

Tecnológico Nacional de México
Instituto Tecnológico de Tijuana
Maestría en Ciencias de la Computación

Control para Sistemas de Calentamiento Hidrónico Multizona
usando Lógica Difusa y Algoritmos Bio-Inspirados

Tesis

Para Obtener el Título de
Maestro en Ciencias de la Computación

Presenta
Ing. Ian Alfonso Ruiz Naranjo

Director
Dr. Mario García Valdez

Codirector
Dr. Oscar Castillo

Tijuana, Baja California, México

*A mi papá Alfonso, a mi mamá Julia, a mi hermano Alejandro, a mi amor Itzel, a la princesa
Nara y a el travieso Pichu.*

Índice

1. Objetivo General	4
2. Objetivos Específicos	4
3. Problemática	4
4. Estado del Arte	4
5. Marco Teórico	4
5.1. Radiación Solar	4
5.1.1. El Sol	4
5.1.2. La Constante Solar	4
5.1.3. Distribución Espectral de Radiación Extraterrestre	4
5.1.4. Variación de Radiación Extraterrestre	4
5.1.5. Estimación de Radiación Solar Terrestre	5
5.1.6. Dirección del Haz de Radiación	6
6. Propuesta	8
6.1. Módulo de Geometría Solar	8

1. Objetivo General

Crear un controlador predictivo para sistemas de calentamiento hidrónico usando lógica difusa y algoritmos bio-inspirados entrenado en un simulador computacional basado en leyes termo-físicas que contiene modelos de fenómenos de transferencia de calor de sus componentes, así como de condiciones atmosféricas, solares y de ocupación habitacional.

2. Objetivos Específicos

- Implementar modelos de transferencia de calor para los componentes que conforman el espacio habitacional que se busca acondicionar térmicamente.
- Implementar un modelo de predicción atmosférica utilizando redes neuronales recurrentes.
- Implementar un modelo de predicción de irradiación solar, así como de geometría solar para determinar cargas térmicas.
- Implementar un modelo de predicción de ocupación habitacional.
- Implementar algoritmos bio-inspirados para ser consumidos por el proceso de optimización del controlador.
- Desarrollar un simulador de un sistema hidrónico e integrar los modelos predictivos para enriquecer el proceso de optimización del controlador difuso.
- Implementar el simulador, así como todas las dependencias y/o resultantes en el lenguaje de programación en Python y diferentes variantes.

3. Problemática

4. Estado del Arte

5. Marco Teórico

5.1. Radiación Solar

5.1.1. El Sol

5.1.2. La Constante Solar

La tierra tiene una órbita elíptica cuya excentricidad es tal que la distancia entre la tierra y el sol varía un 1.7%. Debido a que la variación es pequeña, la cantidad de radiación emitida por el sol es casi fija fuera de la atmósfera terrestre. Esta energía es conocida como la constante solar G_{sc} , puede decirse que es la cantidad de energía del sol recibida en un área perpendicular a la dirección de propagación del haz por una unidad de tiempo.

5.1.3. Distribución Espectral de Radiación Extraterrestre

5.1.4. Variación de Radiación Extraterrestre

Cuando se estudian las variaciones de radiación extraterrestre, es necesario tomar en consideración la energía emitida por el sol. Se han identificado diferentes periodicidades y variaciones de intensidad, asociadas con la actividad de manchas solares.

También es necesario tomar en cuenta el impacto que tiene la órbita elíptica de la tierra con respecto al sol, la distancia entre estos dos varía causando una variación en el flujo de radiación

solar en el rango del $\pm 3.3\%$

Existen dos modelos frecuentemente usados para calcular esta variación, el primero es razonablemente bueno para aplicaciones poco rigurosas o cotidianas, este modelo es descrito a través de la siguiente ecuación,

$$G_{on} = G_{sc} \left(1 + 0.033 \cos \frac{360n}{365} \right) \quad (1)$$

Si se necesita más precisión, la siguiente expresión ofrece un $\pm 0.01\%$ de variación,

$$G_{on} = G_{sc} (1.000110 + 0.034221 \cos B + 0.001280 \sin B + 0.000719 \cos 2B + 0.000077 \sin 2B) \quad (2)$$

en dónde G_{on} es la radiación incidente en el plano normal a la radiación dado un día n del año. B está dado por,

$$B = (n - 1) \frac{360}{365} \quad (3)$$

Usando la ecuación 2, obtenemos la siguiente gráfica.

