



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE YUCATÁN

FACULTAD DE INGENIERÍA

UNIDAD DE POSGRADO E INVESTIGACION

**“Modelado Matemático de una Chimenea Solar
para el desarrollo de Técnicas de Ventilación
Pasiva para la Vivienda”**

TESIS

PRESENTADA POR:

I.E. Mario Alberto Serrano Canul

**EN OPCIÓN AL GRADO DE
MAESTRO EN INGENIERÍA
OPCIÓN ENERGÍAS RENOVABLES**

MÉRIDA, YUCATÁN, MÉXICO

2017

“Aunque este trabajo hubiere servido para el Examen de Grado y hubiera sido aprobado por el sínodo, sólo el autor es responsable de las doctrinas emitidas

Resumen

Esta tesis presenta un modelo matemático para describir el comportamiento de un sistema de ventilación conocido como chimenea solar con el objetivo de mejorar la sensación de bienestar de las personas que habitan una vivienda sin recurrir a técnicas de ventilación activa.

Este trabajo expone el concepto de confort térmico y considera los diferentes elementos que influyen en su obtención en interiores como lo son las variables atmosféricas y el metabolismo. Por otra parte, se describe el principio de funcionamiento de las chimeneas solares como dispositivos de ventilación pasiva, así como sus principales diseños y aplicaciones.

Se hace uso del software llamado Cool-Vent diseñado por el Instituto Tecnológico de Massachusetts y ecuaciones clásicas de la mecánica de fluidos para poder analizar una habitación en cualquier región en la que se dispongan de mediciones de las principales variables atmosféricas ya que dicho programa requiere de bases de datos específicas y cuya disponibilidad es limitada.

Además, se analizan las variaciones de la velocidad del viento en el interior de una habitación con dimensiones típicas al colocarle una chimenea solar para determinar el incremento en la sensación de bienestar de los ocupantes respecto a la misma habitación con ventilación cruzada.

Summary

This thesis presents a mathematical model to describe the behavior of a ventilation system known as solar chimney with the aim of improving the sense of well-being of the people who live in a house without using active ventilation techniques.

This work exposes the concept of thermal comfort and considers the different elements that influence its obtaining in interiors such as atmospheric variables and metabolism. On the other hand, the operating principle of solar chimneys as passive ventilation devices is describes, as well as their main designs and applications.

The software named Cool-Vent designed by the Massachusetts Institute of Technology and classic equations of fluid mechanics is applied to analyze a room in any region where measurements of the main atmospheric variables are available since this program requires specific databases and whose availability is limited.

In addition, we analyze the variations of the wind speed inside a room with typical dimensions when placing a solar chimney to determine the increase in the feeling of well-being of the occupants with respect to the same room with cross ventilation.

CONTENIDO

Índice de Figuras.....	7
Índice de Tablas y Gráficas.....	8
Introducción.....	10
Hipótesis.....	12
Objetivos Generales y Específicos.....	12
Antecedentes.....	13
Capitulo 1.- Ventilación y Calidad del Aire.....	21
1.1.- Variables Atmosféricas.....	22
1.1.1.- Temperatura.....	22
1.1.2.- Humedad.....	22
1.1.3.- Radiación Solar.....	24
1.1.4.- Viento.....	25
1.1.5.-Ecuaciones de velocidad del viento	32
Capitulo 2.- Evaluación del Confort Térmico.....	39
2.1.- Índice de Valoración Medio.....	39
2.2.- Metabolismo.....	40
2.4.- Influencia de la Vestimenta.....	40
2.4.- Influencia de la humedad relativa.....	40
2.5.- Influencia de la temperatura radiante media.....	41
Capitulo 3.- Metodología.....	44
3.1.- Cool-Vent.....	44
3.2.- Adquisición de datos desde archivos .EPW.....	45
3.3.- Cálculo de la velocidad del viento.....	52
3.4.- Pendiente de la curva de calentamiento.....	53
Capitulo 4.- Resultados.....	55
4.1.- Análisis de habitación con dos ventanas.....	56
4.1.1.- Velocidad del Viento.....	59
4.1.2.- Diferencia de Presiones.....	61
4.1.3.- Flujo Másico y Velocidad del viento.....	61

4.2.- Comparación de resultados con el software Cool-Vent.....	63
4.3.- Análisis habitación con una ventana y chimenea solar.....	64
4.3.1.- Cálculo de la temperatura de la placa y de aire en la chimenea.....	66
4.3.2.- Cálculo de la densidad.....	69
4.3.2.- Diferencia de Presiones.....	70
4.3.3.- Flujo Másico y Velocidad del viento.....	70
4.4.- Análisis de Confort.....	72
Conclusiones.....	79
Anexos.....	80
Anexo 1.- Código para calcular día promedio de cada mes en Fortran95.....	80
Anexo 2.- Código para calcular el ángulo de incidencia.....	85
Anexo 3.- Código del modelo propuesto en MatLab.....	86
Anexo 4.- Tablas de IMV.....	91
Bibliografía.....	100

Índice de Figuras

Figura. 1.- Tipos de ventilación: a) pasiva b) activa.....	13
Figura. 2.- Captador de viento: a) imagen b) diagrama.....	14
Figura. 3.- Casa solar de la plata: a) Imagen b) diagrama.....	15
Figura.4.-Chimenea solar como sistema de ventilación.....	15
Figura. 5.- Funcionamiento de chimenea solar: a)absorción b)calentamiento c)expulsión	16
Figura. 6.- Centro de visitas del parque nacional de zion: a) imagen b) diagrama.....	17
Figura. 7.- Diagrama de chimenea solar: a) elementos b) balance térmico.....	18
Figura. 8.- Chimenea solar: a) angulo de 90° b) angulo de 45°.....	19
Figura. 9.- Comportamiento del aire: a) en la habitación b) en la entrada de la chimenea	20
Figura. 10.- Modelo a escala de 1m x 1m.....	20
Figura. 11.- Radiación solar y componentes.....	25
Figura. 12.- Determinación de la dirección del viento.....	28
Figura. 13.- Direcciones del viento mensuales.....	31
Figura. 14.- Dirección del viento anual.....	32
Figura. 15.- Angulo de incidencia.....	32
Figura. 16.- Chimenea solar de mealla.....	37
Figura. 17.- Software de simulación cool-vent.....	44
Figura. 18.- Parámetros del software.....	45
Figura. 19.- Adquisición de datos desde excel.....	46
Figura. 20.- Elección del tipo de datos.....	46
Figura. 21.- Separación de datos: a) habilitar separación por comas b) finalizada.....	47
Figura. 22.- Importación de datos.....	47
Figura. 23.- Datos importados y separados en Excel.....	48
Figura. 24.- Identificación de variables.....	48
Figura. 25.- Selección de datos.....	49
Figura. 26.- Definición de los días del mes.....	49
Figura. 27.- Compilación del programa.....	50
Figura 28.- Día promedio de enero: a) datos b) gráfica.....	50
Figura 29.- Importación de datos.....	52
Figura 30.- Confirmación de la importación de datos.....	52
Figura 31.- Declaración de variables y ecuaciones.....	53
Figura 32.- Discretización de la curva de calentamiento del techo negro de un	53
Figura 33.- Comparación de las dimensiones de las posibles aberturas.....	55
Figura 34.- Dimensiones de la habitación analizada.....	57
Figura 35.- Trayectoria del viento en el interior de la habitación.....	57

Figura 36.- Dirección del viento en la habitación (de la ventana hacia la chimenea).....	64
Figura 37.- Representación de la chimenea Solar instalada.....	65
Figura 38.- Dimensiones de la chimenea.....	65
Figura 39.- Resistencias térmicas consideradas para el cálculo de.....	67

Índice de Tablas

Tabla 1. Escala de beaufort para uso terrestre.....	26
Tabla 2. Efecto sensible del viento.....	27
Tabla 3. Calificaciones de confort.....	40
Tabla 4. Clasificación del metabolismo por actividad.....	41
Tabla 5.- Nivel de actividad 46.4 W/m ²	91
Tabla 6.- Nivel de actividad 58 W/m ²	92
Tabla 7.- Nivel de actividad 69.6 W/m ²	93
Tabla 8.- Nivel de actividad 81.2 W/m ²	94
Tabla 9.- Nivel de actividad 92.8 W/m ²	95
Tabla 10.- Nivel de actividad 104.4 W/m ²	96
Tabla 11.- Nivel de actividad 116 W/m ²	97
Tabla 12.- Nivel de actividad 174 W/m ²	98
Tabla 13.- Nivel de actividad 232 W/m ²	99

Índice de Gráficas

Gráfica 1.- Factor de corrección por humedad por actividad.....	41
Gráfica 2.- Factor de corrección por temperatura por actividad.....	42
Gráfica 3.- Relación entre el IMV y el porcentaje de insatisfacción.....	43
Gráfica 4.-Temperatura ambiente para el día promedio de cada mes.....	51
Gráfica 5.-Temperatura ambiente promedio para un día de cada año.....	51
Gráfica 6.-Velocidades de viento en la chimenea con aberturas a distintas anchuras.....	56
Gráfica 7.-Radiación Solar para el día promedio de cada mes.....	58
Gráfica 8.-Radiación Solar para cada día del año.....	58
Gráfica 9.-Velocidad del viento para el día promedio de cada mes.....	60
Gráfica 10.-Velocidad del viento para cada día del año.....	60
Gráfica 11.-Velocidades calculadas en el interior de la habitación.....	62
Gráfica 12.-Velocidades calculadas en el interior de la habitación para cada día del año	63
Gráfica 13.-Velocidad calculada (azul) y velocidad del cool-vent (rojo).....	63

Gráfica 14.- Temperaturas: placa de chimenea, aire en la chimenea y ambiente (verde)	68
Gráfica 15.- Temperaturas: placa de chimenea, aire en la chimenea y ambiente (anuales)	68
Gráfica 16.-Densidad del aire exterior (azul) y en la chimenea solar (rojo).....	69
Gráfica 17.-Densidad del aire exterior y en la chimenea solar para todo el año.....	69
Gráfica 18.-Velocidad del viento en habitación: con chimenea, sin chimenea y exterior..	71
Gráfica 19.-Velocidad del viento en habitación: con chimenea, sin chimenea y exterior.....	72
Gráfica 20.-Temperaturas Internas (rojo) y externa (azul)	73
Gráfica 21.-Temperaturas Internas (rojo) y externa (azul) para cada día del año.....	73
Gráfica 22.-Humedad para un día promedio de cada mes.....	75
Gráfica 23.-Humedad para cada día del año.....	75
Gráfica 24.-Índices de valoración promedio de un día promedio década mes.....	76
Gráfica 25.- Índices de valoración para cada día del año.....	76
Gráfica 26.-Comparacion de imv para mayo y noviembre.....	77
Gráfica 27.-Porcentajes de Insatisfacción para el mes de mayo.....	77
Gráfica 28.- Porcentajes de Insatisfacción para el mes de noviembre.....	78

Introducción

La vivienda es una de las necesidades principales del ser humano debido a que brinda protección contra los fenómenos meteorológicos como la lluvia, el viento o la radiación solar. De acuerdo a la CONAVI, vivienda se define como una “estructura material destinada a albergar una familia o grupo social, con el fin de realizar la función de habitar, constituida por una o varias piezas habitables y un espacio para cocinar, y generalmente, sobre todo en el medio urbano, un espacio para baño y limpieza personal. Es el ámbito físico-espacial que presta el servicio para que las personas desarrollen sus funciones vitales. Este concepto implica tanto el producto terminado como el producto parcial en proceso, que se realiza paulatinamente en función de las posibilidades materiales del usuario” (CONAVI, 2016).

De acuerdo al INEGI, el número de viviendas particulares habitadas en el 2015 es de 119,530,753 con una tasa de crecimiento del 1.4% del 2010 al 2015 (INEGI, 2015). Un porcentaje considerable de estas pertenecen a unidades habitacionales realizadas por empresas que construyen las casas con diseños estándar planeados para ahorrar tiempo y costos de materiales, sin embargo, estos modelos se aplican indistintamente de la zona geográfica y las características climatológicas de la región ocasionando condiciones adversas para la habitabilidad de la residencia.

De acuerdo a la Asociación Americana de Ingenieros en Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE) la temperatura de confort para una vivienda oscila entre 19.4 °C y 27.7 °C (ASHRAE, 2004) dependiendo de la percepción de las personas que la habitan. Dichos valores suelen depender de una gran cantidad de factores ambientales como la humedad, la velocidad del viento, la irradiación solar, etc.

El viento posee un papel importante en el confort debido a su capacidad de absorción de humedad y temperatura mientras se desplaza de regiones de alta

presión a regiones de baja presión producidas en el terreno por diversos factores como vegetación, cuerpos de agua, edificios o montañas si se consideran grandes zonas geográficas. Si la velocidad del viento en la habitación es pequeña debido un mal diseño arquitectónico, significará que el aire permanecerá en la habitación más tiempo del necesario derivando en el deterioro de su calidad, esto se traduce en el incremento de la temperatura, exceso de humedad, malos olores, etc.

