



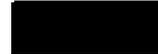
**Instituto Tecnológico y de Estudios
Superiores de Monterrey**
Campus Ciudad de México
División de Ingeniería y Arquitectura

***Calificador de Colectores Solares,
Nahyax Consultores***
**Simulación y Construcción de Prototipos
Electromecánicos.**

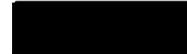
Asesor: Dr. Ricardo Ganem Corvera

Por:

Mauricio Méndez Rojas



Ricardo Cisneros Mendoza



Ricardo Navarro Ascencio



09 de noviembre de 2012



**TECNOLOGICO
DE MONTERREY**

Biblioteca
Campus Ciudad de México

Índice

Introducción

Las fuentes de energía alternativas son actualmente un tema de suma importancia en su aplicación e investigación pues como sociedad global nos encontramos en la necesidad de disminuir el consumo de combustibles fósiles. El elevado consumo de estos combustibles generan una gran desventaja con el aumento de gases de efecto invernadero, una problemática que desemboca en el calentamiento global. Por otro lado también radica la generación de servicios y uso de recursos de manera más responsable.

El proyecto abarca la programación de un calificador que genere los suficientes resultados termodinámicos, energéticos y geográficos para brindar una asesoría completa y justificada mediante las variables involucradas en el uso de un colector solar. Por lo tanto una consultora dará el servicio de brindar dicha asesoría y proponer la mejor opción para colocar un colector solar y satisfacer todas las necesidades del cliente.

Objetivos

- Desarrollar un simulador capaz de brindar elementos termodinámicos y geográficos suficientes para la elección e instalación de un colector solar y generar el análisis pertinente en la operación del mismo.
- Dar la pauta para que posteriormente se pueda calificar cualquier opción de colector solar.
- Contar con esta herramienta tecnológica como parte de una consultoría en desarrollo sostenible para ésta instalación.

Alcance

- Brindarle a Nahyax Consultores la oportunidad de calificar, simular y proponer las mejores soluciones para la compra, instalación y operación de colectores solares.
- Ser para Nahyax Consultores un proveedor de tecnología para calificar en una primera escala un colector solar.
- Darle a los clientes de la consultora la oportunidad de disminuir los costos de servicios en unidades particulares e industriales.
- Tener un servicio completo para la consultora y poder generar actualizaciones de acuerdo a la oferta de colectores en el mercado.

Marco Teórico

Consultora y Gestora en Desarrollo Sostenible, Nahyax

Nahyax es una consultora y gestora en desarrollo sostenible que nace en el año de 2011 como una necesidad de la sociedad para buscar soluciones inteligentes y

rentables de rediseño de condiciones actuales domésticas e industriales de utilización de recursos energéticos. El desarrollo social encaminado a la creación de un círculo virtuoso de generación de valor, preservando el cuidado del medio ambiente para disminuir los costos de mantenimiento y producción de servicios.

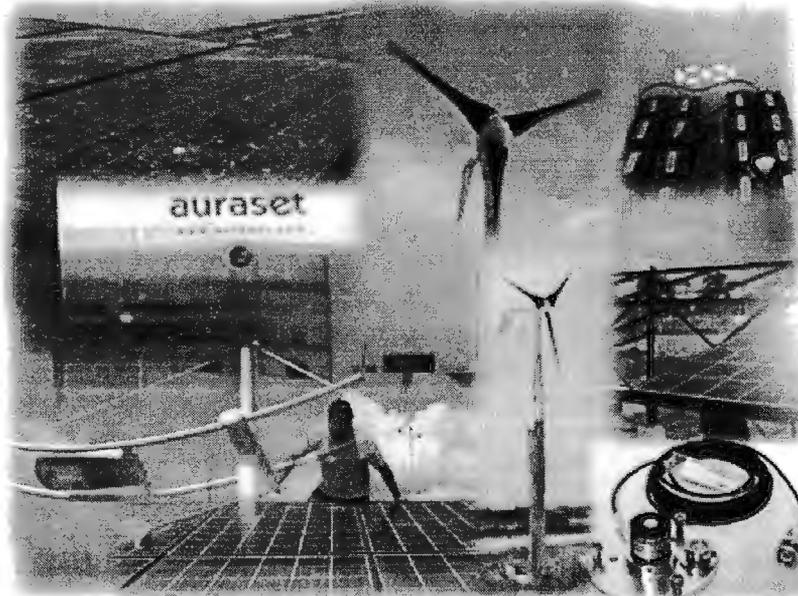


La necesidad de Nahyax es brindar la mejor solución doméstica para sus clientes, que sean eficientes, rentables y que agreguen valor al funcionamiento urbano. De esta forma una de las soluciones que incluyen en sus asesorías es la instalación de calentadores solares y disminuir los costos de consumos de gas por año.

