

SOFTWARE DETERMINADOR DE RADIACIÓN MENSUAL E INSTANTÁNEA PARA LA CORRECTA APLICACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES, TALES COMO, PANELES SOLARES Y/O PANELES TERMICOS.

Ing. Joab Lira Acosta¹ , Dr. Cesar Martinez Torres¹.

Departamento de Ingeniería Eléctrica¹, Universidad de las Américas Puebla (UDLAP), Ex Hacienda Santa Catarina Mártir s/n. Cholula Puebla., E-mails: joab@csier.com (J. L. A.), cesar.martinez@udlap.mx (C.M.T.).

ABSTRACT: Para hacer un correcto dimensionamiento de sistemas solares es necesario hacer un correcto análisis de la irradiación solar la cual, en la mayoría de veces, se pasa por desapercibido, generando un pobre dimensionamiento del sistema. Se implementó un software basado en Microsoft Excel 2013 (Posteriormente actualizado a 2016), el cual, tiene como objetivo el facilitar al usuario los cálculos de la radiación promedio mensual, para, de esta manera, conocer a la perfección la capacidad solar existente y, ofrecer verdaderos resultados a los clientes. Mediante este paper se dan a conocer todos los argumentos que conllevaron a la programación del excel. El objetivo de este trabajo es el de obtener la radiación media mensual simplemente. El realizar un correcto dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos no es parte de estudio del mismo.

PALABRAS CLAVE: Energía renovable, Energía solar, Energía térmica, dimensionamiento solar, irradiación solar, irradiación instantánea, horas de día, ángulos solares.

INTRODUCCIÓN: La radiación solar es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol. El Sol es una estrella que se encuentra a una temperatura media de 6000 K, en cuyo interior tienen lugar una serie de reacciones de fusión nuclear que producen una pérdida de masa que se transforma en energía. Esta energía liberada del Sol se transmite al exterior mediante la radiación solar. El Sol se comporta prácticamente como un cuerpo negro, el cual emite energía siguiendo la ley de Planck a la temperatura ya citada. La radiación solar se distribuye desde el infrarrojo hasta el ultravioleta. No toda la radiación alcanza la superficie de la Tierra, porque las ondas ultravioletas más cortas son absorbidas por los gases de la atmósfera. La magnitud que mide la radiación solar que llega a la Tierra es la irradiancia, que mide la potencia que por unidad de superficie alcanza a la Tierra. Su unidad es el W/m^2 (vatio por metro cuadrado). La mayor parte de la energía que llega a nuestro planeta procede del Sol. El Sol emite energía en forma de radiación electromagnética. Estas radiaciones se distinguen por sus diferentes.

longitudes de onda. Algunas, como las ondas de radio, llegan a tener longitudes de onda de kilómetros, mientras que las más energéticas, como los rayos X o las radiaciones gamma, tienen longitudes de onda de milésimas de nanómetro.

La radiación en el Sol es de $63.450.720 W/m^2$. La energía que llega al exterior de la atmósfera terrestre sobre una superficie perpendicular a los rayos solares lo hace en una cantidad fija, llamada constante solar ($1353 W/m^2$ según la NASA) variable durante el año un $\pm 3\%$ a causa de la elipticidad de la órbita terrestre.^[1] Esta energía es una mezcla de radiaciones de longitudes de onda entre 200 y 4000 nm, que se distingue entre radiación ultravioleta, luz visible y radiación infrarroja.

- Radiación ultravioleta

Es la radiación de menor longitud de onda (360 nm), la cual lleva mucha energía e interfiere con los enlaces moleculares. Especialmente las de menos de 300 nm, que pueden alterar las moléculas de ADN, muy importantes para la vida. Estas ondas son absorbidas por la parte

alta de la atmósfera, especialmente por la capa de ozono. Es importante protegerse de este tipo de radiación, ya que por su acción sobre el ADN está asociada con el cáncer de piel. Sólo las nubes tipo cúmulos de gran desarrollo vertical atenúan éstas radiaciones prácticamente a cero. El resto de las formaciones, tales como cirrus, estratos y cúmulos de poco desarrollo vertical, no las atenúan, por lo que es importante la protección aún en días nublados. Es importante tener especial cuidado cuando se desarrollan nubes cúmulos, ya que éstas pueden llegar a actuar como espejos y difusores e incrementar las intensidades de los rayos ultravioleta y, por consiguiente, el riesgo solar. Algunas nubes tenues pueden tener el efecto de lupa.

- Radiación visible

La radiación correspondiente a la zona visible cuya longitud de onda está entre 360 nm (violeta) y 760 nm (rojo), por la energía que lleva, tiene gran influencia en los seres vivos. La luz visible atraviesa con bastante eficacia la atmósfera limpia, pero cuando hay nubes o masas de polvo, parte de ella es absorbida o reflejada.

- Radiación infrarroja

La radiación infrarroja de más de 760 nm es la que corresponde a longitudes de onda más largas, y lleva poca energía asociada. Su efecto aumenta la agitación de las moléculas, provocando el aumento de la temperatura. El CO₂, el vapor de agua y las pequeñas gotas de agua que forman las nubes absorben con mucha intensidad las radiaciones infrarrojas.