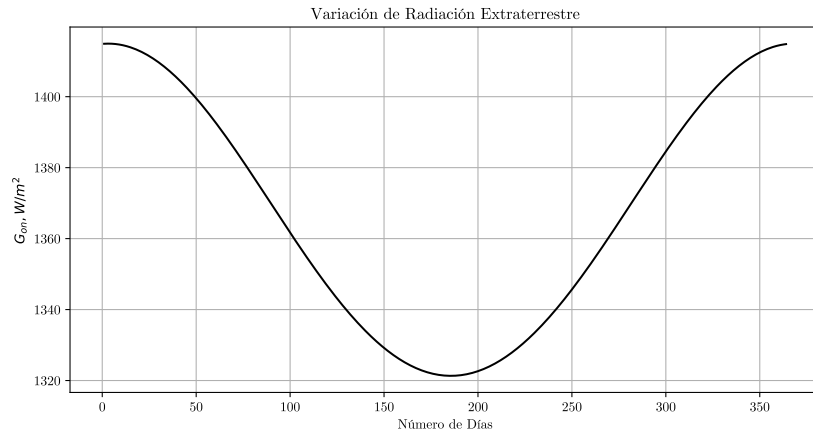


Figura 1: Variación de radiación solar extraterrestre en el plazo de un año.

5.1.5. Estimación de Radiación Solar Terrestre

Cuando la radiación solar llega a la tierra, esta tiene que pasar por una densa y grande atmósfera. En el proceso la energía toma diferentes caminos reduciendo la cantidad de energía directa que llega a la superficie terrestre. Una parte de ella es reflejada de vuelta al espacio, otra parte es absorbida por el aire y vapor de agua, otra gran parte se dispersa por moléculas de aire seco, vapor de agua, aerosoles y partículas de polvo. Todo este proceso se muestra gráficamente a continuación.

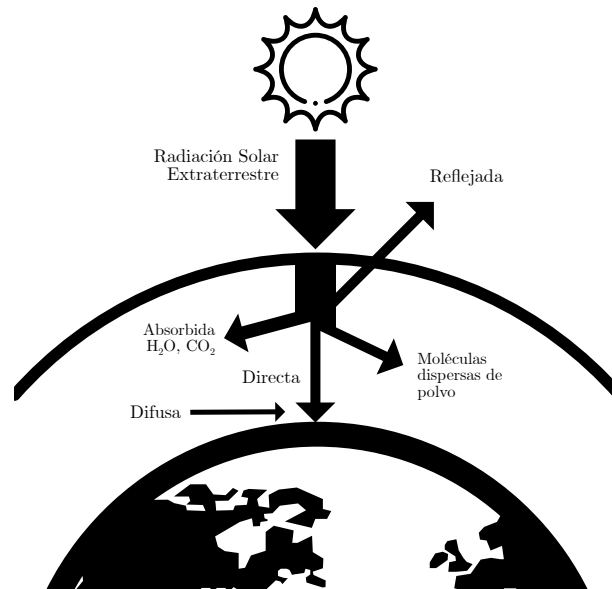


Figura 2: Atenuación de radiación solar.

A pesar de que la radiación extraterrestre es predecible con cierto grado de certidumbre, los niveles de radiación solar que alcanzan la tierra y entran en su atmósfera se ven sujetos a una cantidad razonable de incertidumbre debido a las interacciones climáticas locales. La información más útil proviene de bases de datos de mediciones de largo plazo, en la que los valores son promedios de esa ubicación en específico. Desafortunadamente hay ciertas regiones del mundo de las que no se tienen registros suficientemente precisos, sin embargo, en la actualidad hay más iniciativas que motivan la adquisición de esta información.