Ésta solución está encaminada para uso de agua caliente para albercas o para consumo en los servicios del predio.

Energías alternas

Existen distintas fuentes de energías alternas, entre las que destacan, las energías renovables, pues no representan el uso de combustibles o que consten de fuentes con capacidad de regenerarse por medios naturales. La energía solar es una fuente de energía renovable, pues utiliza la radiación que llega a la tierra para calentar, o hacer funcionar celdas que generan electricidad.



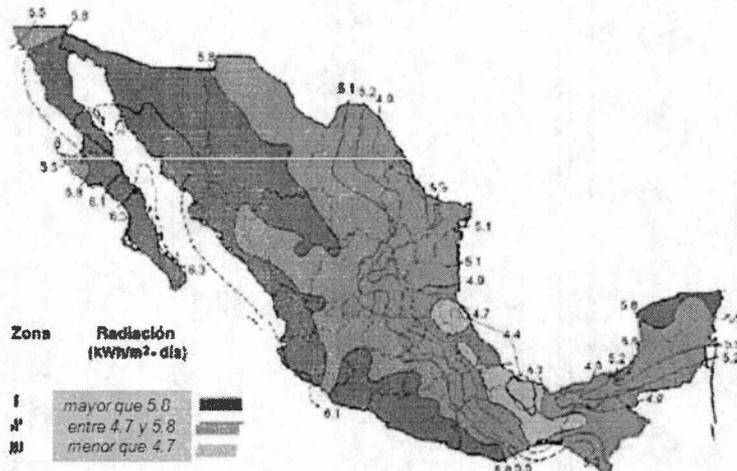
De esta manera se evita el consumo de energía eléctrica y también el consumo de gas para calentar agua a nivel industrial pero también en escalas domésticas.

Energía Solar

La energía solar es la energía que se aprovecha de la radiación electromagnética emitida por el sol, se encuentra dentro de las energías limpias y renovables pues no generan residuos que representen un impacto negativo al medio ambiente y también su principio recurre en una forma renovable naturalmente.

La tendencia actual es que se desarrolle de la mejor forma a nivel nacional e internacional, para que de esta manera en 2030 se suministre mediante la energía solar a dos tercios de la población Mundial (Greenpeace 2008).

En México se tiene un gran potencial de desarrollar tecnologías por su ubicación geográfica. La radiación promedio que el país recibe diariamente se puede visualizar en la siguiente figura:



El país recibe en promedio $5 \frac{kWh}{día}$ de radiación solar. Toda vez que se coloque una central de generación de electricidad o colectores solares para calentar agua en México se puede aprovechar esa radiación, siendo la mayoría del país una buena región para colocar un colector.

Radiación Solar

La radiación solar comúnmente se mide en *Langleys*, equivalentes a 1 caloría de energía radiante por centímetro cuadrado. La intensidad de ésta cambia de acuerdo con el lugar, la hora, estación, situación meteorológica.

La constante solar es de $2 \frac{cal}{cm^2}$ en el exterior, fuera de la atmósfera y alrededor de la tierra. La radiación total solar incidente en la



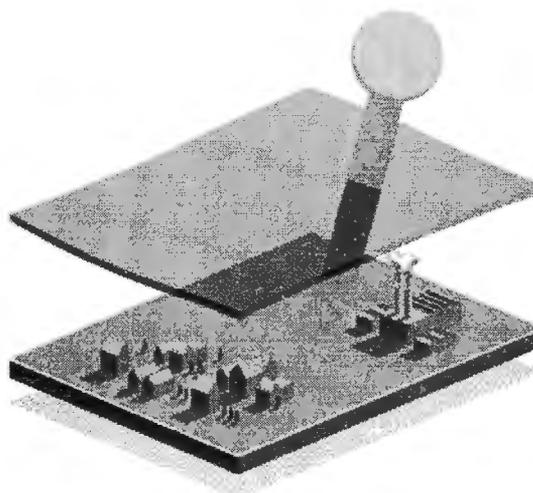
atmósfera es de $2.4 \times 10^{15} \frac{\text{Kcal}}{\text{mi n}}$ y varía únicamente un 3.3%, conforme la órbita elíptica de la tierra hace que está se acerque o se aleje del sol. La energía solar recibida por un colector solar, incluye tanto la radiación directa y difusa.