La atmósfera se desempeña como un filtro, ya que mediante sus diferentes capas distribuye la energía solar para que a la superficie terrestre sólo llegue una pequeña parte de esa energía. La parte externa de la atmósfera absorbe parte de las radiaciones, reflejando el resto directamente al espacio exterior, mientras que otras pasarán a la Tierra y luego serán irradiadas. Esto produce el denominado balance térmico, cuyo resultado es el ciclo del equilibrio radiante. Según el tipo de radiación se conoce que de los 324 W/m² que llegan a la Tierra, en la parte alta de la atmósfera (1400

W/m² es la constante solar); 236 W/m² son remitidos al espacio en forma de radiación infrarroja, 86 W/m² son reflejados por las nubes y 2 W/m² son reflejados por el suelo en forma de radiaciones de onda corta. Pero el reenvío de energía no se hace directamente, sino que parte de la energía emitida es absorbida por la atmósfera originándose el "efecto invernadero". [1]

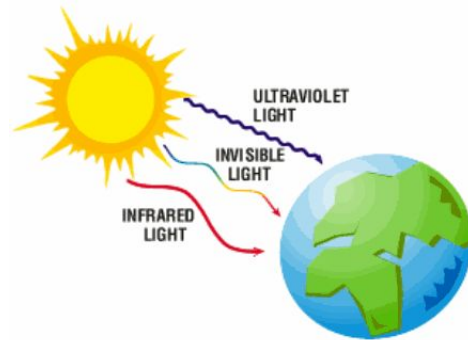


IMAGEN 1: Tipos de radiación solar

Básicamente nuestra capa de ozono decreta la eficacia de nuestros paneles, por lo que se necesita hacer una correcta orientación y, adicionalmente necesitamos dimensionar el efecto de las condiciones meteorológicas, ya que, cuando estas raciones están dentro de nuestra atmósfera puede recibir el panel una radiación directa, difusa o reflejada.

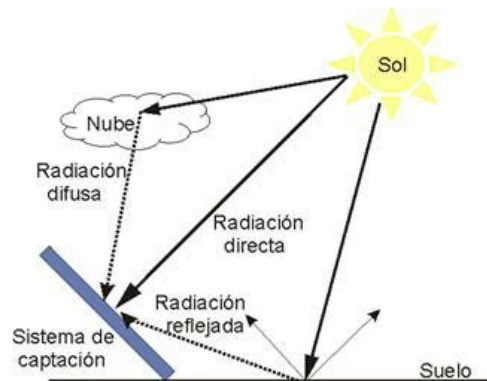


IMAGEN 2: Componentes de la radiación total

- La radiación directa: es aquella que proviene directamente del sol.
- La radiación difusa: es aquella que proviene de la atmósfera, por dispersión de parte de la radiación solar en ella. En los días más soleados sin presencia de nubosidades este tipo de

radiación puede suponer aproximadamente el 15% del global, pero en los días nublados en los que se reduce la cantidad de radiación directa este tipo de radiación aumenta de manera considerable. En cuanto a las edificaciones se puede afirmar que los cerramientos verticales reciben la mitad de la radiación solar que pueden recibir los horizontales. Por esta razón, más adelante estudiaremos formas de controlar la sobreexposición solar que sufre este cerramiento, en concreto los aislamientos de las cubiertas.

- La radiación reflejada es aquella que proviene "rebotada" de la superficie terrestre. La cantidad de este tipo de radiación depende del llamado coeficiente de reflexión de la superficie o "albedo". Son únicamente las superficies verticales (perpendiculares a la superficie terrestre) las que reciben esta radiación.[2]

Por último para conocer cuánta radiación se obtiene durante todo el día es muy importante identificar el posicionamiento solar para, de esta manera tener el mejor rendimiento posible y/o saber en qué ángulo tenemos la mayor productividad posible.

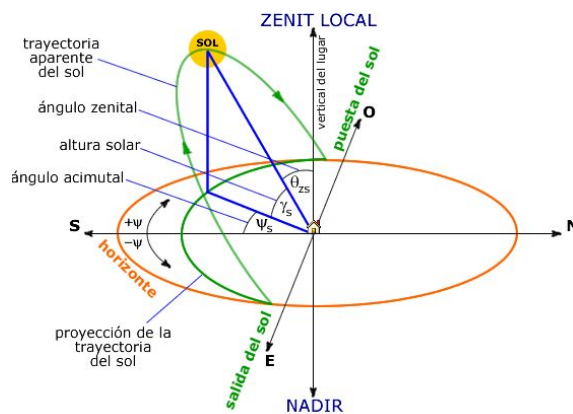


IMAGEN 3: Ángulos para posicionamiento solar

DISTANCIA ZENITAL : Es el ángulo formado por el radio vector punto-Tierra y la vertical del lugar. Es positivo a partir del zenit.

ALTITUD (α): Definida por el ángulo que la visual al sol forma con el horizonte

AZIMUT (γ): Definido por el ángulo que forma la proyección de los rayos solares con respecto al sur.

