



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE ELECTROTECNIA Y COMPUTACION
INGENIERÍA ELECTRICA**

TRABAJO MONOGRAFICO

**”ANALISIS ESTADISTICO DE LA RADIACION SOLAR MENSUAL
DEL PERIODO 2013 -2015 EN LA CIUDAD DE MANAGUA Y
MODELO DE PROYECCION PARA CALCULO DE UNA
INSTALACION SOLAR FOTOVOLTAICA AUTONOMO A NIVEL
DOMICILIAR”.**

PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO ELECTRICO

ELABORADO POR:

Br. Walkiria Del Socorro Rivas Baltodano.

TUTOR:

Ing. Carlos Abraham Pérez Méndez.

Managua, Nicaragua, Agosto 2019.

DEDICATORIA

A mis padres Armando y Evelyn quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

A mi hermana Evelyn por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias. A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

A todos los llevo en mi corazón.

AGRADECIMIENTOS

A Dios.

Le doy gracias por el derecho de pensar, razonar y proyectarme, por permitirme disfrutar cada momento con las personas que amo. Sobre todo por darme la oportunidad de concluir con éxito este objetivo anhelado de ser una profesional en la carrera de Ingeniería Eléctrica.

A mi familia.

Padre: te doy infinitas gracias por tus innumerables noches de desvelo, por esos desayunos perfectos, por siempre demostrarme tu amor, por tu apoyo y por todo el esfuerzo que hiciste para que yo tuviera una educación de calidad. Te debo todo lo que soy.

Madres: te doy infinitas gracias por tu constancia, por tus palabras de motivación y principalmente por ser ejemplo vivo de una mujer exitosa, por los valores que me inculcaste y por demostrarme que con esfuerzo diario puedo realizar mis metas.

Hermana: te doy infinitas gracias por la ayuda brindada en cada paso de mi vida y por ser la mejor protectora del mundo, por tu ejemplo de profesional integra y emprendedora empedernida. Gracias Rivas Baltodano.

A la Universidad UNI-RUSB

A la Facultad de Electrotecnia y Computación (FEC), de la Universidad Nacional de Ingeniería, Recinto Simón Bolívar (UNI-RUSB), que a través de su planta docente nos transmitieron sus valiosos conocimientos.

Al tutor

Al docente, el ingeniero Carlos Abraham Pérez Méndez, por su apoyo incondicional y desinteresado, por compartir su conocimiento y experiencia académica, dirigida con sabiduría y profesionalismo en el desarrollo de este trabajo documentado.

WALKIRIA DEL SOCORRO RIVAS BALTODANO

RESUMEN

En el presente documento se realiza un análisis de los datos de registro a nivel internacional de la radiación solar en la ciudad de Managua, Nicaragua, del periodo 2019-2015, con el objetivo de establecer un modelo estadístico de correlación para estimar la radiación solar global a partir de estos datos a ser proyectados para años posteriores, y presentar el cálculo de una instalación solar fotovoltaica autónoma a nivel domiciliario.

Para realizar estos análisis se trabajó sobre una base de datos compuesta de datos registrados en un período de tres años, a partir del año 2013 al año 2015, obtenidos de una base internacional de registro de radiación solar a nivel mundial.

A partir del análisis de estos datos se presentan en forma de resumen estadístico, los valores de radiación para cada mes del año y para cada año, además de obtener un valor de 6.0 horas para las horas solares pico en la ciudad y encontrar una ecuación que prediga con base en los datos obtenidos, la radiación solar en Managua. Asimismo, con el presente análisis se pretende cuantificar desde un punto de vista descriptivo, el recurso solar presente en la ciudad de Managua.

INDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCION	1
OBJETIVO GENERAL	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
JUSTIFICACION	4
CAPITULO 1. MARCO TEORICO O CONCEPTUAL	5
1.1 RADIACION SOLAR	5
1.2 HORA SOLAR PICO (HPS)	6
1.3 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA	7
1.3.1 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.	7
1.3.2 APLICACIONES DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADOS O AUTÓNOMOS. SISTEMA FOTOVOLTAICO DE CONEXIÓN A RED.	8
1.4 GENERADOR FOTOVOLTAICO.	8
CAPITULO 2. LA REGRESION LINEAL SIMPLE (RLS)	10
2.1 MÉTODO DE REGRESIÓN LINEAL.	10
CAPITULO 3. MAPA DE RADIACION SOLAR DE NICARAGUA	13
CAPITULO 4. FUENTE DE OBTENCION DE DATOS PARA EL ANALISIS Y PROPUESTA DE MODELO	16
CAPITULO 5. ANALISIS Y PRESENTACION DE RESULTADOS	17
5.1 BASES DE DATOS Y ANÁLISIS DEL PERÍODO 2013-2015.	17
CAPITULO 6. EL MODELO DE PROYECCION LINEAL DE REGRESION DE RADIACION SOLAR Y SU APLICACION.	41
6.1 APLICACIÓN DEL HSP. CÁLCULOS DEL GENERADOR FOTOVOLTAICO.	42
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	45
BIBLIOGRAFIA	47
ANEXOS	48

INDICE DE TABLAS

TABLA 1 DATOS RADIACION SOLAR	14
TABLA 2 ASIGNACION DE DIGITOS A LOS MESES.....	19
TABLA 3 ASIGNACION DE DIGITOS A LOS MESES.....	24
TABLA 4 ASIGNACION DE DIGITOS A LOS MESES.....	30
TABLA 5 DE PROYECCION DE RADIACION SOLAR	41
TABLA 6 CONSUMO ESTIMADO DE UNA VIVIENDA.....	42

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 CORRELACION	11
FIGURA 2 MAPA RADIACION SOLAR.....	15
FIGURA 3 PANTALLA DEL SITIO DE BASE DE DATOS	16
FIGURA 4 PANTALLA DE PVSYST	17
FIGURA 5 RADIACION SOLAR AÑO 2013	22
FIGURA 6 GRAFICO DE DISPERSION DE DATOS	22
FIGURA 7 CURVA DE DATOS Y SU ECUACION	23
FIGURA 8 RADIACION SOLAR 2014	28
FIGURA 9 GRAFICO DE DISPERSION DE DATOS	28
FIGURA 10 CURVA DE DATOS Y SU ECUACION	29
FIGURA 11 RADIACION SOLAR AÑO 2015	34
FIGURA 12 GRAFICO DE DISPERSION DE DATOS	34
FIGURA 13 CURVA DE DATOS Y ECUACION	35
FIGURA 14 GRAFICO DE DISPERSION DE DATOS	40
FIGURA 15 CURVA DE DATOS Y SU ECUACION	40

INTRODUCCION

Los datos de radiación solar son de gran importancia por su aplicación en diversos campos; principalmente para el análisis y diseño de sistemas solares fotovoltaicos, ya sean a pequeña o mediana escala de consumo energético.

Adicionalmente los datos de la radiación solar se emplean en la planificación de las operaciones en plantas de energía renovables, meteorología, ciencias agrícolas, salud, implementación de nuevas tecnologías y también para algunos análisis de impacto ambiental.

Otro de los aspectos en lo que resulta importante la medición de la radiación solar, radica en el hecho que muchas de las actividades humanas que se realizan al aire libre, se asocian a enfermedades por exposición a los rayos ultravioleta de onda larga (UVA) y rayos ultravioleta de onda corta (UVB), soportados por el incremento de la radiación presentada desde los años setenta.

La radiación solar global se establece como una variable meteorológica necesaria para el entendimiento de los procesos bioquímicos del ambiente; su medición es compleja y requiere un alto costo de instalación, operación y mantenimiento. Su estimación se puede realizar mediante fórmulas empíricas basadas fundamentalmente en su geoposicionamiento, no obstante la precisión de los resultados obtenidos no es adecuada para el entendimiento de los procesos evaluados.

En la actualidad, existen muchos equipos destinados a medir y cuantificar la radiación solar global, dentro de los más importantes se encuentran los solarímetros o actinógrafos (heliógrafo), pirheliómetro, pirheliómetro de incidencia normal, fotómetro solar, piranómetro, piranómetro espectral, pirgeómetro y las estaciones meteorológicas.

El objetivo de la presente investigación es la de establecer luego de procesar y analizar los datos adquiridos de fuentes de información internacional, cuyos registros dan los parámetros de radiación solar y hora solar pico, como registros mensuales y anuales, establecer un modelo estadístico de correlación para estimar la radiación solar global a

partir de estos datos a ser proyectados para años posteriores, y presentar el cálculo de una instalación solar fotovoltaica autónoma a nivel domiciliario .

OBJETIVO GENERAL

Correlacionar estadísticamente mediante el análisis y procesamiento de los datos de horas de radiación solar y radiación solar en el municipio de Managua, en el período 2013-2015, utilizando una regresión lineal simple de datos, para establecer un modelo de proyección para el cálculo de una instalación solar fotovoltaica autónoma a nivel domiciliario.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Recopilar y Estudiar los datos estadísticos de horas de radiación solar y radiación solar en el municipio de Managua, en el período 2013-2015.
2. Analizar y procesar estadísticamente los datos de horas de radiación solar y radiación solar en el municipio de Managua, en el período 2013-2015 y establecer mediante una regresión lineal simple un modelo de proyección para el cálculo de una instalación solar fotovoltaica autónoma a nivel domiciliario.
3. Aplicar el modelo de proyección establecido de la correlación de la regresión lineal simple: $f(HSP, H)$ para el cálculo de una instalación solar fotovoltaica autónoma a nivel domiciliario.

JUSTIFICACION

El interés por este tema monográfico radica en que, en los últimos años a partir del año 2012, ha ido en aumento el crecimiento del uso de las fuentes renovables de energía con sistemas solares, que utilizan parámetros de radiación solar de fuentes no accesible a nivel de Nicaragua, y que no se dispone de un modelo de proyección que describa los datos con mayor precisión, basados en registros de datos de años anteriores, por cuanto su utilización a nivel de cálculo será de mucha utilidad a nivel básico de diseño de instalaciones solares fotovoltaicas.

La importancia de este estudio a realizarse estará basada, en un análisis estadístico de datos, mediante una regresión lineal simple, que permitirá predecir datos posteriores de mucha importancia a nivel de ingeniería, tomando en consideración que esta información es muy escasa a nivel de nuestro país.

Hasta la fecha ninguna entidad nacional ejecuta estos proyectos, ni ningún organismo educativo ha desarrollado un modelo de regresión lineal para los datos estadísticos de radiación solar, a ser utilizados para el cálculo de los proyectos solares.

Por lo cual los resultados de este documento de estudio servirán como fuente de investigación, ejecución y estudio a nivel nacional, para diferentes profesionales.

CAPITULO 1. MARCO TEORICO O CONCEPTUAL

En este capítulo, se muestran los resultados de la revisión bibliográfica entorno a los conceptos y parámetros vinculados a los sistemas de generación solar fotovoltaicos para uso domiciliario.

1.1 RADIACION SOLAR

La radiación solar se define como la energía originada en el Sol y medida en la superficie de la Tierra; es un recurso natural que ha estado presente a través de la historia y ha permitido la supervivencia humana.¹

Esta energía se cuantifica por medio de la radiación solar global, una magnitud que representa la cantidad de energía electromagnética incidente en una superficie por unidad de tiempo, por unidad de área, y tiene una magnitud constante fuera de la atmósfera terrestre, con un valor aproximado de 1368 W m^2 .