Con un cielo sin nubes, la radiación solar incidente sobre una superficie horizontal es máxima en el ecuador a mediodía puesto que los rayos del sol atraviesan en forma perpendicular a la atmósfera, teniendo un recorrido mínimo a través del aire.

Por otro lado en el hemisferio norte, el sol alcanza su punto más alto en el cielo el 21 de junio y el punto más bajo el 21 de diciembre, los puntos medios en los equinoccios, 21 de marzo y 21 de septiembre, de ésta forma en el hemisferio sur, ocurre al contrario, los puntos más altos el 21 de diciembre el punto más alto, el 21 de junio el más bajo y los puntos medios al igual el 21 de marzo y 21 de septiembre. Dicho comportamiento del movimiento de la Tierra con el Sol alrededor del Sol, son datos a considerar en el análisis de colocación geográfica.

Como ya se ha mencionado, los datos sobre radiación solar vienen referidos a la energía calorífica recibida por una superficie horizontal de un centímetro cuadrado, siendo mucho menor por la mañana y al final de la tarde que al mediodía, y la radiación al norte y al sur del ecuador es menor que en el ecuador.

Inclinando el receptor de energía, en este caso un colector se puede reducir la pérdida de intensidad causada por el ángulo de incidencia del sol, es decir, la mejor forma de mayor obtención de energía radiante es girando e inclinando el colector continuamente para colocarlo siempre perpendicular a los rayos del sol.



La relación analítica de la intensidad de la radiación sobre una superficie horizontal a la incidente en una superficie perpendicular a la radiación es igual al coseno del ángulo formado por los rayos del sol con la superficie horizontal. Si la superficie receptora forma un ángulo de 60° con respecto a la normal, la intensidad de la radiación será la mitad, y si forma un ángulo de 45° , la energía recibida por minuto serán del 70.7% porque:

$$\cos 60^\circ = 0.50$$

$$\cos 45^\circ = 0.707$$

Para el aprovechamiento de la energía solar no se requiere de alguna herramienta tecnológica sofisticada para su realización, pues simplemente es algo tan habitual como dejarse calentar por el Sol y transmitir la energía térmica transformada a un material o fluido hasta donde se quiera hacer uso de él.

La diferencia en este caso y el problema de los colectores solares son encontrar las mejores cualidades para su utilización, como lo es la durabilidad, hermeticidad e inalterabilidad que lo hagan ser más provechoso de lo que en realidad puede ser.

Para inicios de los años 80's el actor más importante en los procesos de instalaciones, el sol, se volvería también un enemigo, pues sería devastador para los materiales empleados en los colectores, pues disminuían su tiempo de vida, así también combinados con los demás agentes atmosféricos se transformarían en una pesadilla para los productores de estos servicios.

Para años recientes se utilizaron materiales como vidrio y cerámicos con matrices metálicas como ejemplos de materiales inalterables por el sol.

Las cualidades principales para exigir en un colector solar, es el tiempo de vida, como mínimo 20 años, sin presentar pérdidas de sus propiedades y características principales y rendimiento.

Los colectores solares se pueden clasificar en colectores sin concentración o con concentración, éstos últimos los más caros pues se utilizan cuando se requieren obtener temperaturas altas, a partir de 80°C, y los objetos a éste análisis, los que son sin concentración, utilizados mayormente por particulares.

Entre los colectores solares sin concentración se encuentra una gama variada de colectores, para temperaturas que oscilan de los 30°C a los 90°C, de uso doméstico.

Colectores solares planos

Estos colectores se caracterizan por tener una cubierta y absorbedores planos, aunque también puede ser un conjunto de elementos tubulares. Las grandes superficies de los colectores planos se hacen de chapa metálica, principalmente hierro, cobre o aluminio para aprovechar la conductividad, también son pintados a menudo con pintura mate, o con **revestimientos especiales** químicamente manipulados.



La chapa incrementa su temperatura al absorber la radiación y transmitir el calor por conducción al fluido que se está utilizando, en este caso, agua o aire. Al mismo tiempo el



colector transmite calor por convección al aire del exterior, por conducción a las partes frías que se encuentran en el mismo colector, así como por radiación infrarroja (entre los 8 y 10 μ en el infrarrojo). De esta forma se reducen éstas pérdidas con la colocación de láminas de vidrio o plástico encima de la superficie receptora, creando hermeticidad en el colector.