Una vez que entendimos que es necesario para determinar la radiación podemos pasar a analizar el método numérico

MÉTODO NUMÉRICO: Con este manual se provee el software con este método numérico, sin embargo se explica aquí los pasos realizados para llegar a dicho software.

Existen una serie de datos que necesariamente deben ser suministrados por el usuario. Se analizará el método numérico por partes por lo tanto:

1: DETERMINACIÓN DE ALTURA SOLAR Y AZIMUT.

DATOS NECESARIOS:

UTC	Región de hora	UTC
Día del año	escoger de 1 a 365 para análisis	n
Latitud	del lugar	LAT
Longitud	del lugar	LONG
Hora del día	hora para el análisis 24hrs	HOR

LAT Y LONG del lugar se encuentran en gps.renovable.info

Cálculo de Azimut:

$$\gamma = asen(cos(\delta) * sen(\omega) * cos(\alpha))$$

donde:

- γ = azimut
- δ = declinación solar
- ω = ángulo horario
- α = altura solar

Por lo que necesitamos obtener la declinación solar, el ángulo horario y la altura solar.

Cálculo de Altura solar:

$$asen(sen(LAT) * sen(\delta) + cos(LAT) * cos(\delta) * cos(\omega))$$

donde:

- LAT= Latitud
- δ = declinación solar
- ω = ángulo horario
- α = altura solar

Esta fórmula involucra las incógnitas de δ y ω

Entonces procedemos a ver la forma de encontrar la declinación solar

Cálculo de declinación solar:

$$\delta = 23,45(\text{sen}(360 * (284 + n)/365))$$

donde:

δ = declinación solar

n = día de 365

Esta fórmula ya no involucra incógnitas, por lo tanto continuamos a ω

Cálculo del ángulo horario:

$$\omega = (TSV - 12) * 15$$

donde:

ω = Ángulo Horario

TSV = Tiempo solar verdadero

Esta fórmula involucra una nueva incógnita, el TSV, por lo tanto lo encontramos de la siguiente manera:

Cálculo del TSV:

$$TSV = HOR + Fc$$

donde:

HOR= Hora del día

TSV = Tiempo solar verdadero

Fc = Factor de corrección

Esta fórmula involucra una nueva incógnita, el Factor de corrección, por lo tanto lo encontramos de la siguiente manera:

Cálculo del Fc:

$$Fc = 4 * (UTC * 15 - LONG + Et)/60$$

donde:

UTC= Difuso horario

$Long$ = Longitud del lugar

Et = Ecuación del tiempo

Fc = Factor de corrección

Esta fórmula involucra una nueva incógnita, la ecuación del tiempo, por lo tanto lo encontramos de la siguiente manera:

Cálculo del Et:

$$Et = 9.87 * \text{sen}(2B) - 7.53 * \text{cos}(B) - 1.6 * \text{sen}(B)$$

donde:

B = constante B

Et = Ecuación del tiempo

Esta fórmula involucra una nueva incógnita, B, por lo tanto lo encontramos de la siguiente manera:

Cálculo del B:

$$B = (360/365) * (n - 81)$$

donde:

B = constante B

n = día del año

De esta manera ya tenemos todas las ecuaciones necesarias para determinar el azimut y la altura solar a cierta hora (posición solar), sin embargo, esta primera etapa aún no nos permite conocer la radiación instantánea, para conocer la radiación primero tenemos que determinar la radiación solar instantánea sobre una superficie plana.

2: RADIACIÓN GLOBAL INSTANTÁNEA

El determinar la radiación instantánea es muy útil, ya que de esta manera podemos conocer el promedio mensual. es importante mencionar que tomaremos datos determinados anteriormente y, nuevos datos solicitados al usuario.

DATOS NECESARIOS:

Día del año	escoger de 1 a 365 para análisis	n
Altura	Determinar la altura msnm	ALT
Estación del año	Tropical, verano, invierno	EST
Altura solar	del lugar	α

ALT del lugar se encuentran en gps.renovable.info

Para hacer una buena visualización del procedimiento se recomienda tener los datos antes solicitados ordenados y resaltados para, no cometer errores en la ejecución del método numérico.

Como lo hemos dicho, lo que deseamos hacer es el determinar la radiación global. De esta manera podemos empezar con esta fórmula
Cálculo de la radiación global:

$$Gt = Ib + Id$$

donde:

Ib = radiación directa

Id = radiación difusa

Gt = radiación global

De esta manera tenemos en esta parte dos variables que aún no conocemos. es importante mencionar que no se tiene una radiación difusa debido a que es una superficie horizontal, no existe un ángulo para hacer una reflexión. Procedemos a continuar despejando las fórmulas.

Cálculo de la radiación directa:

$$Ib = Io * Tb$$

donde:

Ib = radiación directa

Io = radiación existente

Tb = coeficiente de transmisión directa

De esta manera tenemos en esta parte dos variables que todavía no conocemos.

Cálculo de la radiación difusa:

$$Id = Io * Td$$

donde:

Id = radiación difusa

Io = radiación existente

Td = coeficiente de transmisión difusa

De esta manera tenemos el cómo calcular las componentes de la radiación global, ahora procedemos a determinar cada parte de ella.