Debido a los elementos presentes en la atmósfera como el oxígeno, el hidrógeno, el ozono, el dióxido de carbono, el metano y también factores como las nubes, el vapor de agua y algunos otros más, el valor de la radiación solar global en la superficie terrestre varía haciendo que su comportamiento sea diferente para diferentes intervalos de tiempo.

Debido a esta variabilidad en el comportamiento de los valores de radiación solar, es importante contar con un modelo de análisis y predicción de los valores promedios de radiación solar en un determinado departamento de Nicaragua, para ser utilizado en el diseño de un sistema solar fotovoltaico.

La energía solar es una de las principales energías renovables que se ha venido implementando en Nicaragua, a partir del año 2012, por sus ventajas con el medio ambiente y principalmente debido a que es inagotable y un menor impacto contaminante en el medio ambiente, sumado esto a su efectividad y facilidad para llevar energía eléctrica a zonas

¹ Hulstrom, R. Solar Resources. MIT Press, 1989.

aisladas rurales de nuestro país, donde no llega la cobertura de la red de energía eléctrica comercial de DISNORTE/DISSUR.

La energía solar fotovoltaica, presenta una gran ventaja competitiva, con respecto a otras fuentes renovables de energía, por su facilidad de instalación sobre edificaciones, techos de vivienda o a nivel del suelo.

Entre sus más importantes ventajas y desventaja tenemos:

Ventajas y desventajas

Ventajas

- Ayuda a la conservación del medio ambiente, al utilizar fuentes de energía renovables.
- Ayuda al suministro de energía en periodos de gran demanda.
- Evita costos de inversión en transmisión y distribución.

Desventajas

- Altos costos de inversión inicial.
- La falta de estándares para la conexión de pequeños generadores impide su desarrollo.

1.2 HORA SOLAR PICO (HSP)

La Hora Solar Pico, es utilizada para realizar cálculos de sistemas fotovoltaicos.

La Hora Solar Pico (HSP) es la cantidad de energía solar que recibe un metro cuadrado de superficie.

Esta energía varía para todos los países del mundo, ya que depende de su localización geográfica (cuanto más cerca del ecuador mayor será) y de la época del año. Ya que la incidencia de la radiación solar, varía según la temporada del año (lluviosa o seca).

La HSP va directamente relacionado con la capacidad que nos va a generar un panel solar al día.

Debemos recordar que la potencia nominal pico de un panel solar, depende del nivel máximo de radiación solar, por cuanto esta potencia máxima sólo será posible bajo condiciones de este máximo valor.

1.3 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

La energía solar fotovoltaica es la energía que proviene de la radiación solar, que se convierte en energía eléctrica de forma directa mediante generadores fotovoltaicos, el cual esta compuesto por módulos fotovoltaicos, que a su vez están compuestos por células fotovoltaicas conectadas entre sí, y que al recibir la radiación solar, genera una diferencia de potencial en sus extremos, proporcionando energía eléctrica en corriente directa DC.

El conjunto de módulos fotovoltaicos que componen un generador se acoplan en serie o en paralelo para obtener voltajes y corriente deseada. La corriente eléctrica directa generada por los paneles se puede transformar en corriente alterna AC, para ser utilizada en los aparatos eléctricos y electrónicos de uso común.

1.3.1 Ventajas y desventajas de la energía solar fotovoltaica.

Ventajas

- Es una fuente de energía muy amigable con el medio ambiente, su operación no produce ninguna contaminante.
- Los costos de operación son muy bajos.
- El mantenimiento es sencillo y de bajo costo
- Los módulos tienen un periodo de vida hasta de 25 años.
- Se puede integrar en las estructuras de construcciones nuevas o existentes.
- Se pueden hacer módulos de varios tamaños y características.
- El costo disminuye a medida de que avanzando.
- Los paneles fotovoltaicos son silenciosos y limpios.

Desventajas

- Los costos de instalación son altos, requiere de una gran inversión inicial.
- Para recolectar energía solar a gran escala se requiere de grandes extensiones de terreno.
- No puede utilizarse más energía de la generada por los paneles fotovoltaica en periodo en donde no hay.

1.3.2 Aplicaciones de la energía solar fotovoltaica

La energía fotovoltaica está adaptada para varias aplicaciones donde se necesita generar electricidad, bien sea para satisfacer las necesidades energéticas de aquellos que no disponen de electricidad o bien para generar energía a la red eléctrica, se puede decir que los sistemas fotovoltaicos están clasificado en función de sí está o no conectados a la red eléctrica convencional, tales como:

Sistema fotovoltaico aislados o autónomos.

Son los sistemas aislados a la red eléctrica y que requieren de baterías para almacenar energía para posterior uso, la cual tiene muchas aplicaciones en alumbrado público en los pueblos, carteles publicitarios, señalización faros, entre otros.

Sistema fotovoltaico de conexión a red.

Son sistemas conectados a la red eléctrica pública y no requieren de baterías, únicamente un inversor de corriente para inyectar energía a la red eléctrica.

1.4 Generador fotovoltaico.

Un generador fotovoltaico (FV) o panel solar está formado por un conjunto de células fotovoltaicas que producen electricidad a partir de las partículas que forman la luz solar, llamadas fotones. Algunos de los fotones de luz que provienen de la radiación solar impactan sobre la superficie del panel fotovoltaico penetrando en él, y siendo absorbidas por el material semiconductor. Luego los electrones son golpeados por los fotones de luz, liberándose de los átomos del material a los que estaban confinados originalmente, esto permite posteriormente circular a través de un material conductor y producir electricidad, mediante el efecto fotoeléctrico (EF).

La célula solar está basada en el material de silicio, el cual se extrae de la arena común (SiO_2). Para la creación de las células fotovoltaicas intervienen seis procesos principales hasta obtener el modulo solar capaz de proporcionar energía eléctrica:

- Extracción del oxígeno de la arena para obtener silicio.
- Purificación del silicio.
- Crecimiento.
- Corte para obtener obleas de silicio.
- Formación de la célula.
- Encapsulado de células para formar el panel fotovoltaico.

Las células solares de silicio, se pueden fabricar mediante diferentes tecnologías y procedimientos para conseguir determinados objetivos de rendimiento, de condiciones físicas, tales como la flexibilidad, rendimiento y el espesor².

Los tipos de paneles solares y su rendimiento se pueden observar en la Tabla 1.1.

²Castejón Agustín, Santamaría German, Instalaciones solares fotovoltaicas, editorial editex, Madrid España, pág. 27.

Tabla 1. 1Tipos de células y su rendimiento

Células	Silicio	Rendimiento directo	Características
	Monocrystalina	15 - 18 %	1. Cristal único. 2. Buen rendimiento. 3. Color azul homogenio.
	Policrystalina	12 - 14 %	2. Precio inferior que el monocristalino. 3. Diferentes tonalidades de azul.
	Amorfo	< 10 %	1. Capa delgada. 2. Células Flexibles en laminas. 3. Color marron homogenio.

Los paneles proporcionan en su salida de conexión, una tensión continua, y se diseña para valores concretos de tensión (6V, 12V, 24V,...) que definirán la tensión a la que va a trabajar el sistema fotovoltaico.

CAPITULO 2. LA REGRESION LINEAL

En la literatura hay varios métodos empíricos utilizados para estimar la radiación solar global, en la que se expresa como función de otros parámetros como las horas de sol, nubosidad, entre otros parámetros meteorológicos. No obstante, la utilización de modelos estadísticos está siendo empleada en los últimos años.

2.1 Método de Regresión Lineal.

El modelo de pronóstico de regresión lineal permite hallar el valor esperado de una variable aleatoria "**a**" cuando "**b**" toma un valor específico. La aplicación de este método implica un supuesto de linealidad cuando los valores a procesar presentan un comportamiento creciente o decreciente, por tal razón, se hace indispensable que previo a la selección de este método exista un análisis de regresión que determine la intensidad de las relaciones entre las variables.

El objetivo de un análisis de **regresión** es determinar la relación que existe entre una variable dependiente y una o más variables independientes. Para poder realizar esta relación, se debe postular una relación funcional entre las variables.³

El análisis de regresión entonces determina la intensidad entre las variables a través de coeficientes de correlación y determinación.

El coeficiente de correlación, comúnmente identificado como r o R , es una medida de asociación entre las variables aleatorias X y Y , cuyo valor varía entre -1 y $+1$.

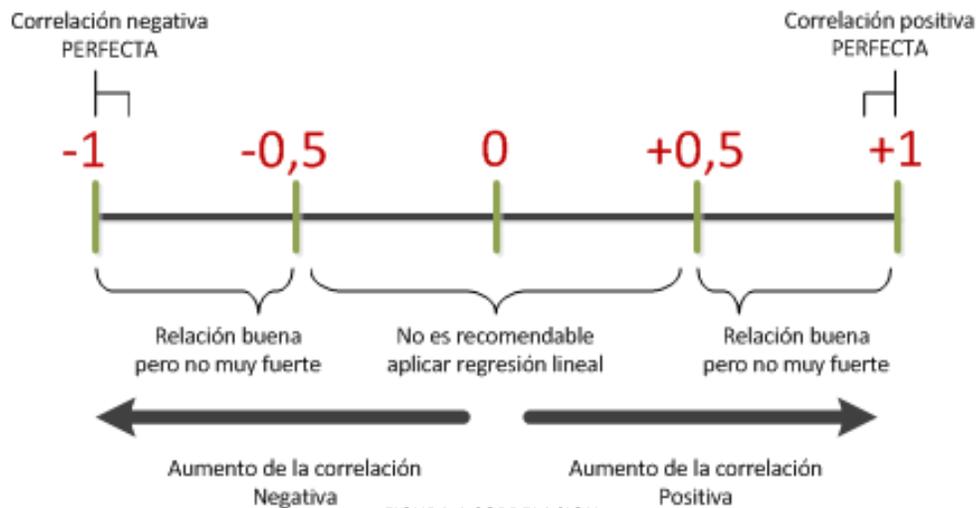


FIGURA 1 CORRELACION

Fuente ⁴ .

³ <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/pron%C3%B3stico-de-ventas/regresi%C3%B3n-lineal/>

⁴ Probabilidad y Estadística, Walpole.

El cálculo del coeficiente de correlación se efectúa de la siguiente manera:

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i t_i - \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n t_i}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n t_i^2 - (\sum_{i=1}^n t_i)^2][n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2]}}$$

Dónde **t** hace referencia a la variable tiempo y **x** a la variable bajo estudio.

Siendo el modelo de regresión lineal simple:

$$X_t = a + bt.$$

Donde:

X_t : Pronóstico del período.

a: Inserción de la línea con el eje.

b: Pendiente (Positiva o Negativa)

t : Período de tiempo.

Donde b, se calcula como:

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i t_i - \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n t_i}{n \sum_{i=1}^n t_i^2 - [\sum_{i=1}^n t_i]^2}$$

Y donde a, se calcula como:

$$a = \bar{X} - b\bar{t}$$

CAPITULO 3. MAPA DE RADIACION SOLAR DE NICARAGUA

En este capítulo, presentaremos la información preliminar sobre la fuente de energía solar en nuestro país.