El principio de los colectores solares se puede explicar de manera sencilla, la luz del sol que llega a la tierra, con una longitud de onda de 2.5 μ , pasa a través de la cubierta transparente, y la radiación infrarroja del objeto caliente, de una longitud de onda superior, no puede volver a salir a través del vidrio o plástico transparente porque es absorbida. Las tapas transparentes enfriadas por el aire exterior y las capas de aire que se quedan entre ellas son malos conductores de calor, de esta manera se reducen las pérdidas de calor.

Por otro lado, cuando se utilizan varias láminas transparente se colocan separadas entre sí unos 2.5 cm para reducir la circulación del aire entre éstas y evitar la pérdida por convección. Además las láminas de vidrio se pueden reducir con un tratamiento especial en el que se deposita una delgada capa transparente, que represente $\frac{1}{4}$ de la longitud de la onda de la luz del sol en cada lado del vidrio para producir interferencia. Así se reduce la pérdida de calor usando más láminas sin aumentar la reflectividad, pero eventualmente el costo se elevaría.

Es necesario también hablar de la orientación de los colectores solares, pues pueden colocarse horizontales, verticales o inclinados y la cantidad de radiación recogida varía. La orientación también depende del tamaño y el peso de los colectores, el coste, la latitud, estación y obviamente de las limitaciones arquitectónicas. La forma más sencilla es colocar un colector de forma horizontal, pero dónde se aprovecharía de forma óptima, es con una inclinación hacia el ecuador, en el hemisferio norte mirando hacia el sur y se inclinan en ángulo igual a la latitud y que el ángulo aumente en invierno 15° aproximadamente y por ende en verano disminuya la misma cantidad.

Plan de Trabajo

Para este proyecto fuimos capaces de sacar adelante un proyecto que parecía perdido después de que Veretra dejó de trabajar con nosotros.

Sin embargo, pudimos seguir sobre la misma línea del proyecto y programar el simulador para una compañía diferente y que pudiera ser de utilidad para éste cliente y su proceso de consultoría.

El proyecto se maneja dentro de las siguientes fases.

	Ago															Septiembre																						
	L	M	J	V	S	D	L	M	J	V	S	D	L	M	J	V	S	D	L	M	J	V	S	D	L	M	J	V	S	D								
Investigación	27	28	29	30	31	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			
Lectura de libros																																						
Lectura de manuales																																						
Juntas con el Dr. Ricardo Ganem																																						
Juntas grupales para ideas de software																																						
Complemento de información																																						
Desarrollo de programa																																						
Validación de programa																																						
Diseño de interfaz																																						
Proyecto final																																						

	Octubre															Noviembre																												
	L	M	J	V	S	D	L	M	J	V	S	D	L	M	J	V	S	D	L	M	J	V	S	D	L	M	J	V	S	D														
Investigación	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	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
Lectura de libros																																												
Lectura de manuales																																												
Juntas con el Dr. Ricardo Ganem																																												
Juntas grupales para ideas de software																																												
Complemento de información																																												
Desarrollo de programa																																												
Validación de programa																																												
Diseño de interfaz																																												
Proyecto final																																												

Análisis FODA

<p>Fortalezas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Único calificador o simulador en el mercado. • Software fácil de utilizar y amigable para cualquier usuario • El desarrollo sostenible es un tema en el que faltan muchas manos por trabajar, una gran oportunidad para incursionar en esa área. • Ningún tipo de inversión material para los desarrolladores • Facilidad para los clientes de la Consultora para entender y confiar en el servicio 	<p>Debilidades</p> <ul style="list-style-type: none"> • Contar con una amplia investigación en colectores solares para considerar en las opciones todos y cada uno de ellos. • No contamos con el conocimiento de desarrollar un software con un lenguaje más avanzado y mejorar el manejo de éste. • El riesgo es que se cuenten con variables no consideradas en el programa.
<p>Oportunidades</p> <ul style="list-style-type: none"> • Apoyo y asesoría de un experto en la materia. (Dr. Ricardo Ganem) • Facilidad de colocar el programa, pues uno de los integrantes es miembro fundador de la consultora. • Sociedades globales buscando trabajar en desarrollo sostenible y en sistemas amigables al medio ambiente • Ser pioneros en la generación de tecnología de validación, calificación y simulación de sistemas sostenibles. • Un mejor y mayor entendimiento hacia el concepto de sostenibilidad 	<p>Amenazas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Encontrar formas más fáciles de calificar y caracterizar un colector. • Crecimiento del mercado de asesoría y contar con una cantidad grande de competidores. • Colectores solares fuera del mercado por ser obsoletos o mejore la tecnología para calentar agua