Coeficiente de transmisión directa:

$$Tb = Ao + A1 * e^{(-k/sen(\alpha))}$$

donde:

Tb = coeficiente de transmisión directa

Ao = factor a_0

$A1$ = factor a_1

K = factor k

α = Altura Solar

De esta manera tenemos tres coeficientes que

necesitamos obtener, de esta manera proseguimos a obtenerlas.

A partir de aquí necesitamos conocer la época del año o, las condiciones meteorológicas de la zona y con esto ver las constantes en la siguiente tabla para aplicarlo en las fórmulas de Ao , $A1$ y K .

CONSTANTES DE TEMPORADA

Época	r_0	r_1	r_k
tropical	0.95	0.98	1.02
verano	0.97	0.99	1.02
invierno	1.03	1.01	1

Una vez que identificamos cuáles van a ser las constantes procedemos a aplicarlas a las fórmulas.

Coeficiente A_0 :

$$Ao = r_0(0.4237 - 0.00821(6 - ALT)^2)$$

donde:

r_0 = constante de época del año

Ao = factor a_0

ALT = altura (importante: poner en kilómetros)

Ahora procedemos al siguiente coeficiente

Coeficiente A_1 :

$$A1 = r_1(0.5055 + 0.00595(6.5 - ALT)^2)$$

donde:

r_1 = constante de época del año

$A1$ = factor a_1

ALT = altura (importante: poner en kilómetros)

Ahora procedemos al último coeficiente

Coeficiente K :

$$K = r_k(0.2711 + 0.01858(2.5 - ALT)^2)$$

donde:

r_k = constante de época del año

k = factor k

ALT = altura (importante: poner en kilómetros)

De esta manera logramos obtener el valor del coeficiente de transmisividad directa, ahora

necesitamos determinar el coeficiente de transmisividad difusa y, para esto usamos la siguiente fórmula:

Coeficiente de transmisión difusa:

$$T_d = 0.2710 - 0.2939 * T_b$$

donde:

T_b = coeficiente de transmisión directa

T_d = coeficiente de transmisión difusa

Con esto logramos determinar en cualquier caso los coeficientes de transmisión, lo único que falta es el determinarlo.

Determinar lo:

$$I_o = I_{cs} * e(t)$$

donde:

I_o = radiación existente

$$I_{cs} = 1367 \text{ w/m}^2$$

$e(t)$ = variable

Y, por último determinamos el valor de $e(t)$

mediante la siguiente ecuación:

$$e(t) = 1 + 0.033 * \cos(2\pi n/365)$$

donde:

n = número de día

$$\pi = 3.1416$$

$e(t)$ = variable

Entonces con el valor de radiación global tenemos el valor de la radiación instantánea sobre una superficie plana ahora, que pasa si necesitamos inclinar nuestro panel para mejorar su rendimiento. En estos casos se necesitan aplicar la siguiente metodología.

3: RADIACIÓN GLOBAL INSTANTÁNEA (INCLINADO)

El determinar la radiación instantánea tiene una gran utilidad ya que de esta manera logramos identificar cual es el mejor posicionamiento de nuestro panel a determinada hora y, es un gran precursor de nuestra media mensual.

DATOS NECESARIOS:

Beta del panel	ángulo al que desea el panel	β
Latitud	ubicación geográfica	LAT
Ángulo Horario	-	ω
Declinación solar	-	δ

Se recomienda tener resaltados estos datos y de fácil acceso para una mejor implementación de la programación.

La primer parte es el determinar la radiación total.

Radiación total:

$$G = G_b + G_d + G_r$$

donde:

G = Radiación total

G_b = Radiación directa

G_d = Radiación difusa

G_r = Radiación reflejada

En este caso ya existe una radiación reflejada debido a que ya existe un ángulo capaz de tener interacción con otros objetos.

Ahora necesitamos determinar cada componente, por lo que:

Determinar G_b :

$$G_b = I_b * R_b$$

donde:

G_b = Global directa

I_b = Radiación directa (ya determinada)

R_b = Factor de inclinación directa

Entonces, tenemos que determinar el valor de R_b , sin embargo aún tenemos otras variables en fórmulas anteriores.

Determinar G_d :

$$G_d = I_d * R_d$$

donde:

G_d = Global difusa

I_d = Radiación difusa (ya determinada)

R_d = Factor de inclinación difusa

Tenemos otro factor de inclinación que determinar, sin embargo, es importante ir en orden.

Determinar G_r :

$$G_r = (I_b + I_d) * R_b$$

donde:

G_r = Global reflejada

I_b = Radiación directa (ya determinada)

I_d = Radiación difusa (ya determinada)

R_r = Factor de inclinación directa

Entonces, procedemos a determinar el método numérico para obtener los factores de inclinación.