Con el objetivo de lograr el confort térmico se emplean aparatos activos de ventilación siendo el ventilador eléctrico uno de los más ampliamente utilizados dada su eficiencia y accesibilidad económica; sin embargo, necesitan operar de manera continua y casi permanente. Si además se considera que cada hogar, oficina o edificación utiliza de dos a cuatro ventiladores en promedio, su impacto a nivel ecológico puede llegar a ser significativo en términos de consumo eléctrico.

Las técnicas y dispositivos de ventilación pasiva se basan generalmente en diseños arquitectónicos que buscan reducir la dependencia de fuentes de energía no renovables como los hidrocarburos y la electricidad generada a partir de ellos. Esto se logra disminuyendo la temperatura en el interior de las edificaciones, ya sea reduciendo la cantidad de energía solar o incrementando el flujo del aire.

De acuerdo a Morillón, las chimeneas solares se pueden utilizar como sistemas de enfriamiento al provocar la ventilación inducida, y generar mediante ésta, la remoción de las partículas de aire caliente en derredor del usuario (Morillón, 1993).

Las chimeneas solares son estructuras alargadas (generalmente tubulares) y verticales que utilizan la convección térmica para mejorar la ventilación en lugares cerrados en los que el aire tiene dificultades para fluir libremente empleando la energía del sol para crear una diferencia de temperaturas en el aire entre la cima y la base, misma que se encuentra en el interior de la estructura que se pretende ventilar. Factores como la ubicación con respecto al sol, diámetro de la abertura, altura y hasta los materiales empleados influyen en la eficiencia de este tipo de estructuras.

Hipótesis

El modelado matemático de una chimenea solar permite conocer los factores que intervienen en su funcionamiento y establecer los parámetros de diseño a considerar con el objetivo de obtener la mayor eficiencia en su aplicación en la vivienda como método de ventilación pasiva destinado a la búsqueda del confort térmico.

Objetivo General

Obtener el modelo matemático de una chimenea solar para la contribución en el desarrollo de técnicas de ventilación pasiva en lugares cerrados orientados a la búsqueda del confort térmico en la vivienda.

Objetivos Específicos

- Utilización del software Cool-Vent para el análisis de la ventilación de una vivienda.
- Calibrar los resultados del programa Cool-Vent con las ecuaciones proporcionadas por trabajos similares
- Crear una metodología para la aplicación de estas ecuaciones en cualquier habitación con datos locales
- Analizar la relación entre las dimensiones de la chimenea, el clima local y el confort térmico de la habitación.

Antecedentes

La vivienda provee al ser humano de protección contra los elementos y amenazas de la naturaleza, esta seguridad se obtiene aislando a las personas del exterior con muros y techos, lo cual origina problemas en la circulación del viento provocando un deterioro del mismo. La solución a este inconveniente es mejorar la ventilación que se define como “el proceso de suministro y extracción de aire por medios naturales o mecánicos desde y hacia cualquier espacio”. Dicho aire puede o no puede estar acondicionado (ASHRAE, 1999).

Diversas técnicas de ventilación se han utilizado desde hace mucho tiempo, dividiéndose en activas y pasivas (Figuras 1a y 1b) (Leuca, 2016), siendo las primeras aquellas que utilizan la energía del medio ambiente para funcionar por lo que no requieren de una fuente artificial de energía como es el caso de los mecanismos activos de ventilación. Dentro de las técnicas pasivas encontramos generalmente la arquitectura bioclimática, que busca aprovechar las condiciones ambientales de la región para conseguir el confort de las personas modificando variables del diseño de la vivienda como el material de las paredes y techos, orientación con respecto a la dirección del viento e irradiación solar, etc.

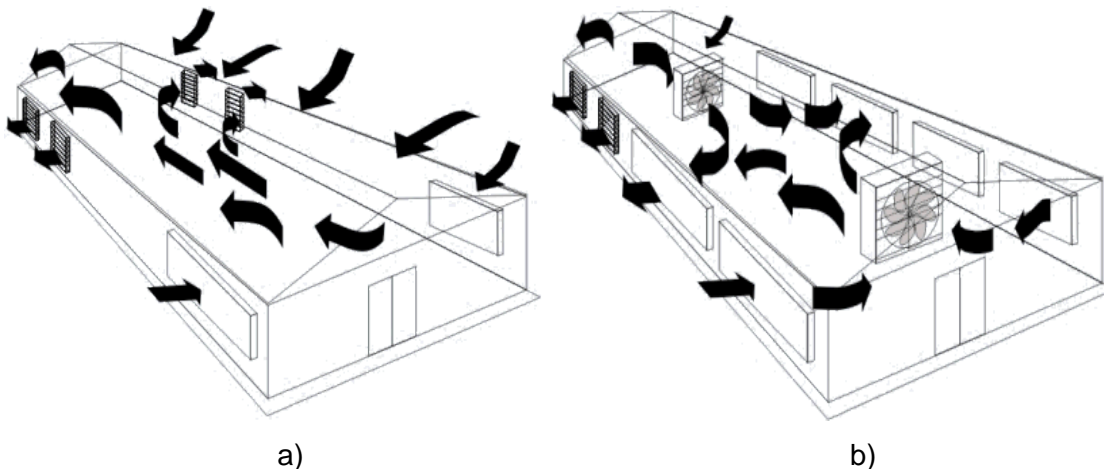


Figura. 1.- Tipos de ventilación: a) pasiva b) activa (Leuca, 2016).

Uno de los primeros ejemplos de arquitectura bioclimática son los captadores de viento (Figura 2a) (Neila, 2014) usados por los pueblos iraníes durante muchos siglos y son descritos como “sistemas de captura e impulsión de aire, utilizados como mejora de los sistemas de ventilación” (Sánchez et al, 2012). Este tipo de edificaciones emplea la misma estructura para succionar y expulsar el aire; sin embargo, el aire incidente en una de sus caras proveniente del exterior se encuentra a una temperatura elevada y es enfriado en el interior mediante el contacto con aire fresco proveniente de un pozo que conecta con una corriente de agua subterránea, tras lo cual el aire es expulsado después de enfriar el interior de la vivienda (Figura 2b) (Alter, 2008). El inconveniente de estas estructuras es el enorme volumen que poseen y la necesidad de una corriente de agua subterránea que se conecte con la vivienda para lograr la disminución de la temperatura del interior, además de que estas torres a menudo se emplean en regiones secas.

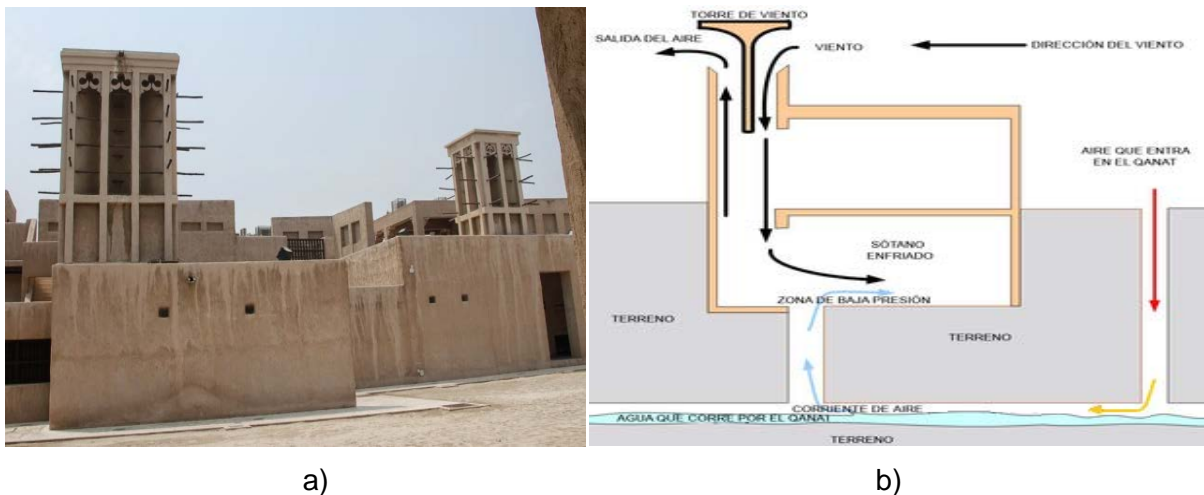


Figura. 2.- Captador de viento: a) imagen (Neila, 2014). b) diagrama (Alter, 2008).

De acuerdo a Janssen, hasta antes de los años 30s del siglo pasado la ventilación natural jugó un papel muy importante en el diseño y construcción de los hogares pero cayó en desuso a partir de la invención de los sistemas de aire acondicionado; la crisis del petróleo a mediados de la década de los 70s provocó que se retomara el interés por este tipo de técnicas de ventilación y desde entonces se han logrado diseñar diversas técnicas de acondicionamiento para la vivienda (Janssen, 1999). Un

ejemplo de este desarrollo es la casa solar de La Plata realizada entre 1976 y 1983 por el doctor Elías Rosenfeld en su afán de impulsar el estudio de la arquitectura bioclimática y solar (Di Ruscio, 2013), diseñada para reducir la cantidad de energía utilizada para la climatización de la misma (Figuras 3a y 3b) (Di Ruscio, 2013).

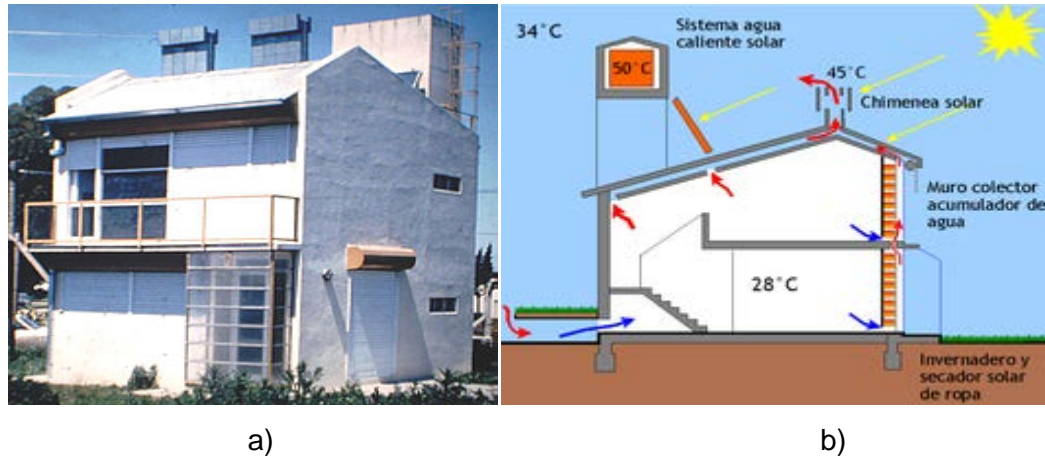


Figura. 3.- Casa solar de La Plata: a) imagen b) diagrama (Di Ruscio, 2013).

Las chimeneas solares son un método de ventilación que permite su implementación realizando modificaciones menores en las estructuras con un grado considerable de eficiencia y ha sido objeto de estudios, dichos dispositivos emplean la absorción de la energía solar para crear un sistema de ventilación basado en la diferencia de densidades que experimenta el aire cuando es calentado (Figura 4).

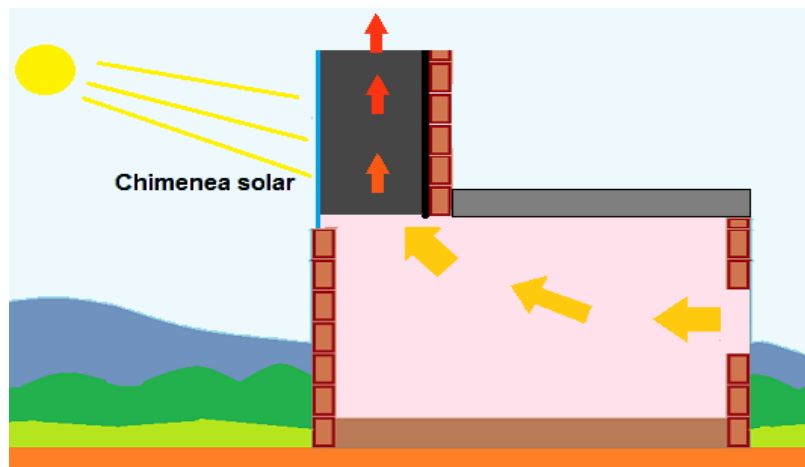


Figura.4.-Chimenea Solar como sistema de ventilación.

La chimenea es una estructura en forma de tubo rectangular cuyo interior está recubierto de un aislante térmico y sobre esta una lámina de acero inoxidable pintada de negro, adicionalmente, una de sus caras verticales ha sido reemplazada por un material selectivo como el vidrio. Ante la falta de radiación solar el aire presente en el interior de la chimenea se encuentra a la misma temperatura que el aire del interior de la habitación y no existe un flujo considerable de aire. Sin embargo, a medida que la radiación solar se incrementa durante el día, la temperatura del aire en el interior de la chimenea se incrementa debido a efectos de convección y radiación derivados tanto del efecto invernadero provocado por el vidrio como por la radiación de la placa negra que ha absorbido la radiación solar e incrementado su temperatura (Figuras 5a y 5b).