5.1.6. Dirección del Haz de Radiación

Las relaciones geométricas de cualquier plano con respecto a cualquier orientación relativa a la tierra, en cualquier momento y un haz entrante de radiación solar, pueden ser descritas por varios ángulos, estos por convención son nombrados y se hace referencia hacia ellos como se muestra a continuación,

- ϕ **Latitud**, es la ubicación angular al norte o sur del ecuador, siendo la dirección del norte positiva; $-90^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$.
- δ **Declinación**, es la posición angular del sol al medio día solar con respecto al plano del ecuador, por ejemplo, cuando este se encuentra en la meridiana local. Esta es positiva al norte; $-23.45^\circ \leq \delta \leq 23.45^\circ$.
- β **Pendiente**, es el ángulo entre el plano de la superficie en cuestión y la superficie; $0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$.
- γ **Ángulo de Acimut de Superficie**, es la desviación de la proyección en un plano horizontal a la superficie desde la meridiana local. $-180.0^\circ \leq \gamma \leq 180.0^\circ$.
- ω **Ángulo de Hora**, el desplazamiento angular del sol del este o el oeste con respecto a la meridiana local debido a la rotación de la tierra cuyo valor es de 15° por hora; En la mañana es negativo y en el atardecer positivo.
- θ **Ángulo de Incidencia**, es el ángulo entre el haz de radiación en una superficie y la normal de esa superficie.
- θ_z **Ángulo Cenital**, es el ángulo entre la vertical y la línea hacia el sol, en otras palabras, es el ángulo de incidencia del haz de radiación en una superficie horizontal.

- α_s **Ángulo de Altitud Solar**, es el ángulo entre la horizontal y la línea hacia el sol, es el complemento del ángulo cenital.
- γ_s **Ángulo de Acimut Solar**, es el desplazamiento angular del sur de la proyección del haz de radiación en un plano horizontal. Los desplazamientos del este al sur son negativos y del oeste al sur son positivos.

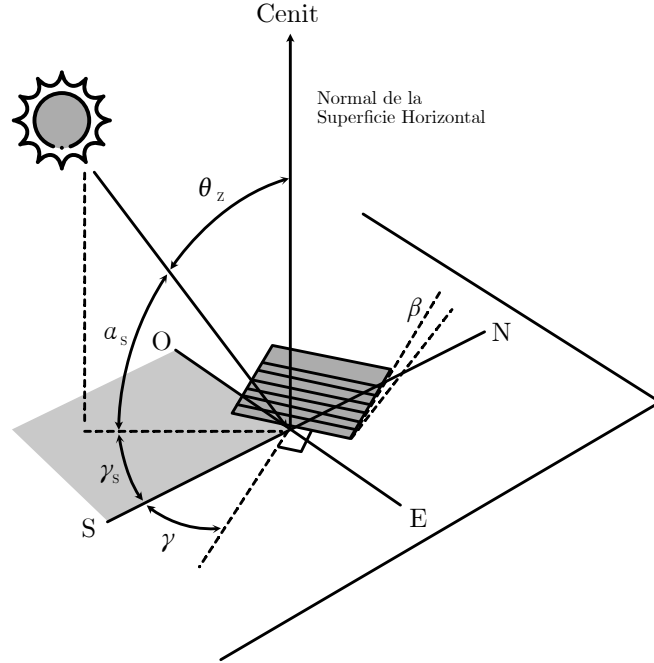


Figura 3: Ángulos de radiación solar.

La Declinación δ Este ángulo puede ser encontrado a través de una aproximación como la que se muestra a continuación,

$$\delta = 23.45 \sin \left(\frac{360}{365} (284 + n) \right) \quad (4)$$

Para fines de ingeniería, la aproximación anterior resulta suficiente, sin embargo disponemos de otro modelo cuya precisión es mayor ya que el error es menor al 0.035° .

$$\begin{aligned} \delta = & 0.006918 - 0.399912 \cos(\Gamma) + 0.070257 \sin(\Gamma) \\ & - 0.006758 \cos(2\Gamma) + 0.000907 \sin(2\Gamma) \\ & - 0.002697 \cos(3\Gamma) + 0.00148 \sin(3\Gamma) \end{aligned} \quad (5)$$

en dónde,

$$\Gamma = \frac{2\pi(n-1)}{365} \quad (6)$$

En ambas expresiones la variable n es el número del día del año que se estudia, esta satisface $1 \leq n \leq 365$.

