90° , teniendo como 0° el ecuador, y los ejes de rotación (polos) como $+90^\circ$ al polo norte y -90° al polo sur.

Como última variable para la altura solar, tenemos el ángulo horario instantáneo (ω), el cual se entiende como el formado entre el rayo de Sol y la trayectoria que forma el Sol a lo largo del día en el plano meridional, por lo que a medio día se contará como 0° , e irán subiendo de manera positiva hacia el oriente y de manera negativa al poniente. Teniendo como cotas los 90° positivos y 90° negativos entre el valor que puede tomar dicho ángulo, entre horarios de las 6:00h hasta las 18:00h, respectivamente, que es cuando tenemos radiación a lo largo del día. Para obtener el cálculo de dicho ángulo, se pueden consultar tablas o bien, se usa la siguiente ecuación (2.10):

$$\omega = \frac{360(12 - t)}{24} \quad (2.10)$$

La variable t que aparece en la ecuación 2.10, es el tiempo en horas con formato decimal. Como ejemplo las 14:30h es igual a 12.5, mientras que 10:15h corresponde a 10.25.

2.2.3 Distancia entre el Sol y la Tierra

Debido a que el movimiento de la Tierra alrededor del Sol traza una elipse, tenemos variaciones en cuanto a la distancia que nos separa de nuestra estrella. Aun con esto se estima que la distancia promedio entre estos dos cuerpos planetarios es de aproximadamente 1.5×10^{11} m, lo que conocemos como Unidad Astronómica (U.A.).

Para conocer con exactitud la distancia Sol-Tierra en un día determinado, existen un par de expresiones que nos ayudan a conseguirlo, son las siguientes (2.10) (Tejeda Martínez & Gómez-Azpeitia, 2015):

$$R = \frac{(UA)(1 - e^2)}{1 + e(\cos(a))} \quad (2.10)$$

Donde:

R=Distancia Tierra-Sol

UA=Unidad Astronómica

e=excentricidad de la órbita terrestre (e=0.01673)

a=posición angular de la Tierra en la órbita

Para obtener “a” tenemos la siguiente expresión:

$$a = \frac{2\pi(n_d - 1)}{365} \quad (2.11)$$

Donde:

nd=días Juliano del año (1 de enero es 1 y 31 de diciembre es 365).

2.2.4 Día Solar

Se establece como un día solar al lapso temporal del paso del Sol sobre la superficie terrestre en un mismo punto. Generalmente esto se hacía, primero, mediante la observación de una sombra proyectada por un objeto que se interpone a los rayos del Sol, y cuando dicha sombra se dibujara dos veces en el mismo sitio, se denominaba un día solar. Ahora bien, sabemos que no es preciso este análisis, puesto que la proyección de dicha sombra varía a lo largo del año por la combinación de los movimientos rotacional y traslacional que realiza la tierra y que provocaría que el Sol no hiciera exactamente el mismo recorrido de un día para otro. Este hecho se enfatiza más durante el paso los meses o estaciones del año. Por esto mismo se han encontrado otros métodos para el cálculo más preciso del día solar.

Un método es el conocido como día sideral que consiste en observar el movimiento del firmamento, pero tomando esta vez como referencia alguna estrella. Como en el caso anterior, consiste en esperar a que esta se pose sobre el mismo punto dos veces. Debido a la distancia que existe entre la estrella observada y la Tierra, los movimientos terrestres son

casi imperceptibles, de modo que, al siguiente paso con la Tierra, estará prácticamente en el mismo lugar.

Una vez establecida la hora del día, lo siguiente es establecer el tiempo de incidencia de los rayos del Sol sobre la superficie terrestre estudiada, porque, de igual forma que el caso de promediar el tiempo de un día solar, los mismos movimientos terrestres impiden que la incidencia solar sea la misma durante cada día.

La incidencia del Sol es máxima durante el verano; mientras que, durante el invierno es cuando esta incidencia es menor debido a la inclinación de la eclíptica. También es importante resaltar que cada región de estudio va a tener horas particulares de incidencia solar. Entre más alejada se encuentre la zona de estudio, estas horas de incidencia serán cada vez menores. Afortunadamente ya existen estudios que resuelven este tema debido a mediciones diarias,

semanales y mensuales sobre el tiempo estimado de horas de radiación en diferentes entidades, por ejemplo, en la Ciudad de México, las horas de Sol promedian las 12 horas al año, con valores entre las 11 horas y las 13 horas con 6 minutos (DATOSMUNDIAL, 2015).

2.3 Recurso Solar

2.3.1 Recurso Solar en el Mundo

La producción energética solar es enorme, debido a la gran cantidad de masa que posee, y que después, es convertida en energía en su núcleo mediante el ya mencionado proceso de fusión nuclear. Se estima que el Sol emite cerca de 3.96×10^{23} kW/h, si consideramos que el consumo (en el 2022) de energía en el planeta fue de 26.19 TWh (ibero.mx, 2023), estaríamos hablando que un día (terrestre) de emisión energética en el Sol, equivaldría al consumo de 133 millones de años en el planeta Tierra, lo que resolvería los problemas energéticos de nuestra especie.

Por otro lado, de toda esa energía que produce el Sol, solo una parte de ella llega hasta la Tierra y la que no es reflejada, ayuda a algunos procesos que se efectúan en el planeta. Según la revista (Arancibia Bulnes & Best y Brown, 2010), la Tierra recibe del Sol en tan solo dos días, lo equivalente a 60 veces el consumo energético anual de la sociedad humana, lo que revela el enorme potencial que tiene el Sol como fuente de energía para nuestro planeta.

Las regiones con mayor incidencia de radiación a nivel mundial son, por ejemplo: partes de norte América como Estados Unidos y México, otras partes de Sudamérica como Chile, Perú. En África del norte en países como Sudán, Egipto, Libia, Argelia y Nigeria. En la parte sur de África en países como Namibia y Botsuana. En Asia en países como Arabia

Saudita, Irán, Pakistán, Afganistán y grandes regiones de China. Dentro de Oceanía en gran parte de Australia. Y para finalizar en Europa dentro de España, siendo este continente, el que menor radiación recibe a nivel mundial, como se muestra en la siguiente imagen (2.7).

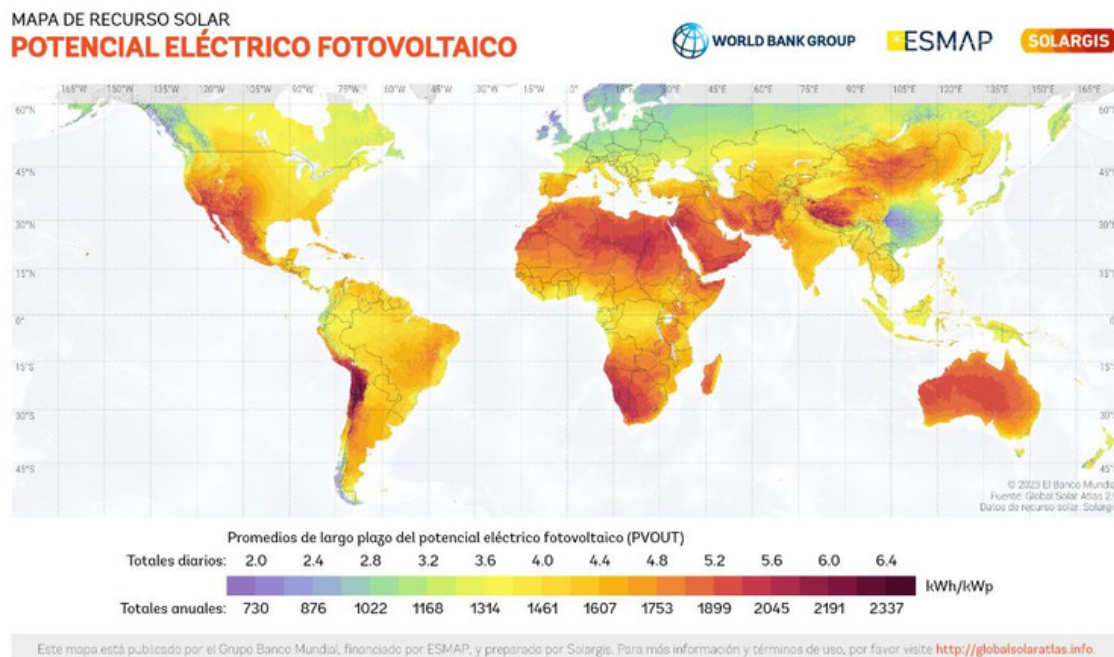


Imagen 2. 7. Mapa de recurso solar en el mundo. WBG, 2023

2.3.2 Recurso Solar en México

Se puede hablar que, debido a factores geográficos, México se encuentra dentro de un grupo de países que se poseen un recurso solar mayor al resto. A nivel nacional, recibimos diariamente cerca de 5.5 kWh/m^2 de energía proveniente del Sol. Estudios sugieren que esto se debe a que se encuentra dentro de una de las mejores latitudes para la captación de este recurso, misma que va desde los 15° a los 35° (Cordero Lovera, Calva Gonzáles, & Sánchez Adán, 2013).

La cantidad de radiación que puede recibir un área terrestre, tiene que ver con diversos factores, como la latitud, aspectos climáticos y la geografía que presente dicha zona de estudio. Contemplando estos factores, los estados a nivel nacional con una mejor recepción de radiación son aquellos que se encuentran al noroeste del país, estos son: Sonora, Chihuahua y Baja California, como se muestra en el siguiente mapa (Imagen 2.8).

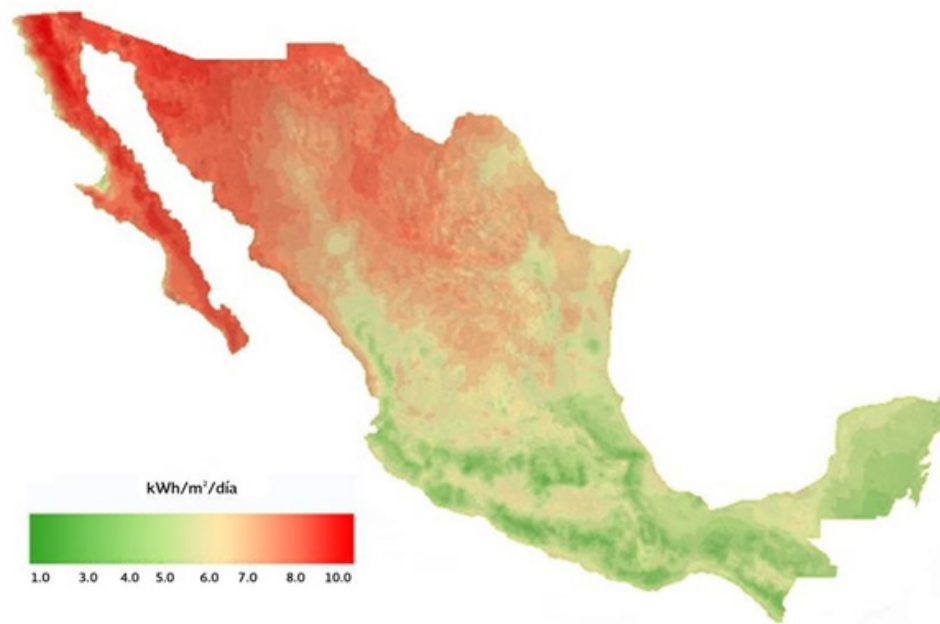


Imagen 2. 8. Mapa de Irradiación en México. SENER, 2013.

2.4 Aspectos climatológicos

2.4.1 Temperatura

La temperatura es un fenómeno natural que está desde la formación del universo, todos los sistemas planetarios, así como los fenómenos cósmicos tienen temperatura de manera que es imprescindible conocerle, desde qué es, hasta los mecanismos que existen para medirle (Leal, 2020):

La experiencia con la vida cotidiana nos ha enseñado a reconocer, y diferenciar, cuerpos cuando están calientes o fríos. Sabemos, por convención, que el hielo es algo frío y el fuego es algo caliente. Parte de nuestra experiencia nos hace reconocer que existe una sustancia familiar con la que nos es sencillo reconocer estos cambios de temperatura, la sustancia es el agua. El agua cuando se encuentra muy fría, la reconocemos en estado sólido en forma de hielo, cuando está muy caliente la percibimos en estado gaseoso, y un poco antes, en estado líquido como agua hirviendo. También, gracias a la experiencia, nos hemos dado cuenta que cuando mezclamos agua caliente con agua fría, estas sustancias llegan a un punto medio, dicho estado lo conocemos como equilibrio térmico, de hecho, la palabra temperatura viene del latín “*temperare*” la cual significa, mezclar bien o templar.

Para llegar al concepto de temperatura, de manera más formal, tenemos que pasar por la medición de la misma. Diferentes personajes en la historia de la ciencia han podido desarrollar distintos artefactos que nos han ayudado al estudio y medición de esta

temperatura, junto con diferentes escalas. Las más usadas son: Escala Fahrenheit, fue inventada por Daniel Gabriel Fahrenheit en el siglo XVIII, la cual es medida con un termómetro con base sodio, cloro y hielo. Como referencia, el punto de ebullición del agua es a los 212° F, mientras que el punto de congelación está alrededor de los 32°F. Así mismo, la temperatura corporal está cercana a los 100°F; La escala de los grados Celsius, fue inventada por el físico Sueco Anders Celsius en 1742, quien propuso una escala que tuviera como referencia los puntos de ebullición y congelación del agua, de manera que el 0°C corresponde al punto de congelación del agua, mientras que los 100°C corresponden al punto de ebullición del agua, y el intervalo entre ellos dividirlos en partes iguales, de ahí que se le conociera como escala centígrada, por la división de 100; y para terminar tenemos la escala Kelvin, esta no está medida por grados, y propone un principio que tienen que ver con conceptos de la termodinámica. Para la escala Kelvin, el 0K corresponde al punto de más baja energía dentro de la molécula, en este conceptual estado, la energía es tan baja, que no debería haber movimiento en la partícula que esté a esta temperatura. El punto de congelación del agua se encuentra a los 273.15K y el punto de ebullición a los 373.15K. Esta escala fue inventada por el inventor Lord Kelvin y es la escala utilizada en el Sistema Internacional.

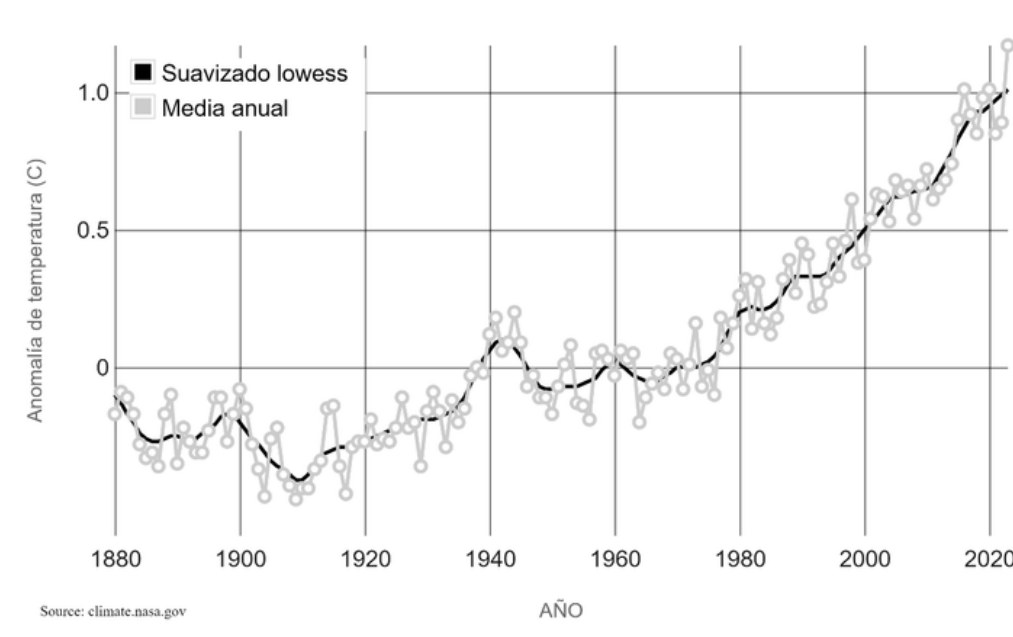
Una vez establecido mediciones para la temperatura, si nos basamos en la última escala revisada (Kelvin), su concepto de cero absoluto nos dice que la temperatura más baja a la que puede estar una sustancia es el concepto del cero absoluto, el 0K, donde las moléculas comienzan a perder su movimiento, sin dejar de perderlo en su totalidad teniendo la mínima vibración, pero sí bajo una que les impide generar energía en forma de calor. Esto significa que entre más movimiento haya en las moléculas, mayor será su temperatura, de tal manera que entre más rápido se muevan las partículas, encontraremos mayor temperatura en la sustancia o material estudiado. A estas conclusiones se llegaron a partir del estudio del movimiento de todas las partículas en área conocida como mecánica estadística.

2.4.2 Calentamiento global

Hoy en día estamos presenciando cambios de temperatura en nuestro planeta derivado de procesos naturales, así como de acciones de nuestra sociedad humana, conocido como calentamiento global. Se le conoce así porque la tierra está presenciado un aumento en su temperatura.

El planeta tiene cambios de temperatura en función de la estación del año, así como de la región de estudio; está es una temperatura media que se mantiene estable. Este calentamiento global hace que la temperatura aumente en fracción de grados. Resultado de esto, tenemos regiones con un aumento considerable en su temperatura, lo que ha desatado sequías prolongadas en algunas regiones o deshielos en los glaciares.

Como muestra de lo anterior, la NASA tiene registro del aumento de $1.36\text{ }^{\circ}\text{C}$ en la temperatura promedio de la superficie terrestre desde el inicio de sus registros en 1880 hasta 2023. (Gráfica 2.1).



Gráfica 2. 1. Historial de temperatura de la superficie terrestre, NASA, 2023.

Este aumento de temperatura se ve reflejado en incrementos de la misma en distintas regiones. México no ha sido la excepción. Se ha mostrado un cambio promedio de 0.85°C a nivel nacional, volviéndose un país más cálido desde 1960. Derivado de este cambio, se prevén aumentos de temperatura de hasta 4°C en toda la frontera norte. En el resto del país se estiman aumentos de entre 2.5 y $3.5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Esto según modelos realizados para la estimación de escenarios de cambio climático para México (Federación, 2018).

2.4.3 Humedad Relativa

La humedad relativa describe la cantidad de vapor de agua, presente en el aire, esto con relación a la máxima cantidad de vapor que se puede encontrar a una temperatura dada expresada en porcentaje. Entonces, hablamos de cuán saturado está el aire con vapor de agua en comparación con su capacidad máxima para retener el vapor de agua a cierta temperatura. Un ejemplo de esto es que, si tenemos una humedad relativa del 50%, quiere decir que el aire contiene la mitad de la cantidad máxima de vapor de agua que puede tener en esa temperatura.

Para poder encontrar una ecuación que nos ayude a encontrar la humedad relativa (HR), podemos comenzar con definirla como el resultado del cociente entre fracción molar del

agua bajo ciertas condiciones de presión y temperatura, y entre la fracción molar de la molécula de vapor de agua en las mismas condiciones (presión y temperatura) pero en estado de saturación, para obtener la siguiente expresión (Dávila P. & Martines L., 2016):

$$HR\% = \frac{e(T_d)}{e(T)} * 100 \quad (2.12)$$

Donde: HR: Humedad Relativa $e(T_d)$: Presión de vapor de agua en la muestra a la temperatura de punto de rocío (T_d), misma que representa la condición en que el vapor de agua empieza a condensarse.

$e(T)$: Presión de vapor de agua en condición de saturación a una temperatura T y presión P.

La humedad relativa se puede medir utilizando instrumentos como los higrómetros, los cuales suelen ser comunes en estaciones meteorológicas, laboratorios y otros entornos donde sea necesario controlar la humedad atmosférica. Estos instrumentos de medición pueden ser del tipo conocido como “de cabello” el cuál utiliza fibras sensibles a la humedad, mismas que se expanden o contraen como resultado a este cambio de humedad, y gracias a ese movimiento, se puede conectar a un mecanismo de palancas o resortes dirigidos a una aguja con una escala de graduación que muestre la lectura de dicha humedad. Otro tipo es el eléctrico, el cuál funciona a partir de sensores capacitivos o resistivos a la electricidad y en función de la reacción capacitiva o resistiva de los materiales envían una señal eléctrica que al ser interpretada, obtiene una lectura de la humedad relativa.

2.4.4 Índice de Nubosidad

El índice de nubosidad se refiere a la cantidad de nubes que cubren el cielo en una determinada área de un lapso en específico, y el cual se expresa como el porcentaje del cielo cubierto por nubes en relación con el cielo visible en total. Un ejemplo de esto es que, si tenemos un índice de nubosidad del 100%, significaría que el cielo visible en ese momento en ese determinado espacio de estudio, se encuentra completamente cubierto de nubes, mientras que un índice del 0% nos haría referencia a un cielo enteramente despejado de nubes.

Dicho índice es importante para el estudio de la meteorología, sirviendo como herramienta para comprender de qué manera se afecta al clima local, de manera que se pueden elaborar

pronósticos del clima, así como análisis estadístico del mismo en diferentes momentos de estudio. También esta afecta en la cantidad de radiación solar que incide en la superficie terrestre, la temperatura y la formación de lluvia, además de otros factores meteorológicos.

Existen diferentes maneras de obtener este parámetro, como mediante el uso de sensores terrestres ubicados en algunas estaciones meteorológicas que utilizan sensores ópticos o por detección de luz láser, la cantidad de luz solar bloqueada por las nubes. Otro método son modelos numéricos que se encargan de hacer predicciones meteorológicas con datos recabados de la observación de las mismas nubes. Uno es mediante imágenes satelitales que capturan imágenes de la Tierra desde el espacio, donde se puede reconocer el porcentaje de nubes que cubren cierta área. El primero en ser utilizado fue la observación visual, que tiene que ver con trabajo de años, donde meteorólogos se encargan de estimar la cantidad de nubes que cubren cierta área, y aunque este método es inexacto y subjetivo, queda como el primer registro histórico en este tipo de medición.

Para poder encontrar este índice de nubosidad, dado un punto en particular en un momento en específico, con ayuda de sensores terrestres se define desde la siguiente expresión (Diabaté, Moussu, & Wald, 1989):

$$n' = \frac{\alpha' - \alpha_{min}}{\alpha_{max} - \alpha_{min}} \quad (2.13)$$

Donde:

n' : Índice de nubosidad.

α' : El albedo aparente en un instante t , bajo un pixel.

α_{min} : El albedo para cielo completamente despejado, seco y limpio.