Determinar R_r :

$$R_r = \frac{\sin(LAT - \beta) * \sin(\delta) + \cos(LAT - \beta) * \cos(\delta) * \cos(\omega)}{\sin(LAT) * \sin(\beta) + \cos(LAT) * \cos(\beta) * \cos(\omega)}$$

donde:

LAT = Global reflejada

δ = declinación solar (ya determinada)

β = ángulo panel (ya determinada)

ω = Altura solar (ya determinada)

R_r = Factor de inclinación directa

El siguiente factor es el de la difusa, veamos

Determinar R_d :

$$R_d = \frac{1 + \cos(\beta)}{2}$$

donde:

R_d = Factor de inclinación difusa

β = Ángulo del panel

De esta manera solo nos queda un factor por determinar.

Determinar R_r :

$$R_r = \sin^2\left(\frac{\beta}{2}\right)$$

donde:

R_r = Factor de inclinación inclinada

β = Ángulo del panel

De esta manera ya determinamos la radiación que una superficie inclinada va a poder recibir en un momento diario, lo que sigue es el determinar cuánta radiación puede obtener mensualmente.

4: RADIACIÓN GLOBAL MENSUAL

A partir de aquí vamos a utilizar datos obtenidos en los puntos 1, 2 y 3 y, algunos datos nuevos.

DATOS NECESARIOS:

H promedio	Dato obtenido de la nasa	H
Latitud	ubicación geográfica	LAT
Declinación solar	-	δ

Se recomienda tener resaltados estos datos y de fácil acceso para una mejor implementación de la programación.

Lo primero que se tiene que hacer es determinar un mes y a partir de este mes utilizar la ecuación de $e(t)$ con cada día del mes.

$$e(t) = 1 + 0.033 * \cos(2\pi n / 365)$$

donde:

n = número de día (1 de 365)

$e(t)$ = variable

por ejemplo, si queremos determinar febrero tenemos que hacer esta ecuación 28 veces con n desde 31 hasta 59, teniendo entonces 28 valores.

Una vez que tenemos estos datos los tenemos que someter a la siguiente ecuación:

Determinar Radiación extraterrestre:

$$R_{ext} = 37.59 * e(t) * (0.01745 * ANG * \sin(LAT) * \sin(\delta) + \cos(LAT) * \cos(\delta) * \sin(ANG))$$

donde:

R_{ext} = Radiación extraterrestre

ANG = Ángulo del amanecer

LAT = Ángulo del amanecer

δ = Declinación solar

La ecuación nos da el resultado en megajoules, para cambiar los datos a wh/m² simplemente multiplicamos los 28 resultados (mes de febrero por 277.7 esto es para hacer la conversión De esta manera esta ecuación necesita determinar ANG, lo cual lo hacemos de la siguiente manera:

Determinar Ángulo del atardecer:

$$ANG = -\tan(LAT) * \tan(\delta)$$

donde:

ANG = Ángulo del atardecer

LAT = Ángulo del amanecer

δ = Declinación solar

Una vez que tenemos los 28 datos en wh/m² (mes ejemplo de febrero) hacemos un promedio de ellos y el resultado va a ser nuestra radiación extraterrestre promedio ($R_{ext.prom}$).

Ya que tenemos el promedio tenemos que buscar en los 28 días elegimos el día más asemejado al promedio extraterrestre y, para nuestros siguientes cálculos van a ser con esta n.

una vez que se hayan realizado de nuevo todos los cálculos (Ahora con este valor de n) buscamos en la página nasa.renovable.info la radiación del mes deseado (Valor de H).

Para hacer esto tenemos que escribir la latitud y longitud del lugar analizado, la cual puede ser encontrada en gps.renovable.info (antes buscada), y a continuación seleccionar el rango de tiempo que deseamos obtener. Terminando esto damos click en "SUBMIT" y nos dará los valores del año seleccionado en orden, por ejemplo, como estamos analizando se escoge el segundo.

Determinar luminosidad del día:

$$K = \frac{H}{R_{ext.prom}}$$

donde:

K = Luminosidad del día

H = H promedio (determinado de la nasa)

$R_{ext.prom}$ = Radiación extraterrestre promedio

El coeficiente D es importante para la determinación de nuestra radiación mensual.

Determinar coeficiente D:

$$D = 1.39 - 4.027K + 5.531K^2 - 3.108K^3$$

donde:

D = Coeficiente D

k = Luminosidad del día

Lo que continua es la determinación del coeficiente B

Determinar coeficiente B:

$$B = H - D$$

donde:

D = Coeficiente D

B = Coeficiente B

H = H promedio (determinado de la nasa)

Ahora que tenemos estos valores procedemos a determinar la ecuación de radiación media mensual:

Determinar Radiación media:

$$Me = Rb * B + Rd * D + Rrr(B + D)$$

donde:

D = Coeficiente D

B = Coeficiente B

Me = Radiación media

Rb = Factor de inclinación directa (ya determinado)

Rd = Factor de inclinación difusa (ya determinado)

Rrr = Factor de inclinación media

El Factor de inclinación media es el único valor que falta para determinar la radiación media en una superficie inclinada, por lo tanto esto es lo que tenemos que hacer para determinarlo:

Determinar Factor de inclinación media :

$$Rrr = \frac{\cos(LAT-\beta) \cdot \cos(\delta) \cdot \sin(ANG) + ANG \cdot \sin(LAT-\beta) \cdot \sin(\delta)}{\cos(LAT) \cdot \cos(\delta) \cdot \sin(ANG) + ANG \cdot \sin(LAT) \cdot \sin(\delta)}$$

donde:

Rrr = Factor de inclinación media

LAT = Latitud

δ = Declinación solar

ANG = Ángulo del atardecer

De esta manera tenemos la energía máxima que va a llegar a ser irradiada en el sistema.