Observando la interacción y dependencias entre ángulos, podemos deducir las siguientes relaciones que podemos utilizar para efectuar nuestros cálculos de posición.

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \sin \delta \sin \phi \cos \beta - \sin \delta \cos \phi \cos \gamma \\ & + \cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \omega + \cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega \\ & + \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega \end{aligned} \quad (7)$$

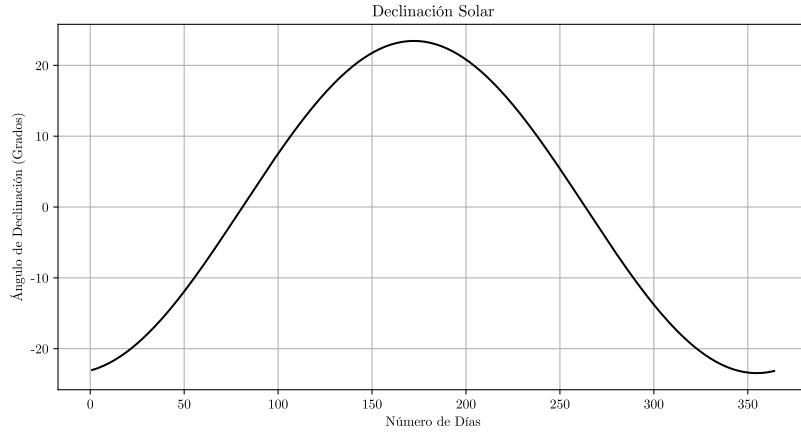


Figura 4: Diagrama de declinación solar.

Y la siguiente expresión,

$$\cos \theta = \cos \theta_z \cos \beta + \sin \theta_z \sin \beta \cos (\gamma_s - \gamma) \quad (8)$$

El ángulo θ puede exceder 90° , lo cuál significa que el sol se encuentra detrás de la superficie.

Con las relaciones expuestas anteriormente, se puede entonces tener un rastreo preciso de la posición del sol con respecto a un punto en la tierra usando la latitud y el día del año en el que se decide hacer la evaluación.

6. Propuesta

6.1. Módulo de Geometría Solar

Para poder determinar de manera correcta la carga térmica que cada una de las paredes del espacio habitacional que se estudia tienen, es necesario considerar la presencia del sol. Como ya hemos visto, es posible calcular con precisión la posición del sol en un determinado día y hora del año. A través de cálculos geométricos es posible saber qué paredes son las que se encuentran más expuestas a los efectos del astro.

Usando la técnica de trazado de rayos, se pueden identificar las caras que se encuentran expuestas directamente a los haces de radiación solar. A continuación se muestra una figura que ejemplifica este concepto.

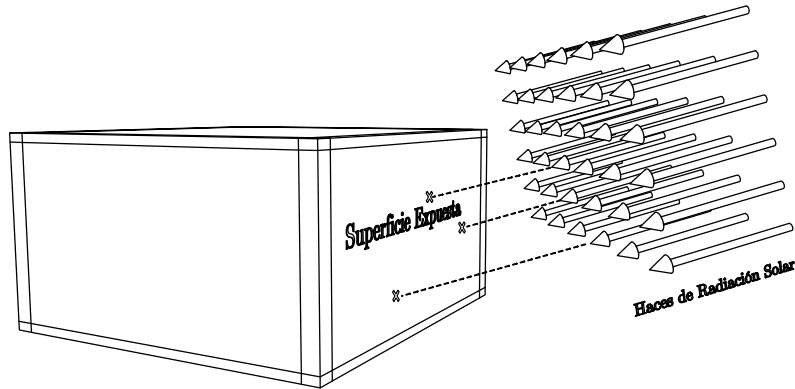


Figura 5: Modelo de caja expuesta a los haces de radiación solar.