La principal fuente histórica de mediciones de radiaciones solares, fueron las iniciadas en las investigaciones de la Universidad Centroamericana de Nicaragua (UCA), por el sacerdote jesuita, Dr. Julio López de la Fuente.

Una reseña general de estas investigaciones, fueron posible gracias a la Estación solar VADSTENA implementada durante el período 1982 - 1994 con el proyecto de elaboración del mapa solar de Nicaragua financiado por la agencia sueca SAREC (Swedish Agency for Research Cooperation with Developing Countries: Agencia Sueca de Desarrollo Internacional, ASDI) para promover los estudios sobre radiación solar. Se inicia la Estación Solar de la UCA con la asistencia técnica del Servicio Meteorológico sueco SMHI, en conjunto con el INE (luego la comisión Nacional de Energía, CNE), utilizando las estaciones meteorológicas de la dirección de Planificación INE. Estas estaciones pasaron en 1994 bajo la jurisdicción del INETER. La UCA se queda con una sola estación en el campus y se instala la segunda estación en el año 2004. ⁵

De acuerdo al estudio presentado en el artículo: "Radiación Solar en la Zona del Pacífico de Nicaragua", por el Dr. Julio López de La Fuente.⁶

Se concluye que durante el año 1983, en el departamento de Managua, la cantidad anual de irradiación solar es de 2 MW hr/m².

⁵ <https://www.uca.edu.ni/index.php/servicios/centros/estacion-solar-julio-lopez-de-la-fuente-s-j>

⁶

<http://repositorio.uca.edu.ni/1802/1/Radiaci%C3%B3n%20solar%20en%20la%20zona%20del%20Pacifico.%20Nicaragua%2C%201993.pdf>

TABLA 1 DATOS RADIACION SOLAR

MANAGUA			
1983	W hr/m ² . día		
	MAX.	MEDIO	MIN.
ENR	6153	5211	3054
FEB	6542	5575	4172
MARZ	7183	6283	3632
ABR	7192	6273	4559
MAY	7191	6000	3521
JUN	6700	5221	1812
JUL	6870	5401	1683
AGT	7168	5506	1462
SEP	7055	5641	2418
OCT	6833	5484	3695
NOV	6301	5055	1765
DIC	5905	4747	1954
Σ/12	6758	5533	2810
TOTAL ANUAL	2019.54 KW hr/m ²		

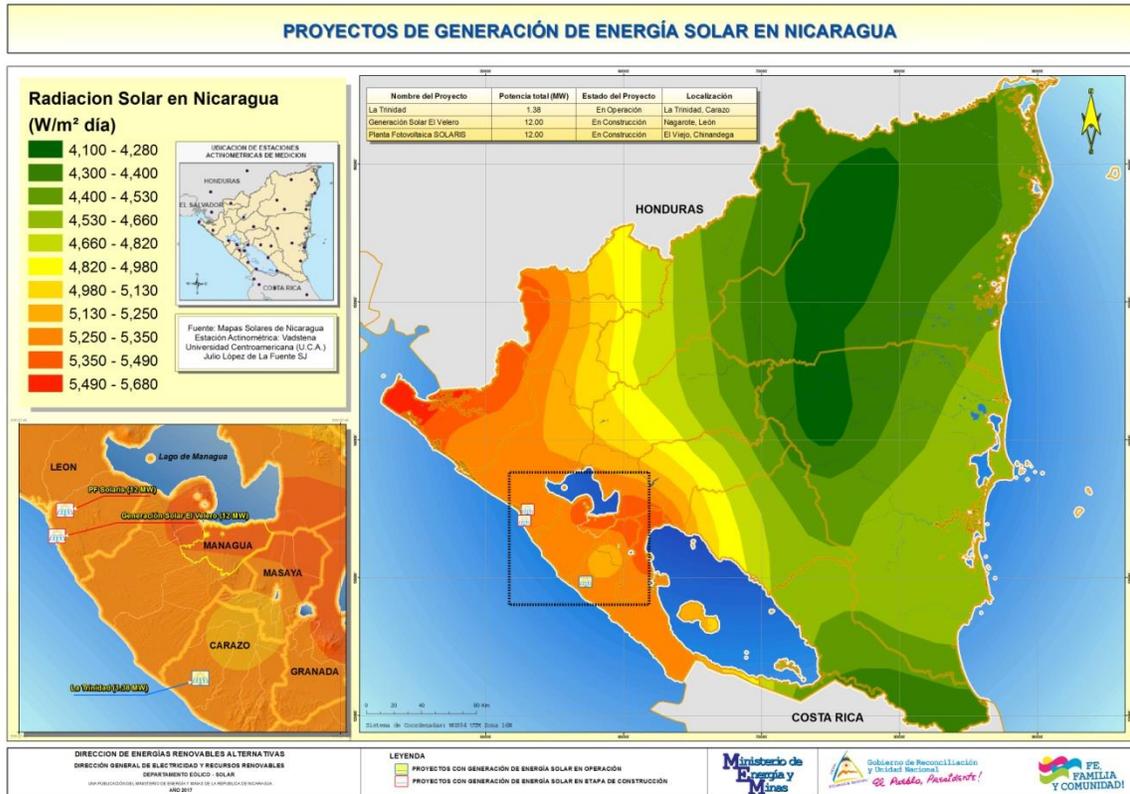
El promedio anual fue obtenido tomando como referencia el valor medio de radiación de 5533 W hr/m², y multiplicarlo por los 365 al año:

$$\text{Total anual} = 5533 \text{ W hr/m}^2 \times 365 \text{ días} = 2019.54 \text{ kW hr/m}^2 \text{ -año.}$$

Ver en anexo el documento completo del estudio.

De acuerdo a la caracterización del mapa solar realizado por el Ministerio de Energías y Minas de Nicaragua (MEM) para el año 2017, se caracterizó toda la información de radiación solar en un mapa, el cual presentamos en la figura No.2.

FIGURA 2 MAPA RADIACION SOLAR⁷



Los datos aquí presentados para el año 2017, indican que la radiación solar en Managua oscila entre 5,350 y 5,490 W hr/m² por día.

Es decir tomando el valor mínimo como referencia de 5,350 W hr/m² por día, obtendríamos un valor anual de 1,953 kW hr/m², valor que podemos comparar con el obtenido en el año 1983 que fue 2019.54 kW hr/m² -año, vemos que ha habido una reducción de apenas un 3.3% de radiación solar en Managua.

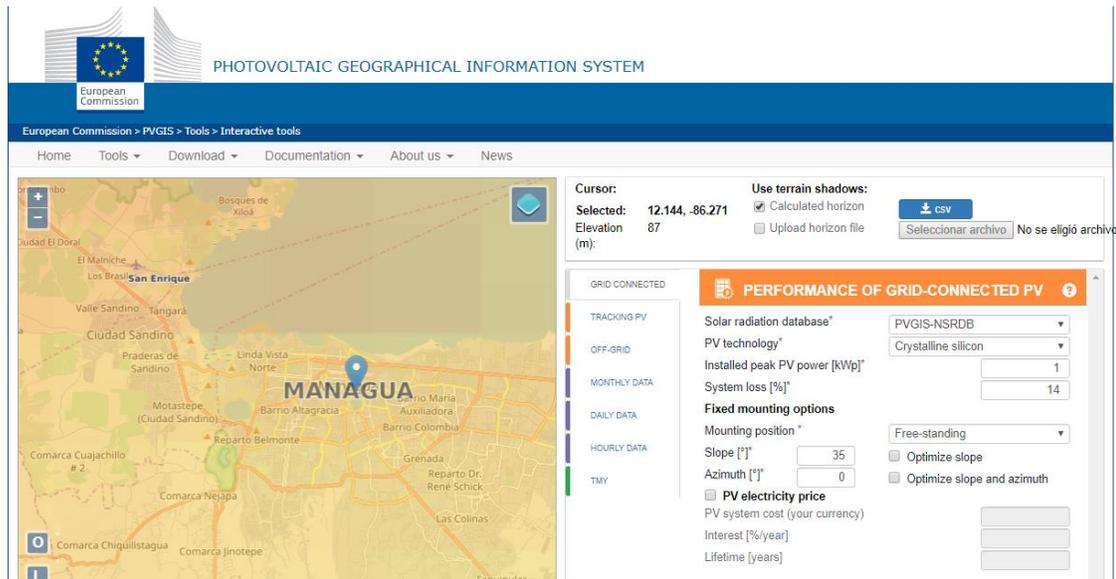
Por lo tanto esto justifica que es posible establecer un modelo de predicción de los datos de radiación solar, tomando como base datos iniciales.

⁷ Fuente: http://www.mem.gob.ni/wp-content/uploads/2017/05/P-Sol_2017WEB_75dpi.jpg

CAPITULO 4. FUENTE DE OBTENCION DE DATOS PARA EL ANALISIS Y PROPUESTA DE MODELO

En este capítulo referimos la fuente primaria de información de donde se obtuvieron los datos para el análisis de la radiación solar, esta corresponde al sitio web: [PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#PVP), enlace: http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#PVP

Figura 3 Pantalla del sitio de base de datos⁸



Aquí hemos ubicado en el mapa el departamento de Managua, ubicando la bandera de posición en este sitio.

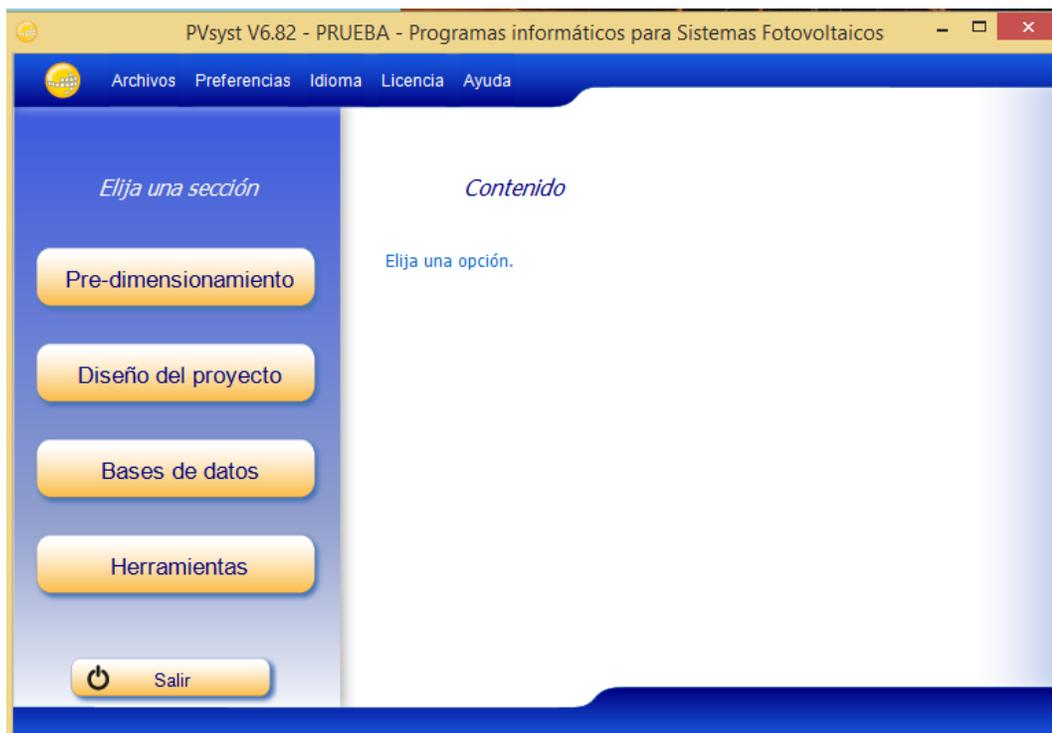
A partir de acá, hemos bajado los registros de radiación solar por año, cuyos registros se muestran y analizan en el acápite 5, del presente documento y la fuente de datos se dan en anexo.