Por último nos queda aplicar este valor, mediante el conocer cual es el área de nuestro calentador solar (en el caso de sistemas térmico).

5: Determinación de área del calentador

El único dato de los cálculos pasados que vamos a necesitar es la radiación promedio mensual (Me), sin embargo el usuario tendrá que ofrecer los siguientes datos:

DATOS NECESARIOS:

Casas totales a subsidiar	-	N
Dormitorios de cada casa	-	CUARTOS
Litros usados por c/ persona	-	LITROS
Temperatura promedio diaria	-	T.AMB
Eficiencia del panel térmico	-	E
Porcentaje de pérdidas	-	PER

Se recomienda que estos datos sean solicitados desde el inicio al usuario.

Determinar Factor de simultaneidad:

Con el número de casas determinamos el F a partir de la siguiente tabla:

No de viviendas	f
$N \leq 10$	1
$11 < N < 25$	$1.2 - (0.02 N)$
$N \geq 25$	0.7

Una vez teniendo esto determinamos el número de personas que se tienen por vivienda de la siguiente manera:

Determinar número de personas:

Se toma el valor de número de cuartos y a partir de aquí determinamos el número de personas en la vivienda (n)

Numero de dormitorios	Numero de personas
1	1,5
2	3
3	4
4	6
5	7
6	8
7	9

Determinar litros por persona:

Otro valor importante para determinar es el número de litros que consume cada persona en la vivienda, esto se recomienda medirlo, sin embargo si aún no se habita la casa se puede implementar con la siguiente tabla:

Criterio de demanda	Litros/día-unidad	unidad
Vivienda	28	Por persona
Hospitales y clínicas	55	Por persona
Ambulatorio y centro de salud	41	Por persona
Hotel *****	69	Por persona
Hotel ****	55	Por persona
Hotel ***	41	Por persona
Hotel/hostal **	34	Por persona
Camping	21	Por persona
Hostal/pensión *	28	Por persona
Residencia	41	Por persona
Centro penitenciario	28	Por persona
Albergue	24	Por persona
Vestuarios/Duchas colectivas	21	Por persona
Escuela sin ducha	4	Por persona
Escuela con ducha	21	Por persona
Cuarteles	28	Por persona
Fábricas y talleres	21	Por persona
Oficinas	2	Por persona
Gimnasios	21	Por persona
Restaurantes	8	Por persona
Cafeterías	1	Por persona

Una vez que ya tenemos todos los datos procedemos a aplicar la fórmula del volumen de agua caliente sanitaria.

Determinar agua caliente sanitaria:

$$V_{acs} = F N n V$$

donde:

V_{acs} = Volumen del agua caliente sanitaria

F = Factor de simultaneidad

n = número de personas

V = volumen de agua por persona

El resultado se expresa en litros.

Lo siguiente que se determina es el determinar la temperatura del día evaluado o, el promedio del mes.

Este valor lo podemos obtener directamente de la página de la CONAGUA (en México) o, con programas de simulación,

Ahora determinamos el valor de delta t.

Determinar delta T:

$$\Delta t = 45 - \text{temperatura del ambiente}$$

donde:

Δt = delta de la temperatura

Una vez que tenemos la temperatura determinamos el coeficiente Q.

Determinar el consumo:

$$Q = V_{acs} * \varphi * C_p * \Delta t$$

donde:

Q = coeficiente de consumo

V_{acs} = Volumen de agua caliente sanitaria

φ = densidad del agua

C_p = Calor específico (1.16E-3)

Δt = delta de la temperatura

Continuamos con la eficiencia del captador

Determinar la eficiencia:

$$E_{captador} = E \left(\frac{\eta}{100} \right)$$

donde:

$E_{captador}$ = Eficiencia del captador

E = Energía que recibe el captador

(Dato proveniente de nasa.renovable.info)

η = eficiencia del captador

(lo debe de dar el fabricante, sin embargo regularmente es de 50% - 60%)

Determinar la Energía del sistema:

$$E_{sys} = E_{captador} * \left(\frac{100-C}{100} \right)$$

donde:

E_{sys} = Energía del sistema

$E_{captador}$ = Eficiencia del captador

C = Porcentaje de pérdidas

Por lo anterior podemos determinar la superficie que necesita tener nuestro captador de la siguiente manera:

Determinar la Superficie del captador:

$$S_{captador} = \frac{Q}{E_{sys}}$$

donde:

$S_{captador}$ = superficie del captador

Q = coeficiente de consumo

E_{sys} = Energía del sistema

Una vez que se tienen estos datos cerramos el método matemático, ya que de esta manera logramos determinar la superficie de nuestro colector dimensionando correctamente con las posiciones geográficas de nuestra zona.