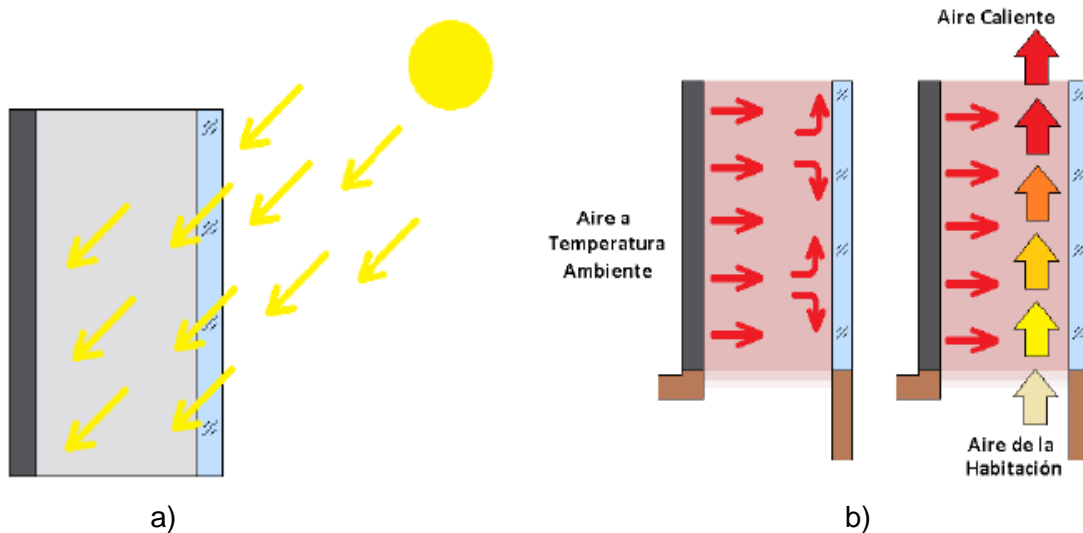


Figura. 5.- Funcionamiento de la chimenea solar: a) absorción b) calentamiento del aire y expulsión.

El incremento en la temperatura del aire reduce su densidad y provoca su desplazamiento hacia arriba (efecto empleado por los globos aerostáticos). Este movimiento genera un ligero efecto de vacío parcial en el canal de la chimenea provocando una succión del aire de la habitación para reemplazar al que se escapó mejorando la ventilación. Mientras mayor sea la temperatura del canal, mayor será la velocidad a la que se desplace el viento en la chimenea y en la habitación.

Otro ejemplo de estructuras que incluyen chimeneas solares como mecanismos de ventilación pasiva es el centro de visitas del parque nacional de Zion en Utah (Mundo HVACR, 2015), Estados Unidos. Adicionalmente se incluyeron técnicas de diseño como ventanas que permiten una mayor iluminación proveniente del exterior y paneles solares que proporcionan energía eléctrica al edificio, además de la colocación de sensores para las variables atmosféricas para tomar las medidas que busquen un ahorro energético y un colector de viento con corriente descendente pasiva. En la figura 6a se aprecia el centro (Mundo HVACR, 2015) y en la figura 6b un esquema de su funcionamiento (NREL, 2009).

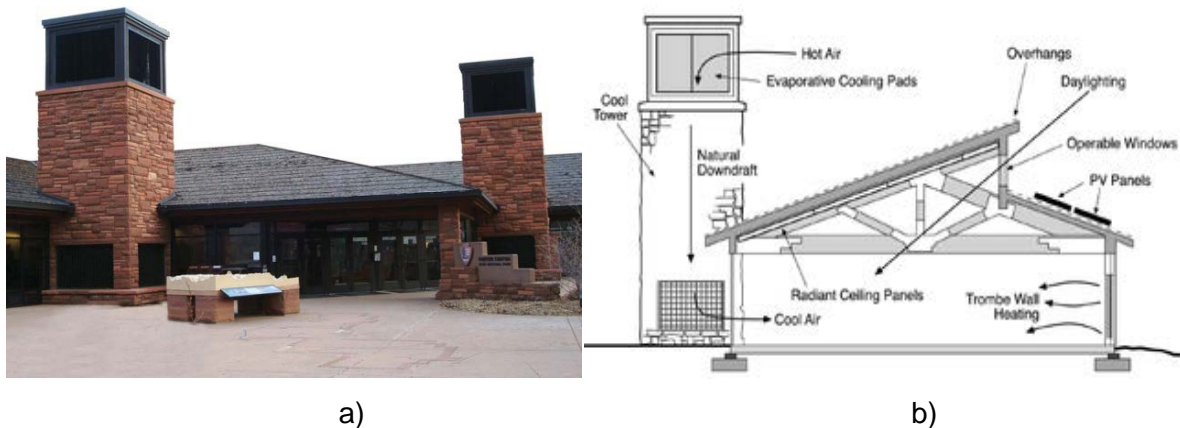


Figura. 6.- Centro de visitas del parque nacional de Zion: a) imagen (Mundo HVACR, 2015)
b) diagrama (NREL, 2009).

Diversos trabajos se han llevado a cabo en tiempos recientes, entre los cuales podemos mencionar el trabajo de Zhai que consiste en una reseña sobre los diferentes diseños de las chimeneas solares, sus principios básicos de funcionamiento y sus aplicaciones e integraciones prácticas en mecanismos de ventilación pasiva y ventilación activa basada en energías renovables como alternativa ecológica para el enfriamiento de viviendas y edificios (Zhai, Song y Wang, 2011).

También encontramos trabajos enfocados en el análisis de la eficiencia de las chimeneas solares como el de Ong en el cual se utilizó una chimenea convencional

con su interior pintado de negro y con uno de sus lados reemplazados con una lámina de vidrio para lograr la absorción y retención del calor absorbido durante el día, encontrando una relación entre la eficiencia y el tipo de vidrio, el tipo de pared que conforma la chimenea, la temperatura del aire, el flujo másico del aire en el interior de la estructura y el coeficiente de absorción de calor (Ong, 2003). Además, el trabajo presenta un balance térmico para el modelo físico en el que se consideran factores como las temperaturas de entrada y salida del aire en la chimenea solar, la transferencia de calor por convección entre diversas interfaces como la existente entre el aire del exterior y el vidrio, la del aire que circula por el interior de la chimenea y la pared de la misma, y por último, la existente entre las paredes internas, siendo esta última considerada como radiación como se muestra en las Figuras 6a y 6b (Ong, 2003).

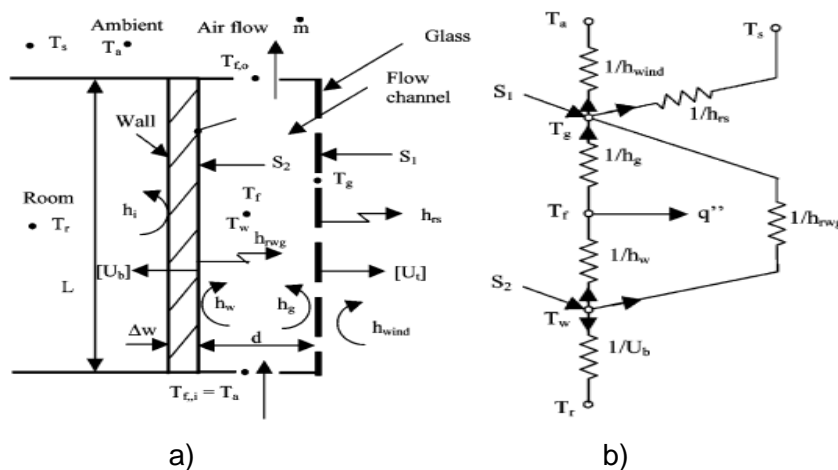


Figura. 7.- Diagrama de chimenea solar: a) elementos b) balance térmico (Ong, 2003).

Por otro lado, Chen realizó predicciones entre la relación existente entre la longitud vertical de la chimenea y la abertura de la misma con el objetivo de determinar las medidas óptimas que provean el mayor flujo de aire, encontrando un rango de 1:15 hasta 2:5, límites a partir del cual empiezan a presentarse turbulencias que consisten en flujos de aire en sentido contrario (Chen, 2006). Estas relaciones fueron obtenidas comparando diversas aberturas en diferentes chimeneas con modelos basados en la técnica CDF (Fluidos Dinámicos Computacionales). Adicionalmente

realizaron experimentos variando la inclinación de la chimenea respecto a una vertical convencional hallando un incremento en el flujo de aire alrededor de los 45° de inclinación para una chimenea de 0.2 m de ancho a 1.5 m de alto (Figura 8) (Chen, 2006).

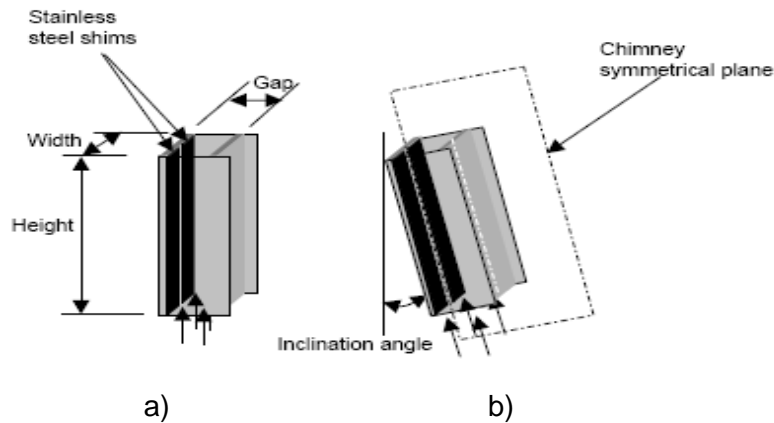


Figura. 8.- Chimenea solar: a) ángulo de 90° b) ángulo de 45° (Chen, 2006).

Aspectos como la variación de la densidad del aire con la temperatura y la humedad absoluta presentan un papel significativo en el funcionamiento de estos dispositivos de ventilación pasiva como lo demuestra el estudio de Mealla en el cual se evalúa el comportamiento de una chimenea de 2 m de alto y 0.15 m de ancho consiguen un caudal de aire de 40 m³/h, el cual comparan con un pequeño extractor eléctrico de baño. Los autores proponen una ecuación para describir el comportamiento del flujo másico en el interior de la chimenea y emplearon un modelo matemático para describir el coeficiente de convección (Mealla, Condori y Saravia, 2001).

Bassiouny y Kouara realizaron un estudio para definir la forma en la que influye el tamaño de la abertura en el Cambio de Aire por Hora en una habitación (ACH) que estableció que incrementando tres veces su tamaño se puede lograr un desempeño superior en un 11%. Cabe mencionar que la chimenea empleada tiene su base en el suelo y su entrada se une con la habitación mediante una pequeña abertura en la parte de abajo, a diferencia de las chimeneas que se encuentran en el techo (Figura 15). Los autores presentan además una representación del comportamiento del

viento durante su desplazamiento en la habitación al dirigirse a la estructura mostradas en la Figura 9 (Bassiouny y Kouara, 2007).

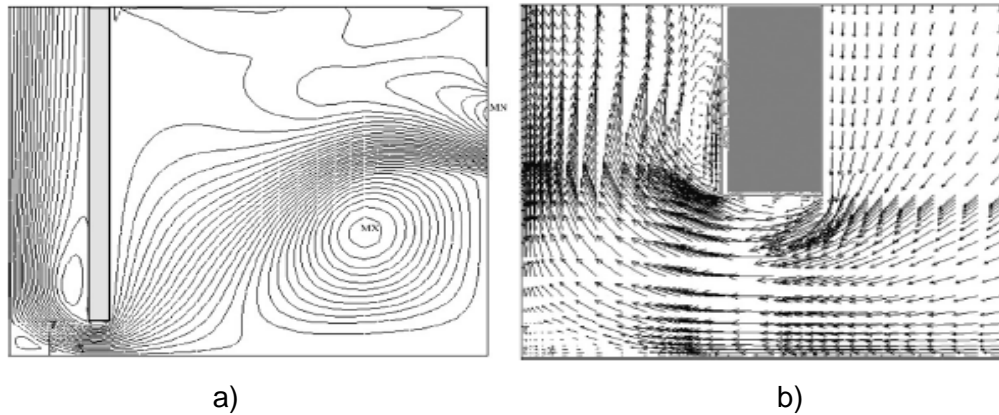


Figura. 9.- Comportamiento del aire: a) en la habitación b) en la entrada de la chimenea (Bassiouny y Kouara, 2007).

Sobre este diseño en particular Mathur ha desarrollado un estudio enfocado a la ventilación natural de una habitación típica de 27 m^3 usando un modelo a escala de $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ con una ventana de $0.3 \text{ m} \times 0.3 \text{ m}$ (Figura 17) en el extremo opuesto de la chimenea como fuente de succión de aire obteniendo una razón de flujo de aire de $55\text{-}150 \text{ m}^3/\text{h}$ con un rango de radiación incidente en la superficie vertical de $300\text{-}700 \text{ W}/\text{m}^2$, lo cual corresponde a 2 a 5.6 cambios de aire por hora en una habitación típica (Mathur y Bansal, 2005).