⁸ http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#PVP

CAPITULO 6. ANALISIS Y PRESENTACION DE RESULTADOS

En este capítulo, se presentan los datos obtenidos de las fuentes internacionales referidas en el acápite 4, del presente documento ([PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM](#)). También se obtuvo información mediante el uso del programa PVSYS, que un programa gratuito para estudio de sistemas fotovoltaicos.

FIGURA 4 PANATALLA DE PVSYS



a. Bases de datos y Análisis del período 2013-2015.

Para el análisis y propuesta del modelo de regresión lineal, para la radiación solar del departamento de Managua, se procedió a obtener las bases de datos correspondientes al período bajo estudio.

El análisis de datos para obtener el modelo de regresión lineal y la correlación de datos, fue realizada tanto utilizando la ecuaciones referidas en el acápite 2, del presente

documento y mediante las fórmulas integradas en las hojas de cálculo EXCEL, que permitieron su validación de cálculo y determinación de la ecuación de proyección.

Período 2013 Radiación Solar

MES	Wh/m ² - día
ENERO	5532
FEBRERO	5881
MARZO	6458
ABRIL	6466
MAYO	6465
JUNIO	6023
JULIO	6176
AGOSTO	6444
SEPTIEMBRE	6342
OCTUBRE	6143
NOVIEMBRE	5665
DICIEMBRE	5309

Su valor Promedio es:

$$X_{ipromedio} = \frac{5532 + 5881 + 6458 + 6466 + 6465 + 6023 + 6176 + 6444 + 6342 + 6143 + 5665 + 5309}{12}$$

Xipromedio = 6075 Wh/m²-día

Obteniéndose un valor anual:

$$X_i = \frac{6075 * 365}{1000} = 2217 \text{ kWh} / \text{m}^2 - \text{año}$$

Para realizar el análisis de regresión lineal por el método tradicional, empezaremos por asignar a los meses un dígito del 1 al 12.

TABLA 2 ASIGNACION DE DIGITOS A LOS MESES

ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Esta codificación de cada mes de forma numérica permitirá realizar los cálculos correspondientes para determinar la ecuación de regresión lineal para representar el modelo.

Una vez codificados los meses, los designaremos como una variable t_i .

De tal manera que al sumar los doce meses, obtendremos la suma de t_i .

$$\sum_1^{12} t_i = 1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 7 + 8 + 9 + 10 + 11 + 12 = 78$$

También calculamos el cuadrado de este valor, como:

$$\left(\sum_1^{12} t_i \right)^2 = (78)^2 = 6084$$

El valor Promedio para t_i es:

$$t_{i \text{ promedio}} = \frac{1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 7 + 8 + 9 + 10 + 11 + 12}{12} = 6.5$$

Se calcula la suma de los valores de X_i :

$$\sum_1^{12} X_i = 5532 + 5881 + 6458 + 6466 + 6465 + 6023 + 6176 + 6444 + 6342 + 6143 + 5665 + 5309 = 72904$$

Se calcula la suma del producto de cada valor de $X_i * t_i$:

$$\sum_1^{12} X_i * t_i = 5332 + 11762 + 19374 + 25864 + 32325 + 36138 + 43232 + 51552 + 57078 + 61430 + 62315 + 63708 = 470310$$

Se calcula la suma de cada valor de t_i^2 :

$$\sum_1^{12} t_i^2 = 1 + 4 + 9 + 16 + 25 + 36 + 49 + 64 + 81 + 100 + 121 + 144 = 650$$

Tomando en cuenta que el número de datos a procesar es igual a $n=12$, procedemos a calcular las variables "a" y "b", para establecer el modelo lineal, según la ecuación:

$$\mathbf{X} = \mathbf{a} + \mathbf{bt}$$

Donde b, se calcula como:

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i t_i - \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n t_i}{n \sum_{i=1}^n t_i^2 - [\sum_{i=1}^n t_i]^2}$$

Siendo,

$$b = \frac{12 * 470310 - 72904 * 78}{12 * 650 - 6084} = -24.9$$

Luego calculamos el valor de "a":

$$a = \bar{X} - b\bar{t}$$

Siendo,

$$a = 6075 - [(-24.9)(6.5)] = 6237.42$$

Obteniendo el modelo de regresión lineal mediante la ecuación:

$$\mathbf{X} = 6237.42 - 24.9 * \mathbf{t}$$

Para validar estos cálculos se procedió a utilizar una hoja de cálculo EXCEL y determinar mediante las fórmulas integradas para la regresión lineal, la gráfica de los valores y su ecuación correspondiente:

	MES (t_i)	Wh/m ² - día (X_i)	$X_i * t_i$	t_i^2	Xi Promedio	ti Promedio
	1	5532	5532	1	6075.33	6.5
	2	5881	11762	4		
	3	6458	19374	9		
	4	6466	25864	16		
	5	6465	32325	25		
	6	6023	36138	36		
	7	6176	43232	49		
	8	6444	51552	64		
	9	6342	57078	81		
	10	6143	61430	100		
	11	5665	62315	121		
	12	5309	63708	144		
SUMA(t_i) =	78					
(SUMA(t_i)) ² =	6084					
SUMA(datos X_i) =	72904					
SUMA($X_i * t_i$) =	470310		470310			
			SUMA(t_i) ² =	650		
n =	12		b =	-24.9		
a =	6237.42					
X =	6237.42	+	-24.94 t			

Los gráficos obtenidos fueron los siguientes:

FIGURA 5 RADIACION SOLAR AÑO 2013

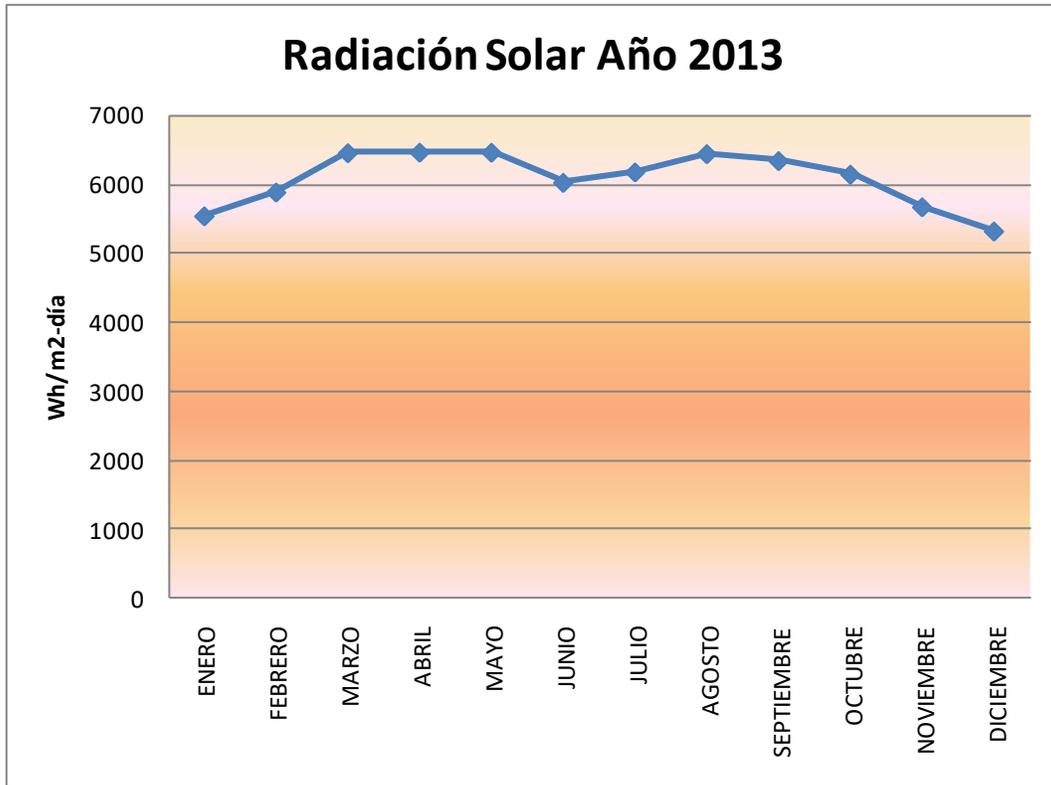


FIGURA 6 GRAFICO DE DISPERSION DE DATOS

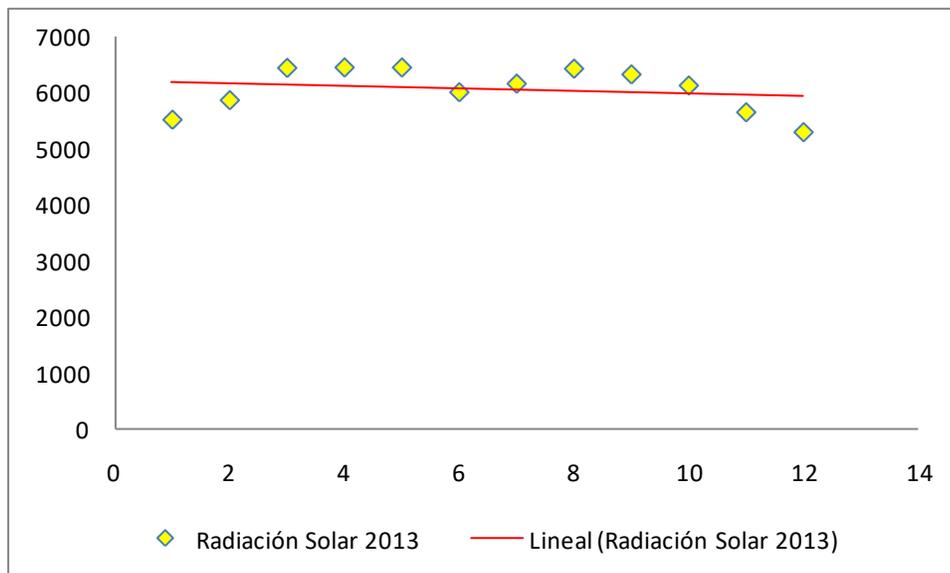
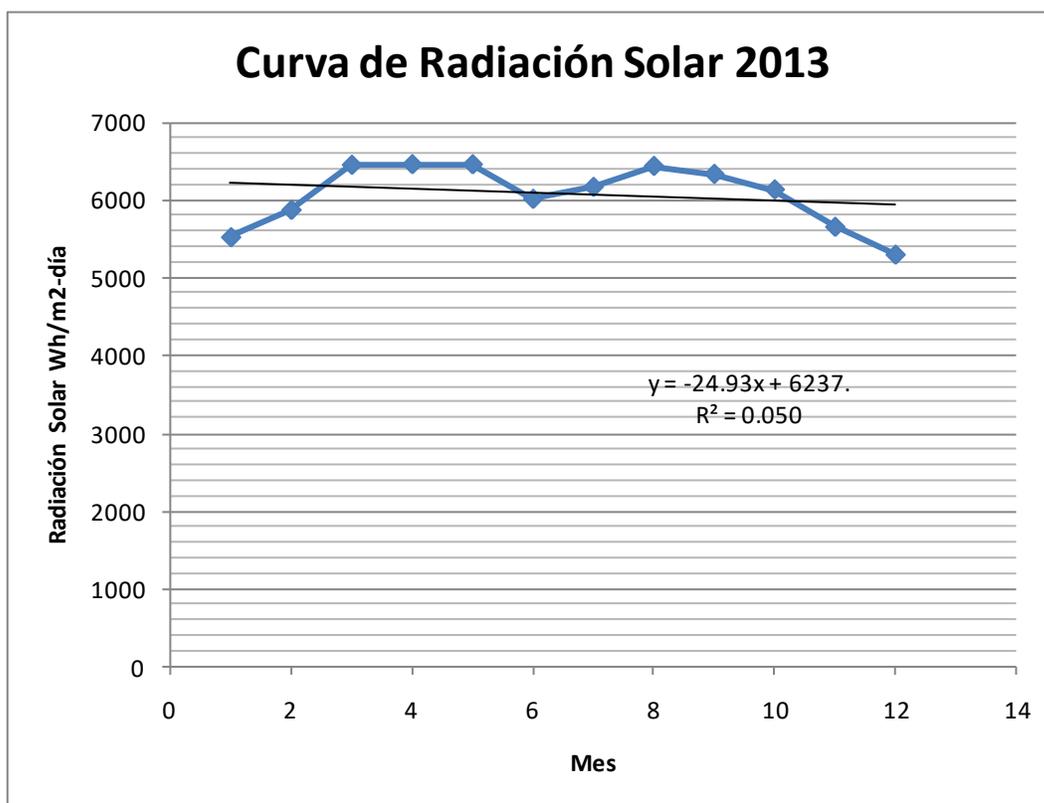


FIGURA 7 CURVA DE DATOS Y SU ECUACION



Vemos que debido a la poca dispersión de los datos con relación a la línea de tendencia, el factor de determinación $r^2=0.050$, es casi despreciable, lo que nos afirma la utilización de aproximación mediante una regresión lineal.

Período 2014 Radiación Solar

MES	Wh/m ² - día
ENERO	5550
FEBRERO	6060
MARZO	6690
ABRIL	6520
MAYO	5770
JUNIO	5690
JULIO	5780
AGOSTO	5750
SEPTIEMBRE	5360
OCTUBRE	5270
NOVIEMBRE	5240
DICIEMBRE	5330

Su valor Promedio es:

$$X_{ipromedio} = \frac{5550 + 6060 + 6690 + 6520 + 5770 + 5690 + 5780 + 5750 + 5360 + 5270 + 5240 + 5330}{12}$$

Xipromedio = 5751 Wh/m²-día

Obteniéndose un valor anual:

$$X_i = \frac{5751 * 365}{1000} = 2099 \text{ kWh/m}^2 - \text{año}$$

Para realizar el análisis de regresión lineal por el método tradicional, empezaremos por asignar a los meses un dígito del 1 al 12.

TABLA 3 ASIGNACION DE DIGITOS A LOS MESES

ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Esta codificación de cada mes de forma numérica permitirá realizar los cálculos correspondientes para determinar la ecuación de regresión lineal para representar el modelo.

Una vez codificados los meses, los designaremos como una variable t_i .

De tal manera que al sumar los doce meses, obtendremos la suma de t_i .

$$\sum_1^{12} t_i = 1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 7 + 8 + 9 + 10 + 11 + 12 = 78$$

También calculamos el cuadrado de este valor, como:

$$\left(\sum_1^{12} t_i \right)^2 = (78)^2 = 6084$$

El valor Promedio para t_i es:

$$t_{i \text{ promedio}} = \frac{1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 7 + 8 + 9 + 10 + 11 + 12}{12} = 6.5$$

Se calcula la suma de los valores de X_i :

$$\sum_1^{12} X_i = 5550 + 6060 + 6690 + 6520 + 5770 + 5690 + 5780 + 5750 + 5360 + 5270 + 5240 + 5330 = 69010$$

Se calcula la suma del producto de cada valor de $X_i * t_i$:

$$\sum_1^{12} X_i * t_i = 5550 + 12120 + 20070 + 26080 + 28850 + 34140 + 40460 + 46000 + 48240 + 52700 + 57640 + 63960 = 435810$$

Se calcula la suma de cada valor de t_i^2 :

$$\sum_1^{12} t_i^2 = 1 + 4 + 9 + 16 + 25 + 36 + 49 + 64 + 81 + 100 + 121 + 144 = 650$$

Tomando en cuenta que el número de datos a procesar es igual a $n=12$, procedemos a calcular las variables "a" y "b", para establecer el modelo lineal, según la ecuación:

$$\mathbf{X} = \mathbf{a} + \mathbf{bt}$$

Donde b, se calcula como:

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i t_i - \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n t_i}{n \sum_{i=1}^n t_i^2 - [\sum_{i=1}^n t_i]^2}$$

$$b = \frac{12 * 435810 - 69010 * 78}{12 * 650 - 6084} = -89.2$$

Luego calculamos el valor de "a":

$$a = \bar{X} - b\bar{t}$$

Siendo,

$$a = 5751 - [(-89.2)(6.5)] = 6330.61$$

Obteniendo el modelo de regresión lineal mediante la ecuación:

$$\mathbf{X} = \mathbf{6330.61} - \mathbf{89.2 * t}$$

Para validar estos cálculos se procedió a utilizar una hoja de cálculo EXCEL y determinar mediante las fórmulas integradas para la regresión lineal, la gráfica de los valores y su ecuación correspondiente:

MES (t_i)	Wh/m ² - día (X_i)	$X_i * t_i$	t_i^2	Xi Promedio	ti Promedio
1	5550	5550	1	5751	6.5
2	6060	12120	4		
3	6690	20070	9		
4	6520	26080	16		
5	5770	28850	25		
6	5690	34140	36		
7	5780	40460	49		
8	5750	46000	64		
9	5360	48240	81		
10	5270	52700	100		
11	5240	57640	121		
12	5330	63960	144		

$$\text{SUMA}(t_i) = \mathbf{78}$$

$$(\text{SUMA}(t_i))^2 = \mathbf{6084}$$

$$\text{SUMA}(\text{datos } X_i) = \mathbf{69010}$$

$$\text{SUMA}(X_i * t_i) = \mathbf{435810}$$

$$\text{SUMA}(t_i)^2 = \mathbf{650}$$

$$n = 12 \qquad b = -89.2$$

$$a = 6330.61$$

$$X = 6330.61 + -89.20 t$$

Los gráficos obtenidos fueron los siguientes:

FIGURA 8 RADIACION SOLAR 2014

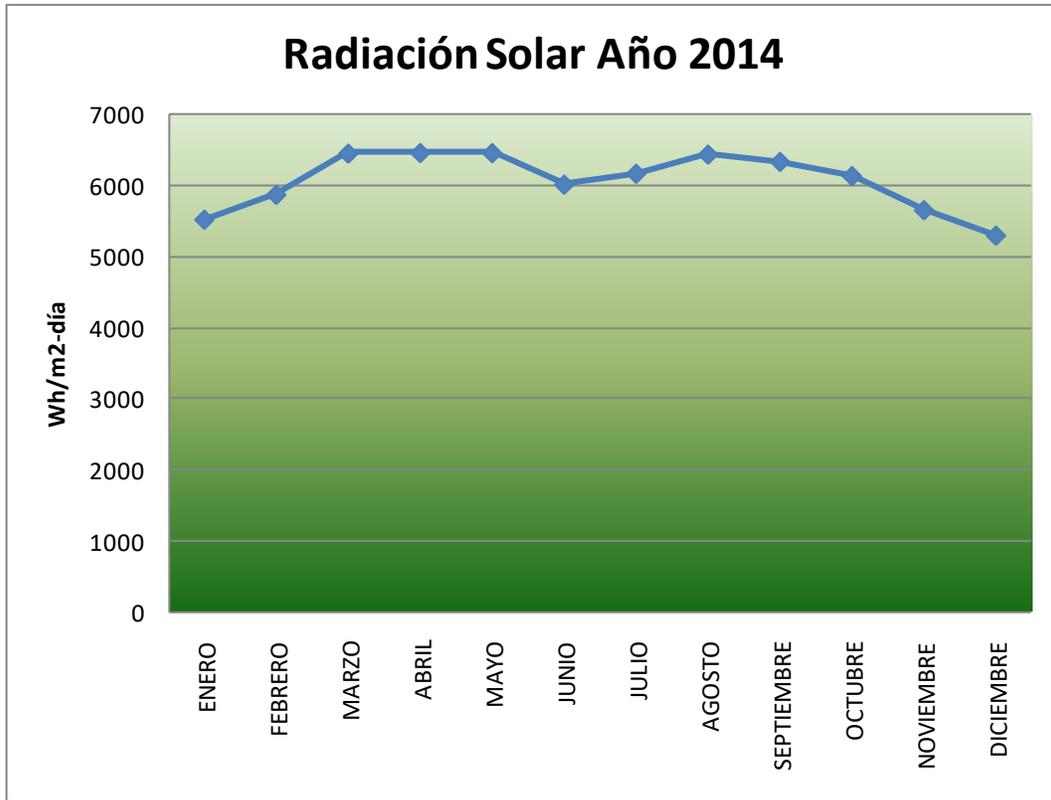


FIGURA 9 GÁRFIGO DE DISPERSION DE DATOS

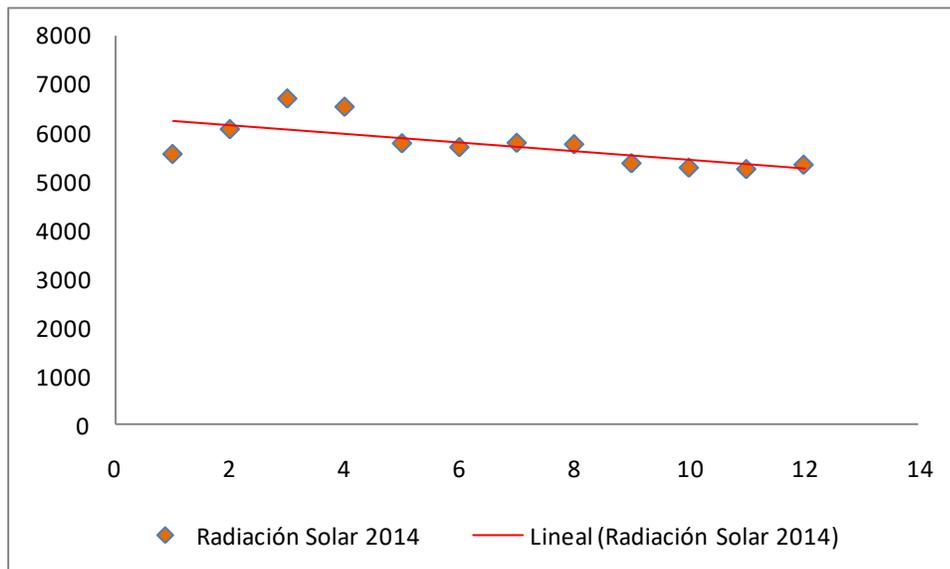
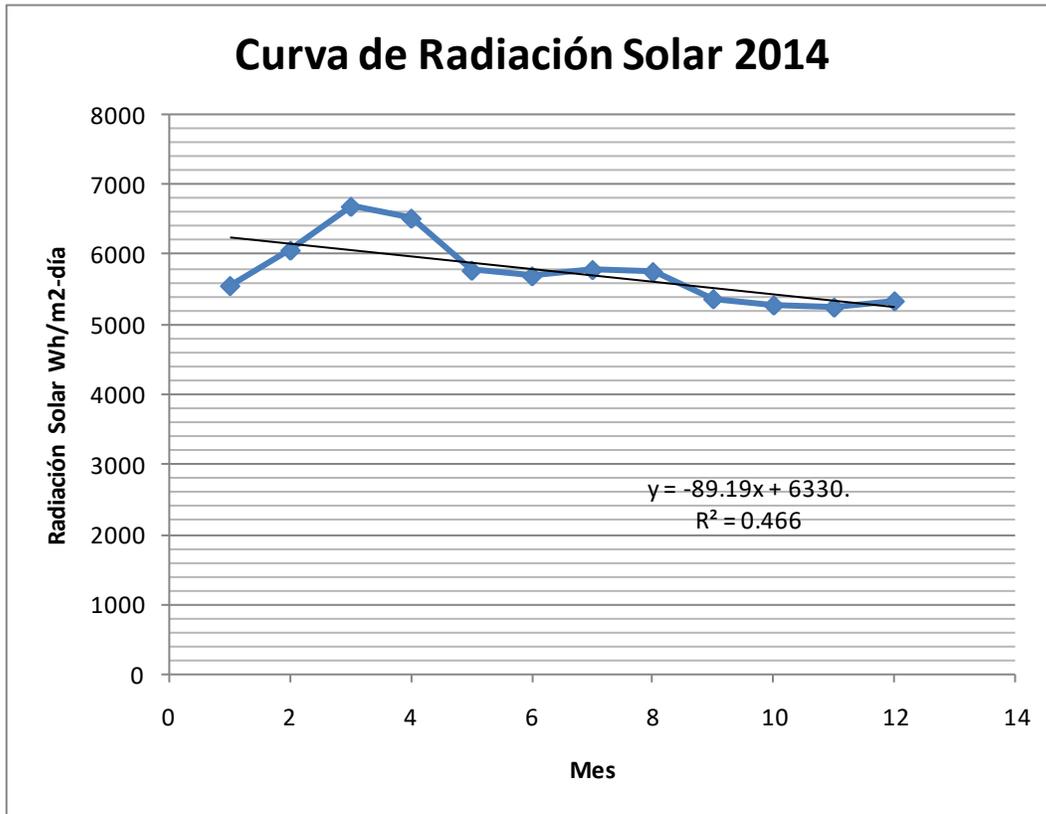


FIGURA 10 CURVA DE DATOS Y SU ECUACION



Vemos que debido a la poca dispersión de los datos con relación a la línea de tendencia, el factor de determinación $r^2=0.466$, menor que 1, lo que nos indica una correlación débil aún sigue siendo despreciable, lo que nos afirma la utilización de aproximación mediante una regresión lineal.

Período 2015 Radiación Solar

MES	Wh/m ² - día
ENERO	6105
FEBRERO	6666
MARZO	7359
ABRIL	7172
MAYO	6350
JUNIO	6259
JULIO	6358
AGOSTO	6325
SEPTIEMBRE	5896
OCTUBRE	5790
NOVIEMBRE	5764
DICIEMBRE	5883

Su valor Promedio es:

$$X_{ipromedio} = \frac{6105 + 6666 + 7359 + 7172 + 6350 + 6259 + 6358 + 6325 + 5896 + 5790 + 5764 + 5883}{12}$$

Xipromedio = 6327 Wh/m²-día

Obteniéndose un valor anual:

$$X_i = \frac{6327 * 365}{1000} = 2309 \text{ kWh/m}^2 - \text{año}$$

Para realizar el análisis de regresión lineal por el método tradicional, empezaremos por asignar a los meses un dígito del 1 al 12.

TABLA 4 ASIGNACION DE DIGITOS A LOS MESES

ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Esta codificación de cada mes de forma numérica permitirá realizar los cálculos correspondientes para determinar la ecuación de regresión lineal para representar el modelo.

Una vez codificados los meses, los designaremos como una variable t_i .

De tal manera que al sumar los doce meses, obtendremos la suma de t_i .

$$\sum_1^{12} t_i = 1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 7 + 8 + 9 + 10 + 11 + 12 = 78$$

También calculamos el cuadrado de este valor, como:

$$\left(\sum_1^{12} t_i \right)^2 = (78)^2 = 6084$$

El valor Promedio para t_i es:

$$t_{i \text{ promedio}} = \frac{1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 7 + 8 + 9 + 10 + 11 + 12}{12} = 6.5$$

Se calcula la suma de los valores de X_i :

$$\sum_1^{12} X_i = 6105 + 6666 + 7359 + 7172 + 6350 + 6259 + 6358 + 6325 + 5896 + 5790 + 5764 + 5883 = 6327$$

Se calcula la suma del producto de cada valor de $X_i * t_i$:

$$\sum_1^{12} X_i * t_i = 6105 + 13332 + 22077 + 28688 + 31750 + 37554 + 44506 + 50600 + 53064 + 57900 + 63404 + 70596 = 479576$$

Se calcula la suma de cada valor de t_i^2 :

$$\sum_1^{12} t_i^2 = 1 + 4 + 9 + 16 + 25 + 36 + 49 + 64 + 81 + 100 + 121 + 144 = 650$$

Tomando en cuenta que el número de datos a procesar es igual a $n=12$, procedemos a calcular las variables "a" y "b", para establecer el modelo lineal, según la ecuación:

$$\mathbf{X = a + bt}$$

Donde b, se calcula como:

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i t_i - \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n t_i}{n \sum_{i=1}^n t_i^2 - [\sum_{i=1}^n t_i]^2}$$

$$b = \frac{12 * 479576 - 75927 * 78}{12 * 650 - 6084} = -97.5$$

Luego calculamos el valor de "a":

$$a = \bar{X} - b\bar{t}$$

Siendo:

$$a = 6327 - [(-97.5)(6.5)] = 6961.32$$

Obteniendo el modelo de regresión lineal mediante la ecuación:

$$\mathbf{X = 6961.32 - 97.5 * t}$$

Para validar estos cálculos se procedió a utilizar una hoja de cálculo EXCEL y determinar mediante las fórmulas integradas para la regresión lineal, la gráfica de los valores y su ecuación correspondiente:

MES (t_i)	Wh/m ² - día (X_i)	$X_i * t_i$	t_i^2	Xi Promedio	ti Promedio
1	6105	6105	1	6327	6.5
2	6666	13332	4		
3	7359	22077	9		
4	7172	28688	16		
5	6350	31750	25		
6	6259	37554	36		
7	6358	44506	49		
8	6325	50600	64		
9	5896	53064	81		
10	5790	57900	100		
11	5764	63404	121		
12	5883	70596	144		

$$\text{SUMA}(t_i) = \mathbf{78}$$

$$(\text{SUMA}(t_i))^2 = \mathbf{6084}$$

$$\text{SUMA}(\text{datos } X_i) = \mathbf{75927}$$

$$\text{SUMA}(X_i * t_i) = \mathbf{479576}$$

$$\text{SUMA}(t_i)^2 = \mathbf{650}$$

$$n = 12 \qquad b = -97.5$$

$$a = 6961.32$$

$$X = 6961.32 + -97.55 t$$

Los gráficos obtenidos fueron los siguientes:

FIGURA 11 RADIACION SOLAR AÑO 2015

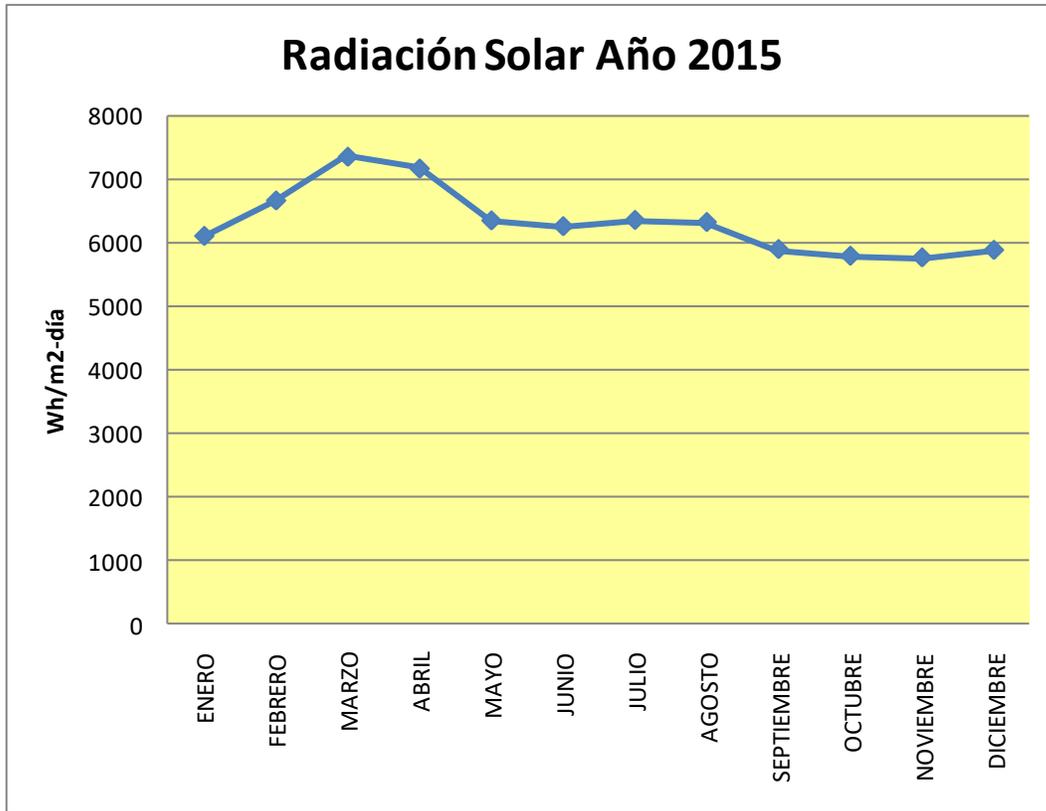


FIGURA 12 GRÁFICO DE DISPERSION DE DATOS

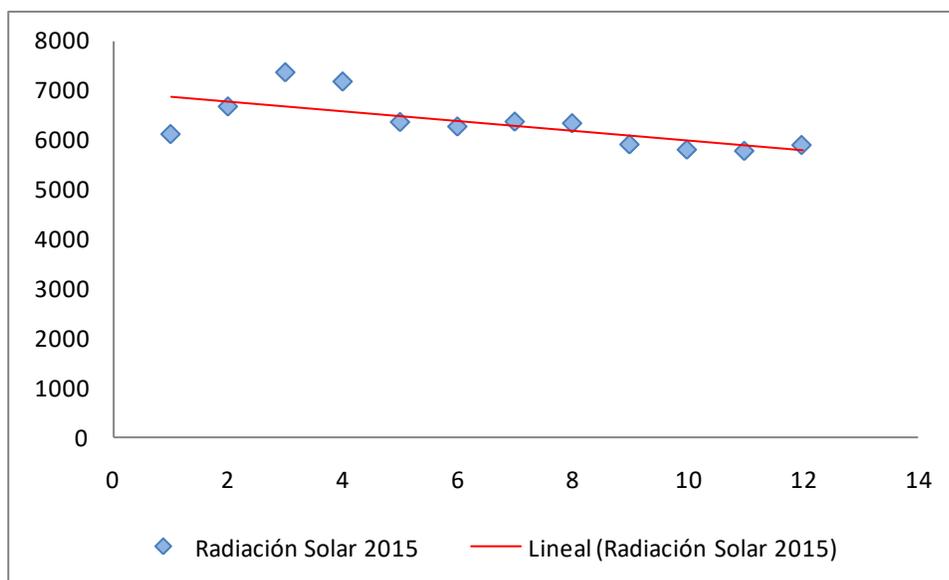
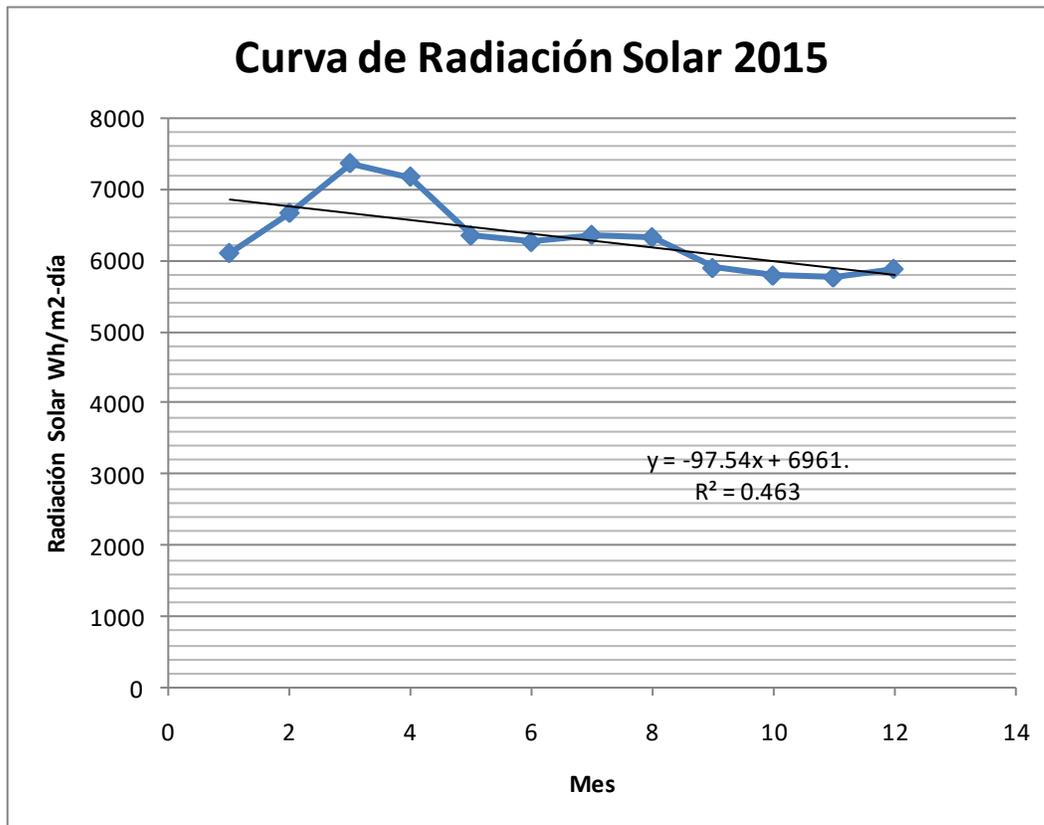


FIGURA 13 CURVA DE DATOS Y ECUACION



Vemos que debido a la poca dispersión de los datos con relación a la línea de tendencia, el factor de determinación $r^2=0.463$, siempre menor que 1, es despreciable, lo que nos afirma la utilización de aproximación mediante una regresión lineal.

Consolidado General del Período 2013-2015 Radiación Solar

Año	MES (t _i)	Wh/m ² - día (X _i)	Año	MES (t _i)	Wh/m ² - día (X _i)	Año	MES (t _i)	Wh/m ² - día (X _i)
2013	1	5532	2014	13	5550	2015	25	6105
	2	5881		14	6060		26	6666
	3	6458		15	6690		27	7359
	4	6466		16	6520		28	7172
	5	6465		17	5770		29	6350
	6	6023		18	5690		30	6259
	7	6176		19	5780		31	6358
	8	6444		20	5750		32	6325
	9	6342		21	5360		33	5896
	10	6143		22	5270		34	5790
	11	5665		23	5240		35	5764
	12	5309		24	5330		36	5883

Su valor Promedio es:

$$X_i \text{ promedio} = 6051 \text{ Wh/m}^2\text{-día}$$

Obteniéndose un valor anual:

$$Xi = \frac{6051 * 365}{1000} = 2209 \text{ kWh/m}^2 - \text{año}$$

Para realizar el análisis de regresión lineal por el método tradicional, empezaremos por asignar a los meses un dígito del 1 al 36.

Esta codificación de cada mes de forma numérica permitirá realizar los cálculos correspondientes para determinar la ecuación de regresión lineal para representar el modelo.

Una vez codificados los meses, los designaremos como una variable t_i.

De tal manera que al sumar los treinta y seis meses, obtendremos la suma de t_i .

$$\sum_1^{36} t_i = 1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 7 + 8 + 9 + 10 + 11 + 12 + \dots + 36 = 666$$

También calculamos el cuadrado de este valor, como:

$$\left(\sum_1^{36} t_i \right)^2 = (666)^2 = 443556$$

El valor Promedio para t_i es:

$$t_{i \text{ promedio}} = 18.5$$

Se calcula la suma de los valores de X_i :

$$\sum_1^{36} X_i = 217841$$

Se calcula la suma del producto de cada valor de $X_i * t_i$:

$$\sum_1^{36} X_i * t_i = 4036064$$

Se calcula la suma de cada valor de t_i^2 :

$$\sum_1^{36} t_i^2 = 16206$$

Tomando en cuenta que el número de datos a procesar es igual a $n=36$, procedemos a calcular las variables "a" y "b", para establecer el modelo lineal, según la ecuación:

$$\mathbf{X = a + bt}$$

Donde b, se calcula como:

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i t_i - \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n t_i}{n \sum_{i=1}^n t_i^2 - [\sum_{i=1}^n t_i]^2}$$

Siendo:

$$b = \frac{36 * 4036064 - 217841 * 666}{36 * 16206 - 443556} = 1.55$$

Luego calculamos el valor de "a":

$$a = \bar{X} - b\bar{t}$$

Siendo,

$$a = 6051 - [(1.55)(18.5)] = 6022.54$$

Obteniendo el modelo de regresión lineal mediante la ecuación:

$$\mathbf{X = 6022.54 + 1.55 * t}$$

Para validar estos cálculos se procedió a utilizar una hoja de cálculo EXCEL y determinar mediante las fórmulas integradas para la regresión lineal, la gráfica de los valores y su ecuación correspondiente:

Año	MES (t _i)	Wh/m ² - día (X _i)	X _i * t _i	t _i ²	Xi Promedio	ti Promedio
2013	1	5532	5532	1	6051	18.5
	2	5881	11762	4		
	3	6458	19374	9		
	4	6466	25864	16		
	5	6465	32325	25		
	6	6023	36138	36		
	7	6176	43232	49		
	8	6444	51552	64		
	9	6342	57078	81		
	10	6143	61430	100		
	11	5665	62315	121		
	12	5309	63708	144		
2014	13	5550	72150	169		
	14	6060	84840	196		
	15	6690	100350	225		
	16	6520	104320	256		
	17	5770	98090	289		
	18	5690	102420	324		
	19	5780	109820	361		
	20	5750	115000	400		
	21	5360	112560	441		
	22	5270	115940	484		
	23	5240	120520	529		
	24	5330	127920	576		
2015	25	6105	152625	625		
	26	6666	173316	676		
	27	7359	198693	729		
	28	7172	200816	784		
	29	6350	184150	841		
	30	6259	187770	900		
	31	6358	197098	961		
	32	6325	202400	1024		
	33	5896	194568	1089		
	34	5790	196860	1156		
	35	5764	201740	1225		
	36	5883	211788	1296		

$$\text{SUMA}(t_i) = 666$$

$$(\text{SUMA}(t_i))^2 = 443556$$

$$\text{SUMA}(\text{datos } X_i) = 217841$$

$$\text{SUMA}(X_i * t_i) = 4036064$$

$$\text{SUMA}(t_i)^2 = 16206$$

$$n = 36$$

$$b = 1.5$$

$$a = 6022.54$$

$$X = 6022.54 + 1.55 t$$

Los gráficos obtenidos fueron los siguientes:

FIGURA 14 GRAFICO DE DISPERSION DE DATOS

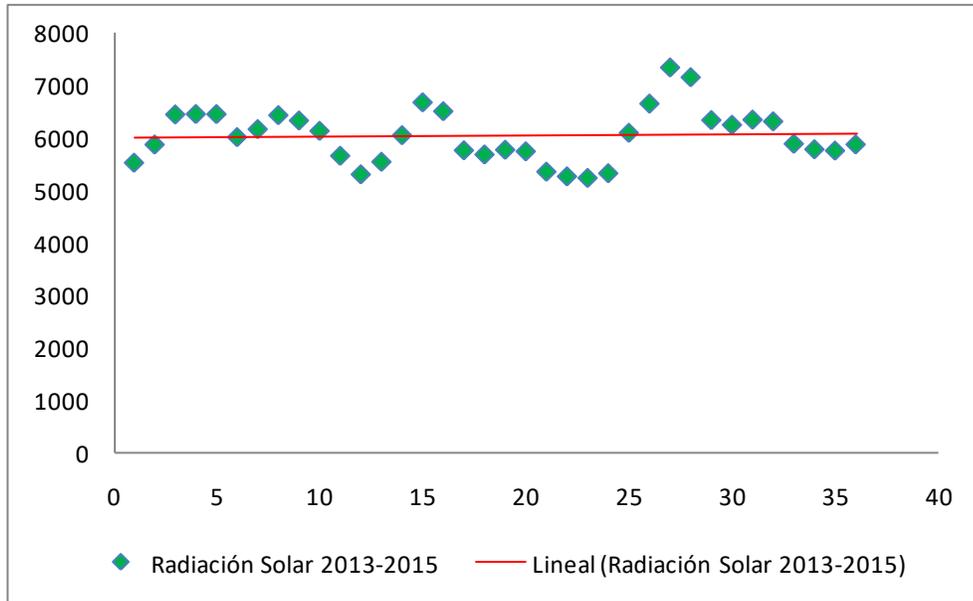
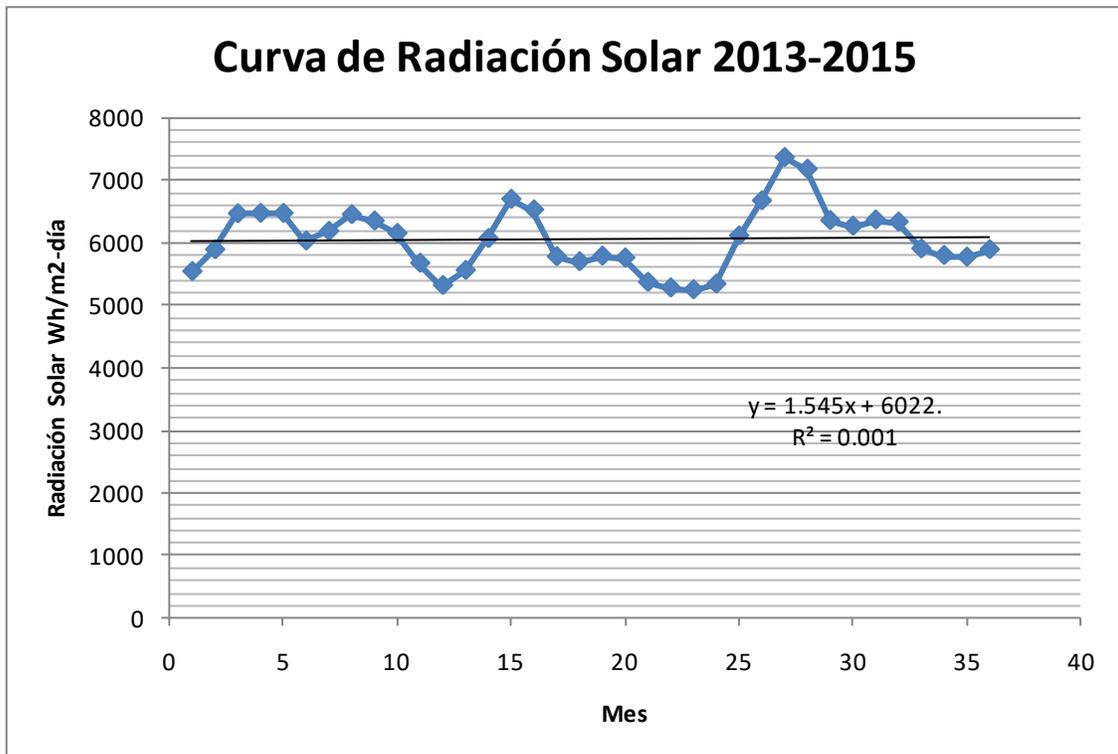


FIGURA 15 CURVA DE DATOS Y SU ECUACION



Vemos que debido a la poca dispersión de los datos con relación a la línea de tendencia, el factor de determinación $r^2=0.001$, es casi despreciable, lo que nos afirma la utilización de aproximación mediante una regresión lineal.

Podemos entonces generalizar que a partir del año 2015, podemos proyectar los datos de radiación solar mediante la ecuación:

$$X = 6022.54 + 1.55 * t$$

CAPITULO 6. EL MODELO DE PROYECCION DE REGRESION LINEAL DE RADIACION SOLAR Y SU APLICACION.

La ecuación de regresión lineal calculada en el apartado 5, permite hacer una proyección comparativa para los años 2016 a 2020.

Vemos la siguiente tabla:

TABLA 5 DE PROYECCION DE RADIACION SOLAR

Año	MES (t_i)		Cálculo de Wh/m ² -día (X_i)	HSP
2016	37	ECUACION $X_i = 6022.54 + 1.55 * t$	6079.9	6.08
2017	38		6081.4	6.08
2018	39		6083.0	6.08
2019	40		6084.5	6.08
2020	41		6086.1	6.09

Como vemos en la última columna de esta tabla donde aparece la hora solar pico (HSP) de los valores proyectados, que se obtuvieron al dividir cada valor de X_i entre 1000. Este valor indica que Managua posee un valor de hora solar pico de 6.0 kWh/m²-día.

6.1 Aplicación de la HSP.

Veamos su aplicación para el cálculo de un sistema fotovoltaico, supongamos que tenemos una carga de una vivienda que se resume en la siguiente tabla:

TABLA 6 CONSUMO ESTIMADO DE UNA VIVIENDA

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	POTENCIA UNITARIA (W)	POTENCIA TOTAL (kW)	HORAS DE USO (h)/día	HORAS DE USO (h)/mes	ENERGIA TOTAL (kWh-día)	ENERGIA TOTAL (kWh-mes)
1	ILUMINACION LED	2	8	0.016	4	122	0.064	2
2	TV LED 17 PULGADAS	1	150	0.150	2	61	0.300	9
3	REFRIGERADORA INVERTER 13 PULG.	1	250	0.250	12	365	3.000	91
4	PLANCHA	1	1250	1.250	2	61	2.500	76
				1.666		TOTAL KWH	5.86	178

La carga real necesaria diaria, a suministrar por el sistema fotovoltaico, es de 5,860 Wh/día, y a su vez se toma en cuenta las eficiencias y pérdidas de los distintos sub-sistema que intervienen en el sistema fotovoltaico.⁹

Tenemos un rendimiento del sistema $\eta = 0.75$, la carga a suministrar será:

$$E_T = \frac{Wh/d}{\eta}$$

$$E_T = \frac{5,860 Wh/d}{0.75}$$

$$E_T = 7,819 Wh/d$$

Una vez conociendo cuanta energía se necesita durante el día, se procede al cálculo del generador fotovoltaico adecuado.

⁹ Lorenzo José Alonso, Boletín solar fotovoltaica, Sunfields, Caruña, España, Europa (2012).

Cálculos del generador fotovoltaico.

En este punto se necesita conocer el número de paneles solares para generar la energía demandada durante el día, multiplicando la potencia máxima del panel fotovoltaico por las horas solar diarias y por la eficiencia del panel fotovoltaico, la cual se estima con la ecuación:

$$Ep = MPPT * HSP * PR$$

Donde:

Lmd crítico: Consumo medio diario mensual “Tabla de consumos”

MPPT: Potencia pico del módulo en condiciones estándar STC.

HSP crítico: Son las horas solares pico promedio del mes crítico calculado a partir de “Tabla de radiaciones” es decir Irradiación del mes.

PR: Factor global de funcionamiento del panel fotovoltaico es de 90%.

Utilizaremos para este ejemplo, paneles solares de 300 Watt, vamos a calcular la cantidad de paneles necesarios para cubrir el consumo diario.



290-300 Panel Solar Watts Monocristalino

Características Principales

-  Garantía módulo reforzado
-  Estructura reforzada
-  Ideal p/los sistemas montados en tierra




Características Eléctricas			
Características	ERDM 290M6 HE	ERDM 295M6 HE	ERDM 300M6 HE
Voltaje en Circuito Abierto (V _{oc})	41.75V	41.77V	42.6 V
Voltaje de Operación Óptimo (V _{mp})	34.85V	34.87V	35.58V
Corriente de Cortocircuito (I _{sc})	9A	9.01 A	9.02 A
Corriente de Operación Óptima (I _{mp})	8.43A	8.45 A	8.47 A
Potencia Máxima en STC (P _{max})	290 W	295 W	300 W
Temperatura de Operación (°C)	-40 a 90	-40 a 90	-40 a 90
Máximo Voltaje del Sistema	1000 V	1000 V	1000 V
Máximo Valor del Fusible	20 A	20 A	20 A
Tolerancia de Potencia	+/-3 %	+/-3 %	+/-3 %
Eficiencia	17.68%	17.99%	18.29%

El número de paneles solares será:

$$Nm = \frac{Wh / día}{HSP \times Rendmódulo \times Potpanel}$$

Se considera un rendimiento del módulo solar = 0.80 y HSP = 6.0

$$Nm = \frac{7,819 Wh / día}{6.0 \times 0.80 \times 300}$$

$$Nm = 5$$

Es decir se requieren 5 paneles solares fotovoltaicos de 300 Watts para la generación autónoma de energía eléctrica con fuente solar fotovoltaica para este ejemplo dado.

CONCLUSIONES

- Basados en los resultados obtenidos del análisis y obtención del modelo de regresión lineal, de la base de datos de radiación solar, determinamos que el contar con un modelo de predicción para años posteriores, constituye una valiosa contribución para el diseño de sistemas fotovoltaicos.
- También logramos determinar que la contribución del modelo obtenido de predicción para radiaciones solares, por estar basado en una muestra de datos significativos bastante amplio del período 2013-2015, posee un alto grado de fiabilidad y su valiosa contribución a nuevos estudios de sistemas fotovoltaicos.
- Qué de acuerdo a las correlaciones obtenidas durante el análisis de los datos de la radiación solar el período evaluado (2013-2015), para r^2 que varía entre 0.001 y 0.46; se concluye que el modelo de regresión lineal utilizado para el establecimiento de la ecuación de proyección, es el más apropiado.

RECOMENDACIONES

- Recomendamos que la Universidad Nacional de Ingeniería ponga a disposición de los estudiantes y profesionales la presente investigación monográfica.
- Se recomienda que el laboratorio de Energías Renovables de la UNI, instale un Piranómetro para realizar mediciones de radiación solar.

BIBLIOGRAFIA

1. *Contreras, M. G. Galban y S. B. Sepúlveda.* “Análisis estadístico de la radiación solar en la ciudad de Cúcuta.W”.
2. *Hulstrom, R.* (1989). “Solar Resources”. MIT Press.
3. *Ferrari, S., Lazzaroni, M., Piuri, V., Salman, A., Cristaldi, L. and Faifer, M.* (2013). “Computational Intelligence Models for Solar Radiation Prediction.” IEEE International Instrumentation and easurement Technology Conference (I2MTC), Minneapolis, MN, 2013, pp. 757-762.doi: 10.1109/I2MTC.2013.6555517
4. *Tecnologías –Información.* (Enero 2019). “Análisis de Datos Estadístico: Tipos de Datos y Medidas.” <https://www.tecnologias-informacion.com/analisis-estadistico.html>
5. *Energía Solar.* (13 de Abril del 2017). “Radiación Solar”. <https://solar-energia.net/definiciones/radiacion-solar.html>
6. *Castejón Agustín, Santamaría German.* “Instalaciones solares fotovoltaicas”, editorial Editex, Madrid España, pág. 27.
7. *Julio López de la Fuente.* (1998). “Radiación Solar y Atmosférica en Managua”.

ANEXOS