α_{max} : El albedo para cielo completamente nublado.

De esta manera, para un sensor, el índice de nubosidad que varía entre 0 y 1 puede ser considerado como el porcentaje de cobertura de nubosidad dentro de un pixel.

2.4.5 Índice de Claridad

El índice de claridad nos indica qué tan limpio o claro está el cielo en una determinada área a estudiar. Esta forma de medida, dice qué tanta luz solar directa llega hasta la superficie terrestre sin ser interrumpida por algún tipo de obstáculo natural, como lo pueden ser las nubes, el humo, niebla y demás sustancias en la atmósfera.

Para expresar esta medida, se utiliza un valor adimensional que va desde el 0 al 100, siendo este último la mayor transparencia que se puede tener en la atmósfera, y por lo tanto, el cielo más luminoso, despejado y claro.

Los instrumentos de medición para este índice de claridad son los fotómetros o piranómetros, los cuales miden la intensidad de la irradiancia solar en la superficie terrestre. Pero para obtener este índice de claridad los datos deben ser debidamente procesados y calculados hasta obtener dicho parámetro. El cálculo para la obtención de este parámetro es el siguiente (Davila P. & Martines L., 2013): Se define al índice de claridad atmosférica (K_t) sobre superficies horizontales como:

$$K_t = \frac{H_g}{H_0} \quad (2.14)$$

Donde: H_g , es el promedio de la radiación solar diaria que índice sobre una superficie horizontal en la superficie terrestre.

H_0 es la radiación solar extraterrestre en un día sobre la superficie de la atmósfera. (Revista Científica, Bogotá, 2014).

El estudio de este parámetro es relevante bajo distintos contextos, como lo pueden ser investigación climática, monitoreo en la calidad del aire y la planeación urbana, puesto que esta claridad en el cielo afecta la cantidad de radiación solar y con ello la temperatura del sitio y calidad del aire.

2.4.6 Albedo

2.5 Trabajos previos

En la tesis titulada “Validación de un sistema comparador de piranómetro para calibración en laboratorio”, realizada por el ingeniero Edgar Rayo Visuel, realizada en el 2021, el ingeniero se encargó de manipular los instrumentos de medición y realizar parte del trabajo que aquí realiza, como lo fue la conexión de un piranómetro al adquisidor de datos y luego a un ordenador, lo que nos permitió conocer el funcionamiento del software, de manera que dicho equipo ya había sido utilizado previamente. De igual manera, en la tesis titulada: “Estudio y monitoreo comparativo de un piranómetro comercial con un medidor prototipo de radiación solar de CdTe”, realizada por la maestra Leslie América Torres Bautista, también en el 2021. Donde se encargó de comparar la medición del equipo que nosotros utilizamos con una celda creada en el laboratorio. De manera que, el manejo del piranómetro no era algo nuevo para el laboratorio, y por mi parte tuve una capacitación previa en el manejo del mismo que no hubiera sido posible sin los trabajos antes mencionados.

Por otra parte, otros trabajos como el titulado: “Monitoreo de irradiancia en los diferentes campus de la universidad de El Salvador” por los ingenieros: Fredy A. Marengo, Henry A. Merino, y Manuel E. Orellana, nos dio una visión más detallada, de cómo podría ser la metodología, pese a sus diferencias, de manera que nuestro trabajo es producto de la enseñanza de otros previos.

3.1 Instrumentos para la instalación

3.1.1 Piranómetro

Como se mencionó en el capítulo anterior, existen diferentes instrumentos para la medición de la radiación, como lo son el pirheliómetro, el pirgeómetro, el fotómetro, pirradiómetro, heliógrafo y el piranómetro, este último se encarga de medir la radiación global, que es la suma de la radiación directa, que es la que viene directamente del Sol y la radiación difusa, la cuál es la que viene difusa por la atmósfera.

Al piranómetro le constituye una termopila que es un dispositivo que se utiliza para la detección de temperatura sin contacto, mediante la transferencia de radiación en forma de calor hasta una salida de diferencia de potencial. Esta diferencia de potencial se genera mediante el efecto termoeléctrico Seebeck, el cual nos dice que la diferencia de temperatura entre dos conductores o semiconductores realizan una diferencia de potencial. Esto se debe a que la alta temperatura de uno de los materiales energiza los electrones de este, y como en su nivel de energía más alto los electrones ya no están ligados al material de mayor temperatura, pueden moverse libremente dejando huecos, estos huecos pueden mudarse al material de menor temperatura, que dicho sea el caso suele ser un material con menor cantidad de electrones libres. Dichos materiales son nombrados como n a los que liberan

electrones y p al que deja los huecos (Imagen 3.1). Este migrar de electrones genera el desplazamiento, que genera esta diferencia de potencial. Básicamente el funcionamiento de una celda fotovoltaica (Gonzales, s/f).

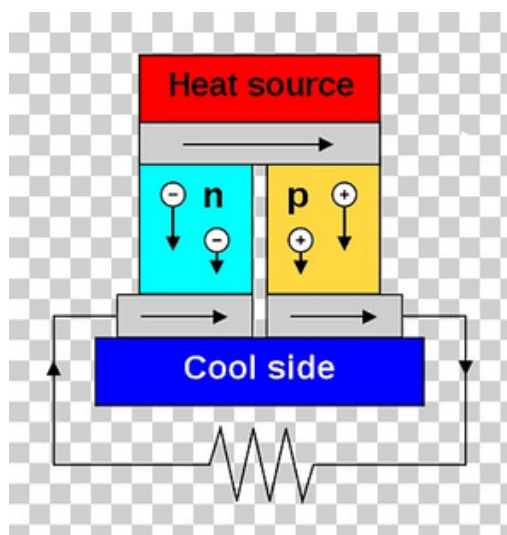


Imagen 3. 1. Efecto Seeback.

En un piranómetro, la unión caliente se recubre de una pintura de absortividad alta. Dentro de este instrumento, hay una pieza de bronce cilíndrica que está a la vez protegida por un disco pintado que reduce la absorción de irradiancia, la cual, aloja un sumidero de calor que funciona para la unión fría de la termopila. Dentro del sumidero se encuentra el circuito del dispositivo. En el interior del piranómetro, también, se encuentra un desecante que evita la decantación. Entre sus otras partes, se encuentran las cúpulas en las que está cubierta la parte superior del mismo que permita el paso de la radiación, soportes, un nivel y tornillos niveladores. Todo esto en una especie de “platillo volador”, como se muestra en el diagrama de la siguiente Imagen 3.2 Esquema de un piranómetro (KippZonen, 2010).

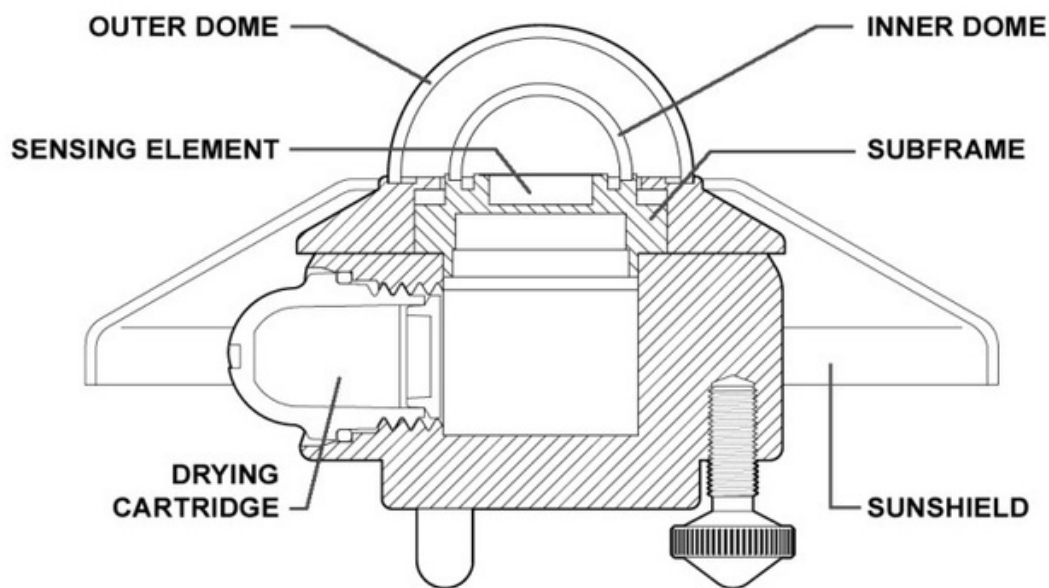


Imagen 3. 2. Esquema de piranómetro, 2012, Kipp & Zonen.

3.1.1.2 Piranómetro LP PYRA 02, DELTA OHM

La imagen 3.3 muestra un piranómetro modelo LP PYRA 02 de la marca DELTA OHM, mismo que es reconocido como de primera clase por la norma: ISO9060 (Especificación y clasificación de instrumentos de medida de la radiación solar hemisférica y solar directa), publicada en 2011 y actualizada en 2018.



Imagen 3. 3. Piranómetro LP PYRA 02 DELTA OHM. SENSECA, 2018.

Como el funcionamiento típico del piranómetro, el LP PYRA 02 está basado en un sensor de termopila. La superficie del piranómetro está recubierta de pintura negro mate, lo que logra que no sea selectivo en diferentes longitudes de onda. La transmitancia de los vidrios tipo K5 de las cúpulas, determinan el rango espectral.

La superficie negra de la termopila absorbe la radiación recibida, en la ya conocida zona caliente, mientras que la zona fría pasa a ser el resto del cuerpo del piranómetro, y gracias al efecto Seebeck se genera una diferencia de potencial derivada de la diferencia de temperatura entre la unión fría y caliente.

Las especificaciones técnicas, principales, donde encontramos valores como sensibilidad, temperatura de trabajo y campo de visión, las encontramos en la siguiente tabla (Especificaciones técnicas del piranómetro LP PYRA 02 DELTSA OHM).

Tabla 3.1. Especificaciones técnicas del piranómetro DELTA OHM LP PYRA 02.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	LP PYRA 02
Sensibilidad	10 μV (W/m^2)
Impedancia	33 OHM a 45 OHM
Rango de medición	0 a 2000 W/m^2
Campo de visión	2pi sr
Campo espectral	305nm a 2800 nm W/m^2 (50%)
Temperatura de operación	-40°C a 80°C

En el apartado Anexos (1), se encuentra la ficha técnica del piranómetro, con toda la información del equipo.

3.1.2 Capturador de datos DELTA OHM y software

Para poder capturar y registrar los datos que envían los sensores, el piranómetro, usa un capturador de datos, el cuál es una tarjeta electrónica dispuesta de diferentes canales de entrada que permite la conexión de dispositivos de medición. Para este caso, el capturador es el HD32MT.1 de DELTA OHM, mostrado en la figura 3.4.



Imagen 3. 4. Capturador de datos HD 32MT.1, SENSECA, 2018.

Este capturador tiene entradas de conexión de puertos digitales y analógicos para diferentes instrumentos de medición, y gracias a que es programable, se vuelve una herramienta muy versátil. Y para la programación del mismo, cuenta con un software de aplicación, el HD32MTLogger, el cual cuenta con interfaces gráficas y que gracias a que cuenta con una instalación muy intuitiva, no es necesario conocer ningún lenguaje particular de programación, de forma que no se invierte mucho tiempo en el proceso de instalación del mismo.

La programación de dicho dispositivo se puede realizar en una PC para poder guardar, leer y trabajar los datos recibidos por el sensor y registrados por el capturador. El mismo capturador permite configurarlo de tal manera que se pueden guardar valores mínimos, instantáneos, valores máximos, medios, y desviación estándar de los valores. Todos estos datos se pueden configurar para ser registrados en intervalos de tiempo que van desde un segundo en adelante. También tendrá el registro de la hora y fecha de adquisición.

Dicho adquirente HD32MT.1 cuenta con memoria flash con capacidad de guardar hasta 100,000 registros de datos, y que en cuanto se llenen, se reescribirá la memoria a partir de los datos más viejos. Cabe resaltar que cada registro cuenta con 8 mediciones instantáneas. Aunque el tipo de memoria que tiene, ya cuenta con una capacidad considerable, se puede agregar una tarjeta de memoria extraíble SD, con capacidad de 4 GB que permita un mayor

almacenamiento de datos y no perder datos ya registrados cuando la memoria se encuentre llena.

A pesar de que este adquisidor de datos HD32MT.1 cuenta con 3 maneras distintas de registro de datos, en función de la comunicación que se tenga con el ordenador (cable, radio modem y TCP/IP), el usado en este trabajo es la versión básica, que es comunicación mediante conexión por cable.

El capturador HD32MT.1 cuenta con varios tipos de puertos que permiten la conexión de diferentes dispositivos de medición meteorológicos, tiene sensores de salida de corriente, sensores de temperatura de termopar, sensores con salida digital o analógica para conteo de medidas de frecuencia y periodo, para sensores de contenido de agua en el suelo, potenciómetros y resistencias que permiten medir la relación de voltaje, tensores magnéticos, sensores de radiación solar, sensores con salida contacto (pluviómetros), además de puertos que permiten la medición de punto de rocío, índice de calor, presión de vapor de saturación. En resumen, este capturador de datos HD32MT.1 permite la instalación de un sistema meteorológico.

Las especificaciones técnicas se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 3.2. Especificaciones técnicas del capturador de datos HD 32MT.1

Peso y dimensiones	Aproximadamente 1 kg / 222x140x63 mm
Material del protector	Recubrimiento de aluminio -20°C a 50°C
Condiciones de operación	-25°C a 60°C 30 Vdc 40 mA y 12 Vdc Entre
Temperatura de funcionamiento	1 y 60 s Entre 2 s y 24 h 4MB De memoria
Poder a suministrar	interna, con aumento de
Absorción	4GB En una memoria SD
Intervalos de adquisición de datos	
Intervalo de carga de datos	
Capacidad de almacenamiento	
Número de muestras que pueden ser almacenadas	El registro de almacenamiento consiste de 4xN de bytes en la memoria más 8 bytes para la fecha y el tiempo.
Entradas analógicas	El canal usa un solo cable.
Entradas y salidas digitales	Cable como entrada para conectar un sensor o salida de alarma o habilitación de sensores
Entradas de alta frecuencia de pulso de contacto	2 Entradas con frecuencia de pulsos 100 kHz máx.
Entradas para el número de contactos de potencia libre que abren y cierran el contacto	2 Entradas aisladas con frecuencia de conmutación de 50Hz máx.

Conexión RS485	Puerto con capacidad de hasta 8 sensores, para anemómetros series HD2003 y HD52.3D y sensores MODBUS-RTU
Conexión RS232	Puertos RS232, uno para conexión a PC o radio, opcional módem o módulo ethernet opcional y para conexión GSM.
Salida de alarma	2 Salidas de contacto aisladas y libres de tensión. Regulado a máx 5V y 500mA. Vsw (conmutado) con el mismo valor de potencia de entrada, activado sólo durante la adquisición de medidas.
Salidas auxiliares suplementarias	

En el apartado Anexos (2), se encuentra la ficha técnica del adquirente de datos.

3.2 Instalación del equipo

3.2.1 Gestión Administrativa

Para tener los permisos necesarios que permitieran trabajar en la azotea del laboratorio y conseguir montar el piranómetro, por motivos de seguridad y gestiones propias del área de obras del plantel, se requirió ponerse en contacto con el área de coordinación del plantel SLT y con el área de obras del plantel SLT, de tal manera que, primero se envió un correo al coordinador del plantel, solicitando los permisos necesarios para poder subir a la azotea del edificio donde estaría ubicado el piranómetro, y por otra parte, se solicitó la ayuda del personal de obras para poder subir y utilizar la herramienta necesaria para dicho montaje, en este caso nos pusimos en contacto con el Arquitecto Luis Frago para dicha solicitud, en la que también se pidió el apoyo trabajador, el Sr. Enrique Silva Jiménez con el montaje.

3.2.2 Lugar de Instalación

Para generar un análisis de estudio de la irradiancia e irradiación, es imprescindible contar con los datos relacionados al sitio donde se realizará la medición (Imagen 3.5), como ubicación y aspectos climáticos, de tal manera que los correspondientes a este estudio son los que muestran la siguiente tabla (Tabla 3.3) (UACM, 2023):

Tabla 3.3. Datos del lugar de estudio, 2023.

LOCACIÓN	UACM: Plantel San Lorenzo Tezonco
DIRECCIÓN	Prolongación San Isidro 151, Colonia San Lorenzo Tezonco, Alcaldía Iztapalapa, C.P. 09790 Ciudad de México, CDMX.
LATITUD	19°25'57" N 99°07'57" O 2,240 m 18.5°C
LONGITUD	40.6%
ALTITUD	775.3 hPa
TEMPERATURA (Promedio anual)	679.6 mm
HUMEDAD RELATIVA (Promedio anual)	45%-55%
PRESIÓN (Promedio)	0.5 - 0.7
PRECIPITACIÓN (Promedio)	
ÍNDICE DE NUBOSIDAD (Promedio anual)	
ÍNDICE DE CLARIDAD (Promedio)	



Imagen 3. 5. Plantel San Lorenzo Tezonco de la UACM. UACM, 2020.

3.2.3 Instalación de Piranómetro en Edificio B

Para lograr la instalación en esta zona de la universidad, se consultó a la administración del plantel para acceder a ella y trabajar ahí de manera adecuada y segura, por lo que se redactaron correos solicitando autorización para montar el equipo.

Para el correcto funcionamiento del sensor de radiación y con base en la norma NMX-AA-166/3-SCFI-2021 35/78, este, tenía que ser montado en un área que tuviera la mayor cantidad de exposición de luz solar, sin la intervención de árboles, edificios o algún otro tipo de estructura que interfiriera en la continua medición de la radiación y que, al mismo tiempo, permitiera el control, manejo y monitoreo del equipo a corta distancia, ya que el mismo requiere de la conexión alámbrica al adquisidor de datos y a la computadora.

Además, se consideraron aspectos de seguridad para el cuidado del equipo, por lo que el montaje del piranómetro se realizó en la azotea del edificio B, justo sobre el laboratorio de LACyTES ubicado en el B-406 en el Plantel San Lorenzo Tezonco de la UACM.

Una vez elegida el área de instalación sobre el edificio, y gracias al apoyo de la Coordinación de Obras y Conservación de plantel se decidió fijar el piranómetro a una placa de acero de dimensiones 25 cm x 25 cm, la cual estaría anclada al suelo del techo del edificio, asegurando su estabilidad y seguridad. La placa de acero se tomó de reciclaje de la bodega de obras del plantel. A dicha placa se le realizaron orificios dispuestos para fijar el piranómetro y para fijar la placa al suelo. También se pintó la placa para evitar oxidación que pudiera deteriorar el quipo montado. Con ayuda del personal de obras se subieron los instrumentos de trabajo por la escalera de servicio que están tras los baños del cuarto piso del edificio B. Una vez en el techo del edificio, se realizaron los orificios sobre el piso para fijar la placa de acero con ayuda de un taladro con brocas de $\frac{1}{4}$ de pulgada a la medida de los orificios antes realizados en la placa. Se fijó el piranómetro con los 3 tornillos del mismo piranómetro a la placa, cuidando que se mantuviera horizontal con ayuda del nivel del mismo piranómetro. Con 4 trozos de 10 cm y $\frac{1}{4}$ de pulgada de varilla roscada, se fijó la placa al piso dejando 6 cm de altura con respecto al abase del suelo.

Después se conectó vía alámbrica el piranómetro. Debido a la exposición a la intemperie, se decidió cubrir el cable que conecta el piranómetro al adquisidor de datos. Este recubrimiento se realizó con papel aluminio, ya que, aunque el piranómetro está dispuesto para trabajar en la intemperie, se optó por darle más de seguridad al cable, y así, evitar fallas en la comunicación de los datos.

Se hizo pasar al cable que conecta al piranómetro con el adquisidor de datos, por un conducto que se dirige desde el área de ventilación en la azotea del edificio, hasta el interior del laboratorio. El montaje y cableado del piranómetro, en la azotea, quedó como se muestra en la siguiente Imagen (3.6 y 3.7):

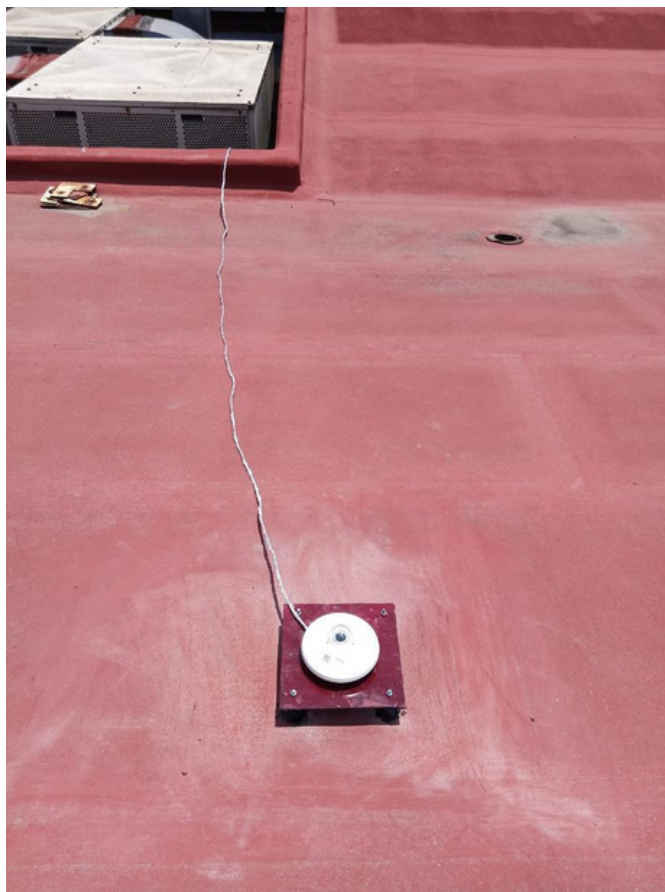


Imagen 3. 6. Montaje y cableado del piranómetro en Edificio B plantel San Lorenzo Tezonco, 2023, Propia.



Imagen 3. 7. Montaje final del piranómetro en edificio B de la UACM, 2023. Propia

3.2.4 Instalación del software

Para la lectura de los datos, el adquisidor requiere la instalación de un software que permita interpretar los mismos y mostrarlos de manera legible y funcional para el usuario, de tal manera que se instaló el software HD32MTLogger, propio de la marca del adquisidor DELTA OHM. El software se recuperó de la siguiente [Página](http://environmental.senseca.com/product/hd32mt-1-programmable-data-logger/) <http://environmental.senseca.com/product/hd32mt-1-programmable-data-logger/>. La descarga contenía los manuales de instalación del software así como información relevante sobre el equipo.