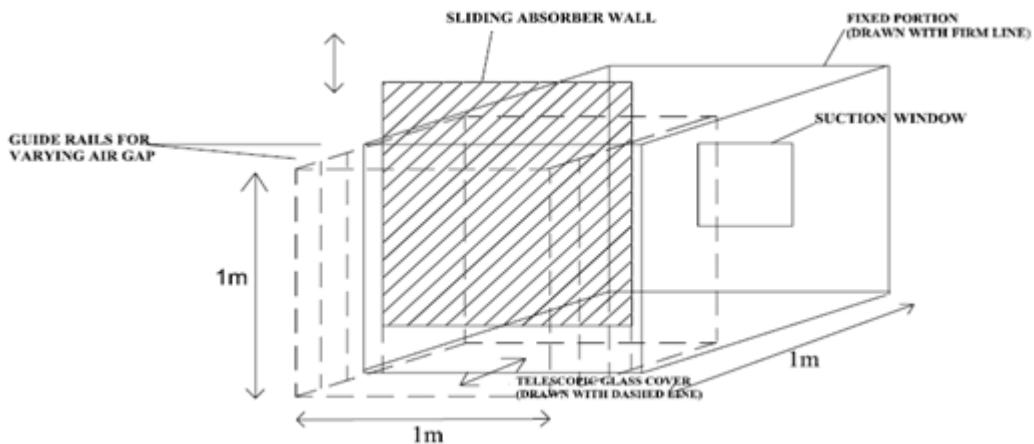


Figura. 10.- Modelo a escala de $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ (Mathur y Bansal, 2005).

Capítulo 1.- Ventilación y Calidad del Aire.

La climatización es una necesidad básica para toda edificación que soluciona problemas relacionados con el confort y la calidad del aire, sin embargo, el consumo de energía eléctrica para conseguirla puede llegar a ser excesivo si se considera la cantidad de dispositivos empleados para acondicionar la gran cantidad de viviendas de una ciudad o edificios grandes.

La ventilación natural se presenta como una alternativa sustentable para mejorar las condiciones de confort reduciendo prácticamente a cero la energía eléctrica y sus menores requerimientos en el tema de mantenimiento con respecto a su contraparte activa.

Como se ha explicado antes, la ventilación puede considerarse como la renovación del volumen de aire de un espacio interior y de acuerdo a Yarke las funciones básicas de la ventilación son dos: asegurar la calidad óptima del aire interior mediante la ventilación sanitaria y/o brindar confort térmico en verano a los ocupantes del edificio, ya sea a través de la ventilación directa sobre las personas o con la ventilación nocturna sobre la masa del edificio (Yarke, 2005).

Si bien la ventilación se presenta como un método alternativo más eficiente también posee desventajas como la pseudo-aleatoriedad de su funcionamiento al presentar una fuerte dependencia hacia las variables meteorológicas y la falta de estandarización al momento de aplicarlo a una edificación dada la diferencia de diseños que estos presentan unos con respecto a otros. Debido a esto es necesario crear una metodología que ayude a la correcta integración de este método en la vivienda mediante la observación y análisis de las principales variables que afectan las condiciones de confort en interiores. Dichas variables se exponen a continuación.

1.1- Variables Atmosféricas

Toda edificación posee características internas que determinan su grado habitabilidad y que afectan el confort térmico de las personas, el cual se define de acuerdo al ASHRAE como “la condición de la mente que expresa satisfacción con el medio ambiente térmico” (ASHRAE, 2004).

Esta sensación posee un alto grado de subjetividad ya que el grado de confort de cada persona varía de acuerdo a factores como las dimensiones de su cuerpo, metabolismo, humedad, velocidad del viento, etc. Sin embargo, a través de datos estadísticos obtenidos de encuestas se han establecido ciertos valores para las principales variables internas de la vivienda acorde a sus dimensiones, habitantes, actividades, etc.

A continuación, se describen los principales factores ambientales que influyen en el grado de confort en el hogar:

1.1.1.- Temperatura

La temperatura es una magnitud relacionada con la rapidez del movimiento de las partículas que constituyen la materia. Cuantas mayores agitaciones se presenten, mayor será la temperatura (Rodríguez, Benito y Portela, 2004).

1.1.2.- Humedad

De acuerdo a la obra de Rodríguez el agua se encuentra presente en la atmósfera de distintas formas en el medio ambiente, como sólido, gas o líquido (Rodríguez et al, 2004). En el aire, el agua está presente en forma de vapor y atendiendo a su concentración se define que “la humedad es la cantidad de vapor de agua que contiene el aire” (Rodríguez et al, 2004). Esta cantidad de vapor presente en el aire

se ve afectada por diversas variables como la presión atmosférica, potencia solar, ubicación geográfica, etc.

Rodríguez se refiere al contenido de humedad de diferentes maneras:

- Humedad absoluta: masa de vapor de agua, en gramos, contenida en 1m³ de aire seco.
- Razón de humedad o razón de mezcla: masa de vapor de agua, en gramos, que hay en 1 kg de aire seco.

Sin embargo, la medida de humedad que más se utiliza es la denominada humedad relativa, que se expresa en tanto por ciento (%) y se calcula mediante

$$h = \left(\frac{e}{E}\right) (100) \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde e representa el contenido de vapor de la masa de aire y E su máxima capacidad de almacenamiento, llamada presión de vapor saturante (P_{vs}). Este valor nos indica la cantidad máxima de vapor de agua que puede contener una masa de aire antes de transformarse en agua líquida (esto es lo que se conoce como saturación). De alguna forma, la humedad relativa nos da una idea de lo cerca que está una masa de aire de alcanzar la saturación. Una humedad relativa del 100% es indicativo de que esa masa de aire ya no puede almacenar más vapor de agua en su seno, y a partir de ese momento, cualquier cantidad extra de vapor se convertirá en agua líquida o en cristalitas de hielo, según las condiciones ambientales (Rodríguez et al, 2004).

1.1.3.- Radiación Solar

El término radiación se refiere a la emisión continua de energía en forma de ondas electromagnéticas originadas a nivel atómico y es una característica que pueden llegar a poseer todos los objetos, ya sea de manera natural o como resultado de algún proceso de excitación como el calentamiento, en tal caso, recibe el nombre de

radiación térmica. Todos los cuerpos emiten energía de manera continua en forma de ondas electromagnéticas originadas a nivel atómico. Existen diversos tipos de radiación, como los rayos X, radiación gamma, ondas de luz, rayos infrarrojos, etc (Tippens, 2001).

La radiación térmica está formada por ondas electromagnéticas emitidas por un sólido, un líquido o un gas, en virtud de su temperatura. Un incremento en la temperatura como resultado de la absorción de energía se traduce en un incremento en la cantidad de radiación emitida. La energía de un cuerpo absorbe proviene de sus alrededores, la cual se compone de otros objetos que irradian energía (Tippens, 2001).

La longitud de onda de la energía emitida está relacionada con la temperatura. De lo anterior se dice que cuando la temperatura es baja, la rapidez de emisión es pequeña y la radiación consiste en longitudes de onda larga. Cuando la temperatura aumenta, la velocidad de emisión aumenta y la radiación se compone de longitudes de onda corta.

La naturaleza del objeto influye en la velocidad de transmisión de calor del objeto. Los objetos que son emisores eficientes son también absorbentes eficientes de radiación. Un objeto que absorbe toda la radiación que incide sobre su superficie se conoce como absorbedor ideal, el cual también es un emisor ideal. La emisividad (o absorbencia) es una medida de la capacidad de un cuerpo para absorber o emitir radiación térmica y son cantidades adimensionales que tiene un valor numérico entre 0 y 1, dependiendo de la naturaleza de la superficie (Tippens, 2001).

La radiación o irradiancia influye en las condiciones climatológicas, ya que la atmósfera absorbe parte de la radiación proveniente del sol contribuyendo a la elevación de la temperatura y la variación de los porcentajes de humedad relativa. Del total de radiación proveniente del sol una parte es absorbida y la otra es

reflejada dependiendo de diversos factores como el tipo de suelo, las nubes y la propia atmósfera (Paz, 2001).

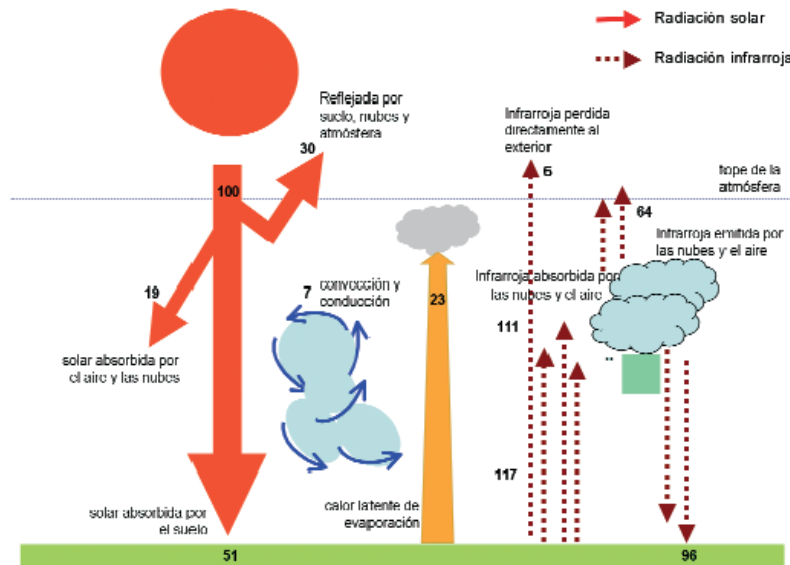


Figura. 11.- Radiación solar y componentes (Paz, 2001)

1.1.4.- Viento

El viento es el desplazamiento de grandes masas de aire de un lugar a otro debido a diferencias de magnitud de variables como presión y temperatura. Rodríguez establece que cuando se trata de diferencias de temperatura, el viento se desplaza de regiones de mayor presión a zonas de menor presión y cuando se trata de diferencias de temperatura el aire disminuye su densidad al incrementarse su temperatura (Rodríguez et al, 2004).

Escala de Beaufort de los Vientos y Efecto Sensible

El almirante Sir Francis Beaufort desarrolló desde 1806 una escala de vientos de uso marítimo de 12 niveles que posteriormente fue extendida a 17 siendo estos últimos aplicados solo para el caso de huracanes (NOAA, 2016). Dicha escala puede ser aplicada en tierra mediante la Tabla 1.

Tabla 1. Escala de Beaufort para uso terrestre (NOAA, 2016).

Beaufort Fuerza de Viento	Viento				Criterio
	Velocidad		Artículo Descriptivo		Tierra
	Mitad	Rango	America no	Británico	
0	0	<0.277 m/s	Light	Calmo	Calma, el humo asciende verticalmente.
		<1 Km/h			
1	0.83 m/s	1 - 1.38 m/s	Ligero	Aire Ligera	El humo indica la dirección del viento.
	3 Km/h	1-5 Km/h			
2	1.66 m/s	1.66 - 3.05 m/s	Ligero	Brisa ligera	Se mueven las hojas de los árboles, empiezan a moverse los molinos.
	9 Km/h	6-11 Km/h			
3	4.44 m/s	3.33 - 5.27 m/s	Suave	Brisa suave	Se agitan las hojas, ondulan las banderas.
	16 Km/h	12-19 Km/h			
4	6.66 m/s	5.55 - 7.77m/s	Moderado	Brisa moderada	Se levanta polvo y papeles, se agitan las copas de los árboles.
	24 Km/h	20-28 Km/h			
5	9.44 m/s	8.05-10.55m/s	Fresco	Brisa fresca	Pequeños movimientos de los árboles, superficie de los lagos ondulada.
	34 Km/h	29-38 Km/h			
6	12.21 m/s	10.83 -13.60 m/s	Fuerte	Brisa fuerte	Se mueven las ramas de los árboles, dificultad para mantener abierto el paraguas.
	44 Km/h	39-49 Km/h			
7	15.55 m/s	13.88 – 16.93 m/s	Fuerte	Casi temporal	Se mueven los árboles grandes, dificultad para andar contra el viento.
	56Km/h	50-61 Km/h			
8	18.88 m/s	17.21 – 20.54 m/s	Temporal	Temporal	Se quiebran las copas de los árboles, circulación de personas dificultosa.
	68 Km/h	62-74 Km/h			
9	22.77 m/s	20.82 – 24.43 m/s	Temporal	Temporal fuerte	Daños en árboles, imposible andar contra el viento.
	82 Km/h	75-88 Km/h			
10	26.65 m/s	24.71 – 28.32 m/s	Temporal entero	Tormenta	Árboles arrancados, daños en la estructura de las construcciones.
	96 Km/h	89-102 Km/h			
11	30.54 m/s	28.60 – 32.49 m/s	Temporal entero	Tormenta violenta	Estragos abundantes en construcciones, tejados y árboles.
	110 Km/h	103-117 Km/h			

En la tabla 2 se muestran los efectos sensibles de la velocidad del viento en interiores (Narváez, Quezada y Villavicencio, 2015).

Tabla 2. Efecto sensible del viento (Narváez, Quezada y Villavicencio, 2015).