Programa Calificador

Este tipo de programa salió de la idea actual del proyecto de Veretra, que consistía en valorar, probar y estudiar un colector solar de esa empresa, para eso se hubiera necesitado hacer los experimentos pertinentes para poder calificar el colector y hasta llegar a mejorarlo, por lo que nos dio la idea de valorar algunos colectores solares, comparar y mostrar al cliente lo que realmente un colector, dadas las variables del lugar donde se instalaría, puede hacer, y así verlo de una manera más cercana el aprovechamiento de estas energías limpias.

Por eso este programa está pensado en apoyar al mercado de colectores solares y energías renovables, con el hecho de acercar al público para que se interesen en este tipo de tecnologías, y que el proceso de adquisición sea el más amigable y rápido para que no se vean comprometidos a contratar a un especialista, o contratar un servicio que sea más caro y tedioso.

El programa consiste en pocas variables de entrada, que serán fáciles de saber para el usuario y sin problemas de calcular nada, y las variables de salida le dan al usuario capacidad de entender y decidir que colector solar plano, y cuantos instalar, puede elegir y le darán el mejor rendimiento en el lugar que habita, ya que parte importante de las variables es la localización del lugar donde se instalara el colector.

El programa calificador consta de 2 grandes partes. La primera se encarga de calcular las pérdidas globales que el colector llega a tener, pues, si bien, trata de aprovechar toda la radiación que llega a incidir, existen también perdidas por la misma radiación, conducción y también convección. De esta manera podemos obtener la eficiencia de un calentador, y por ende saber que tan bien nos está sirviendo o nos podrá servir, pues el objetivo primordial es tomar la mejor decisión antes de hacer la compra y la instalación.

Por otro lado, el programa también se encarga de evaluar la mejor forma de instalación del colector, de qué forma podemos aprovechar y optimizar la instalación de éste. Así mismo caracterizar y dimensionar la implementación del sistema, pues es importante tomar en cuenta las cantidades de agua caliente que se necesitan y la utilidad que se le va a dar.

El colector que se analizará es un colector solar plano convencional con tubos en forma de rejilla, aislamiento térmico, placa absorbente y cubierta de vidrio. Para simplificar el análisis no se tomarán en cuenta los efectos de los sellos, juntas, caja del colector y marcos.

VARIABLES A UTILIZAR

Partiendo del programa calificador, es necesario contar con variables de entrada para realizar los cálculos pertinentes para obtener otras variables que las llamaremos de salida, que son los resultados necesarios para poder evaluar un colector solar.

El tipo de variables de entrada mayormente son datos geográficos del lugar donde se piensa evaluar el colector, además del consumo diario de agua caliente por persona, para así poder aconsejar un colector más o los que sean necesarios para poder cumplir con la demanda de agua caliente.

Este tipo de variables de entrada son:

- **Latitud:** Conocer la posición en referencia del sol es obligatorio para los cálculos de radiación solar incidente en ese lugar en específico.
- **Temperatura ambiente:** Necesario para saber la temperatura inicial del fluido y como va a ser la diferencia de temperaturas en el colector.
- **Número de Habitantes:** Es primordial saber la demanda de agua caliente, para saber el número de paneles a utilizar y el diámetro de los tubos internos para el gasto de agua.

En cuanto a las variables de salida, son menores, pero más fáciles de interpretar para el usuario, lo que haría convencerlo de comprar o no algún colector que este siendo evaluado, este tipo de variables son:

- **Eficiencia:** Saber si el colector cumple con lo que muestra su ficha técnica y poder comparar así varios colectores para tomar una decisión final.
- **Número de Colectores:** Ya que muchos colectores se hacen en producción en línea, y construir uno a las necesidades del usuario es muy caro, se puede resolver con varios colectores del mismo modelo y solo con instalación en serie.
- **Fracción Solar:** Es necesario mostrarle al usuario que porcentaje de la energía que el colector convierte en calor es ahorrada ya sea en gas o electricidad para calentar agua, y así persuadir a la utilización de fuentes renovables de energía.
- **Inclinación del colector:** Prácticamente es la latitud del lugar, para tener una perpendicularidad mayor, y así aprovechar más el sol durante todo el día.