Al descargar el archivo, este se debe descomprimir, y luego de entrar en la carpeta titulada: “HD32MTLogger”, se debe iniciar la aplicación “autorun.exe”, misma que se encarga de la instalación del software, el cual se realiza de la siguiente manera:

1. La ventana inicial nos pedirá seleccionar el idioma, como se muestra en la siguiente Imagen (3.7. *Ventana inicial de Instalación del software HD32MTLogger, 2023, Propia*).



Imagen 3. 8. Ventana inicial de Instalación del software HD32MTLogger, 2023, Propia.

2. La siguiente ventana nos pedirá elegir la acción que deseemos realizar, en este caso se selecciona “INSTALACIÓN SOFTWARE”.
3. En seguida se despliega una ventana llamada “Instalar HD32MTLogger” en la cual se debe elegir siguiente -> aceptar términos y siguiente -> Elegir la ubicación de la carpeta de instalación y siguiente -> seleccionar a “crear un ícono en el escritorio” lo que te permitirá tener el acceso directo desde el escritorio -> Instalar.
Se desplegará una ventana de carga de instalación y una vez instalado, seleccionar “finalizar”.
4. En seguida se mostrará una ventana que avisará que por defecto el software se deberá iniciar siempre como administrador. Y se concluye la instalación del software a la computadora.

3.2.5 Instalación del sensor

Lo siguiente es realizar la configuración de los sensores que estarán funcionando para el adquisidor de datos, ya que este tiene la capacidad de albergar hasta 8 diferentes sensores.

La configuración del piranómetro se realizó de la siguiente manera:

1. Seleccione: Instrumentos -> Elección modelo instrumento y tipo de conexión. Se desplegará la ventana “Elección tipo de conexión” como se muestra en la siguiente imagen (*Ventana “Elección de tipo de conexión”, propia*). Se selecciona el instrumento a configurar, en este caso el adquisidor HD32MT.1. Después conexión serial y aplicar.

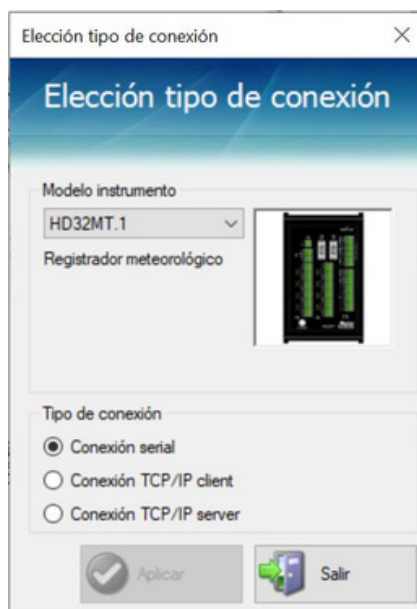


Imagen 3. 9. Ventana “Elección tipo de conexión”, propia.

2. En la barra principal se selecciona al botón “Setup Programa” donde se desplegará la ventana “Setup Program” (siguiente imagen). Se seleccionará el botón “New Program”.



Imagen 3. 10. Ventana “Setup Programa”, propia.

3. Se desplegará la ventana “C:\DeltaOhm\HD32MTLogger\Sensores.ini”. En esta ventana se le dará nombre al proyecto a crear, así como el periodo de escaneo de los sensores, que va desde 1 segundo en adelante. En nuestro caso el periodo es de 30 segundos la captura de los datos.

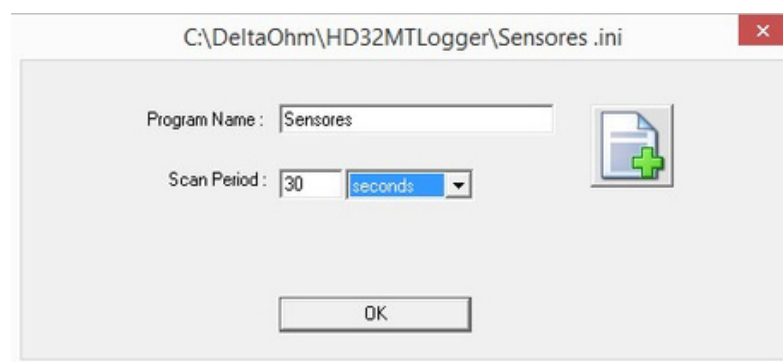


Imagen 3. 11. Ventana “C:\DeltaOhm\HD32MTLogger\Sensores.ini”, propia.

4. Se abrirá la ventana “Setup Program C:\DeltaOhm\HD32MTLogger\Sensores.ini” y en el apartado: SENSORS Availability, se desplegará la carpeta “Enviromental Analysis” y seleccionar “Radiometry”. En seguida se abrirá la ventana “Radiometry measure” donde se seleccionará el botón “Differential”.

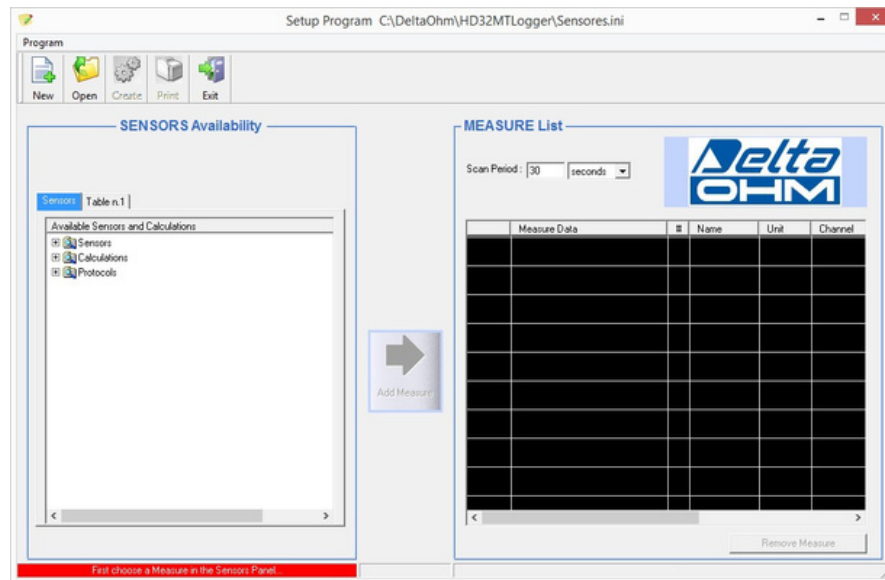


Imagen 3. 12. Ventana “Setup Program C:\DeltaOhm\HD32MTLogger\Sensores.ini”, propia.

5. En seguida se abrirá una nueva ventana llamada “Radiometry” donde se debe asignar el nombre del instrumento de medición, así como la sensibilidad que indica cada instrumento instalado (Es necesario señalar que la sensibilidad es única para cada instrumento y se debe revisar en el manual del sensor y en el propio sensor). Se le da “OK” para guardar el sensor. Por último se da a “crear” con el logo de engrane -> Se asigna nombre al proyecto -> y se da a Enviar Programa.

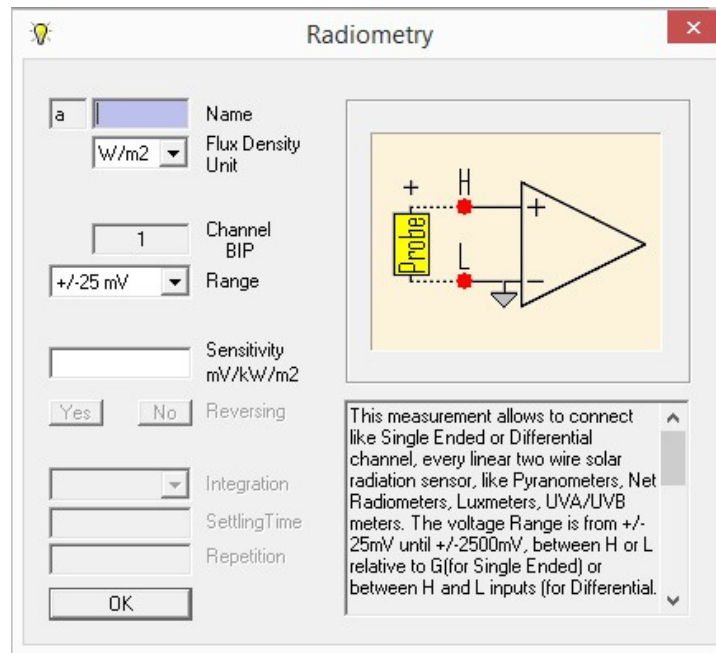


Imagen 3. 13. Ventana “Radiometry”, propia.

Posterior al montaje del equipo e instalación del software, se realizaron pruebas que indicaran que el equipo estaba conectado de manera correcta, esto se comprobó al obtener datos en el monitor del equipo.

3.3 Adquisición y manejo de datos.

El guardado para el manejo de los datos de adquisición se dio de la siguiente manera:

1. Se inicia el software HD32MTLogger como administrador dando clic derecho desplegando el menú contextual.
2. Dentro del software, se debe desplegar la barra “Instrumentos” para seleccionar conexión serial.
3. Una vez abierta la ventana “Propiedades de conexión” se debe seleccionar del menú desplegable “Puerto” la opción COM3, referente al puerto USB donde está conectado el adquisidor de datos. Ya seleccionado se selecciona el botón “Aplicar”.
4. Se selecciona el botón “Conectar”.
5. Luego que la conexión se establezca, se abrirá una ventana donde se debe ingresar la contraseña: 00000000. Después se selecciona el botón “ok”.
6. Se desplegará una nueva ventana llamada “Informaciones DataLogger”, donde se debe seleccionar el botón “ok”.
7. De vuelta en la ventana principal del programa HD32MTLogger, se debe seleccionar el botón “Monitor”, lo que desplegará la ventana “Monitor –

DeltaOhm”, donde se podrá ver en tiempo real la medición del sensor conectado, en este caso un piranómetro.

8. Una vez que se deseen guardar los datos recopilados por el adquisidor, se tiene que dirigir al logo “EXIT” dentro de la ventana “Monitor – DeltaOhm”, mismo que se encuentra en la parte superior izquierda de dicha ventana, representada con un ícono que muestra una flecha verde con una puerta abierta. Al seleccionar “EXIT”, se desplegará una ventana llamada “ATENCIÓN”, donde se mostrará un dialogo que dice “¿Guardar los datos adquiridos?” y se debe seleccionar el botón “Sí”.

9. Una vez guardados los datos, estos, se pueden visualizar dentro del mismo software HD32MTLogger. Esto se logra seleccionando la carpeta sn 17004247 que se encuentra dentro de la ventana “Visualizar el árbol del directorio” que se encuentra en la ventana principal del software al lado izquierdo. Una vez seleccionada se desplegarán los archivos que se hayan guardado en una ventana central que contiene: Nombre, dimensión, tipo y fecha. La fecha indicada es la correspondiente al día en que se comenzó a guardar la información.

10. Una vez seleccionado el día que se desee analizar, se desplegará una ventana con el nombre de la dirección de la carpeta donde se estén guardando los archivos. Ahí se mostrará una ventana del lado derecho con los datos guardados por numeración, fecha y hora del monitoreo. Además de una gráfica de Ir vs t. Dentro de esa ventana, en la parte superior izquierda, se muestra un logo de Excel. Al seleccionarlo, los datos guardados de ese archivo, se exportarán directamente a Excel.

11. En Excel, se seleccionaron los datos adquiridos por día (desde las 00:00:00 h de un día a las 23:59:00 h del mismo) para salvarlos y llevarlos al software Origin.

12. En Origin, los datos se acomodan en la ventana de “Libro” en el eje de las “y”, mientras que en el eje de las “x” se acomoda el tiempo, con el fin de poder graficarles. Una vez graficado, se seleccionan los parámetros con la herramienta “Data Selector” desde el inicio de los datos que se deseen calcular, hasta el final de ellos.

13. Se dirige al menú desplegable “Analysis”, en lo desplegado del menú se selecciona “mathematics” para luego seleccionar “integrate”, el cual nos mostrará una ventana de diálogo con los parámetros seleccionados, se da a “ok” y en la parte inferior izquierda de la ventana principal de Origin, se mostrará el área bajo la curva de la gráfica de irradiancia, la cuál es el valor de la irradiación.

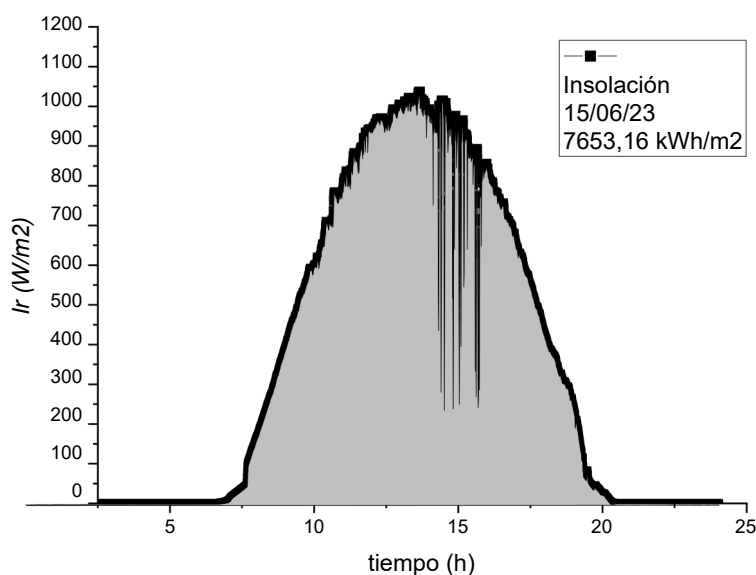
4. Capítulo IV. Análisis de Resultados

4.1 Junio, mediciones de experimentación

Debido a que el programa HD32MTLogger requiere que se haga un guardado manual de los datos capturados desde que se inicia el registro hasta que se guardan, es necesario hacer este proceso de forma frecuente; de tal manera que, si no se ha guardado, los datos recopilados se pierden. Como resultado de esto, al no eliminar las suspensiones automáticas del equipo de cómputo, los datos recopilados se perdieron en diferentes fechas.

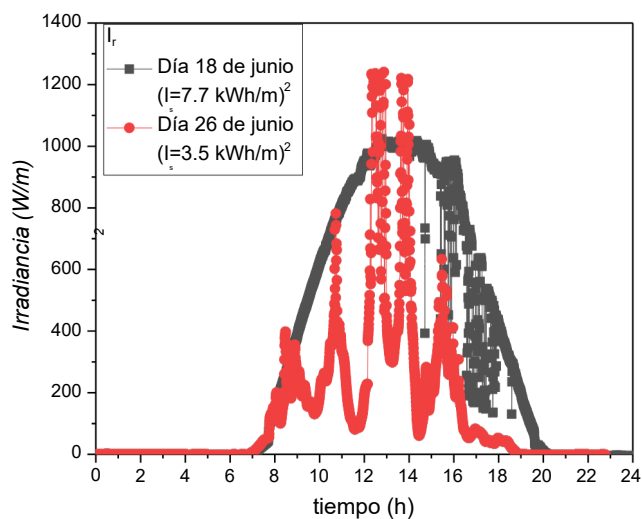
Del día 21 al 22 de junio, ocurrió la primera pérdida de información derivado de un corte de luz en el edificio, reiniciando el ordenador y eliminando los datos de esas fechas. El día 29 se tuvo otra interrupción del registro de datos, debido a una actualización del sistema; lo que provocó un reinicio del equipo automático y al no guardar la información, se perdieron los datos de la mitad del día. De tal forma que, la primera curva de irradiancia obtenida del día

15 de junio se muestra en la gráfica 4.1. De la misma manera se realizó el cálculo del área bajo la curva (parte oscura de la gráfica 4.1) el resultado de dicho cálculo dio como resultado $7653,16 \text{ Wh/m}^2$, lo que representa la insolación de dicho día.



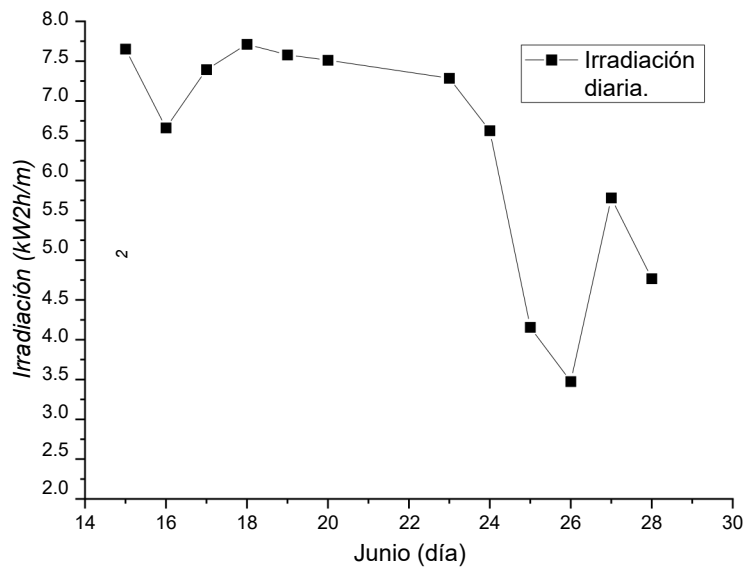
Gráfica 4.1. Primera muestra, irradiancia 15 de junio. Propia.

En la siguiente gráfica 4.2 se muestran las curvas de irradiancia que corresponden a los días que presentan los valores máximos (7.7 kWh/m^2) y mínimos (3.5 kWh/m^2) de insolación; esto es para los días 18 y 26 de junio.



Gráfica 4. 2. Curvas de irradiancia para los días 18 y 26 de junio, que corresponden a los días con valores mínimos y máximos de insolación. Propia.

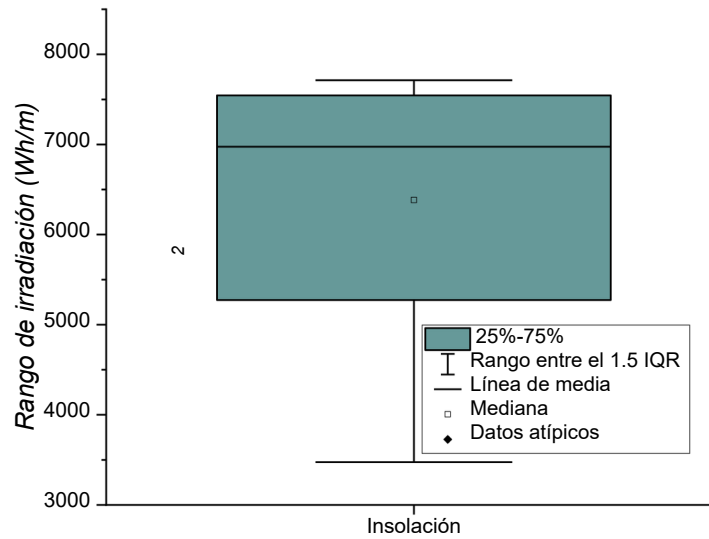
Se siguió este proceso durante el resto del mes, pese a las interrupciones antes mencionadas, dando como resultado nuestra primera gráfica quincenal de irradiancia, misma que se muestra en la siguiente Imagen (4.3):



Gráfica 4. 3. Insolación mes de junio de 2023. Propia.

Derivado de esto encontramos valores mínimos, máximos y medios de la insolación en esta quincena de junio, que son los siguientes: máximo, reportado el día 18 con 7712.21 Wh/m^2 , el valor mínimo reportado con 3474.11 Wh/m^2 el día 26, y la media con 6204.08 Wh/m^2 . En este mes hubo un par de días que no se reportaron derivado a fallas técnicas, mismos que hubieran influenciado en el análisis estadístico.

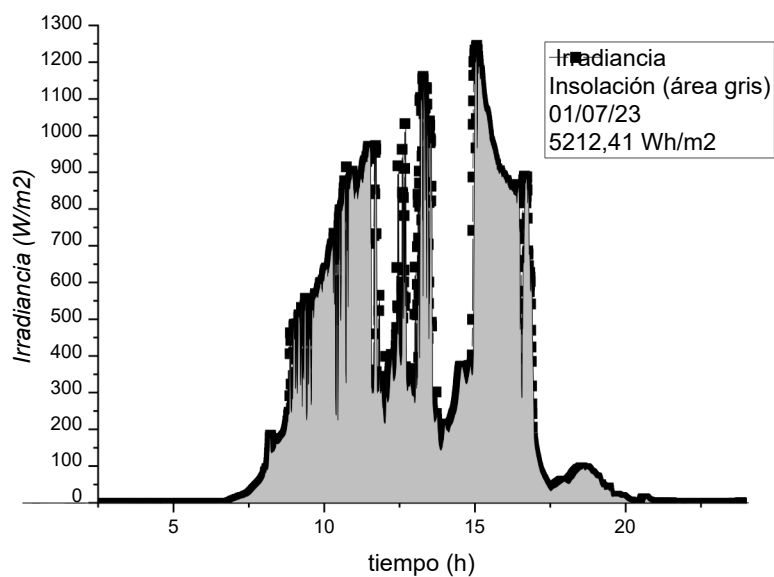
En la siguiente gráfica (Gráfica 4.4) de cajas y bigotes, se muestra que la concentración de datos se encuentra entre los 5.3 kWh/m^2 y 7.6 kWh/m^2 .



Gráfica 4. 4. Gráfica de caja y bigotes de la quincena de junio. Propia.

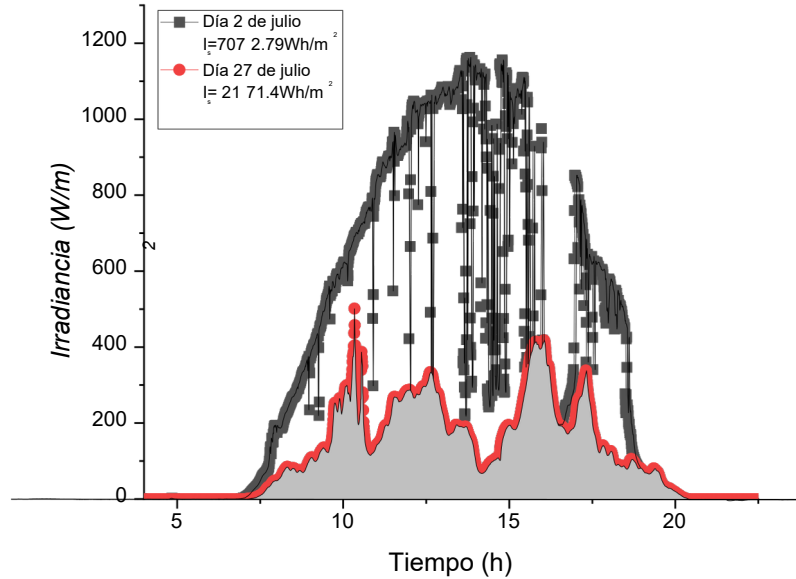
4.2 Mediciones del mes de Julio

Una vez resueltos los problemas técnicos, debido a la intermitencia en la información del mes de junio, se comenzó a contar desde julio como el inicio de la recopilación de datos. En la siguiente gráfica (4.5), se muestra el primer día de muestra de julio, mostrando el área bajo la curva que representa el valor de insolación de este día.