Velocidad (m/s)	Efecto
Hasta 0.25	Imperceptible.
0.25 a 0.5	Comienza apenas a sentirse.
0.5 a 1	Movimiento del aire suave, efectivo y agradable en condiciones cálidas húmedas.
1 a 1.65	Movimiento de aire moderado, sin llegar a causar efectos desagradables en lugares de trabajo de oficina.
1.65 a 3.3	Puede ser desagradable (los papeles empiezan a volar); 3.3 m/s se considera el límite deseable para interiores.
3.3 a 5	Brisa, agradable en espacios exteriores con condiciones cálidas.
5 a 10	Viento Moderado
10 a 15	Viento fuerte a muy fuerte
Más de 15	Vendaval, a partir de 25 m/s se pueden presentar daños en edificios

Dirección del Viento y Ángulo de Incidencia

De acuerdo al manual del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS, 2016), la dirección del viento se define como la dirección desde la cual sopla el viento, y se mide en grados en la dirección de las agujas del reloj a partir del norte verdadero, en la Figura 12 se aprecia un viento con dirección de 68°.

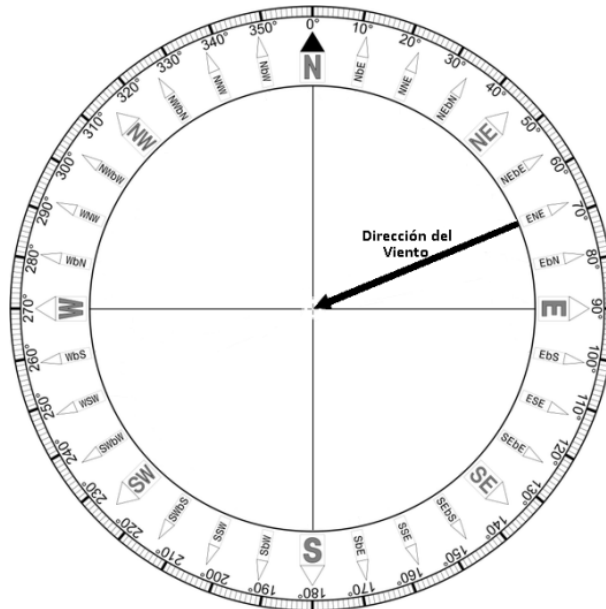


Figura. 12.- Determinación de la dirección del viento.

La página del servicio meteorológico gratuito Windfinders provee estadísticas de viento, olas y tiempo para diferentes partes del mundo y de acuerdo a las mediciones de la estación meteorológica del aeropuerto internacional Manuel Crescencio Rejón de la ciudad de Mérida, las principales direcciones del viento en porcentaje para los doce meses del año se muestran en la Figura 13 (Windfinders, 2016).

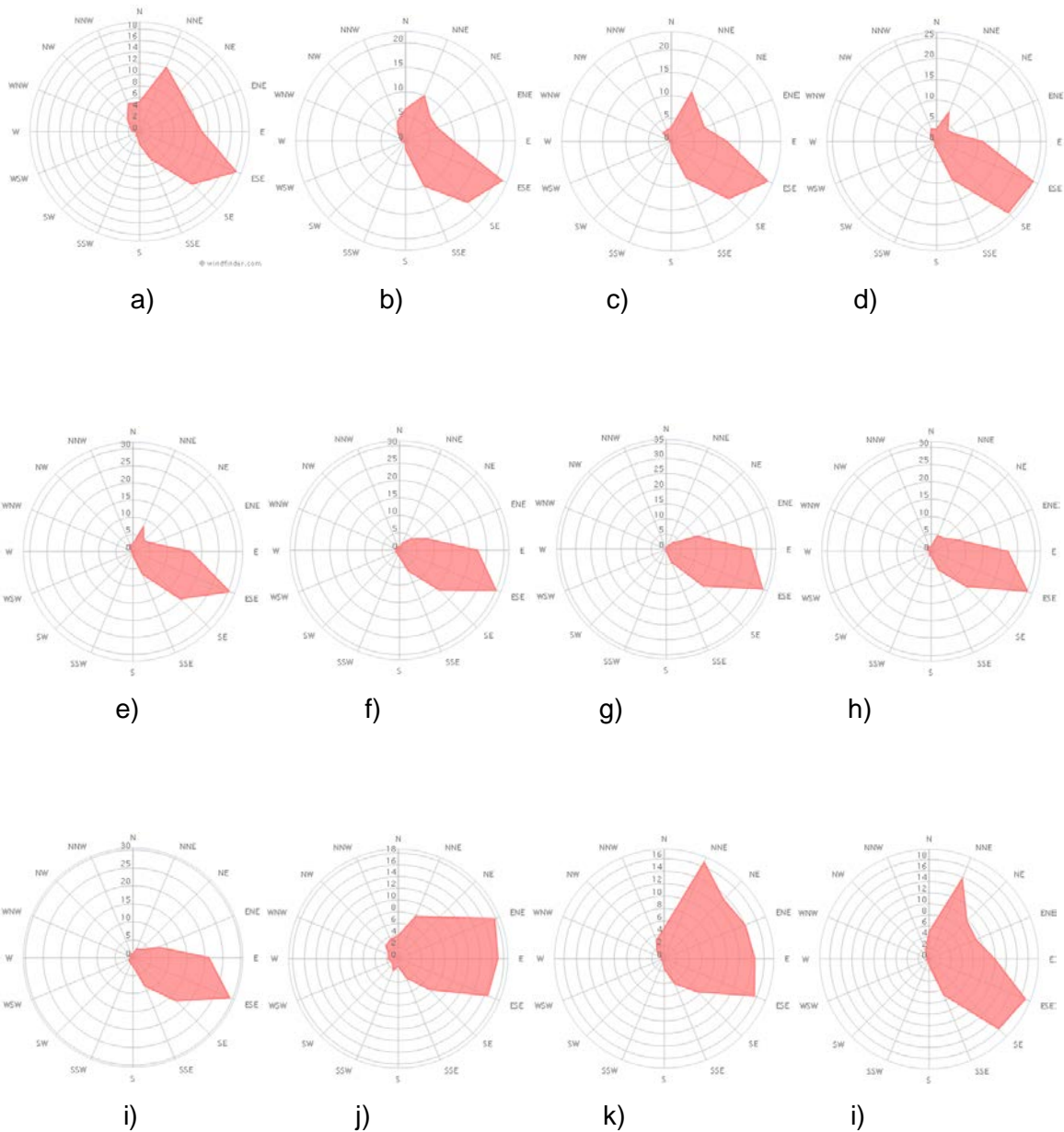


Figura. 13.- Direcciones del viento mensuales: a) Enero, b) Febrero, c) Marzo, d) Abril, e) Mayo, f) Junio, g) Julio, h) Agosto, i) Septiembre, j) Octubre, k) Noviembre, l) Diciembre (Windfinders, 2016).

En la Figura 14 se muestra la dirección del viento promedio anual para la ciudad de Mérida con base en las direcciones mensuales de la Figura 13.

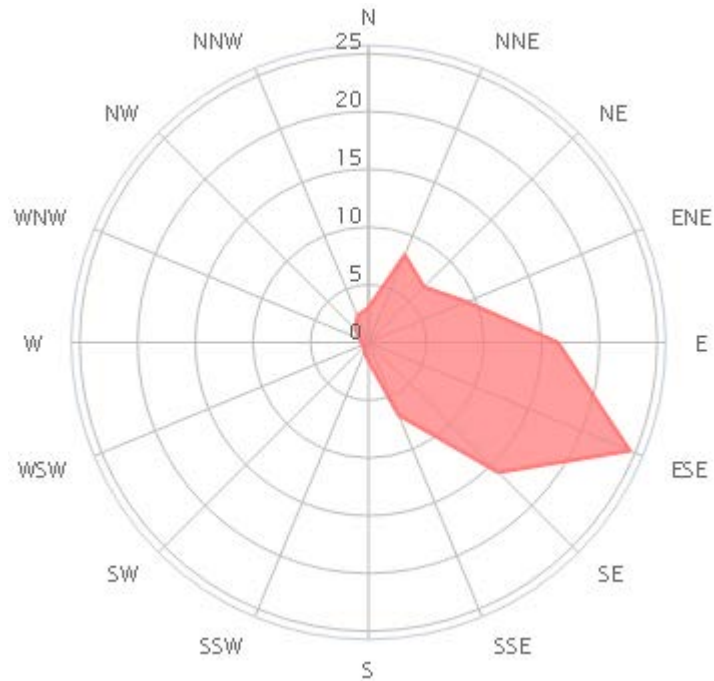


Figura. 14.- Determinación de la dirección del viento anual (Windfinders, 2016).

El ángulo de incidencia del viento es el valor absoluto del ángulo formado entre la normal del muro que recibe el viento y la dirección desde la que proviene (Allard y Santamouris, 1998).

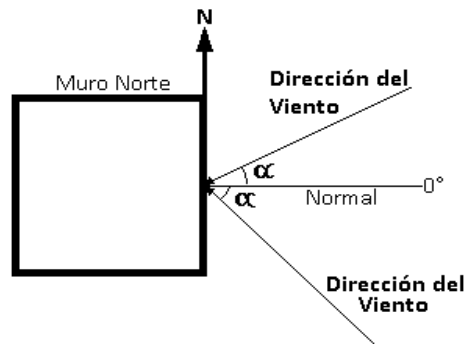


Figura. 15.- Angulo de Incidencia (Allard y Santamouris, 1998).

Coeficiente de Presión.

El coeficiente de presión adimensional es un parámetro empírico que toma en cuenta los cambios de la presión inducida por el viento causada por las

obstrucciones del entorno sobre las características del viento local prevaleciente (Yarke, 2005).

Para el cálculo del coeficiente de presión se utilizó la ecuación empleada por Swami y Chandra (1987).

$$C_p = \ln[C_0 + C_1 \sin\left(\frac{A_i}{2}\right) + C_2 \sin^2(A_i) + C_3 \sin^3(2A_i G) + C_4 \cos\left(\frac{A_i}{2}\right) + C_5 G^2 \sin^2\left(\frac{A_i}{2}\right) + C_6 \cos^2\left(\frac{A_i}{2}\right)] \quad (\text{Ec. 2})$$

donde A_i es el ángulo de incidencia y G es el logaritmo natural del radio de costado, el cual se define como la longitud del muro en consideración entre la longitud del muro adyacente. C_0 a C_6 son:

$$\begin{aligned} C_0 &= 1.248 & C_1 &= -0.703 \\ C_2 &= -1.175 & C_3 &= 0.131 \\ C_4 &= 0.769 & C_5 &= 0.071 \\ C_6 &= 0.717 \end{aligned}$$

Estas ecuaciones y coeficientes se han obtenido a través de ajuste de la curva de datos experimentales recogidos de diferentes fuentes y se aplican para edificios de poca altura (Swami y Chandra, 1987).

Densidad del Aire

La densidad es una propiedad de la materia que se define como la cantidad presente se masa en un determinado volumen, de acuerdo a Çengel, la densidad de una sustancia depende de la temperatura y la presión. La densidad de la mayor parte de los gases es proporcional a la presión e inversamente proporcional a la temperatura (Çengel y Bole, 2012).

La densidad del aire a 1 atmósfera y 0°C tiene un valor aproximado de 1.3 kg/m³, sin embargo, para poder analizar el funcionamiento de la chimenea solar es necesario conocer los valores exactos que presentará a medida que se eleve su temperatura en el interior de la chimenea. Es por esto que se recurre a la fórmula recomendada por el Comité Internacional de Pesas y Medidas (CIPM) para determinar la densidad del aire en función de la temperatura ambiental, la presión barométrica, la humedad relativa (Peña y Becerra, 2010):

$$\rho = \frac{(0.34848)P_{ATM} - (0.009h_r)\exp(0.061t)}{273.15+t} \quad (\text{Ec. 3})$$

donde ρ es la densidad de aire en kg/m³, P_{ATM} es la presión atmosférica en hPa, h_r es la humedad relativa de aire en % y t es la temperatura de aire en °C.

1.1.4.5.- Ecuaciones de Velocidad del Viento

Flujo Másico

Çengel define el flujo másico como la cantidad de masa que fluye por una sección transversal por unidad de tiempo (Çengel y Bole, 2012).

$$m = \rho \dot{V} = \rho AV \quad (\text{Ec. 4})$$

donde ρ es la densidad del fluido, A el área de sección transversal de flujo y V es la velocidad media del flujo normal a la sección A . \dot{V} se define como el caudal expresado en m³/s.

Para el análisis de las técnicas de ventilación se utilizará la metodología del sistema de simulación Cool-Vent, el cual es una herramienta que hace cálculos de energía y flujo de aire para moderar las características de flotabilidad y movimiento del viento (Cool-Vent, 2016).

Este software fue desarrollado por el Instituto Tecnológico de Massachusetts para el analizar el movimiento del aire en diversas estructuras como casas, edificios simples de varios niveles y con aliviaderos o atrios (chimeneas no solares). De acuerdo a Menchaca, este software se basa en el balance energético de multizonas de la edificación considerando variables como irradiación solar, velocidad de viento y humedad promedio tomadas de bases de datos disponibles en la red (Menchaca, 2012).