Desarrollo del programa

De manera general podemos describir más detalladamente la primer parte del programa como caracterizar al colector solar y proporcionará sus propiedades principales las cuales se listan a continuación:

1. Pérdidas globales en el colector UL [W/m²°C]
2. Factor de remoción de calor FR
3. Eficiencia del colector

Las propiedades óptimas de un colector son:

- La cubierta de vidrio es de bajo contenido de hierro (Fe) para aumentar la transmisibilidad.
- Espesor del vidrio mínimo de 3mm para resistir impactos de granizo. Vidrio templado con $\tau = .88$

- Alta absorptividad de la placa para la radiación solar.
- Placa absorbente de cobre con recubrimiento negro de cromo con un $\alpha = .95$

Explicación del programa tomando como referencia temperaturas y radiaciones en verano (ver).

Primero se calculan las pérdidas en el colector, estas corresponden a las pérdidas hacia arriba, hacia los costados y hacia atrás del colector y sumando estas tres se obtiene la pérdida global del colector. Para este cálculo se necesita conocer principalmente el coeficiente de transferencia de calor por convección del aire, la emitancia de la placa y vidrio, temperatura ambiente y dimensiones del colector.

$$U_{tverano} = \left(\frac{N_C}{\frac{C_Q}{T_p} \times \left(\frac{T_p - (T_{averano} + 273)}{N_C + f} \right) + \frac{1}{h_w}} \right)^{-1} + \frac{\sigma \times (T_p + (T_{averano} + 273)) \times (T_p^2 + (T_{averano} + 273)^2)}{\left(\epsilon_p + (0.00591 \times N_C \times h_w) \right)^{-1} + \frac{2 \times N_C + f - 1 + 0.133 * \epsilon_p}{\epsilon_g} - N_C}$$

Donde tenemos las emitancias del vidrio y la placa, temperatura ambiente y coeficiente de transferencia de calor por convección. Dado que este procedimiento es empírico se calculan 3 valores adimensionales para calcular las pérdidas hacia arriba. Las pérdidas atrás del colector y hacia los costados se calculan con las siguientes fórmulas y teniendo como dato la conductividad del aislamiento k, el espesor del aislamiento L, las dimensiones del colector y su área.

$$U_b = k/L$$

$$U_e = \frac{(k/Et) * P * Ct}{Ac}$$

Para calcular U_b se asume que las pérdidas traseras se van completamente al aislante a una temperatura similar a la del frente del colector. Las pérdidas en las orillas hacia los lados normalmente son muy pequeñas en comparación a las otras dos por lo que sólo se utilizan las dimensiones del colector para calcularse. Para evitar un proceso iterativo y repetitivo para calcular las pérdidas, en especial U_t , se emplea el método empírico desarrollado por Klein (1979) y Hottel and Woertz (1942) que sus resultados para colectores con hasta 2 cubiertas de vidrio es prácticamente el mismo que si se calculara con un método de estado estacionario de transferencia de calor y empleando resistencias que representan los componentes del colector. Para el cálculo

de la temperatura media de la placa T_p , se hace una estimación y luego se debe cumplir que, con los resultados obtenidos se calcula una nueva temperatura media de la placa y si esta es muy cercana a la propuesta el procedimiento es confiable.

$$U_{Lverano} = U_{tverano} + U_b + U_e$$

Sumando las tres pérdidas anteriores se obtiene la pérdida global del colector.

Para calcular la eficiencia del colector se necesitan datos de la distancia entre tubos y diámetro interno de estos y la región de la placa entre los tubos y la base del tubo se considera como una aleta, por lo que su cálculo se resume a un problema de una aleta delgada. Con estos datos se calculan tres factores de F, el primero F es la eficiencia estándar de la aleta. La conductancia entre la unión del tubo con la placa C_b es difícil de calcular y muy importante para la eficiencia del colector, pero de acuerdo con Whillier and Saluja (1965) si los tubos tienen una sujeción simple y uniforme con la placa de metal entonces la conductancia será muy baja y casi despreciable.

$$F_{ver} = \frac{\text{Tanh} \left[\frac{m_{ver} * (\text{Tub}_{sapce} - \text{Tub}_{diam})}{2} \right]}{\frac{m_{ver} * (\text{Tub}_{sapce} - \text{Tub}_{diam})}{2}}$$

F prima F_{pri} , representa el factor de eficiencia del colector que está en función de las pérdidas globales y las dimensiones de la aleta y su eficiencia estándar así como y el coeficiente de transferencia de calor dentro de los tubos, fluido y pared circular.