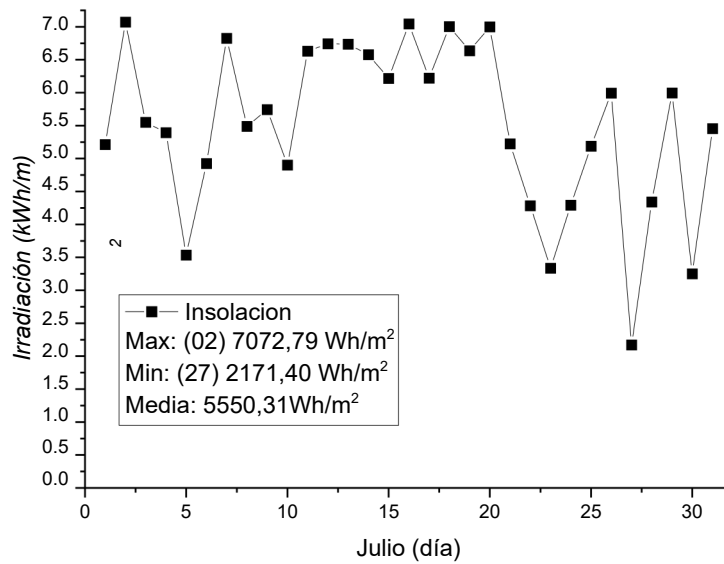
Gráfica 4. 5. Primer registro de julio. Propia.

Adelante se presenta la gráfica de comparación de irradiancia entre los días que presentaron la irradiación mínima y máxima durante el mes de julio (***Gráfica comparativa, mínimo y máximo de junio***), mismos que muestran la gran diferencia entre un día soleado y otro con presencia de alta nubosidad, recordemos que en el mes de julio se presentan lluvias fuertes en la zona centro del país.



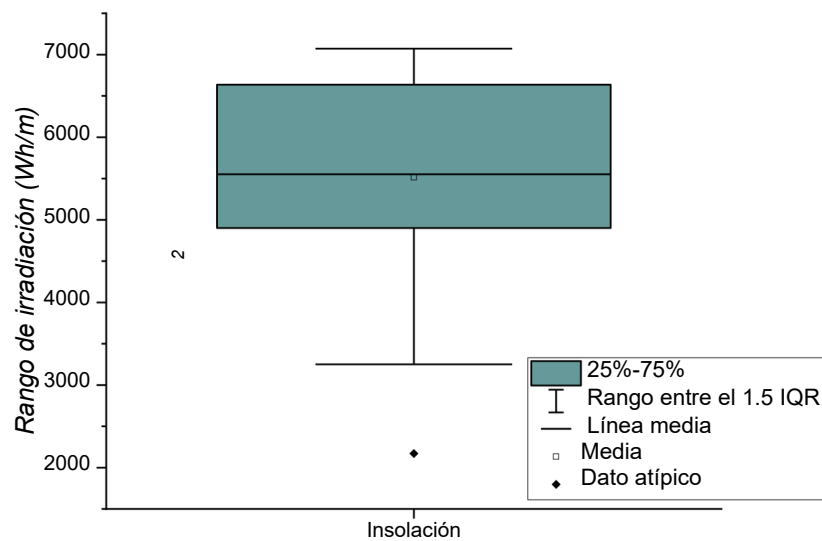
Gráfica 4. 6. Comparativa, días de mínimo y máximo de irradiancia de julio. Propia.

Estos datos nos muestran una intermitencia en la irradiación en los primeros días de julio, coincidente a los últimos días de junio donde teníamos irradiancias de 7 kWh/m^2 , bajando hasta los 3 kWh/m^2 y subiendo a los 5 kWh/m^2 . Posterior a esto, el segundo tercio del mes, se ve una ligera constante que no varía mucho entre los 6 y 7 kWh/m^2 , para luego volver a la intermitencia derivada de las lluvias de la estación, como se muestra en la siguiente gráfica: *(Gráfica de irradiación del mes de julio del 2023)*.



Gráfica 4. 7. Irradiación del mes de julio del 2023. Propia.

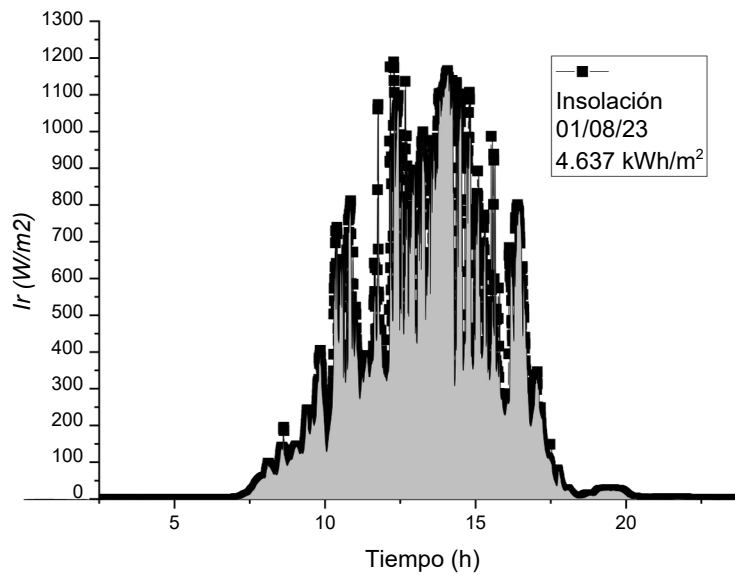
Para finalizar el análisis de junio, se presenta el diagrama de caja y bigotes, donde se puede observar el porcentaje del rango de los datos, para así, tener una representación gráfica sobre la tendencia de datos de la irradiación, o insolación, diaria obtenida durante el mes. Entre el 25 y 75 % de los datos registrados se encuentran, aproximadamente, entre 5kWh/m² y los 6.5 kWh/m², un poco por encima de la media obtenida en el análisis. Así como un valor atípico representado por el valor mínimo que se obtuvo en el cálculo de la medición.



Gráfica 4. 8. Caja y bigotes del mes de julio. Propia.

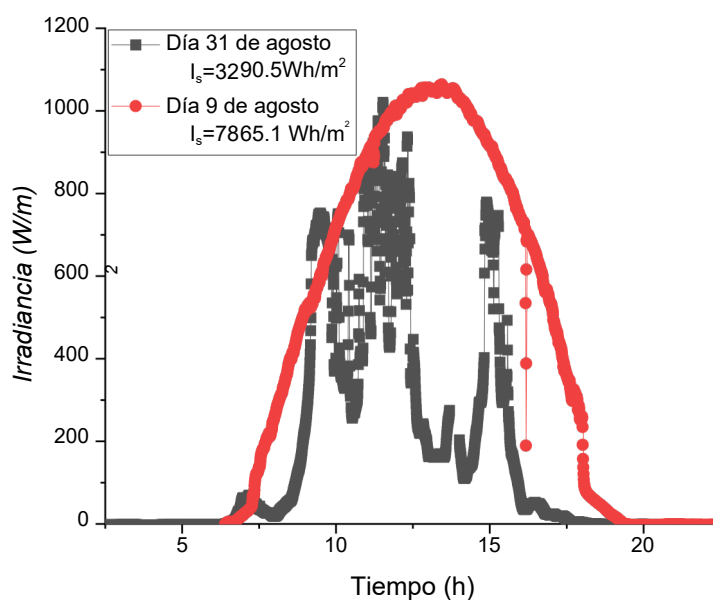
4.3 Mediciones del mes de Agosto

La siguiente gráfica (4.9) muestra la primera medición del mes de agosto, donde se muestra marcada el área sobre la curva, que representa a insolación de ese día, con un valor de: 4637.51 kWh/m².



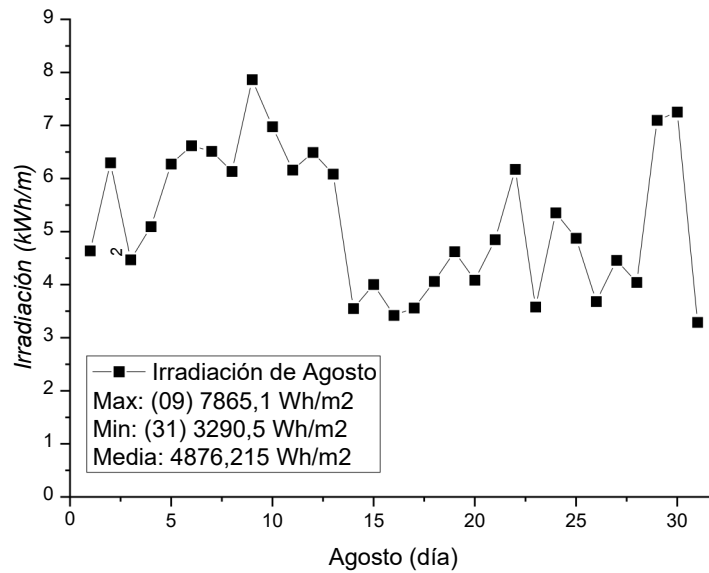
Gráfica 4. 9. Primer registro de agosto. Propia.

Los datos estadísticos del mes de agosto, muestran una máxima de 7865.1 Wh/m^2 , el día 9, una mínima de 3290.5 Wh/m^2 el día 31 y una media de 4876.215 Wh/m^2 . Adelante se presenta la comparación de los días de irradiación mínima y máxima, donde podremos observar el ruido provocado por la nubosidad, aunque la radiación se mantuviera presente hasta mediodía cuando la nubosidad se volvió más presente y resultó en una caída considerable en la medición de irradiancia. El día máximo muestra una clásica curva Gaussiana con solo unas muy pocas y hasta despreciables caídas en la irradiancia debidas a algún cuerpo externo que se posó en la medición.



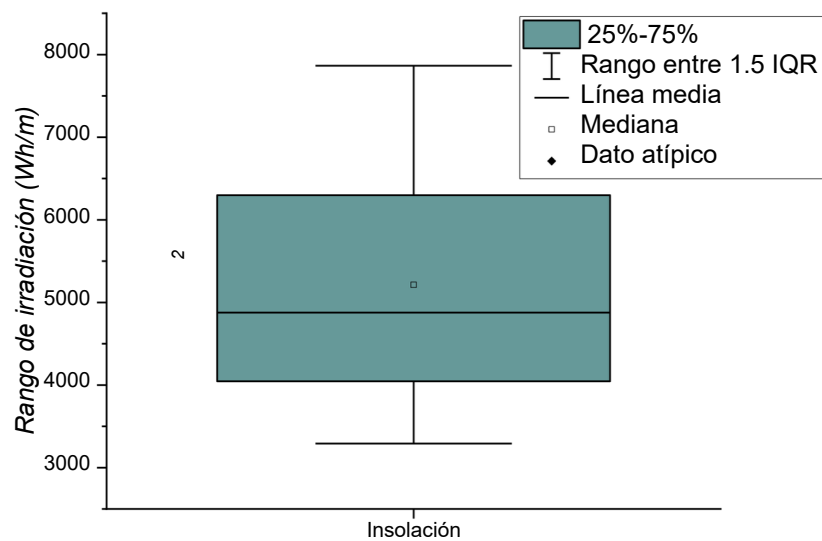
Gráfica 4. 10. Mínimo y máximo del mes de agosto, 2023. Propia.

La primera mitad del mes se mantuvo ligeramente constante entre los 6 kWh/m² y 7 kWh/m², mientras que la mayor parte de la segunda mitad estuvo, generalmente, entre los 3 kWh/m² y 5 kWh/m², esto se debe a que agosto es el segundo mes con mayor precipitación en el año. La parte final del mes tuvo un altibajo que mostró valores cercanos al máximo y cerró con el mínimo del mes, como se muestra en la siguiente gráfica.



Gráfica 4. 11. Irradiación del mes de agosto del 2023. Propia.

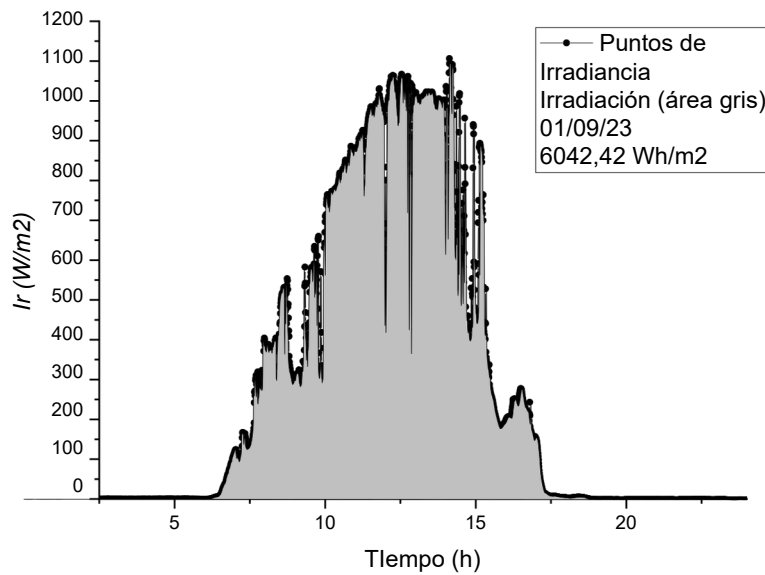
En el diagrama de caja y bigotes correspondiente al mes de agosto (***Diagrama caja y bigotes del mes de agosto, 2023***) ***nos*** presenta datos con una acumulación de rango más amplia, ya que el porcentaje entre el 25 y 75% se encuentra desde los 4 kWh/m² hasta casi los 6.5 kWh/m². En este caso no existen datos con anomalías para reportar dentro de los valores calculados. Sin embargo, se puede ver que la concentración de los datos tiene un rango más amplio en comparación con lo revisado en el mes anterior, esto debido a la disminución en la irradiación antes mencionada.



Gráfica 4. 12. Diagrama caja y bigotes del mes de agosto, 2023. Propia.

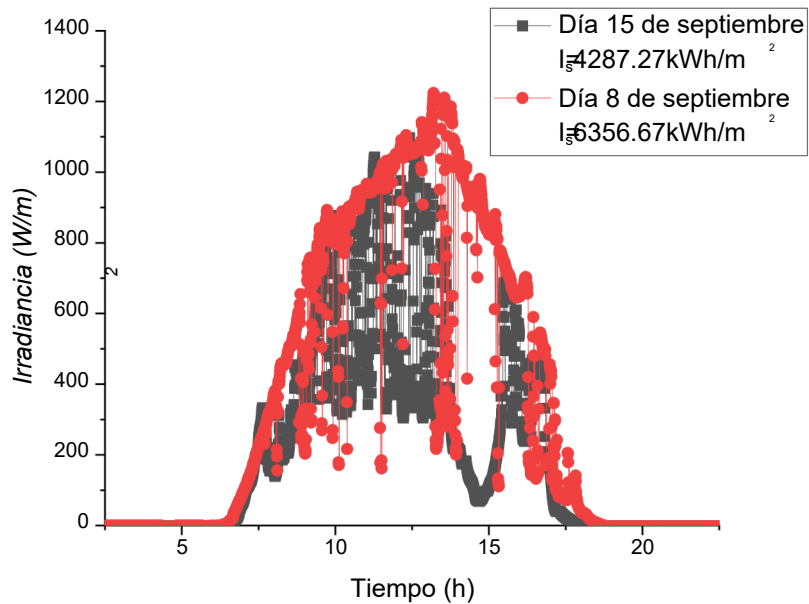
4.4 Mediciones del mes de Septiembre

Adelante se muestra la primera toma de datos del mes de septiembre (Gráfica 4.13).



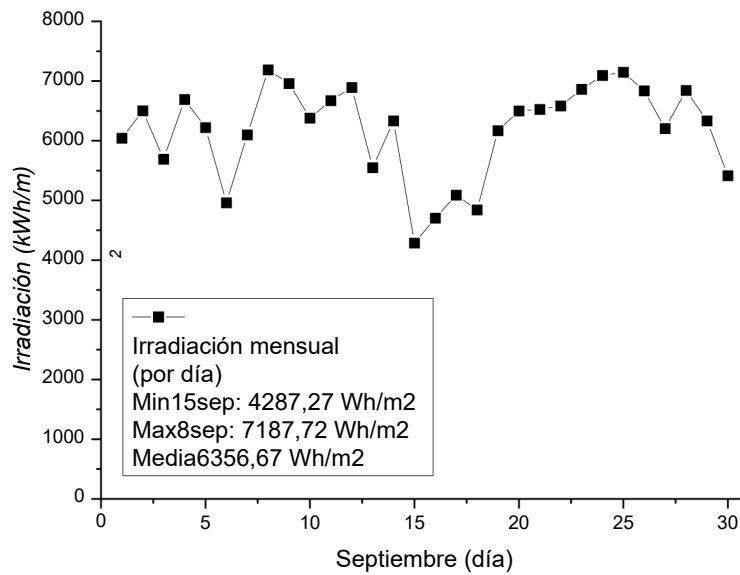
Gráfica 4.13. Primer registro de septiembre. Propia.

Adelante se muestra la gráfica comparativa de los días con la irradiancia mínima y máxima del mes. La diferencia entre una y otra parece ser la nubosidad, pues, aunque en principio se muestran caídas en los puntos de irradiancia durante los dos días, irradiancia mínima muestra, en su irradiancia, caídas muy pronunciadas, inclusive por debajo de los 100 w/m^2 en lapsos de tiempo prolongados. A diferencia de la máxima que, aunque tiene algunos puntos bajos, son mediciones instantáneas que no parecen estar dentro de periodos largos.



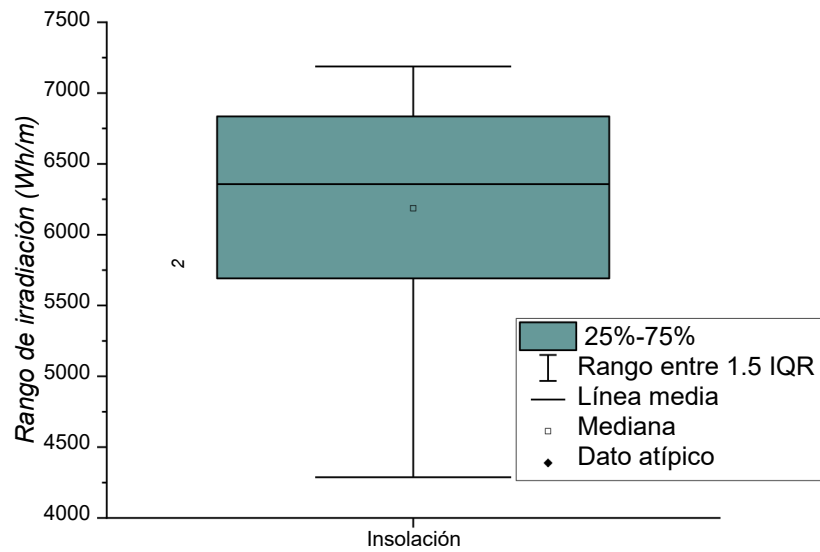
Gráfica 4. 14. Mínimo y máximo del mes de septiembre, 2023. Propia.

Los datos estadísticos del mes de septiembre, muestran una máxima de 7187.72 Wh/m^2 para el día 8, una mínima de 4287.27 Wh/m^2 el día 15, y una media de 6356.67 Wh/m^2 para este mes. Dentro del análisis de la gráfica del mes correspondiente (Gráfica de irradiación del mes de septiembre del 2023), encontramos una media más alta con relación al mes pasado derivado de la finalización de la temporada de lluvias en la ciudad, aun así, se registra un máximo inferior al mes anterior efecto del cambio estacional que se acerca en estas fechas. El mínimo es superior al mes anterior, pues, aunque el cambio de estación sugiere niveles más bajos de irradiancia, la nubosidad en el mes pasado es un factor determinante.



Gráfica 4. 15. Irradiación del mes de septiembre del 2023. Propia.

La distribución en la acumulación de datos correspondiente al mes de septiembre nos arroja una distribución menos dispersa en relación al mes pasado, y un poco desplazada por encima de los 6.5 kWh/m^2 , entonces, la densidad del mayor porcentaje de datos queda entre, casi los 5.5 kWh/m^2 y por encima de los 6.5 kWh/m^2 , y comenzamos a observar una tendencia dentro de la concentración de la irradiación, que ronda entre los 5 y 6 kWh/m^2 .

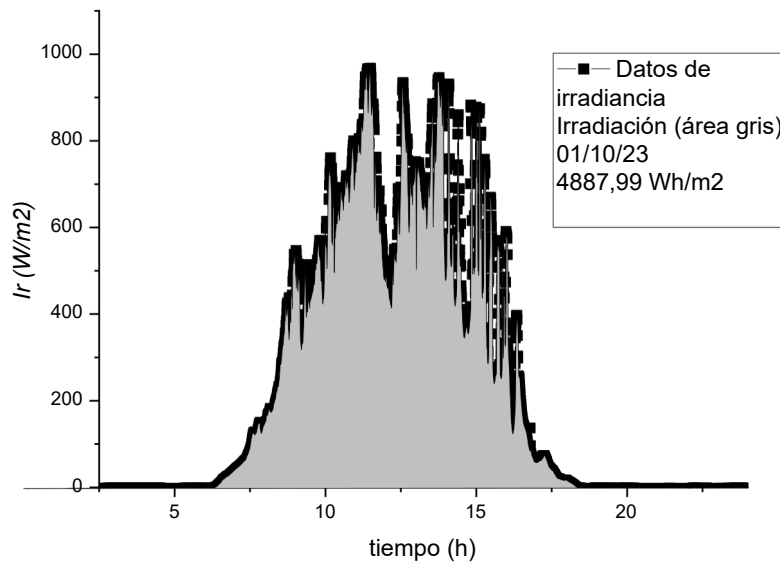


Gráfica 4. 16. Diagrama caja y bigotes del mes de septiembre, 2023. Propia.