El análisis requiere conocer el flujo másico del aire que atraviesa la abertura de la zona a analizar, para ello emplea

$$\dot{m} = \rho C_d A \left(\frac{2\Delta P_{ij}}{\rho} \right)^n \quad (\text{Ec. 5})$$

donde ΔP_{ij} representa la caída de presión entre la zona exterior e interior, ρ la densidad del aire, A el área de la abertura, C_d el coeficiente de descarga y n es una constante con un valor de 0.5.

C_d depende de las características del viento y la abertura. Para el flujo turbulento que pasa a través de un orificio de borde afilado rectangular, C_d es aproximadamente constante e igual 0.6, (Menchaca, 2012). ΔP_{ij} se obtiene de

$$\Delta P_{ij} = [P_i - \rho g(h_o - h_i)] - [P_j - \rho g(h_o - h_i)] + C_p \frac{\rho v^2}{2} \quad (\text{Ec. 6})$$

donde P , ρ y h representan la presión estática, densidad del viento y elevación relativa de la abertura con respecto al suelo, h_o es la altura de la abertura, g es la gravedad, v es la velocidad del viento y C_p es el coeficiente de presión.

Temperatura del Aire

Es necesario conocer el valor de la temperatura del aire en el canal de la chimenea para calcular la densidad y el flujo másico, es por ello que se utiliza la fórmula de Gil

para el cálculo de la temperatura de una placa expuesta al sol durante un tiempo infinito y posteriormente obtener la temperatura del aire (Gil, 2006)

$$T_{\infty} = T_a + \frac{\tau\alpha}{\rho C_p e} \frac{I_s}{k} \quad (\text{Ec. 7})$$

donde ρ , C_p y e son la densidad, el calor específico y el espesor del material I_s la radiación solar, τ es la transmitancia del policarbonato, α es la absortancia de la placa de igual valor a la emisividad y k es una constante de transferencia de calor que surge de la razón de enfriamiento de un cuerpo obtenida de la ley de enfriamiento de Newton como

$$T = T_a + (T_o - T_a) \exp^{-kt} \quad (\text{Ec. 8})$$

donde T es la temperatura final que alcanza el objeto después de enfriarse, T_a es la temperatura ambiente, T_o la temperatura máxima que alcanzó el cuerpo durante su exposición a una fuente de calor y t es el tiempo de enfriamiento. La ecuación puede despejarse para obtener k de la siguiente forma:

$$k = \frac{\ln \frac{T-T_a}{T_o-T_a}}{t} \quad (\text{Ec. 9})$$

Dado que se desconocen las temperaturas máximas y finales de la placa de la chimenea se optó por calcular k con base en un experimento en el que un automóvil era expuesto a lámparas uv que simulaban la luz solar mientras se medían las temperaturas en el techo e interiores. Esto es posible debido a que:

$$\frac{T-T_a}{T_o-T_a} = \text{Pendiente de la curva} \quad (\text{Ec. 10})$$

Por lo tanto, la ecuación 9 puede expresarse de la siguiente forma:

$$k = \frac{\ln(\text{Pendiente})}{t} \quad (\text{Ec. 11})$$

Para el caso de enfriamiento la pendiente tendrá signo negativo y para el calentamiento signo positivo.

Al conocer la temperatura de la placa absorbidora se utiliza la ecuación de balance térmico de Mealla para calcular la temperatura del aire que fluye por la chimenea. Esta es empleada para una chimenea solar con absorbedor cilíndrico (Figura 16) dentro de una cubierta transparente y aislante de policarbonato (Mealla et al., 2001).

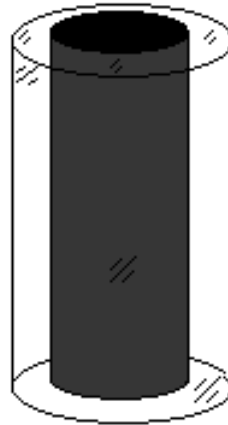


Figura. 16.- Chimenea solar de mealla.

$$\tau\alpha I = U_t(T_p - T_{Amb}) + h_i(T_p - T_{Aire}) + h_{ir}(T_{p_sin\ sombra} - T_{p_sombreada}) \quad (Ec. 12)$$

donde τ es la transmitancia del policarbonato, α es la absortancia de la placa de igual valor a la emisividad, U_t es un coeficiente de pérdidas calculado con base en la resistencia térmica entre las sección formada por la cubierta y el absorbedor, T_p es la temperatura de la placa, h_i es el coeficiente de transferencia de calor por convección natural que va de 0 a 25 para ventilación natural y de 25 a 250 para convección forzada y h_{ir} , el coeficiente de pérdidas de calor debido a las diferentes temperaturas de las caras sombreada y no sombreada (Incropera, 1999).

Este diseño aprovecha tanto la radiación solar directa y difusa, sin embargo, presenta algunos inconvenientes como que la cara sombreada tendrá una temperatura inferior a la cara expuesta a la radiación solar implicando un promedio de temperaturas entre ambas y las perdidas por radiación y convección que se experimentan en la sección entre el absorbedor y la cubierta si se llega a perder el

vacío. Como en la chimenea propuesta una cara se encuentra en contacto con una pared aislante y la otra está en contacto con el flujo de aire de manera directa, la ecuación puede simplificarse como

$$\tau\alpha I = U_t(T_P - T_{Amb}) + h_i(T_P - T_{Aire}) \quad (\text{Ec. 13})$$

Despejando para la temperatura del aire tenemos:

$$T_{Aire} = T_P - \frac{\tau\alpha I - U_t(T_P - T_{Amb})}{h_i} \quad (\text{Ec. 14})$$

Coefficiente de Pérdidas

De acuerdo a Threlkeld, el cálculo del coeficiente de pérdidas se realiza mediante la suma de las resistencias térmicas en serie del sistema conociendo los coeficientes de superficie h_{iu} y h_{ou} y las conductividades y conductancias térmicas (Threlkeld, 1973).

$$U_t = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{\frac{1}{h_{ui}} + \frac{1}{c} + \frac{1}{kw} + \frac{1}{h_{ou}}} \quad (\text{Ec. 15})$$

En este capítulo se han expuesto las principales variables meteorológicas que influyen en el confort térmico, así como sus características y propiedades, además de las fórmulas para calcular su desplazamiento en interiores. Los valores obtenidos a través de dichas ecuaciones servirán para la evaluación del confort térmico que se abordará en el siguiente capítulo.

Capítulo 2.- Evaluación del Confort Térmico

El nivel de confort en la vivienda posee características subjetivas que varían de un individuo a otro dificultando la regulación del mismo, sin embargo, diversos métodos que lo evalúan. De entre todos, el método de Fanger es el más completo, práctico y operativo al grado que fue recogido por la norma ISO 7730 y está basado en un muestreo sobre 1300 sujetos (Soto, 2016).

De acuerdo a las Notas Técnicas de Prevención españolas (NTP) este método toma en consideración factores como las características de la vestimenta, las actividades realizadas en espacio a evaluar y las características ambientales (Castejón, 1983).

2.1.- Índice de Valoración Medio

Fanger presenta el promedio de calificaciones de confort atribuidas por los encuestados a una determinada situación con base en la siguiente escala (Castejón, 1983).

Tabla 3. Calificaciones de confort

Escala de Sensación	
-3	Muy frío
-2	Frío
-1	Ligeramente Frío
0	Confort (neutro)
+1	Ligeramente Caluroso
+2	Caluroso
+3	Muy Caluroso

Este valor se conoce como Índice de Valoración Medio (IMV) y se obtiene mediante tablas clasificadas por el tipo de actividad realizada en el entorno a evaluar.

2.2.- Metabolismo

El consumo metabólico en función de la actividad se obtiene mediante la tabla 4 (Nogareda, 1993).

Tabla 4. Clasificación del metabolismo por actividad

Clase	W/m ²
Reposo	65
Metabolismo Ligero	100
Metabolismo Moderado	165
Metabolismo Elevado	230
Metabolismo muy Elevado	290

2.3.-Influencia de la Vestimenta

Las características térmicas del vestido se miden en la unidad denominada "clo" (del inglés *clothing*, vestido), equivalente a una resistencia térmica de 0,18 m² K/W; se indica a continuación, para los tipos más usuales de vestido los correspondientes valores de la resistencia en "clo":

Desnudo: 0 clo.

Ligero: 0,5 clo (atuendo de verano: ropa interior de algodón, pantalón y camisa).

Medio: 1,0 clo (traje completo).

Pesado: 1,5 clo (uniforme militar de invierno).

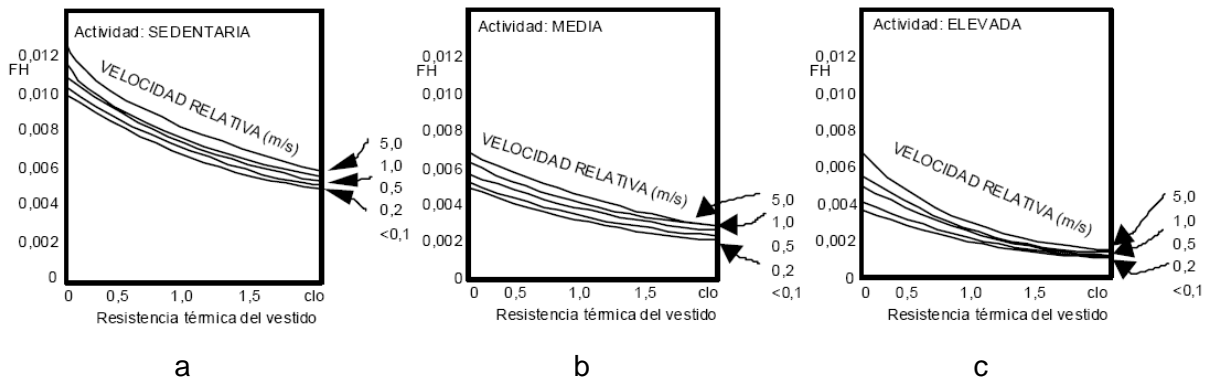
2.4.- Influencia de la humedad relativa

Los valores obtenidos de las tablas de IMV han sido estimados a una humedad relativa de 50% y se ven afectados por las variaciones de dicho porcentaje por lo

que es necesario realizar correcciones mediante la ecuación 16 donde los valores de IMV se obtienen de las tablas del anexo 4 (ISO, 2016).

$$IMV = IMV_{tab} + (F_H)(H_R - 50) \quad (Ec. 16)$$

Donde H_R representa la humedad relativa, F_H representa un factor de corrección que depende del nivel de clo y la velocidad del viento calculado a partir de la Gráfica 1 (Asepeyo, 2015).



Gráfica 1.- Factor de corrección por humedad por actividad: a) sedentaria, b) media, c) elevada (Asepeyo, 2015).

2.5.-Influencia de la temperatura radiante media

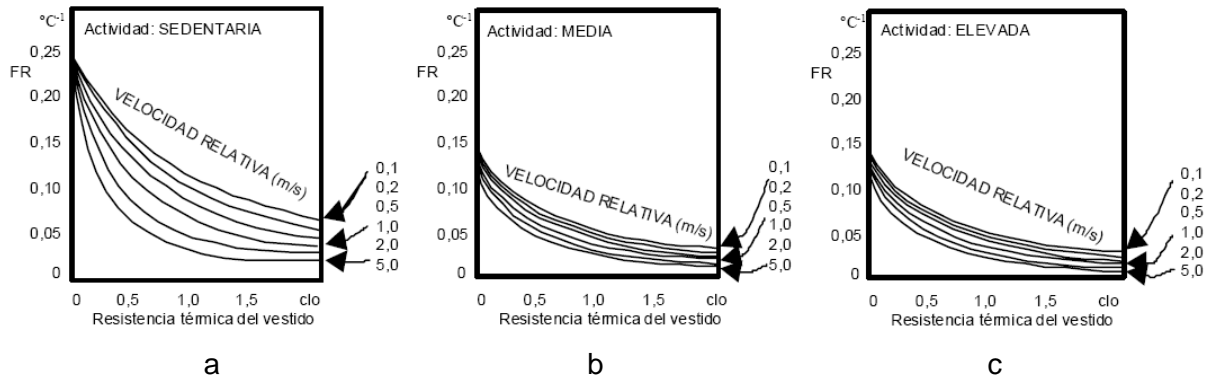
La temperatura radiante media se calcula a partir de los valores medidos de la temperatura seca, la temperatura de globo y la velocidad relativa del aire mediante (Kirchner, 2005):

$$TRM = TG + 1.9\sqrt{v}(TG - TS) \quad (Ec. 17)$$

$$TG = (1.360TS - 2.358)(0.0747 \ln(\text{Irradiación}) + 0.5617) \quad (Ec. 18)$$

Donde TRM es la temperatura radiante media, TG , es la temperatura de globo, TS la temperatura seca y v es la velocidad del viento. Cuando la temperatura radiante