F_{priver}

$$= \frac{\frac{1}{U_{Lverano}}}{\text{Tub}_{sapce} * \left(\frac{1}{U_{Lverano} * (\text{Tub}_{diam} + (\text{Tub}_{sapce} - \text{Tub}_{diam}) * F_{ver})} + \frac{1}{\pi * \text{Tub}_{diam} * h_{intube}} \right)}$$

El Factor de Remoción FR del colector depende del flujo másico y el nivel de irradiación que incide sobre el colector. Este nos dice la cantidad que relaciona la energía útil ganada real del colector contra la energía ganada si todo el colector estuviera a la misma temperatura que el fluido de entrada. Para FR se calcula la tercera F que le llamamos F_{pp} que esta en función de la tasa de flujo másico del colector, C_m .

$$C_{mfver} = \frac{\dot{m} * C_p}{A_c * U_{Lverano} * F_{priver}}$$

$$F_{ppver} = C_{mfver} * \left(1 - \text{Exp} \left[(-1) * \frac{A_c * U_{Lverano} * F_{priver}}{\dot{m} * C_p} \right] \right)$$

$$FR_{ver} = F_{p_{river}} * F_{ppver}$$

El FR es la multiplicación de ambas F primas, es decir de Fp y Fpp. Para obtener la eficiencia del colector, primero se calculó la energía útil ganada dada el área del colector y la radiación que recibe este.

$$q_{uver} = FR_{ver} * (S_{ver} - (U_{Lverano} * (T_i - T_{averano}) * 3600))$$

La eficiencia resulta de dividir la energía útil ganada entre la radiación que recibe el plano del colector.

$$\eta_{ver} = \frac{q_{uver}}{I_{Tver}}$$

Para la segunda parte del programa se consideró una base de datos de las variables del lugar, así que obtuvimos estas variables de 5 ciudades importantes para una demostración, siendo un programa capaz de poder almacenar más información se podrían calcular lo necesario para todos los países del mundo, así mismo la comparación de más colectores solares en el mercado.

Por otra parte necesitamos la temperatura final del colector, que en el documento básico *HB de salubridad: Sección HS 4 Suministro de agua* comprende que la temperatura del agua debe estar entre 50° y 65° Celsius, por lo que esta será una constante para todos los colectores solares, siendo 60° para tener así estar más cerca del límite superior.

Otra constante que tenemos es el gasto de agua caliente que una persona promedio usa al día, así que solo necesitaremos el número de habitantes para así tener un total del gasto de agua caliente al día.

Posteriormente viene lo más importante para el programa, la radiación que recibirá nuestro colector en el sitio donde se encuentra, para eso tenemos los datos más precisos de la tabla proporcionada por el Duffie - Beckman, la cual la dividiremos en 4 temporadas, para globalizar las temporadas de frío y calor, y sobre todo para que el usuario pueda percibir mejor la eficiencia de su colector solar en intervalos más amplios a comparación de que fuera por meses.

Después de haber obtenido las radiaciones necesitamos saber la declinación del sol en promedio de cada estación del año.

$$\delta_j = 23,45 \cdot \sin \left[360 \left(\frac{284 + n_j}{365} \right) \right] \quad \text{for } j = 1 \text{ to } 4$$

Teniendo en cuenta la declinación del sol, necesitamos la radiación solar efectiva en las 24 horas del día, lo que nos lleva a calcular este tipo de radiación solamente en las horas donde hay sol que se aprovecha para ser usada por el colector.

$$H_o_j = \frac{24 \cdot 3600 \cdot G_{sc}}{z} \left[1 + 0,033 \cdot \cos \left(\frac{360 \cdot n_j}{365} \right) \right] \left[\frac{\cos(\delta) \cdot \cos(\delta_j) \cdot \sin(\omega_{sunset,j}) + \frac{x \cdot \omega_{sunset,j}}{180} \cdot \sin(\phi) \cdot \sin(\delta_j)}{10^3} \right]$$

Teniendo este dato, necesitaremos la radiación solar incidente en un plano inclinado, ya que todos los datos que se obtiene de la radiación solar, siempre son para una superficie horizontal, así que debemos saber cuál es la radiación solar en nuestro colector al ángulo que se instalará el mismo.