4.5 Mediciones del mes de Octubre

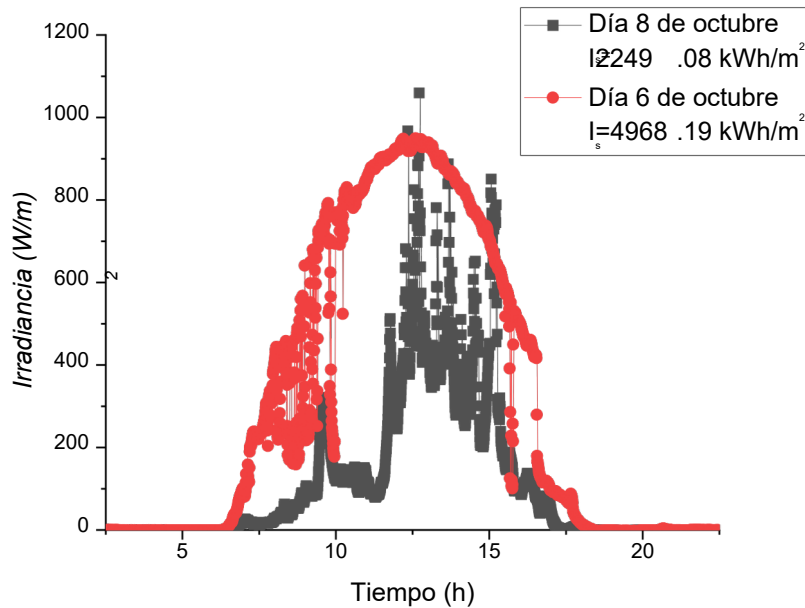
La siguiente gráfica (4.17), muestra la toma de datos del primer día de octubre.

B



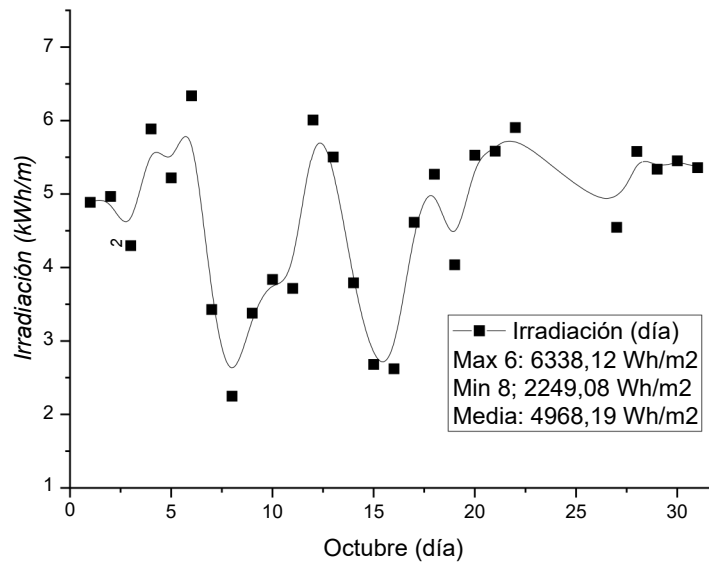
Gráfica 4.17. Primer registro de octubre. Propia.

La gráfica comparativa de la mínima y la máxima del mes de octubre (**Gráfica 4.18**), nos muestra una máxima de 4968.19 kWh/m² el día 6 (gráfica roja), donde se puede ver, aunque no tan claramente, el dibujo de la curva de Gauss, solamente con un poco de nubosidad de 7 am hasta las 11 am, aproximadamente. Además de lago de nubosidad después de las 3 de la tarde, mientras que a medio día se puede ver la pendiente, como es de esperar. Mientras que la gráfica del mínimo de 2249.08 kWh/m² el día 8 (gráfica negra), muestra nubosidad durante toda la mañana hasta medio día, donde se pueden ver los puntos de irradiancia casi coincidir con el máximo, a excepción de un pequeño salto que resulta por encima de las dos mediciones, producto posiblemente de algún reflejo capturado por el sensor. Después de eso la tendencia es parecida a la curva de Gauss, pero con mucho ruido en ella, producto de lo que seguramente fue un día nublado.



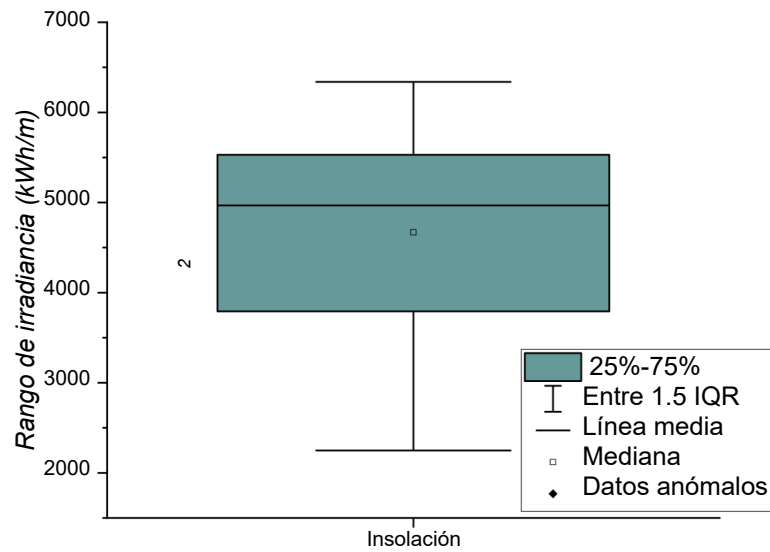
Gráfica 4. 18. Mínimo y máximo del mes de octubre, 2023. Propia.

Los datos estadísticos del mes de octubre, muestran una máxima de 6338.12 Wh/m², una mínima de 2249.08 Wh/m² y una media de 4968.19 Wh/m². En comparación con septiembre, notamos una disminución en todos los valores de manera casi paralela, como nos muestra la siguiente gráfica (Gráfica de irradiación del mes de octubre del 2023). Esta disminución es producto del cambio estacional, causada por movimiento de traslación de la Tierra que nos deja con una menor exposición a la irradiancia que emite el Sol, que, sumado a la nubosidad, nos deja un mes con valores más bajos. En general, el mes muestra dos caídas pronunciadas en la irradiancia, una coincidente con el mínimo, el día 8, que curiosamente sucede solo dos días después del máximo del mes, el día 6. Después de eso, la siguiente caída llega a mitad de mes para después mantener una constante entre los 5 y 6 kW/m².



Gráfica 4. 19. Irradiación del mes de octubre del 2023. Propia.

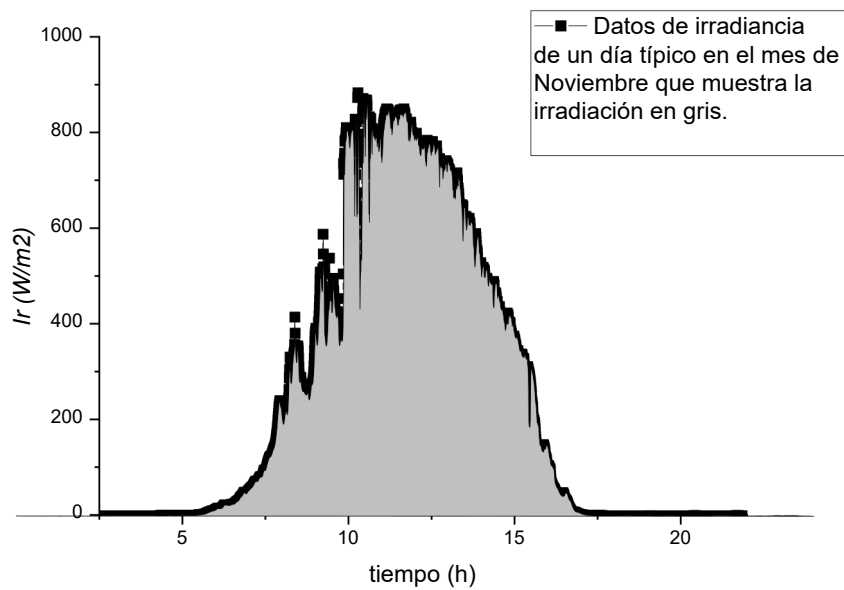
El diagrama de caja y bigotes del mes de octubre muestra la concentración de datos desplazada hacia los 4kWh/m^2 . Esta nueva área de distribución se encuentra entre un poco por encima de los 3.7kWh/m^2 y por encima de los 5.5kWh/m^2 , llevando nuestra concentración a niveles más bajos de irradiación, además consigue ser junto con junio ser, hasta ahora las concentraciones menos dispersas en su área de distribución.



Gráfica 4. 20. Diagrama caja y bigotes del mes de octubre, 2023. Propia.

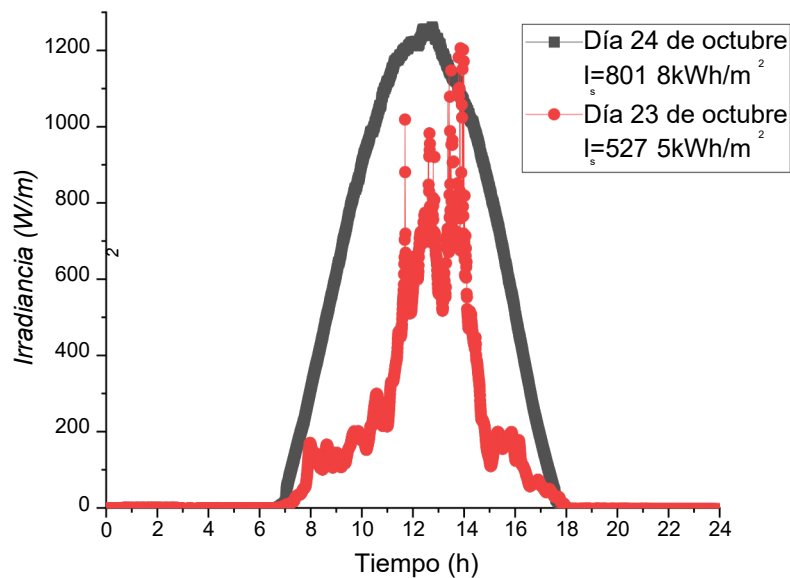
4.6 Mediciones del mes de noviembre

Adelante se muestra la gráfica (gráfica 4.21) de la primera toma de datos del mes de noviembre.



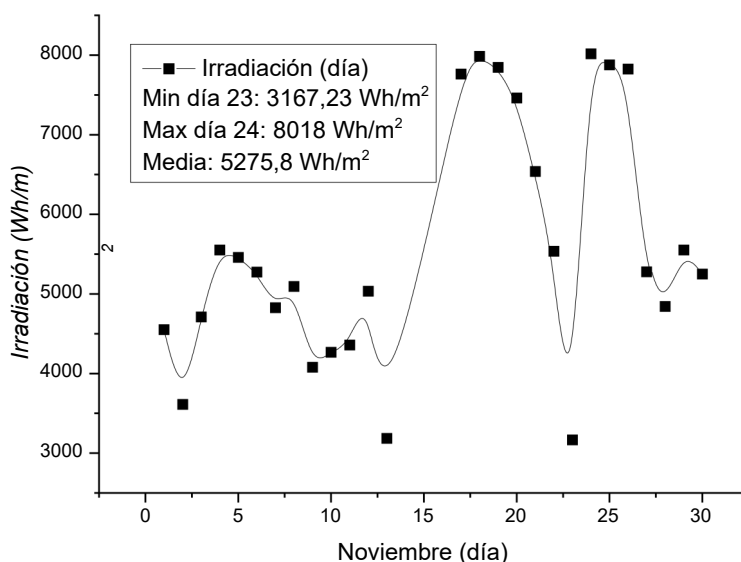
Gráfica 4. 21. Primer registro de datos de noviembre. Propia.

Como es costumbre, la máxima, presentada el día 24 de octubre y con valores de 8018 kWh/m² suele presentar una figura parecida a la curva de Gauss, y en este caso, la presentada es muy clara, con la cúspide al medio día. La mínima muestra nubosidad a lo largo de casi todo el día.



Gráfica 4. 22. Mínimo y máximo del mes de noviembre, 2023. Propia.

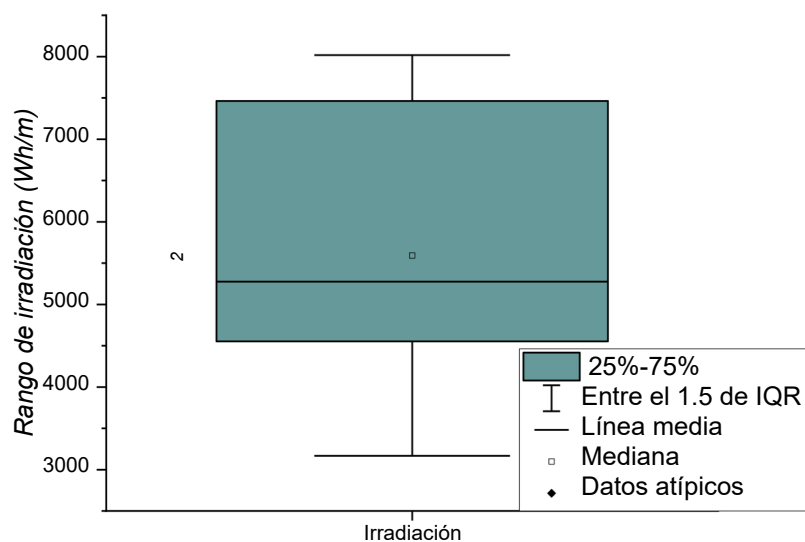
Los datos estadísticos del mes de noviembre, muestran una máxima de 8018 Wh/m^2 el día 24, una mínima de 3167.23 Wh/m^2 el 23, y una media de 5275.8 Wh/m^2 . Este mes presenta una marcada diferencia entre lo que fue la primera mitad y la segunda. La primera mitad presenta una tendencia de irradiación entre los 4 y los 6 kWh/m^2 , mientras que la segunda mitad muestra valores de entre los 5 y 8 kWh/m^2 . Curiosamente, pese a que la primera mitad es la más baja en cuanto a irradiación, los valores de la mínima y máxima se encuentran dentro de la mitad con más irradiación, y coincidentemente suceden uno después del otro, sucediendo primero la mínima y después la máxima. En relación a los valores del mes anterior hubo un incremento en estos, derivado de que noviembre del 2023 fue uno muy caluroso, posicionándose como el sexto noviembre más caluroso en el registro histórico nacional, como indica CONAGUA (Reporte del clima Noviembre, CONAGUA, noviembre 2023). De manera que los registros de la primera mitad se atribuyen a la salida de la temporada de tormentas del mes y la siguiente al registro histórico de alta temperatura.



Gráfica 4. 23. Irradiación del mes de noviembre del 2023. Propia.

La distribución de noviembre nos muestra un área grande de dispersión de los datos, pues va, aproximadamente, desde los 4.5 kWh/m^2 hasta los 7.5 kWh/m^2 . En comparación con el mes anterior, el rango de la distribución se incrementó considerablemente, pues pasamos de los 5.5 kWh/m^2 a los 7.5 kWh/m^2 , derivado de lo antes analizado. También notamos que

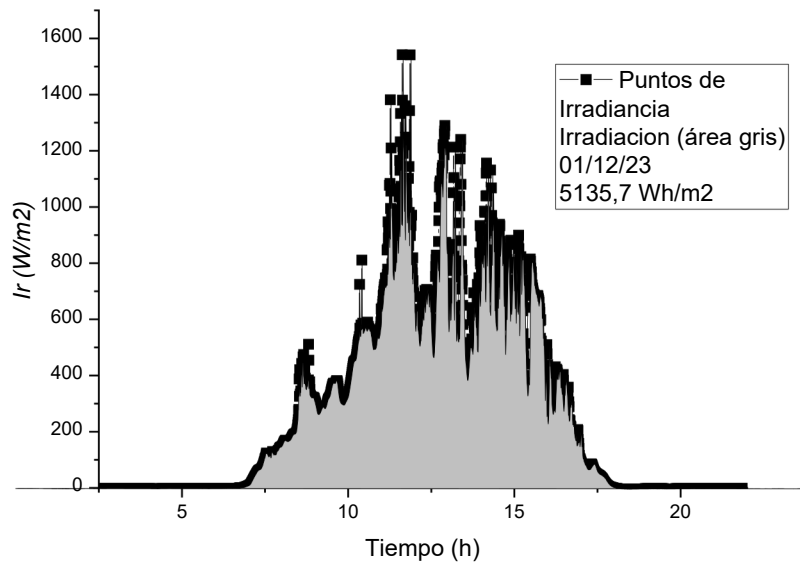
existe una considerable cantidad de datos que se encuentran por encima de la media, lo que sugiere que los datos con valores mínimos fueron, también, de consideración.



Gráfica 4. 24. Diagrama caja y bigotes del mes de noviembre, 2023. Propia.

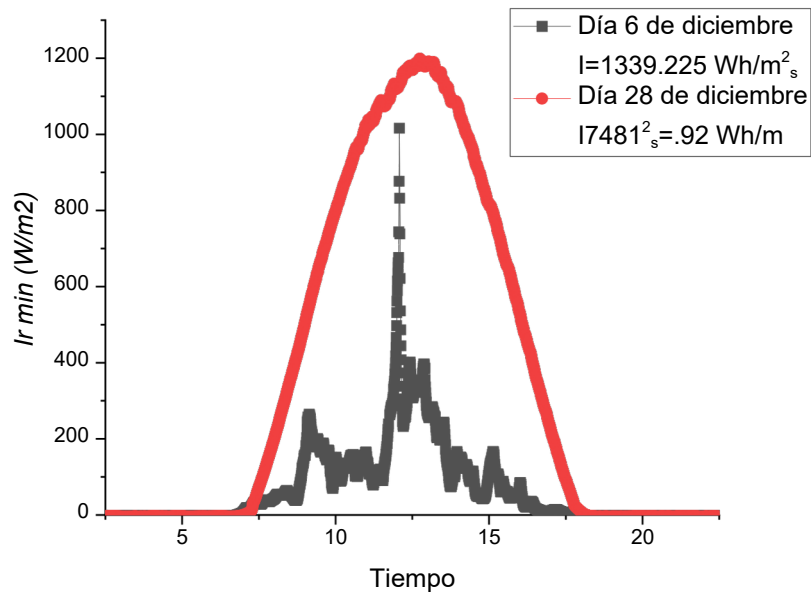
4.7 Mediciones del mes de diciembre

Adelante se muestra la gráfica del primer día de captura de datos del mes de diciembre (gráfica 4.25).



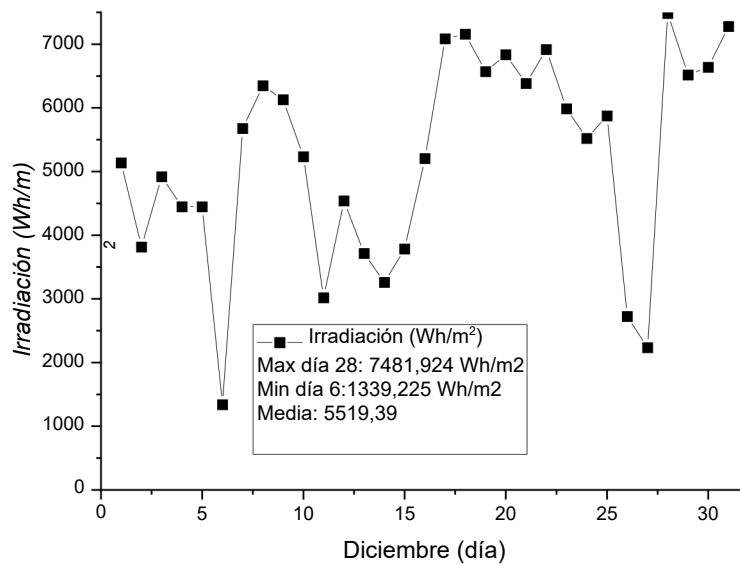
Gráfica 4. 25. Primer registro de datos de diciembre. Propia.

La gráfica comparativa entre el mínimo y máximo, nos muestra una muy linda curva de Gauss para el mes del máximo donde la irradiancia casi se parte de manera simétrica por el medio día y sin ninguna aparición de nubosidad al largo del día, dejando en claro que ese día hubo altos índices de claridad, seguramente muy cercanos al 1, y nulos índices de nubosidad. En contra parte el día del mínimo apenas hubo espacios para alguna medición cercana a los 1kW/m^2 , pues durante todo el día se presentó nubosidad, dejando muy marcada la diferencia de áreas entre un día y el otro.



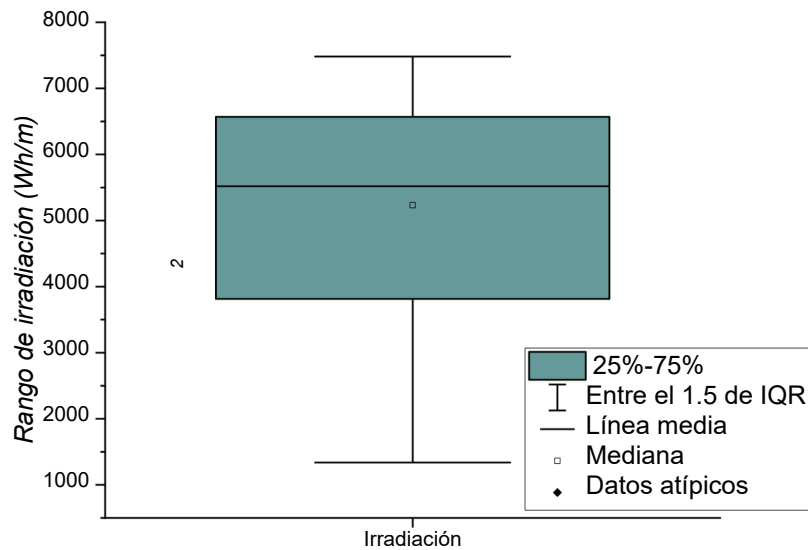
Gráfica 4. 26. Mínimo y máximo del mes de diciembre, 2023. Propia.

Los datos estadísticos del mes de diciembre, muestran una máxima de 7481.92 Wh/m² el día 28, una mínima de 1339.225 Wh/m² el 6, y una media de 5519.39 Wh/m². Este mes se presentó muy irregular, pues, a pesar de que tuvimos la irradiación con el mínimo más bajo durante el semestre medido, tanto la media como la máxima fueron de las más altas en este periodo de medición. De igual manera, se puede apreciar que el rango de la media está en un rango más amplio que en otros meses registrados, lo que habla que los días pasaban de ser con una irradiación baja a alta constantemente y con valores alejados entre sí, por lo que podemos ver en la gráfica altibajos muy pronunciados.



Gráfica 4. 27. Irradiación del mes de diciembre del 2023. Propia.