Como se ha mencionado, este manual incluye un software que puede ser descargado en proyectos.csier.com con el cual usted puede obtener fácilmente el dimensionado de un sistema sin tener que aplicar el método numérico.

En los siguientes párrafos se explicará cómo usar este software.

USO DEL SOFTWARE: El principal objetivo del desarrollo de este proyecto es el brindar una herramienta con la que, se pueda realizar un correcto dimensionamiento de un sistema solar térmico (enfocado a proyectos de Agua caliente sanitaria), sin embargo puede ser modificado para ser usado en solar fotovoltaica debido a que el software es basado en microsoft excel con licencia abierta siempre y cuando se referencie correctamente a las partes involucradas en este trabajo (al final del paper se menciona más del cómo hacerlo).

El software es muy amigable con el usuario, comienza con la pregunta de si deseas usar la versión automática, basta con decir si o no, la diferencia entre estas dos es que la versión manual es mediante el desarrollo del método numérico al pie de la letra como lo hemos expuesto, sin embargo se está desarrollando una versión que se encuentra en fase de pruebas (la cual es llamada versión automática), en la que,

usted no necesita visitar la página nasa.renovable.info para determinar la radiación promedio mensual, el programa lo determina automáticamente, sin embargo, es importante mencionar que se encuentra en fase beta, por lo que los resultados son buenos, sin embargo son alejados de la realidad, por lo que, recalcamos que es mejor utilizar la versión manual. Por lo anterior nos centraremos en cómo usar el software en sin la opción de automático. Esta es nuestra interfase:

Hola! gracias por usar el software de diseño de equipos de calentadores solares. Este es un proyecto fomentado por la Universidad de las Américas Puebla (UDLAP.mx) y está respaldado por el Centro de Sistemas Inteligentes en Energía Renovable (CSIER.com). Este software está respaldado por un manual de usuario el cual puede ser descargado en: proyectos.csier.com

Necesitamos conocer estos datos

Quieres usar el software automatizado	si		
¿Qué mes es el que vas a evaluar?	febrero		
¿Qué UTC es el de la zona?	-5		
¿Cuál es la latitud?	21		
¿Cuál es la longitud?	-103		
¿Cuál es la altura?	1000		
¿Estos datos los puedes encontrar en gps.renovable.info ?			
¿Cuál es el clima que domina?	invierno		
Escoger entre tropical verano invierno			
¿Cuál es el Albedo?	0,2		
¿Cuál va a ser la inclinación del panel?	20		
¿Cuál va a ser la hora local?	12		

Datos del dimensionamiento

numero de casas a subsidiar	15
numero de dormitorios por casa	2
Litros por persona usados	30
Temperatura del día a evaluar	14
Eficiencia del panel térmico	50 %
porcentaje de pérdidas	10 %

Es bastante fácil de utilizar, simplemente ingresas los datos requeridos en los recuadros grises y el programa determinará mediante el método matemático el resultado.

PASO 1: en la pregunta “quieres usar el software automatizado” escribir “no” (previamente explicado el porqué)

Una vez dándole enter le aparecerán nuevas preguntas.

PASO 2: Ingresar los datos a evaluar, tales como: mes que se evaluará, el UTC local, latitud, longitud y altura (estos últimos 3 se pueden obtener fácilmente en gps.renovable.info)

17	¿Qué mes es el que vas a evaluar?	febrero
18	¿Qué UTC es el de la zona?	-5
19	¿Cuál es la latitud?	21
20	¿Cuál es la longitud?	-103
21	¿Cuál es la altura?	1000
22	Estos datos los puedes encontrar en gps.renovable.info	

En la página de GPS si aceptas que te localice te dará las coordenadas y altitud de tu ubicación actual (muy útil). las coordenadas se deben meter en forma de grados decimales.

PASO 3: Ingresar datos técnicos, tanto como el clima que domina todo el año en la ubicación (o,

el del mes que se haya elegido), el albedo de la zona, la inclinación en la que desea que esté la superficie de nuestro panel y, la hora en la que se realizará la primera evaluación.

23	¿Cuál es el clima que domina?	invierno
24	Escoger entre tropical verano invierno	
25	¿Cuál es el Albedo?	0,2
26	¿Cuál va a ser la inclinación del panel?	20
27	¿Cuál va a ser la hora local?	12

El albedo en ciudad se recomienda 0.2, mientras que si es con vista al mar 0.6, la nieve fresca tiene uno de 0.99 mientras que el asfalto entre 0.1 y 0.2. Escoja correctamente con su entorno.

La inclinación del panel se recomienda que sea cerca a su latitud, por ejemplo si su latitud es 21, la inclinación del panel es recomendada en 20.

PASO 4 (SOLO SI EN EL PASO 1 SELECCIONASTE NO): Cuando elegiste manual te aparecieron esta nueva parte del software con el título “Datos complementarios”:

Datos complementarios

¿Cuál es la radiación media? 5000 kWh

¿Cuáles escoger en nasa.renovable.info (para UTC y hora local)?