$$erbs1_j = erbs(Kt_j; \omega_{sunset,j}) \quad \text{for } j = 1 \text{ to } 4$$

$$Hd_j = erbs1_j \cdot H_j \quad \text{for } j = 1 \text{ to } 4$$

$$Hb_j = H_j - Hd_j \quad \text{for } j = 1 \text{ to } 4$$

$$Hb_{inc,j} = Hb_j - Rbm_j \quad \text{for } j = 1 \text{ to } 4$$

$$Hd_{inc,j} = Hd_j \cdot \left[\frac{1 + \cos(\beta)}{2} \right] \quad \text{for } j = 1 \text{ to } 4$$

$$Hr_{inc,j} = H_j \cdot \rho_{g,j} \cdot \left[\frac{1 - \cos(\beta)}{2} \right] \quad \text{for } j = 1 \text{ to } 4$$

$$Ht_{inc,j} = Hb_{inc,j} + Hd_{inc,j} + Hr_{inc,j} \quad \text{for } j = 1 \text{ to } 4$$

Para poder ver el porcentaje de la energía del sol que se aprovecha con el colector solar, necesitamos sacar la carga térmica para poder llegar así la fracción solar, y así dar al usuario un porcentaje para el entendimiento de lo que pueden ahorrar solo por aprovechar la radiación solar para calentar agua, por eso necesitamos el flujo másico promedio, y por los habitantes de la casa:

$$m_j = \text{consumo}_{\text{diario}} \cdot \text{Habitantes} \cdot \text{días}_j \cdot \rho_{\text{agua}} \quad \text{for } j = 1 \text{ to } 4$$

$$L_j = m_j \cdot c_{p_{\text{agua}}} \cdot (T_{\text{final}} - T_{\text{amb}_j}) \quad \text{for } j = 1 \text{ to } 4$$

y así podremos tener el fracción solar para el ahorro de energía, el cual sería:

$$L_{\text{anual}} = L_1 + L_2 + L_3 + L_4$$

$$X_j = \frac{Ac \cdot FRUc \cdot (T_{\text{ref}} - T_{\text{amb}j}) \cdot \text{dias}_j \cdot 24 \cdot 3600}{L_j} \quad \text{for } j = 1 \text{ to } 4$$

$$Y_j = Ac \cdot FRta \cdot \text{razon}_z \cdot \frac{H_{t_{\text{inc}j}} \cdot \text{dias}_j \cdot 1000000}{L_j} \quad \text{for } j = 1 \text{ to } 4$$

$$f_j = FS(X_j, Y_j) \quad \text{for } j = 1 \text{ to } 4$$

$$\text{Ahorro} = \left[\frac{f_1 \cdot L_1 + f_2 \cdot L_2 + f_3 \cdot L_3 + f_4 \cdot L_4}{L_{\text{anual}}} \right] \cdot 100$$

Conclusiones

En una reunión final con los miembros de la consultora, agradecieron el esfuerzo de los desarrolladores del programa pues sería una herramienta útil y fácil de utilizar para los consultores, de manera que puedan obtener los mejores resultados para la asesoría y consultoría que puedan llegar a tener.

Por otro lado, se entregará el programa completo y con la oportunidad de actualizar y seguir trabajando sobre él a medida que la oferta de colectores solares en el mercado aumente y por ende el avance tecnológico en el tema.

Bibliografía

- Liu, B. "The Interrelationship and characteristic distribution of direct, difusse and total solar radiation", Solar Energy.
- Hottel, H.C. "The performance of flat-plate solar heat collector"
- Daniels, F "Uso directo de la Energía Solar" H. Blume Ediciones, Madrid, España. 1977.
- Greenpeace, (2008) "La energía solar puede dar electricidad limpia a más de 4 mil millones de personas para 2030" documento electrónico, recuperado el 26 de Octubre de [<http://www.greenpeace.org/espana/es/news/la-energ-a-solar-puede-dar-ele/>].
- Centro de Estudios de la Energía Solar, "La energía Solar, Aplicaciones Prácticas" Progensa, Sevilla, España. 1996.
- Duffie, J.A. "Solar Energy Thermal Processes" John Wiley and Sons, Nueva York, E.U. 1974
- Ashrae, "Active Solar Heating Systems Design Manual" American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Atlanta, E.U, 1998.