El último mes de análisis nos muestra una distribución que se encuentra, un poco por debajo de los 4 kWh/m² y por encima de los 6.5 kWh/m². A pesar de que existen diferencias considerables de rangos de irradiación, la densidad de la distribución es muy parecida a la del mes de agosto, pues se encuentra dentro del mismo rango antes mencionado de entre los 4 y 6.5 kWh/m², hecho que resulta, de menos interesante, considerando que los mínimos y la media guardan sus diferencias, pero al realizar este análisis encontramos que la máxima de estos dos meses es parecida.

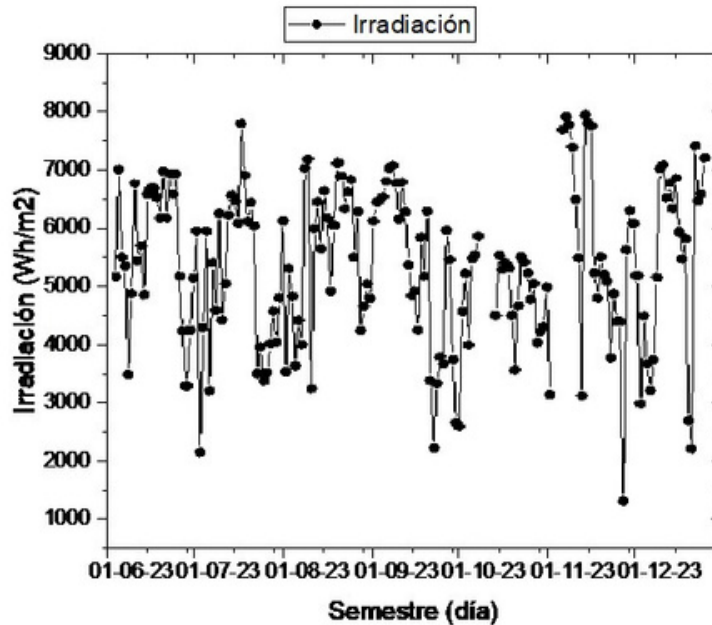


Gráfica 4. 28. Diagrama caja y bigotes del mes de diciembre, 2023. Propia.

4.8 Acumulado del semestre julio-diciembre 2023

En la gráfica (4.29) se muestra el acumulado semestral de los datos de irradiación para tener el panorama más amplio de lo sucedido durante esta etapa del monitoreo.

En dicha gráfica se puede observar que de manera visible y sin previos cálculos, la media de los datos se puede encontrar cerca de los 5.5 kWh/m², al mismo tiempo se puede observar que, los datos mínimos se encuentran al final de la gráfica, coincidiendo con los meses de noviembre y diciembre que presentan el inicio del invierno. Por otra parte, se puede ver que los datos máximos corresponden en el periodo otoñal. Dentro del análisis visual realizado a esta gráfica, también se observa que, entre agosto y noviembre se puede ver una tendencia de descenso en los valores de irradiación.



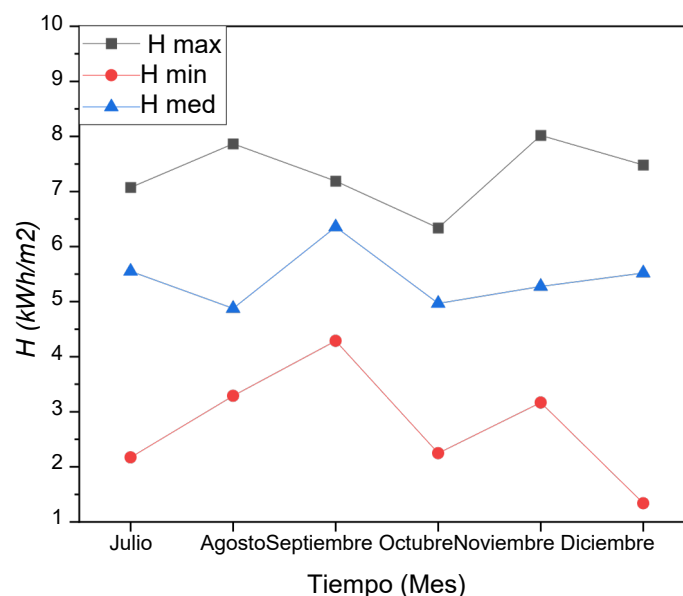
Gráfica 4. 29. Acumulación semestre II 2023 de irradiación o insolación en UACM San Lorenzo Tezonco. Propia.

Para seguir con el análisis de los datos, se realizó la gráfica que muestra los mínimos de irradiación de cada mes, así como la media y los máximos de esta medición, para obtener una visión más clara de estos parámetros estadísticos, como se muestra en la siguiente gráfica: **Gráfica de H máxima, H mínima y H media semestral**, de donde se destaca lo siguiente:

Dentro de los mínimos, el mínimo mayor es septiembre con 4.28 kWh/m^2 , seguido de agosto con 3.29 kWh/m^2 , después noviembre con 3.16 kWh/m^2 , sigue octubre con 2.24 kWh/m^2 , luego julio con 2.17 kWh/m^2 y el mínimo de mínimos es, como se esperaba, diciembre con 1.33 kWh/m^2 .

La media de las medias es de 5.42 kWh/m^2 , siendo la media de diciembre con 5.51 kWh/m^2 el que más se le acerca, seguida de julio con 5.55 kWh/m^2 , noviembre con 5.27 kWh/m^2 , octubre con 4.96 kWh/m^2 , agosto con 4.87 kWh/m^2 y la media que más se aleja es septiembre con 6.35 kWh/m^2 .

Para las máximas tenemos a octubre como la mínima de las máximas con 6.33 kWh/m^2 , seguida de julio con 7.07 kWh/m^2 , septiembre con 7.18 kWh/m^2 , diciembre con 7.48 kWh/m^2 , agosto con 7.86 kWh/m^2 y noviembre, siendo la máxima de máximas, con 8.01 kWh/m^2 .



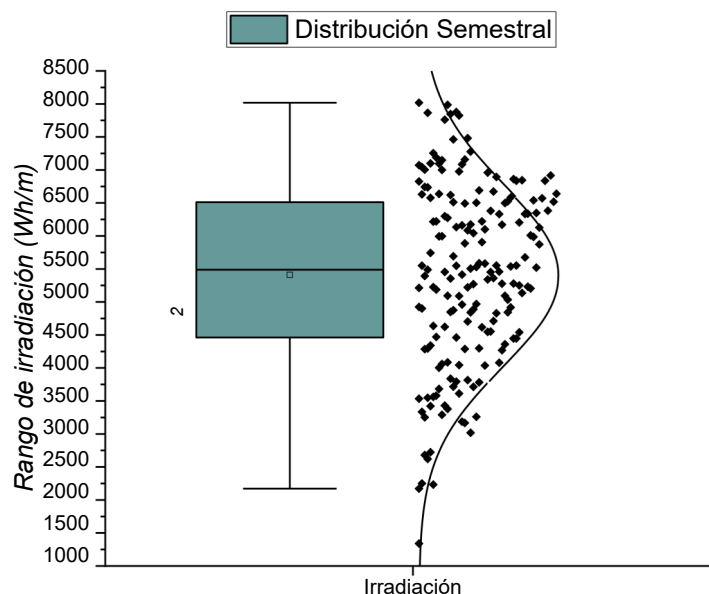
Gráfica 4. 30. H máxima, H mínima y H media del semestre II del 2023. Propia.

De manera que los datos más relevantes se muestran en la siguiente tabla:

Parámetro	Mes	Irradiación (kWh/m ²)
Mínimo	diciembre	1.33
Máximo	noviembre	8.01
Medio	semestral	5.42

Tabla 4.1. Parámetros estadísticos de irradiación semestral.

Por último, tenemos el diagrama de caja y bigotes (Gráfica 4.31) correspondiente a todo el semestre, acompañado de la curva de distribución normal, para tener una mejor referencia de la concentración de los valores de irradiación en todos los datos del semestre. En el diagrama se muestra que cerca del 75% de los datos se encuentran entre los 4.5 kWh/m² y los 6.5 kWh/m², dejando a la mitad la media antes calculada de los 5.42 kWh/m².



Gráfica 4. 31. Caja y bigotes de los datos de irradiación del segundo semestre del 2023. Propia.

Según el reporte anual de clima 2023, realizado por CONAGUA, 2023 fue el año más seco desde 1941 y más cálido desde 1953. Esto nos ayuda a entender por qué ciertos valores de irradiación resultaron ser más altos de lo esperado, y con esto, por qué sin la contribución del primer semestre del 2023, es que la media que calculamos, se acercó mucho a la media anual, siendo que, se esperaba que existiera una contribución en ese primer semestre que aumentara la media anual ya que se espera mayor irradiancia, por lo tanto, mayor irradiación o insolación.

5. Conclusiones

Realizamos una revisión periódica del estado del cableado que conecta al piranómetro al adquirente de datos, garantizando que ese medio para mandar la señal al adquirente de datos, resiste las condiciones a la intemperie. También, mantuvimos actualizados los drivers y el mantenimiento del equipo, lo que permitió que este, no se suspendiera y cerrara la aplicación del monitoreo, lo que nos permitió realizar satisfactoriamente el monitoreo continuo e ininterrumpido de irradiancia. Gracias a lo anterior, trabajamos los datos obtenidos (orden y gráficos)² mediante dos diferentes softwares (Excel y Origin), para realizar posteriormente el análisis estadístico contemplado desde el inicio.

Según datos de la NASA (NASA, s.f.), la insolación o irradiación media anual en Ciudad de México, es de 5.46 kWh/m^2 , mientras que la media registrada por las mediciones realizadas en el semestre II 2023 de este trabajo, es de 5.42 kWh/m^2 . Esta diferencia de datos tiene un error del 0.73%, de forma que tenemos una pequeña diferencia de valores en la insolación muy cercana a cero.

Observamos que el cálculo de las mediciones de irradiación o insolación, obtenidas en el semestre II 2023, coinciden con los históricos de la Ciudad de México con un error del 0.73%, de manera que podemos concluir que, el montaje, la instalación del equipo y manejo de datos, se realizaron de manera exitosa.

6. Trabajos Futuros

Para tener un mejor y más confiable análisis del monitoreo, que permita mostrar un panorama más extenso en cuanto a la irradiancia e irradiación en esta zona de estudio, es necesario realizar una toma de datos durante un año entero, lo que nos permitiría conocer qué sucede en la primera mitad del año, donde se esperarían datos de mayor irradiancia (en general) por la primavera.

A continuación, se muestra un listado de recomendaciones que pueden ayudar a que el proceso del monitoreo de datos, así como el manejo de los mismos sea más eficaz:

- Ajuste en la sensibilidad del equipo. Automatización de algunos de los procesos que agilicen el manejo de datos (auto guardado de los datos por día). Esta ocasión se trabajó con poco más de medio millón de datos, esta recomendación ayudaría a la organización de los datos. Poder proporcionar información a la comunidad de valores de irradiancia e irradiación.

Además, se recomienda realizar una comparación de irradiancia con otras fuentes de información que contengan bases de datos confiables.

Bibliografía

- Arancibia Bulnes, C., & Best y Brown, R. (2010). *Energía del Sol*. Obtenido de https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/61_2/PDF/EnergiaSol.pdf
- Blanco-Cano, X. (2009). El sol, nuestra estrella. *Revista Digital Universitaria*.
- Carrazo, D. P. (2007). *Biblus.us.es*. Obtenido de <https://biblus.us.es/bibling/proyecto/sabreproy/4443/fighero/Memoria+PFC%252F3.pdf>
- Cordero Lovera, A., Calva Gonzáles, N., & Sánchez Adán, R. (2013). *SENER*. Obtenido de <https://www.gob.mx/sener/articulos/prospectivas-del-sector-energetico-356380?idiom=es>
- DATOSMUNDIAL. (2015). Obtenido de <https://www.datosmundial.com/america/mexico/puesta-del-sol.php>
- Davila P., J., & Martines L., E. (2013). *CENAM*. Obtenido de Casos donde la definición de humedad relativa da lugar a interpretaciones incorrectas: <https://www.cenam.mx/sm2016/pdf/1878.pdf>
- Dávila P., J., & Martines L., E. (23 de Septiembre de 2016). *CENAM*. Obtenido de <https://www.cenam.mx/sm2016/pdf/1878.pdf>
- Diabaté, L., Moussu, G., & Wald, L. (1989). Description of an operational tool for determining global solar radiation at ground using geostationary satellite images. *Solar Energy*, 42.
- Federación, D. O. (2018). *Diario Oficial de la Federación*. Obtenido de https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5342492&fecha=28/04/2014#gsc.tab=0
- Gonzales, S. (s/f). *UPC*. Obtenido de Estudio y caracterización de aleaciones Zn-Sb para aplicaciones termoeléctricas: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/14851/PFC%20Sergio%20Gonzalez%20-%20Estudio%20y%20caracterizaci%C3%B3n%20de%20aleaciones%20Zn-Sb%20para%20aplicaciones%20termoel%C3%A9ctricas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- IDEAM. (s,f). *IDEAM*. Obtenido de Radiación solar: <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/radiacion-solar-ultravioleta#:~:text=Espectro%20electromagn%C3%A9tico%20de%20la%20radiación%20de%20200%20nm%20a%203.000%20nm>

- KippZonen. (2010). *Kipp Zonen*. Obtenido de https://dilus.com/wp-content/uploads/2021/02/Kipp_Zonen_Ma_nua_l_CM_P_CM_A_ser_ie_Pir_a_no_met_er_s_Albedometers_1007_ES-1.pdf
- Leal, R. G. (2020). *Naturalis*. Obtenido de http://www.dcb.unam.mx/Publicaciones/Naturalis/bfyq_35.pdf
- Madrigal, A. (s.f.). *cecycampeche*. Obtenido de cecycampeche: https://www.cecycampeche.edu.mx/BibliotecaVirtual/Hiperlibros_Ago_2021/Calculo_Integral.pdf
- NASA. (s.f.). *NASA POWER DAV*. Obtenido de <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
- NISE. (s/f). *nisenet.org*. Obtenido de National Informal Stem Education Network: https://www.nisenet.org/sites/default/files/exsci_space_sun_info1_sp.pdf
- Rigel, G. L. (2020). *Naturalis*. Obtenido de http://www.dcb.unam.mx/Publicaciones/Naturalis/bfyq_35.pdf
- Tejeda Martínez, A., & Gómez-Azpeitia, G. (2015). *Prontuario Solar de México*. Obtenido de Researchgate: https://www.researchgate.net/publication/312576876_Prontuario_Solar_de_Mexico
- Torti, J. A. (Enero de 2015). *Universidad Complutense Madrid*. Obtenido de https://www.ucm.es/data/cont/docs/85-2015-05-01-HISTORIA%20DEL%20UNIVERSO%20ORIGINAL_V2.pdf
- UACM. (2023). *UACM*. Obtenido de https://www.uacm.edu.mx/inicio/planteles_y_sedes/san_lorenzo_tezonco

LP PYRA 02 - LP PYRA 03 - LP PYRA 12
LP PYRA 05 - LP PYRA 06 - LP NET 07



PYRANOMETERS - ALBEDOMETERS - NET IRRADIANCE METER

PYRANOMETERS

Delta Ohm manufactures First Class LP PYRA 02 and LP PYRA 12 and Second Class LP PYRA 03 pyranometers which fully comply with ISO 9060 standards, and meet the requirements defined by the World Meteorological Organization (WMO). These are strong and reliable ground-based instruments, especially designed to be used under all weather conditions. They are suitable for installation on the field.

Recommended use: atmospheric research, weather stations, climatology, energy efficiency test of photovoltaic plants, etc...

saving research, productive

Pyranometers LP PYRA 02 and LP PYRA 03 are well suited for the measurement of incoming global solar radiation

(0.3 m 3 m spectral range). LP PYRA 12 shadow ring is designed to shield the instrument sensor from direct radiation; by that, an exact measurement of the diffuse sky radiation is possible.

No power supply is needed; pyranometers generate a voltage which is usually equal to:

$$10 \text{ mV}$$

$$\text{kW} \cdot \text{m}^2$$

Every pyranometer is calibrated separately and is supplied standard with aWRR(World Radio-metric Reference)

Report of Calibration.

LP PYRA 02

Technical Specification	LP PYRA 02 / LP PYRA 12*LP PYRA 03	
Typical sensitivity	10 $\mu\text{V}/(\text{W}/\text{m}^2)$	
Impedance	33 $\pm$ 45	
Measuring range	0 $\div$ 2000 W/m^2	
Viewing field	2 sr	
Spectral field	305 nm $\div$ 2800 nm W/m^2 (50%)	
Operating temperature	-40 $^{\circ}\text{C}$ $\div$ 80 $^{\circ}\text{C}$	
Working temperature	0.90 Kg	0.45 Kg
ISO 9060 Specifications		
Response time	< 28 sec	< 30sec
Zero Off-set		
a) Response to thermal radiation (200 W/m^2)	15 W/m^2	25 W/m^2
b) Response to temperature change 5K	$\pm$ 4 W/m^2	$\pm$ 6 W/m^2
3a) Non stability over 1 year	$\pm$ 1.5%	$\pm$ 2.5%
3b) Non-linearity	$\pm$ 1%	$\pm$ 2%
3c) Spectral selectivity	$\pm$ 18 W/m^2	$\pm$ 22 W/m^2
3e) Response with regard to temperature	$\pm$ 5%	$\pm$ 7%
3f) Tilt response	< 4 %	< 8 %
3f) Risposta in funzione del Tilt	< $\pm$ 2%	< $\pm$ 4%
Shadow ring for LP PYRA 12		
Weight	5.90 Kg	
Diameter	570 mm	
Height	54 mm	
Basis diameter	300 mm	

ORDERING CODE

LP PYRA 02: First class pyranometer according to ISO 9060. Complete with: shade disk LP SP1, desiccant sachet with silica-gel crystals, 2 cartridges, spirit level, 4-pole flying connector and Report of Calibration. Typical sensitivity 10 $\mu\text{V}/(\text{W}/\text{m}^2)$. Connection cable has to be ordered separately.

LP PYRA 02AC: First class pyranometer according to ISO 9060. Complete with shade disk LP SP1, desiccant sachet with silica-gel crystals, 2 cartridges, spirit level, 4-pole flying connector and Report of Calibration. Connection cable has to be ordered separately. Current output 4...20mA. 4mA = 0 W/m^2 , 20mA = 2000 W/m^2 . Power supply: 10...30Vdc.

LP PYRA 03: Second class pyranometer according to ISO 9060. Complete with shade disk LP SP1, desiccant sachet with silica-gel crystals, 2 cartridges, spirit level, 4-pole flying connector and Report of Calibration.

.Connection cable has to be ordered separately. Current output 0...1Vdc, 0...5Vdc, 0...10Vdc, 4...20mA. 4mA = 0 W/m^2 , 20mA = 2000 W/m^2 . Power supply: 10...30Vdc (15...30Vdc for models with output 0...10Vdc).

LP SP1: Mounting kit for LP PYRA 02: bracket for attachment to a mast, including fasteners and leveling screws.

LP SP1: Shade disk for LP PYRA 02 LP SG: Drying cartridge with silicagel crystals, complete with O-ring. LP G: Pack of 5 cartridges of silicagel.

LP PYRA 03S: Second class pyranometer according to ISO 9060. Complete with spirit level, 4-pole flying connector and Report of Calibration. Typical sensitivity 10 $\mu\text{V}/(\text{W}/\text{m}^2)$. Connection cable has to be ordered separately.

LP PYRA 03AC: Second class pyranometer according to ISO 9060. Complete with spirit level, 4-pole flying connector and Report of Calibration. Typical sensitivity 10 $\mu\text{V}/(\text{W}/\text{m}^2)$. Connection cable has to be ordered separately. Current output 4...20mA. 4mA = 0 W/m^2 , 20mA = 2000 W/m^2 . Power supply: 10...30Vdc.

LP PYRA03AV: Second class pyranometer according to ISO 9060. Complete with spirit level, 4-pole flying connector and Report of Calibration. Typical sensitivity 10 $\mu\text{V}/(\text{W}/\text{m}^2)$.



LP PYRA 02



LP PYRA 12



LP PYRA 03



LP PYRA 03

By using albedometers, we can calculate the net radiation obtained through the difference between incident global radiation and reflected global radiation.

Delta Ohm albedometers operate within $0.3 \mu\text{m} \pm 3 \mu\text{m}$ spectral range. No power is needed, as the two pyranometers generate a voltage which is usually equal to:

$$10 \frac{\text{mV}}{\text{kW} \cdot \text{m}^2}$$

Every pyranometer composing the albedometer is calibrated separately as per Radiometric Reference) standard and is supplied with the relevant Report of Calibration. These are strong and reliable ground-based instruments, especially designed to operate in all weather conditions. They are suitable for installation in the field. Recommended use: climatological research, weather stations, road weather stations, agriculture stations, etc...

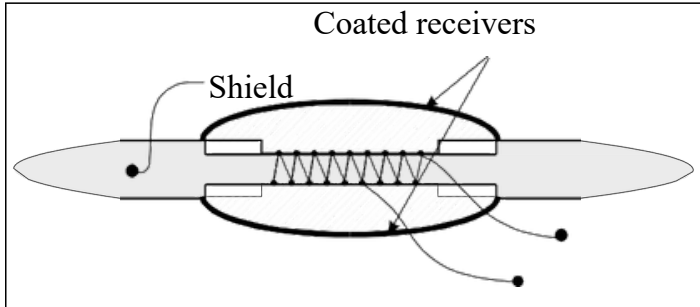


FIG. 1

Connection cable has to be ordered separately. Voltage output 0...1Vdc, 0...5Vdc, 0...10Vdc, 0V = W/m^2 , $1/5/10Vdc = 2000W/m^2$. Power supply: 10...30Vdc (15...30Vdc for models with output 0...10Vdc).

LP S2 Mounting kit: spirit level and stud for mounting LP PYRA 03 on a support. Part of the kit. Fasteners, shade disk LP SP2 are included.

LP SP2 Shadedisk.

LP PYRA 02 1st Class Pyranometer (LP PYRA 02) according to ISO 9060. Complete with shadedisk, shadow ring for diffuse radiation, drying cartridge for silica gel crystals, 2 silica gel cartridges and Report of Calibration. Typical sensitivity $10\mu V/(W/m^2)$. Connection cable has to be ordered separately.

LP PYRA 02 2nd Class Pyranometer (LP PYRA 02) according to ISO 9060. Complete with shadedisk, shadow ring for diffuse radiation, drying cartridge for silica gel crystals, 2 silica gel cartridges and Report of Calibration. Typical sensitivity $10\mu V/(W/m^2)$. Connection cable has to be ordered separately. Current output 4...20mA. $4mA = 0W/m^2$, $20mA = 2000W/m^2$. Power supply: 10...30Vdc.