De la tabla de al lado escoge el número más parecido a 6938,815

Por aquí el número de la tabla más parecido

NO	
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
48	
49	
50	

Aquí te pide la radiación media del mes, para esto vamos a nasa.renovable.info, escribimos la latitud y longitud de nuestra ubicación y, más abajo en rango de tiempo selecciona:

Start Date: Jan 1 2005 SEE AVAILABLE DATES

End Date: Dec 31 2005 BESIDE EACH PARAMETER

Al terminar hacer clic en “Submit”.

Te aparecerán 12 datos, cada uno de ellos es de un mes del año tu tienes que elegir el del mes que tomaste, por ejemplo, si fue febrero elige el segundo.

La siguiente pregunta te dirá que elijas el valor más parecido a un número en el programa, si, en la tabla de al lado el número más parecido esta en la posición 47 tu necesitas escribir 47.

ro mas parecido a	6938,815	43	6948,6861
mas parecido	47	44	6946,0628
		45	6943,3913
		46	6940,6724
		47	6937,9069
		48	6935,1414

Cambiarán todos los números, no te preocupes, es normal

PASO 5: Este paso es el de preferencias de la edificación, tu necesitarás escribir los datos que te pide conforme a las necesidades de la casa.

Datos del dimensionamiento	
numero de casas a subsidiar	15
numero de dormitorios por casa	2
Litros por persona usados	30
Temperatura del día a evaluar	14
Eficiencia del panel térmico	50 %
porcentaje de perdidas	10 %

En la sección de métodos numéricos da mayor referencia al cómo elegir de manera más ideal estos datos, recomendamos leerlo.

Una vez terminados los 5 pasos tendrás una tabla de resultados en la parte inferior del excel, la cual te dará los siguientes datos: el número de horas con sol, la elevación solar a la hora y día elegido así como el azimut, la radiación instantánea, la radiación media y la superficie que necesita tener el calentador solar.

Estos son los resultados		Se necesita un calentador con una superficie de	
El día tiene	10,744387 hrs de sol		
La elevación solar es	38,566501 grados		12,556657 m2
El azimut es	19,185031 grados		
La radiación instantánea	953,86832 w/m2		
	Radiación media		
en el mes de febrero	7792,3127 w/h/m2		

Software diseñado en la Universidad de las Américas Puebla por: Ing. Joab Martín Lira Acosta, Dr. Cesar Martínez Torres.

Con estos datos usted podrá fácilmente determinar la radiación en determinada hora, la posición del sol, la media del mes elegido así como funcionamiento del panel térmico.

Si usted desea manejar los datos y fórmulas para enfocar el software hacia solar fotovoltaica lo puede hacer... el excel contiene hojas ocultas, las cuales puede modificar sin tener la necesidad de ingresar contraseñas. El único requisito es citar este trabajo conforme a lo marcado en la parte final del trabajo.

RESULTADOS Y ANÁLISIS: El software muestra los resultados de una manera fácil y clara los resultados, se han comparado resultados mostrados aquí con resultados mostrados por programas tales como PVsol 7.5 premium version y son muy similares, lo cual nos muestra una alta eficiencia de nuestro software. La parte automática está en fase beta, esto debido a que, cuando se determina la H del mes se obtiene un valor relativamente bajo o alto, lo que necesita ser resuelto en futuras versiones, CSIER continua con una optimización de este software para poder ofrecer esto como un software de licencia libre.

CONCLUSIONES: El análisis del método matemático es muy útil en el momento que se desarrolla un sistema de captación solar, esto debido a que, se puede optimizar los equipos de captación solar y, esto se traduce en el comprar menos equipos renovables.

El desarrollar un sistema capaz de determinar la radiación media (nuestra fase beta) es de gran utilidad, ya que, abre un nuevo campo para la facilitación de cálculos.

En nuestra versión Beta el principal problema es el índice H, debido a que tiene un gran factor de error en comparación con lo obtenido por la nasa, lo que se traduce en un mal factor de K (luminosidad), que nos da en 0,4 aprox. Este tópico se continúa en desarrollo por los centros de estudios mencionados anteriormente en este trabajo.

REFERENCIAS:

- [1]Wikipedia. (2012). Radiación solar. 2016, de Wikipedia Sitio web: https://es.wikipedia.org/wiki/Radiaci%C3%B3n_solar
- [2]Hernandez, P.. (2011). Tipos de radiaciones. 2016, de PJH Sitio web: <http://pedrojhernandez.com/2014/03/08/radiacion-directa-dif-usa-y-reflejada/>

SOFTWARE UTILIZADO: PVsol 7.5 premium version, Microsoft Excel 2016 (incluida la versión 2013), Google DOCS (Procesador de textos).

LICENCIA DE USO DEL CONTENIDO: La universidad de las Américas Puebla (UDLAP) en conjunto con el Centro de Sistemas Inteligentes en Energía Renovable (CSIER) da permiso de uso y modificación de este software siempre y cuando se de la referencia respectiva conforme a la siguiente forma:

LIRA, JOAB. (2014). SOFTWARE DETERMINADOR DE RADIACIÓN MENSUAL E INSTANTÁNEA PARA LA CORRECTA APLICACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES, TALES COMO, PANELES SOLARES Y/O PANELES TERMICOS.. PUEBLA, MÉXICO: UDLAP - CSIER.