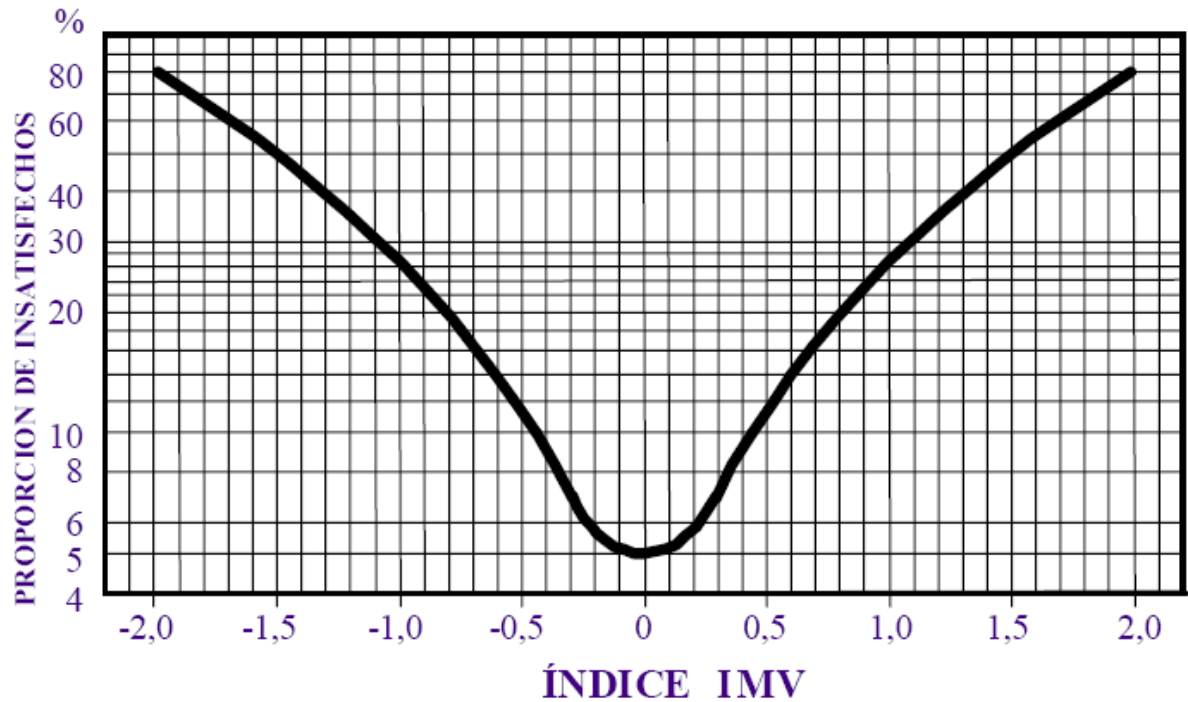
media difiere de la temperatura seca se realiza una corrección similar con base a la Gráfica 2 (Asepeyo, 2015).



Gráfica 2.- Factor de corrección por temperatura por actividad: a) Sedentaria, b) Media, c) Elevada (Asepeyo, 2015).

Aunque el índice IMV resuelve el problema de cuantificar el grado de confort de una situación dada, su utilidad práctica sería reducida si no fuera posible correlacionar sus valores con el porcentaje de personas que para cada valor del índice expresan su conformidad o disconformidad con el ambiente en cuestión. Tal correlación ha sido establecida por Fanger a partir sus estudios estadísticos con personas expuestas durante tres horas a un ambiente determinado.

En la figura 13 se indican los resultados de Fanger, que se expresan como el porcentaje de personas que se sienten insatisfechas para cada valor del índice IMV; se observa cómo en ambientes neutros, donde el IMV es cero, existe aún un 5% de insatisfechos lo que confirma el hecho bien conocido de que, en cualquier situación, por sofisticado que sea el sistema de acondicionamiento térmico del local, existe cierta proporción de insatisfechos. Fanger estableció una correlación entre el IMV y el porcentaje de Insatisfechos mediante la gráfica 3 teniendo como mínimo un 5% de insatisfacción.



Gráfica 3.- Relación entre el IMV y el porcentaje de insatisfacción (Asepeyo, 2015).

Se pretende utilizar el método de Fanger para analizar una habitación con base en los valores de humedad, temperatura, irradiación y velocidad del viento que se obtendrán en el Capítulo 4 de resultados que se presentará más adelante considerando una vestimenta y metabolismo ligeros a fin de establecer el grado de confort en dicho cuarto durante todo el año de manera objetiva dado que es uno de los métodos más extendidos para dicho cálculo.

Capítulo 3.- Metodología.

3.1.- Simulador Cool-Vent

El Cool-Vent es un software desarrollado por el Instituto Tecnológico de Massachusetts con el fin de predecir el comportamiento de los flujos de aire en el interior de las edificaciones considerando diferentes diseños de entre los cuales se encuentran las chimeneas, además de las temperaturas en diferentes secciones de la edificación utilizando mediciones de variables atmosféricas durante todo el año con intervalos de una hora. Este programa permite establecer las dimensiones de la edificación y brinda además diferentes diseños de edificaciones (Cool-Vent, 2016). Esto constituye un método adicional para comprobar la validez del modelo propuesto.

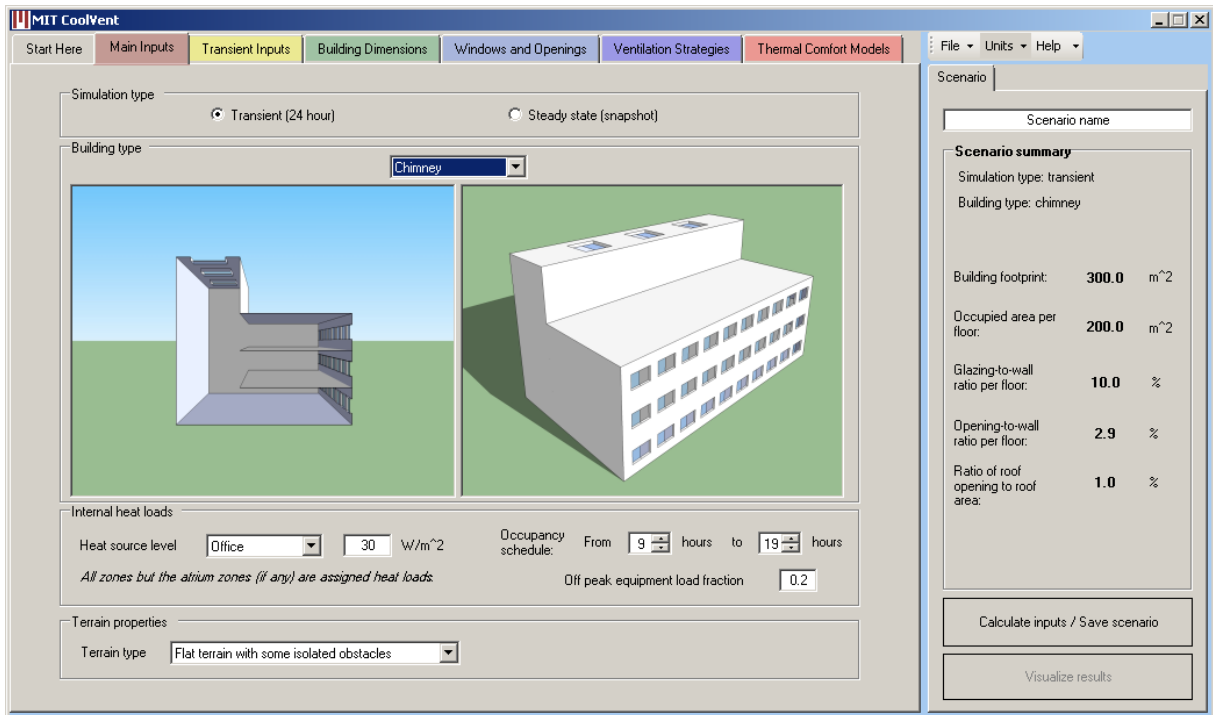


Figura. 17.- Software de simulación Cool-Vent.

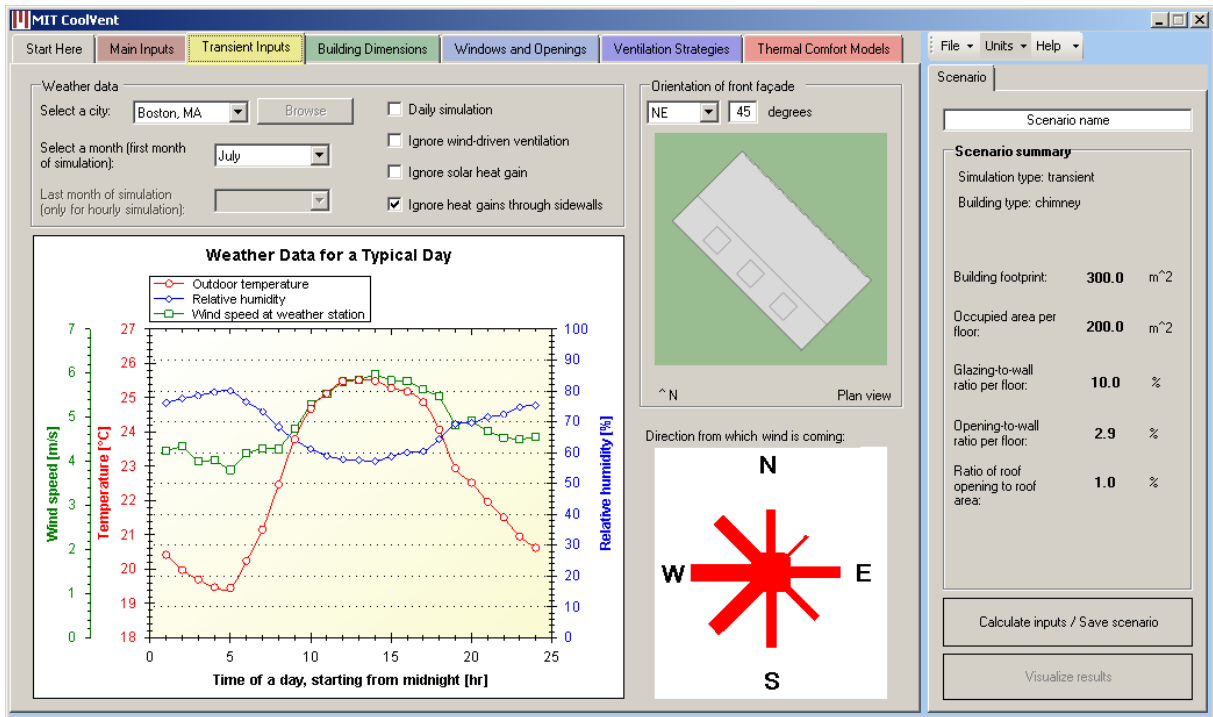


Figura. 18.- Parámetros del software.

Se realizaron simulaciones con datos de la región de un archivo tipo EPW en el Cool-Vent y los resultados se compararon con los obtenidos de las ecuaciones para el cálculo de la velocidad del viento expuestas en la sección 1.1.4 con los mismos datos en un script de Matlab obteniéndose resultados similares

3.2.- Adquisición de datos desde archivos tipo EPW

Se utilizaron datos medidos en la estación meteorología de la CONAGUA que contaban con registros de temperatura, radiación solar, humedad relativa, velocidad y dirección del viento. Esta base de datos se encontraba en formato “.epw” que agrupa los datos medidos por hora en una secuencia separada por comas que utiliza en software Cool-Vent, sin embargo, para poder ingresar los valores en las ecuaciones del modelo anteriormente expuesto fue necesario separar las mediciones en archivos individuales para cada variable atmosférica. Primero se seleccionaron las mediciones y luego se copiaron en un editor de texto (.txt) para

cargarlas en excel mediante la opción “Desde Texto” de la pestaña “Datos” Figura 19.

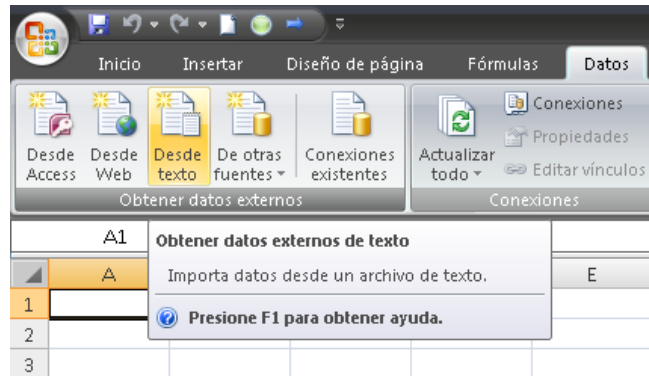


Figura. 19.- Adquisición de datos desde excel.