LP PYRA 02 3rd Class Pyranometer (LP PYRA 02) according to ISO 9060. Complete with shadedisk, shadow ring for diffuse radiation, drying cartridge for silica gel crystals, 2 silica gel cartridges and Report of Calibration. Typical sensitivity $10\mu V/(W/m^2)$. Connection cable has to be ordered separately. Voltage output 0...1Vdc, 0...5Vdc, 0...10Vdc, 0V = W/m^2 , $1/5/10Vdc = 2000W/m^2$. Power supply: 10...30Vdc (15...30Vdc for models with output 0...10Vdc).

CP AA 2.5 Flying 7-pole connector, complete with UV-resistant cable L=5m. For the instruments LP PYRA 05- LP PYRA 06 - LP UVB 02.

CP AA 2.10 Flying 7-pole connector, complete with UV-resistant cable L=10m. For the instruments LP PYRA 05- LP PYRA 06 - LP UVB 02.

ALBEDOMETERS

Delta Ohm manufactures two different

models of albedometers: LPPYRA05

is constructed starting from two 1st class* pyranometers and the LPPYRA06 starting from two 2nd class* pyranometers (* according to ISO 9060 standards and to specifications published by the World Meteorological Organization). An albedometer basically consists of two pyranometers, mounted back-to-back, one looking upward (sky) and one downward (earth). The upward pyranometer measures the incident global radiation (direct radiation + diffuse radiation) striking the ground, while the downward one, measures the global radiation reflected from the ground. The outputs of the two pyranometers electric signals (the two pyranometers which made up of the LP PYRA 05 are coupled in order to have the same sensitivity) can be directly sent to a data

logger or to an automatic data processor. Albedo is the fraction of solar radiation that is reflected from the ground, with respect to incident radiation:

Technical Specification	LP PYRA 05*	LP PYRA 06*
Typical sensitivity	10 $V/(W/m^2)$	
Typical Impedance	33	45
Irradiance range	0 2000 W/m^2	
Viewing angle	2 sr	
Spectral range	305 nm 2800 nm W/m^2 (50%)	
Operating Temperature	-40 °C 80 °C	
Weight (pyranometer only)	1.35 Kg	1.1 Kg
ISO 9060 Specifications		
Response time (95 %)	< 28 sec	< 30sec
Zero off-set		
a) thermal radiation (200 W/m^2)	15 W/m^2	25 W/m^2
b) temperature change 5K/h	< 4 W/m^2	< 6 W/m^2
Non-stability	< 1.5 %	< 2.5 %
Non-linearity	< 1 %	< 2 %
For the instru- Temperature response	< 18 W/m^2	< 22 W/m^2
For the instru- Spectral selectivity	< 5 %	< 7 %
For the instru- Temperature response	< 4 %	< 8 %
For the instru- Non-stability	< 2 %	< 4 %

* All technical data, excluding weight, are referred to one of the two pyranometers composing the albedometer.

ORDERING CODES

LP PYRA 05 Pyranometer made up of two 1st Class pyranometers, according to ISO 9060. Complete with: top shade disk and bottom shade disc, drying cartridge with silica gel crystals, 2 silica gel cartridges, spirit level, rod for attachment to a mast, and Report of Calibration. Typical sensitivity $10\mu V/(W/m^2)$. The connection cable has to be ordered separately.

LP SP1 Top shadedisk for albedometer LP PYRA 05 (upward pyranometer).

LP SP2 Bottom shadedisk for albedometer LP PYRA 05 (downward pyranometer).

LP SG Drying cartridge with silica gel crystals, complete with O-ring.

LP GP Pack of 5 cartridges of silica gel.

LP PYRA 06 Pyranometer made up of two 2nd Class pyranometers, according to ISO 9060. Complete with: top shade disk and bottom shade disc, spirit level, rod for attachment to a mast, connecting cable 5m and Report of Calibration. Typical sensitivity $10\mu V/(W/m^2)$. The connection cable has to be ordered separately.

LP NET 07 net radiometer is designed to measure the Net radiation passing through a surface, across the spectral range between the near ultraviolet and the far infrared. The Net radiation is defined as the difference between the radiation that strikes the top surface, and the radiation that strikes the bottom surface of the net radiometer. The upward facing surface measures direct and diffuse solar radiation plus long-wave irradiance from the sky (clouds), while the downward facing surface measures the reflected solar radiation (Albedo) plus the terrestrial long-wave irradiance. LP NET 07 is designed for continuous outdoor use, and is suitable for all weather conditions. Although net radiometers are generally used in meteorology to measure radiation balance, the LP NET 07 can also be used to measure indoor radiant temperature (ISO 17267).

Working Principle

LP NET 07 is based on a thermopile sensor with one set of hot junctions in contact with the upper surface and a set of cold junctions in contact with the lower surface. The difference in temperature between the two receivers is proportional to the net radiation. Through the Seebeck effect, the difference in temperature between hot and cold junctions is translated into a Potential Difference. A hemispheric Teflon®-coated dome protects the two receivers, and their particular shape allows an optimal cosine corrected response. The Teflon® coating allows both a continuous outdoor use and a constant spectral response, ranging from the near ultraviolet (200nm) to the far infrared (100 μ m) spectral regions.

Installation and mounting

to allow cleaning the two receiving surfaces regularly, LP NET 07 should be mounted in easily reachable places. The surfaces can be washed with plain water or pure ETHIL alcohol. Mount the instrument so that no shadow will be cast on it at any time of day and of the year, from obstructions such as buildings, trees, or any other obstacle. In the NORTHERN hemisphere, the net radiometer is normally oriented towards the SOUTH, while it should be oriented NORTHWARD, in the SOUTHERN hemisphere. The instrument should be mounted at least 1.5 meters above the ground surface. The flux on the downward facing sensor is representative for a circular area having a radius of 10 times the height. While mounting the net radiometer, avoid touching both receiving surfaces.



LP PYRA 05

Electrical Connections and requirements for electronic readout devices:

LP NET 07 does not require any power supply.

It is available with a 5 m. output cable

It is supplied with a PTFE, UV resistant, braided shield and 2-wire cable. The color code is as follows:

black connected to the housing red (+) positive pole of the signal generated by the detector blue (-) negative pole of the signal generated by the detector Fig.1 shows the wiring diagram.

It has to be connected to a millivoltmeter or to a data acquisition

system with input impedance higher than

4000k Ω . Normally, the output signal from the net radiometer does not exceed

20 mV. In order to grant the best performances in measurements, the instrument

be of TV.

0.98

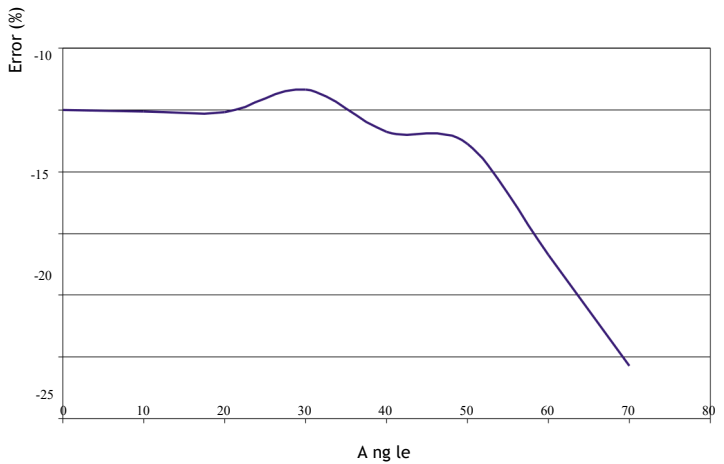
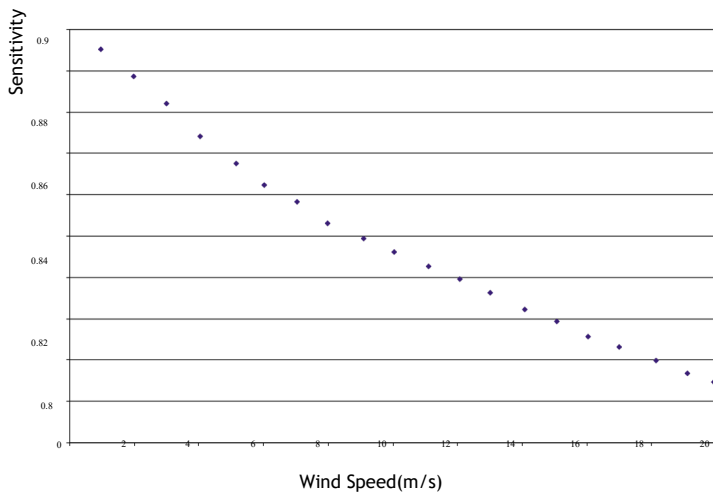
5

0.96

0

0.94

-5





LP PYRA 06

Ma int en anc e:

In order to grant the instrument's best performance, the two receiving surfaces must be always kept clean; the cleaner you keep the instrument, the better the accuracy in measurements will be. Washing can be made with water and standard lens paper; in case this wouldn't work, use pure ETHIL alcohol. After using alcohol, the domes must be washed with water only. We strongly recommend checking LPNET 07 calibration every year. Calibration can be checked directly in the field, by mounting another net radiometer (sample) alongside, and comparing results. Calibration in the field is less precise than the one carried out in

Calibration and measurements:

advantage of not having to remove the probe from its holder.

Net radiometer sensitivity, indicated as S (or calibration factor), allows determining the net radi-

ant flux passing through a surface. S factor is measured in $V/(W/m^2)$.

Once the potential difference (DDP) has been measured at sensors ends, E flux is obtained through the

following formula:

$$E = DDP/S$$

where;

E: indicates the radiant flux expressed in W/m^2 ,

DDP: indicates the potential difference expressed in V and measured by the multi-



LP PYRA 06

S: indicates the calibration factor expressed in $V/(W/m^2)$ and shown on the

radiometer label (calibration factor is also mentioned in the calibration re-

N.B. If the difference of potential (DDP) is positive, the radiation on the upper surface is higher than the radiation on the lower surface (it happens normally in daily hours); if DDP is negative, the radiation on the lower surface is higher than the one on the

upper surface (it happens in night hours). Each net radiometer is factory calibrated and has its own calibration factor. Calibration is performed inside Delta Ohm Metrological Laboratory, and is carried out by comparison with a reference net radiometer, using a solar simulator as a light source. Calibration is performed using a parallel light beam.

Sensitivity to wind speed: At the same radiant flux density, by increasing the wind speed, then the net radiometer output signal decreases (by increasing the wind speed, sensitivity will decrease).

Measurements taken inside the wind tunnel, have shown that S sensitivity, relative speed for LP NET 07, can be corrected by using the following functions:

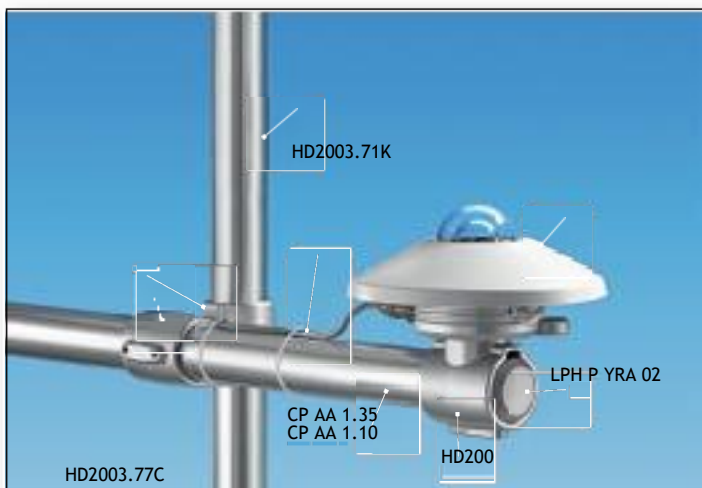
$$S = S(1 - 0.011 \cdot V) \quad V < 10 \text{ m/s}$$

$$S = S(0.95 - 0.006 \cdot V) \quad 10 \text{ m/s} < V < 20 \text{ m/s}$$

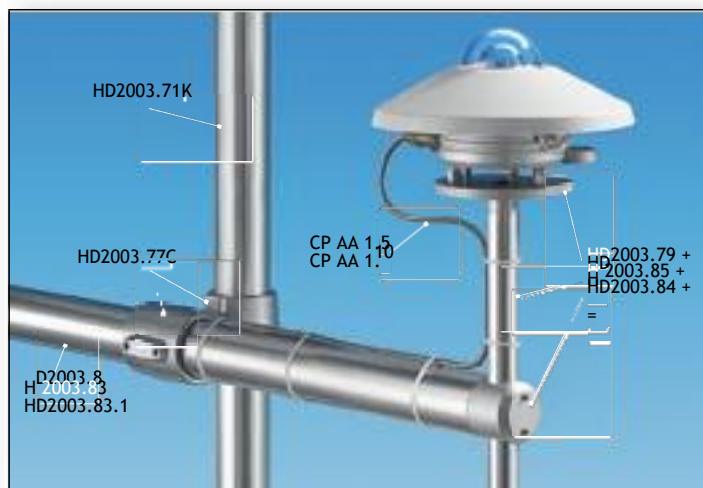
Where: S sensitivity at zero wind speed

V = wind speed in m/s

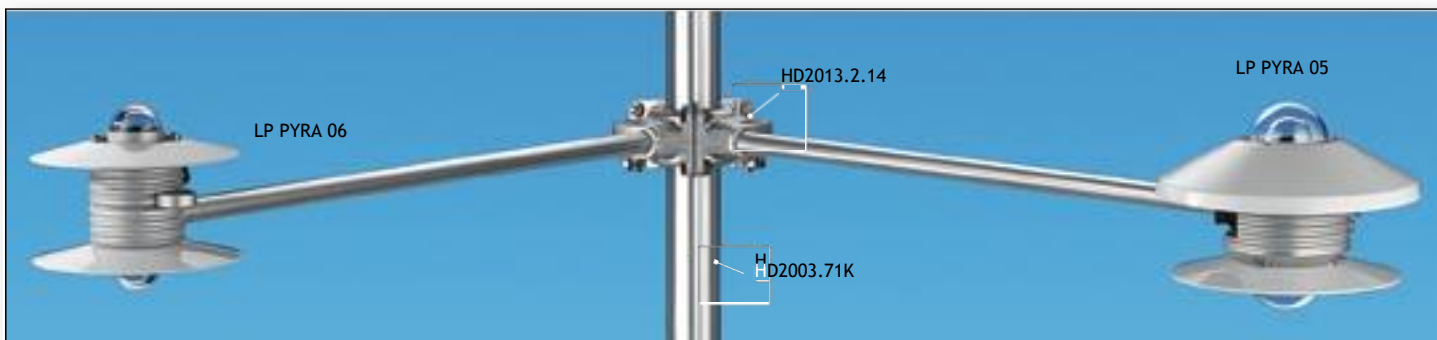
Fig. 2 shows the calibration factor related with wind speed.



LP PYRA 02 + HD2003.77C + HD2003.77



LP PYRA 02 + HD2003.85K + HD2003.77C



HD2013.2.14 + LPPYRA05 + LPPYRA06

Once we know both the net radiation - calculated through the sensitivity at zero wind speed ($F_{net,0}$) - and the wind speed in (V) in m/s, the correct data is obtained by using the following formula:

$$F_{net} = F_{net,0} / (1 - 0.011 \cdot V) \quad V \leq 10 \text{ m/s}$$

$$F_{net} = F_{net,0} / (0.95 - 0.006 \cdot V) \quad 10 \text{ m/s} < V < 20 \text{ m/s}$$

Cosine response/ Directional error :

The radiation falling on a surface should be measured with a sensor, whose response related to the light incidence angle, has to be a Lambertian Response. A receiver is known as Lambertian when its sensibility (S), related to the incidence angle between the light and the detector surface, has the following behavior:

$S = S_0 \cos(\theta)$
Where: S_0 is the sensitivity when light strikes perpendicular to the surface, θ is the angle between the incident light beam and the line which is normal to the surface.

Fig. 3 shows the typical behavior of the error related to the angle of incidence.

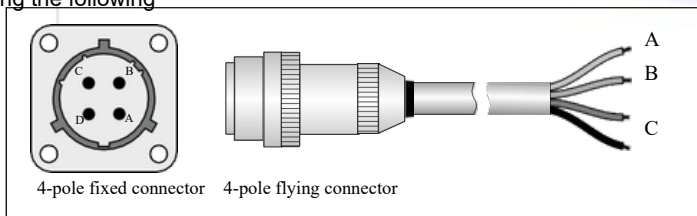
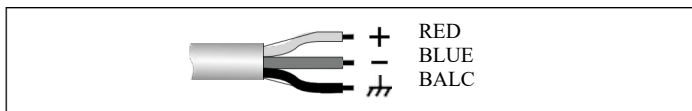
Technical specifications:

Typical sensitivity: 10 V/(W/m²)
Impedance: 200 Ω 400 Ω
Measuring range: 2000 W/m²
Spectral range: 0.2 μ m 100 μ m
Operating temperature: -40 °C 80 °C
Weight: 0.35 Kg
Response time(95%): <75 sec

ORDERING CODE

LP NET 07 Net radiometer. Connecting cable: 5 m standard length. Different upon request.

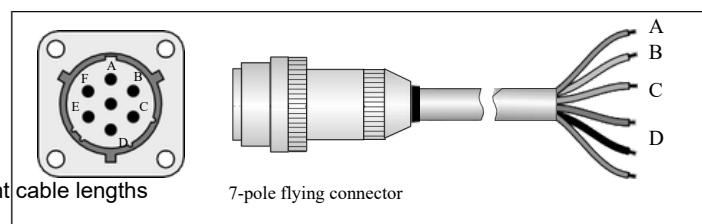
CONNECTION DIAGRAM LP NET 07



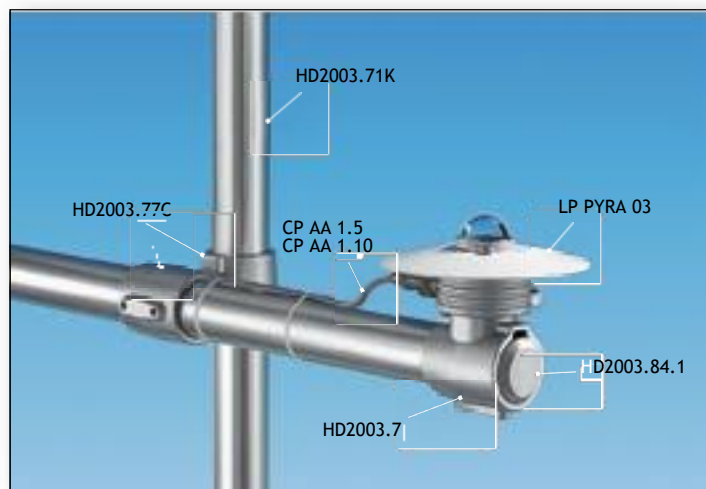
CONNECTION DIAGRAM LP PYRA 02 - LP PYRA 03

Connector	Function	Colour
A	Shield (⊕)	Black
B	Positiv (⊕)	Red
C	Negativ (⊖)	Blue
D	Housing (⊕)	White

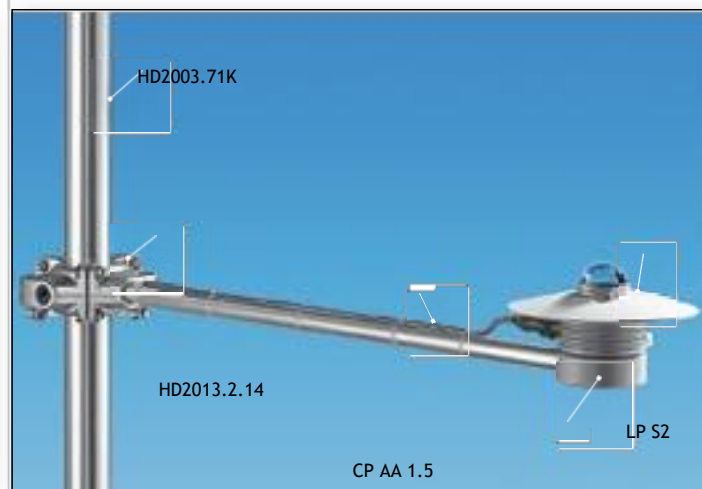
CONNECTION DIAGRAM LP PYRA 05 - LP PYRA 06



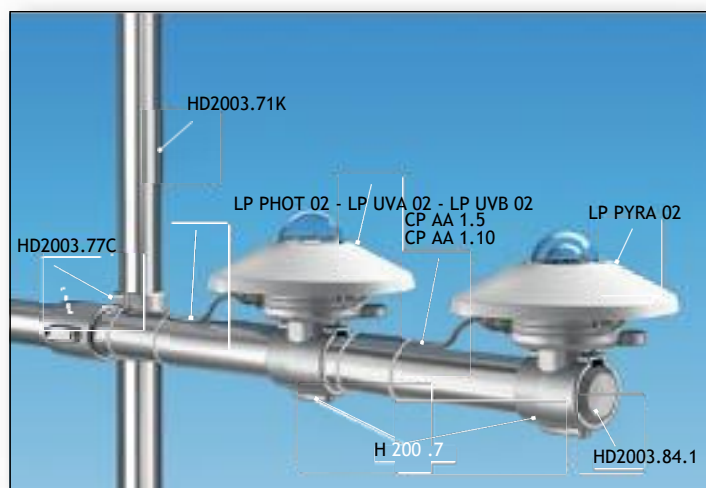
Connector	Function	Colour
A	V out (⊖) lower generator	Green
B	Housing (⊕)	White
C	V out (⊖) upper generator	Blue
D	V out (⊕)	Red
E	Shield (⊕) generator	Black
F	V out (⊖) lower generator	



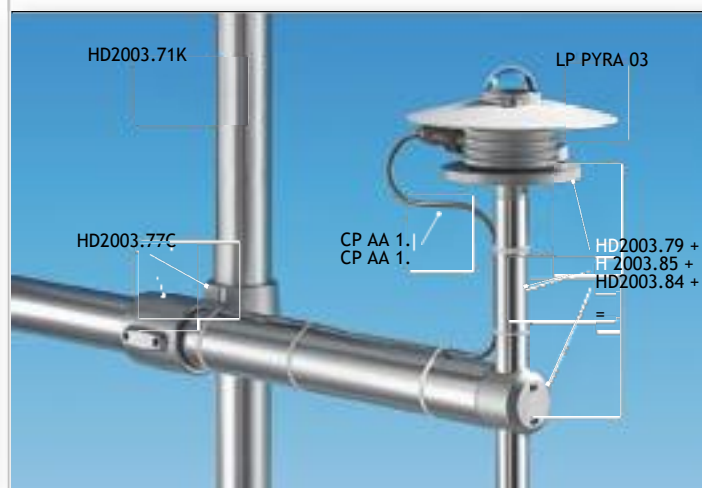
LP PYRA 03 + HD2003.77 + HD2003.77C



HD2013.2.14 + LP PYRA 03 + LP SP2 + LP S2



LP PYRA 02 + LP PHOT 02 + HD2003.77C + HD2003.77



LP PYRA 03 + HD2003.77C + HD2003.85K



HD 32MT.1

METEO DATA LOGGER

The **HD32MT.1** is a data logger capable of capturing and logging the values of a series of sensors connected to its inputs. The data logger is completely programmable by the user and is therefore very versatile. The supplied **HD32MTLogger** application software, supplied with the instrument, allows simple and intuitive programming by using graphic interfaces, without the need of a programming language, thus minimizing the time needed to make the system operational. The values recorded by the instrument can be transferred to a PC by using the **HD32MTLogger** software. The data logger can be configured to memorize the instant value, the minimum value, the maximum value, the average value and the standard deviation of the measurements. For measurements that require the counting of pulses, the total counted pulses can be stored. Different acquisition/recording intervals can be programmed per each input. The data logger has a "flash" internal memory arranged in circular mode: when the memory is full the new data overwrite the older ones. The number of storable measurements depends on the number of sensors employed, on the type of measurement to be stored and on the fact that the sensors are acquired all at the same time or at different instants. For example, with 8 sensors captured at the same time, 100,000 records can be stored, each one composed of 8 instantaneous measurements. Data can also be directly recorded to a removable **SD**-type memory card with a capacity of **4 GB**. The use of a memory card allows extending the memory capacity of the instrument, allowing not to lose the data when the memory is full. Three data logger versions are available, according to the possibility of communication with the PC:

- Basic version:** the communication with the PC for data transfer or programming is done via cable connection.
- Version with Radio Modem option:** in addition to the direct cable connection, the data can be transferred by **VHF** radio using optional external radio modems.
- TCP/IP option:** data transfer and programming can be done via TCP/IP via optional external **Ethernet** Serial Server.

All versions can be equipped with an optional **GSM** module to be connected externally to the instrument, through which you can send alarm **SMS** to mobile phones and data by **e-mail** or to an **FTP** address. The instrument can be connected to the most common sensors used in environmental fields, with both analog and digital output. The typical sensors that can be connected to the instrument are:

- t sensors with analog voltage output, both unipolar and bipolar;
- t sensors with analog current output (0...20mA, 4...20mA);
- t type K, J, T, N, R, S, B, E thermocouple temperature sensors; with automatic compensation by using a temperature sensor internal to the data logger;
- t Pt100/Pt1000 and NTC temperature sensors;
- t Sensors with digital output (TTL levels), or analog (periodical), for counting frequency and period (e.g. sensors for soil water content)
- t Resistors and potentiometers to measure resistance and voltage relationship (anemometer)
- t magnetic sensors with reed contact (e.g. open door)
- t solar radiation sensors (pyranometers, albedometers, net-radiometers, luxmeter, pyrgeometers, duration of irradiation)
- t sensors with open/close contact output (e.g. rain gauges, cup anemometers)
- t sensors with RS485 output and MODBUS-RTU protocol; t HD2003 and HD52.3D series Delta Ohm anemometers. Calculated quantities:
- t Dew Point, Heat Index, Wind Chill, Saturation Vapour Pressure
- t Custom mathematical formulas applied to the measured quantities, with arithmetic operators, logical, mathematical and trigonometric functions, control functions.

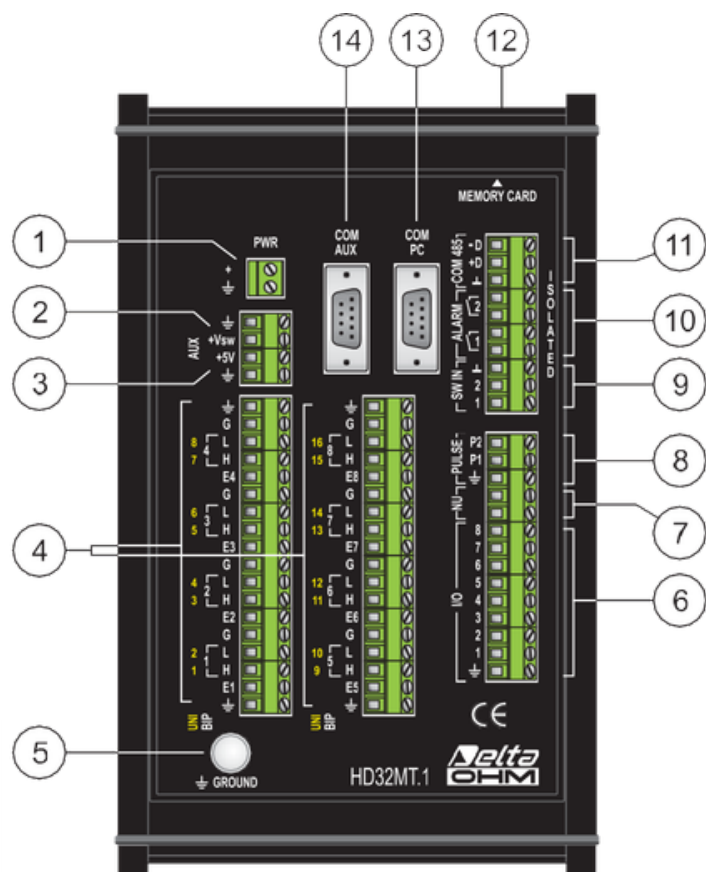
Reference Evapotranspiration **ET₀** with FAO Penman-Monteith method. There are potential-free contact alarm outputs and digital alarm outputs. The outputs are activated if the values measured by sensors connected to data loggers exceed thresholds. The data logger is able to store and report error conditions caused by the connected sensors, hardware or data logger during acquisition and storage. The outputs can also be programmed to detect such errors. The instrument is particularly suitable for use in weather stations, for the data transmission of climatic variables. Delta Ohm manufactures a wide range of measuring environmental variables that can be connected to the data logger, for measuring temperature, humidity, barometric pressure, wind speed, solar radiation, amount of rainfall, etc.

The data logger can be supplied with a program of measures and stores parameters to specifications of the customer, in order to be operational immediately after installation. The program is installed directly from Delta Ohm to meet the requirements when ordering. Some features of the data logger are **password** protected (Clock Setup, Send Program, GSM Setup). If needed the password is entered before the time of connection.

Power supply from 12 to 30 Vdc. The system can also be powered by a solar battery of adequate capacity, allowing for installation in remote sites without power supply. An internal lithium battery keeps the date and time of the instrument in the absence of power. The data logger can provide power to all sensors connected at its terminals. It has a low power consumption. In this mode, the datalogger interrupts the power supply and suspends acquisitions/loggings, until the supply voltage returns at least to the threshold.

Technical characteristics

Sizes / Weight	222x140x63 mm / About 1 kg
Case material	Coated aluminium
Operating conditions	-20 ... 50 °C, 0 ... 85% RH no condensation
Storage temperature / Power Supply	-25 ... 65 °C / 12 ... 30 Vdc
Consumption	40 mA @ 12 Vdc
Programmable interval / Data acquisition interval	Programmable from 1 to 60 seconds / Programmable from 1 to 24 hours
Memory	4 MB internal memory SD memory card reader up to 4 GB
Number of samples that can be stored	The storage of a record consisting of N values requires N bytes of memory plus 8 bytes for the date and time.
Analog inputs	16 channels, each channel used as an single-wire (sinusoidal) input or alternatively two adjacent channels used as a single-wire (sinusoidal) input. Measurement ranges: ±25 mV, ±100 mV, ±1000 mV, ±2500 mV Resolution: 16 bit, Accuracy: 0.01% f.s. Input impedance: 100 Mohm
Digital input/output ports	8 ports, each configurable as an input for connecting a sensor or as an output for sensor enabling. TTL logic levels (0 V _{in} <0.8 V, 1 V _{in} >3 V) Max. input voltage: 5.5 V
Inputs for high frequency pulse counting	2 inputs Frequency of pulses 100 kHz max. TTL logic levels (0 V _{in} <0.8 V, 1 V _{in} >3 V) Minimum pulse duration 10 µs
Inputs for number of potential-free contact opening/closing counting	2 insulated inputs Switch frequency 50 Hz max. Minimum opening or closing time 10 ms
RS485 connection	RS485 port (up to 8 sensors can be connected) for Delta Ohm series HD2003 and HD52.3D and sensors with MODBUS protocol.
RS232 connection	2 RS232 ports, one for connection to PC or to optional Modem or to optional Ethernet module and one for connection to optional GSM module. Sub-D 9-pole male connectors
Alarm outputs	2 insulated voltage-free contact outputs Contact: max. 1 A @ 30 Vdc resistive load You can configure the single digital I/O ports as alarm outputs
Auxiliary supply outputs	+5V regulated, max. 500 mA +Vsw (switched): with same value of the power input, only during acquisition of measurements



1. Power input **PWR** 12...30 Vdc.
2. Switched power supply output **+Vsw**. With the same value of the power input, but **active only during acquisition of measurements**.
3. Regulated power supply output **+5V**.
4. Inputs for analogue signals. Divided into 8 channels corresponding to 8 differential inputs (**BIP** channels) or 16 single-ended inputs (**UNI** channels). The differential input number is indicated in yellow to the left of the terminals.

Each channel is composed of four terminals:

Terminal E: Voltage. Used only in certain measurement configurations.

Terminal H: If the channel is used as a differential input, it corresponds to the input signal. If the channel is used for single-ended inputs, it corresponds to the "+" connection of the input signal of the single-ended channel with the number indicated in yellow to the left of the terminal.

Terminal L: If the channel is used as a differential input, it corresponds to the connection of the input signal. If the channel is used for single-ended inputs, it corresponds to the "+" connection of the input signal of the single-ended channel with the number indicated in yellow to the left of the terminal.

Terminal G: Analog ground. It has the same potential of the power supply ground. If the channel is used for single-ended inputs, it corresponds to the "-" connection of the input signal.

5. Terminal for ground protection.
6. Digital input/output channels. 8 channels are available, each one usable as input or output.
7. of sensors with ON/OFF digital output, or as alarm outputs.
8. Not used.
- PULSE** inputs for high frequency pulse counting. Two inputs are available, marked with P1 and P2.

9. Insulated inputs **SW IN** for number of voltage-free contacts opening/closing count. Two inputs are available, marked with 1 and 2.

10. Voltage-free contact alarm outputs. Two outputs are available, marked with 1 and 2.
11. RS485 serial port for the connection of anemometers series HD2003 and HD2004 with MODBUS-RTU protocol.

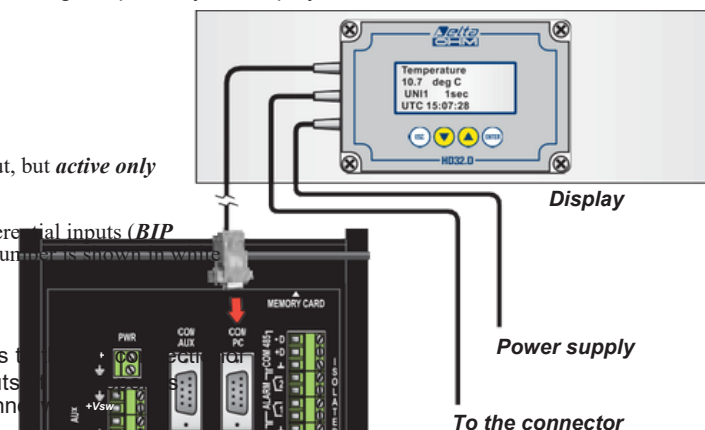
The connection to the RS485 port of sensors other than those indicated may not work properly due to a different communication protocol.

12. Memory card reader.

13. RS232 serial port **COM PC**, for direct connection to the PC or for connection of the optional Radio Modem (Radio Modem version) or of the optional Ethernet module.
14. RS232 serial port for connection of the optional GSM module.



Display It is possible to connect an **optional** LCD display to the data logger, to check the values acquired by the data logger without having to connect your PC. The display is available in the basic version (**HD32.D**), or with the GPS option (**HD32.D.GPS**) to automatically update the clock of the data logger. The displays are designed for being fixed to the outdoor housings HD32.35, HD32.35FP, HD32.36 and HD32.36FP. The display is backlit and connects to the data logger **COM PC** RS232 serial port. The supply voltage required by the display is 8...30 Vdc.

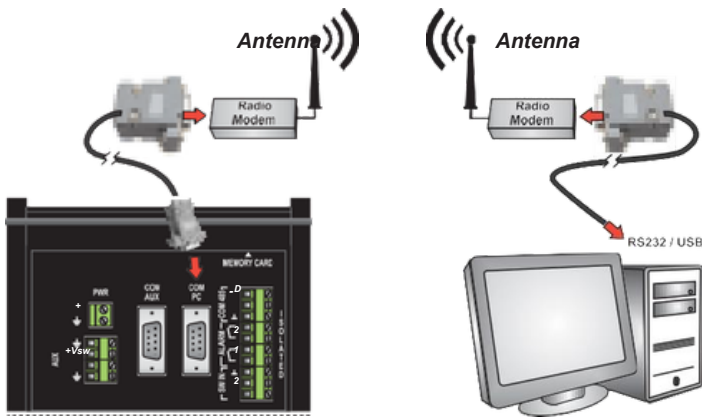


Connection of the display

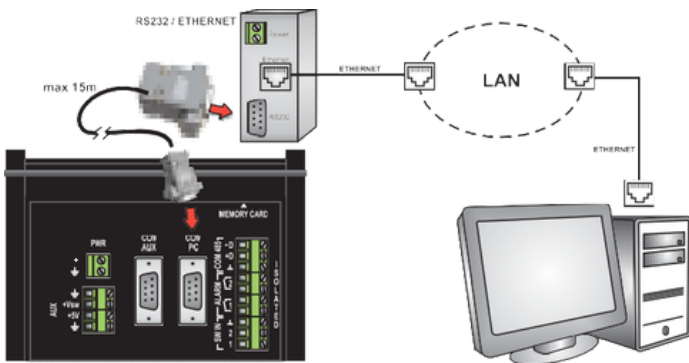
For each measurement is displayed: the name of the parameter measured, the measure, the unit of measurement, the data logger input the sensor is connected to, the acquisition interval and the current UTC time in the data logger. The various measures are automatically scrolled on the display, or alternately manually.

Data communication

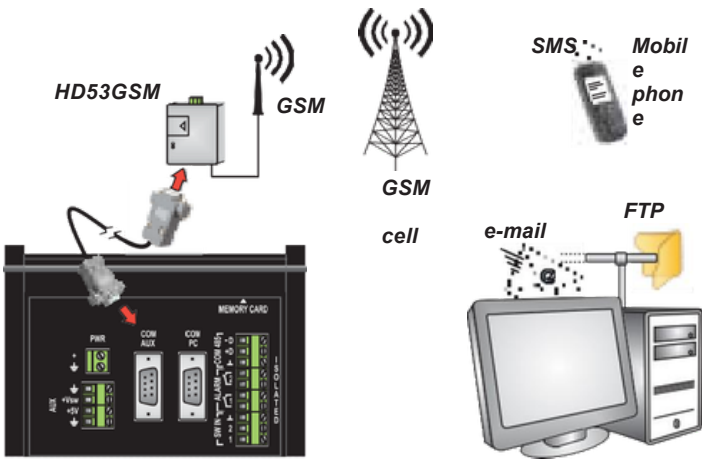
There are different ways to communicate the stored data to the PC: direct cable communication; communication via VHF radio modem (radio modem version only); communication via a Local Area Network (LAN) with TCP/IP protocol (an optional Ethernet module is required); communication via the GSM network (only if the optional GSM module is present). The communications via VHF Radio Modem and GSM module are especially useful for installations in remote unattended areas. Via the GSM connection, the data logger is capable of sending alarm messages via **SMS** to mobile phones, and stored data via Internet to **e-mail** and **FTP** addresses. In the GSM module must be inserted a **SIM** card enabled for data transmission, to be obtained from a telephone operator that has a suitable GSM network coverage in the place where the system will be installed.



Communication via VHF Radio Modem



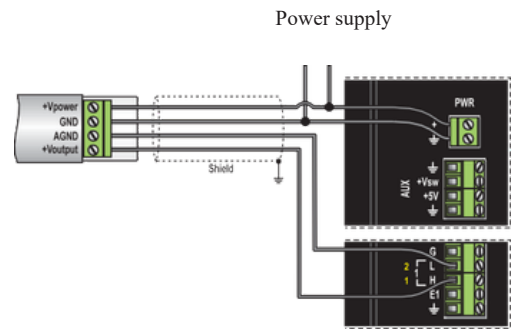
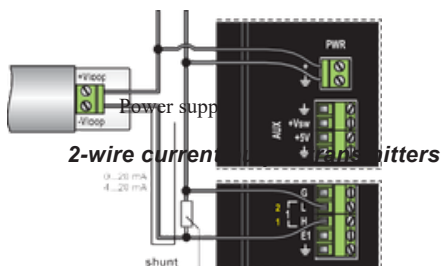
Communication via local area network with TCP/IP protocol



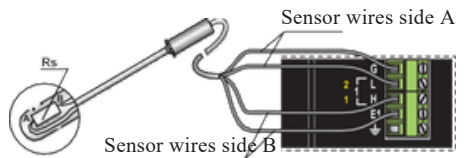
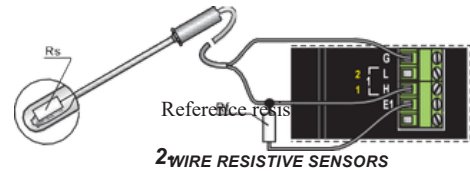
Connection of sensors
Communication via GSM network

The data logger is designed for the connection of a wide variety of sensors, with both analog and digital output, used in many application fields. Only to show a few examples, the connections of some devices of widespread use are illustrated.

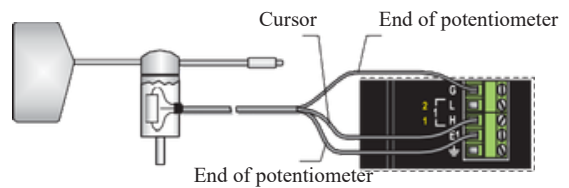
Rain gauge



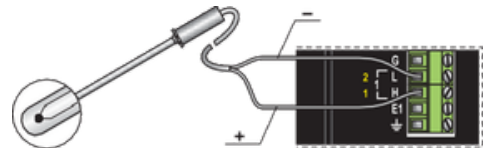
Voltage outputs



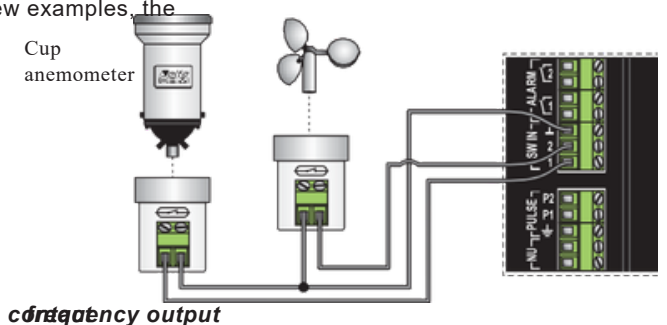
4-wire resistive sensors (Pt100/Pt1000)



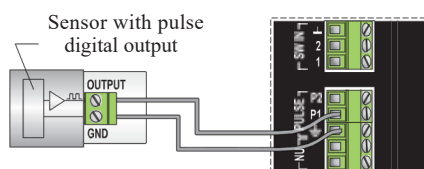
3-wire potentiometric sensors



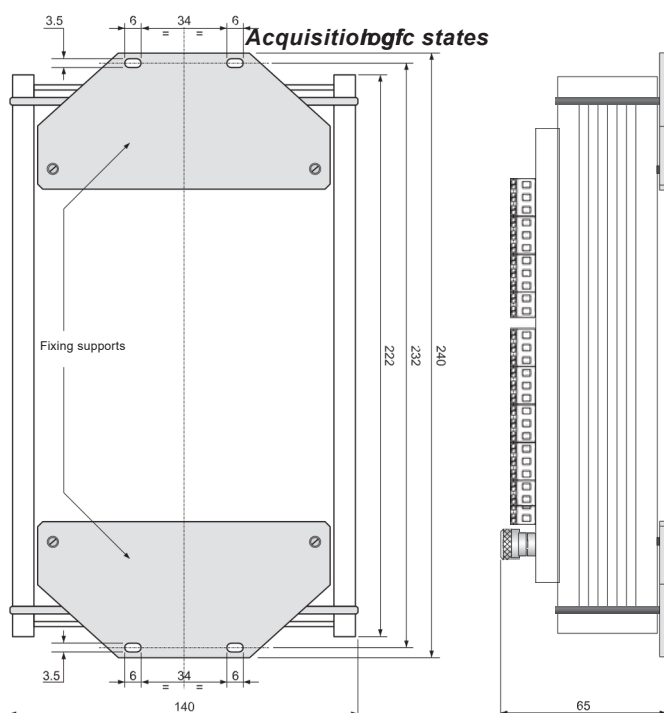
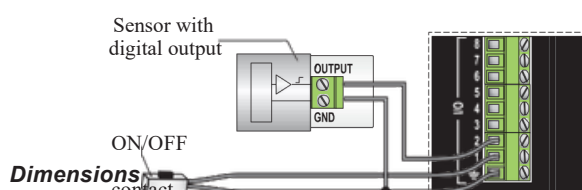
Thermocouples / sensors with mV output



Sensors with frequency output



Sensors with digital frequency output



HD32MT.1: Data logger supplied with: **HD32MTLogger** software for programming, data downloading, monitoring and data processing on a PC, operating manual.
The probes, the cables, the GSM module and the display must be ordered separately.
The radio modem option should be requested at time of ordering, the radio modem modules with the antennas must be ordered separately.

HD32MTLogger: Further copy of CD-ROM with software HD32MTLogger for programming, data download, monitor and PC data management. For Windows® operating systems.
9CPRS232: Null modem cable with 9-pin Sub-D female connector on both sides for connection to the PC RS232C. Cable length 2 m.
C.205: Connection cable with USB connector on PC side and sub-D 9-pole female connector on instrument side. The cable has a built-in RS232C/USB converter and connects the data

HD2004.30: 80W monocrystalline solar panel. Dimensions 1200 x 530 x 34 mm.