Se despliega la siguiente ventana (Figura 20) y se da click en siguiente:

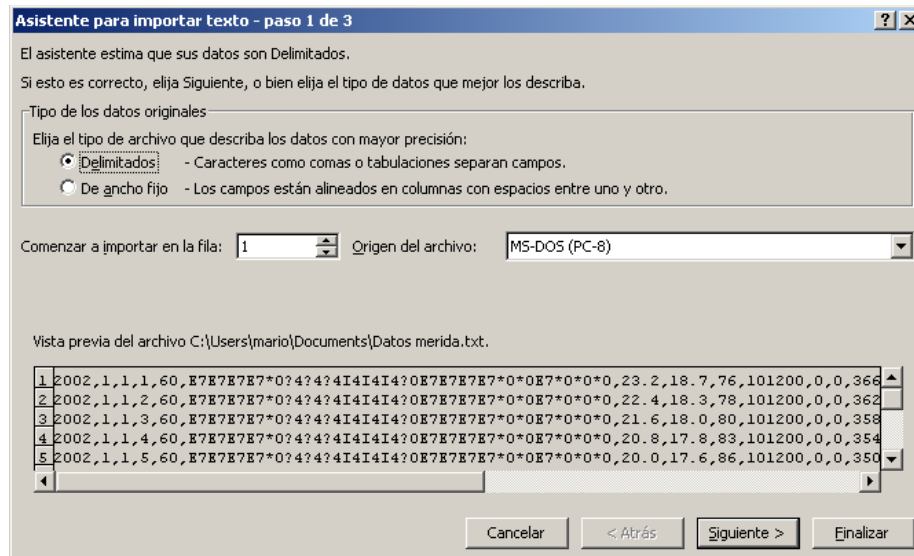
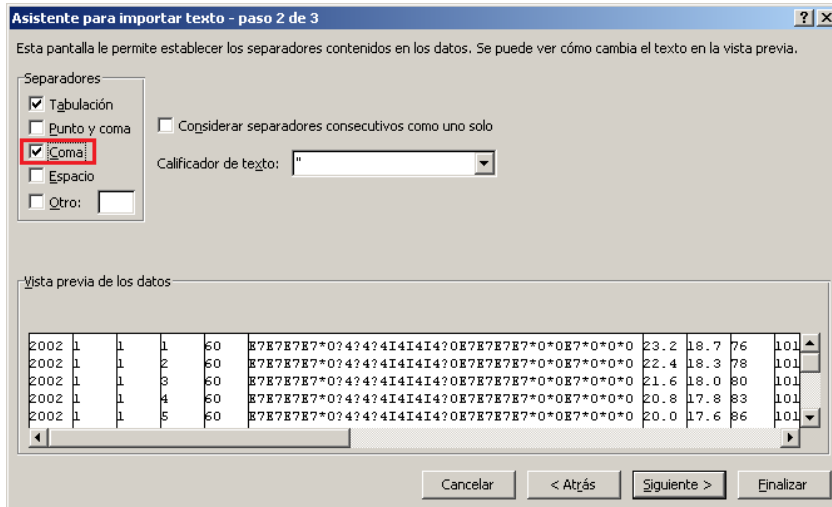
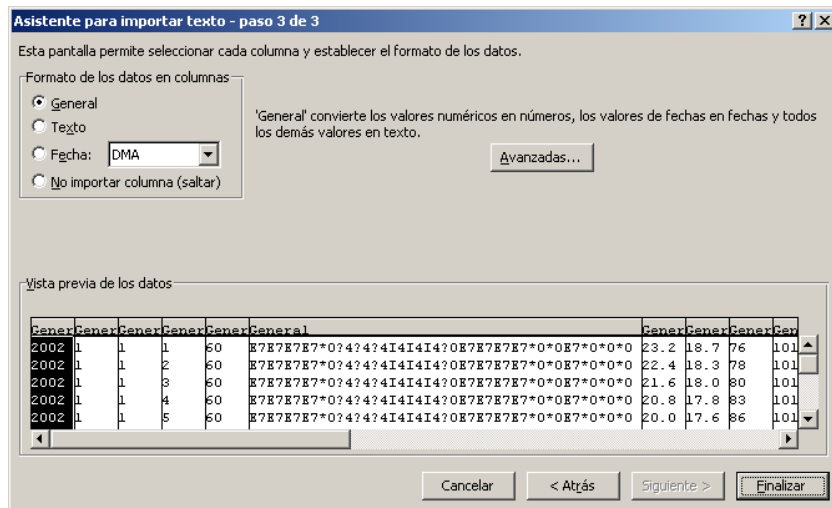


Figura. 20.- Elección del tipo de datos.

Se selecciona la opción “coma” y se da click en “siguiente” y luego en “finalizar” (Figura 21a y 21b)



a)



b)

Figura. 21.- Separación de datos: a) habilitar separación por comas b) finalizar.

Se da click en "Aceptar" de la ventana "Importar datos" (Figura 22)

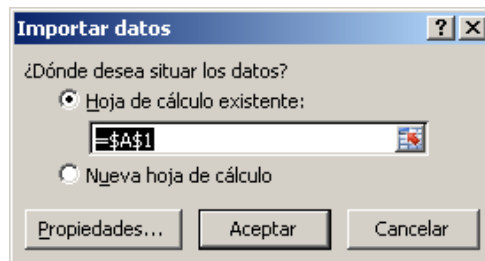


Figura. 22.- Importación de datos.

Con el fin de evaluar el comportamiento promedio del mes se obtienen los valores promedio por día de cada mes para cada variable atmosférica de 7 de la mañana a 7 de la tarde mediante un programa en lenguaje Fortran (Anexo 1).

Se copian los datos de la columna de la variable atmosférica de la que se desea obtener su promedio hasta las 24 horas del día 31 del primer mes (Figura 25). Y se pegan reemplazando los datos existentes en un archivo de texto ubicado en la misma carpeta del programa de Fortran llamado “temperaturas.dat”

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
738	2002	1	31	18	60		27.5	21.5	70	101200	1407	76	415	10
739	2002	1	31	19	60		26.8	21.4	72	101200	0	0	411	0
740	2002	1	31	20	60		26.1	21.1	74	101200	0	0	403	0
741	2002	1	31	21	60		25.4	20.8	76	101200	0	0	399	0
742	2002	1	31	22	60		24.7	20.4	77	101200	0	0	395	0
743	2002	1	31	23	60		24	19.9	78	101200	0	0	391	0
744	2002	1	31	24	60		23.3	19.5	79	101200	0	0	387	0
745	2002	2	1	1	60		22.6	19.3	82	101200	0	0	380	0
746	2002	2	1	2	60		21.7	18.8	84	101200	0	0	375	0
747	2002	2	1	3	60		20.9	18.4	86	101200	0	0	370	0
748	2002	2	1	4	60		20	18	88	101200	0	0	365	0
749	2002	2	1	5	60		19.2	17.6	91	101200	0	0	361	0

Figura. 25.- Selección de datos.

Se guardan los cambios y se abre el programa para definir los días que posee el mes mediante la variable “mes” (Figura 26).

```

program temperaturas
implicit none
integer,parameter::n=744
real,dimension(n)::tempe
integer::mes,incr,i,a,b,c,d,e,f,g,h,j,k,l,m,o,x
real::dato1,dato2

open(unit=9,file="temperaturas.dat.txt",action="read") !se abren los arch
open(unit=8,file="temperaturas.out.txt",action="write")

do i=1,n          ! Se leen los archivos
  read(9,*)tempe(i)
end do

mes=31           ! Definen los días que tiene el mes a evaluar
incr=24         ! Se define el incremento para el valor posicional
a=7             ! Puntos de inicio para cada hora
b=8
c=9

```

Figura. 26.- Definición de los días del mes.

Se da click en “Build” y luego en “Star Run” o se presiona “CTRL+F5” (Figura 27)

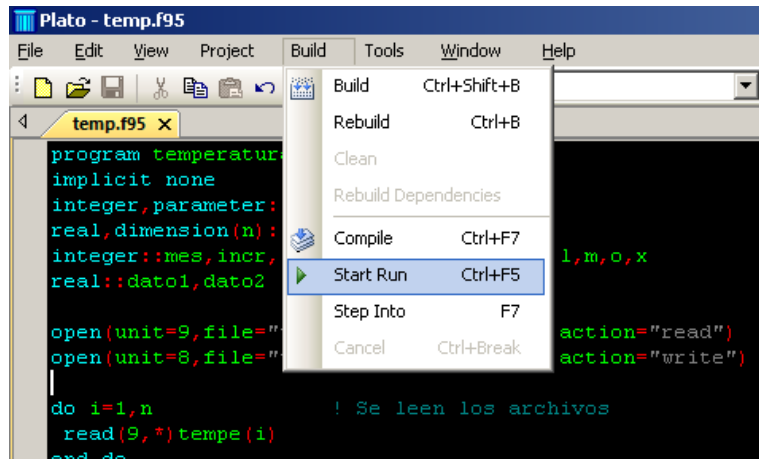


Fig. 27.- Compilación del programa.

Se generan los datos en el archivo “temperaturas.out”. Se colocan en un archivo de Excel y debajo se colocarán los datos del próximo mes hasta completar todo el año con cada una de las variables atmosféricas. En las Figuras 26 y gráfica 1 se muestran los datos de temperatura promedio en un día de enero y su gráfica.

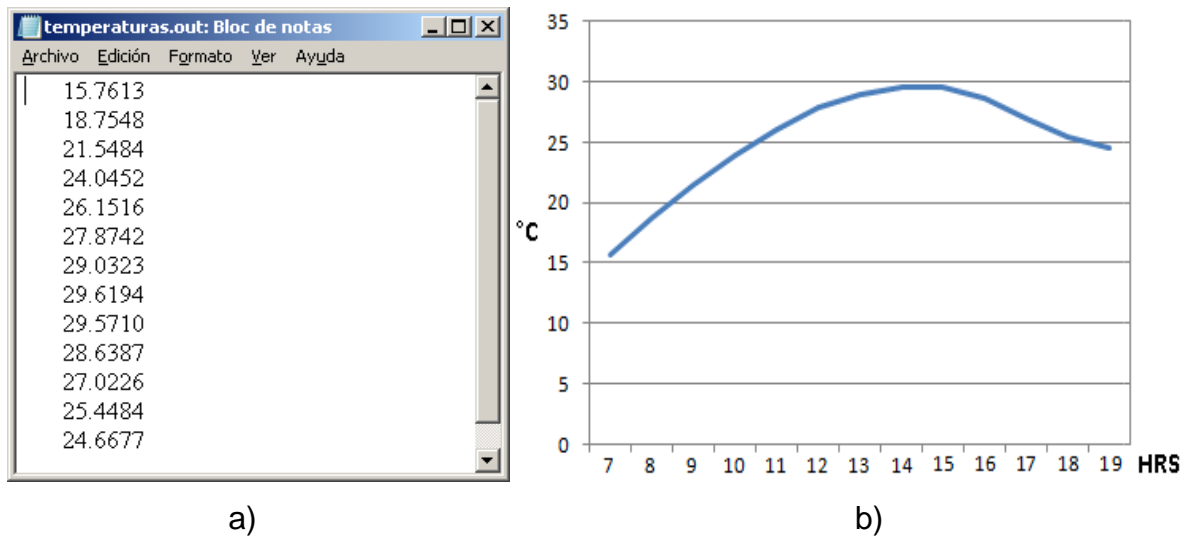
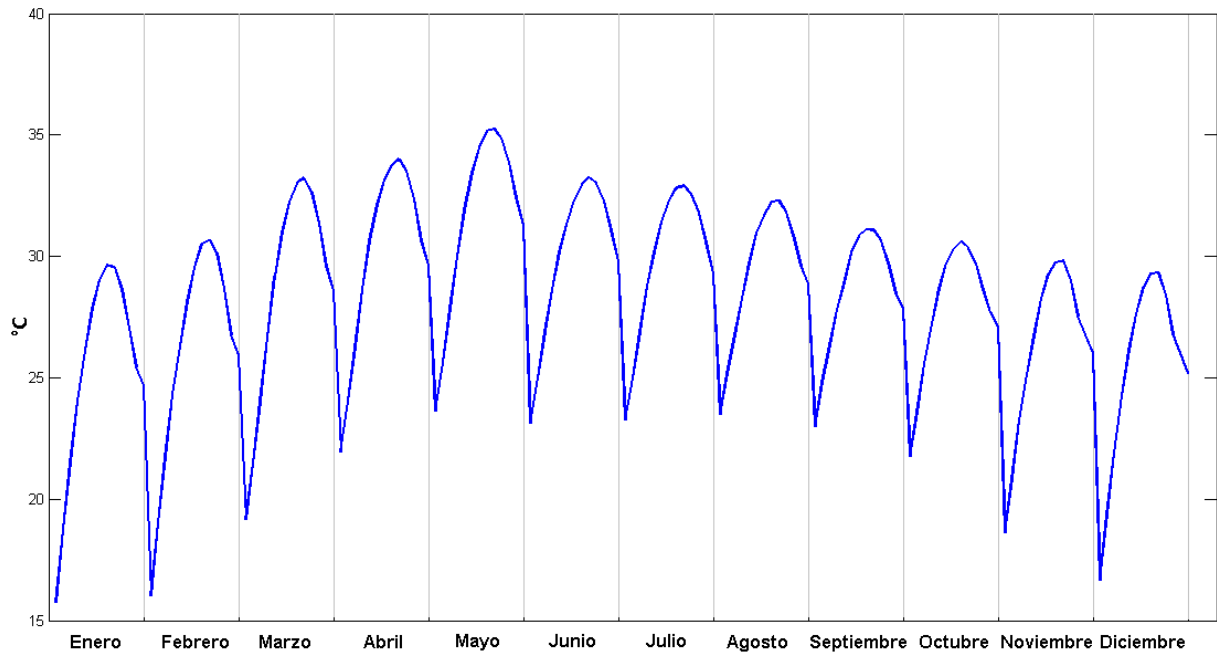


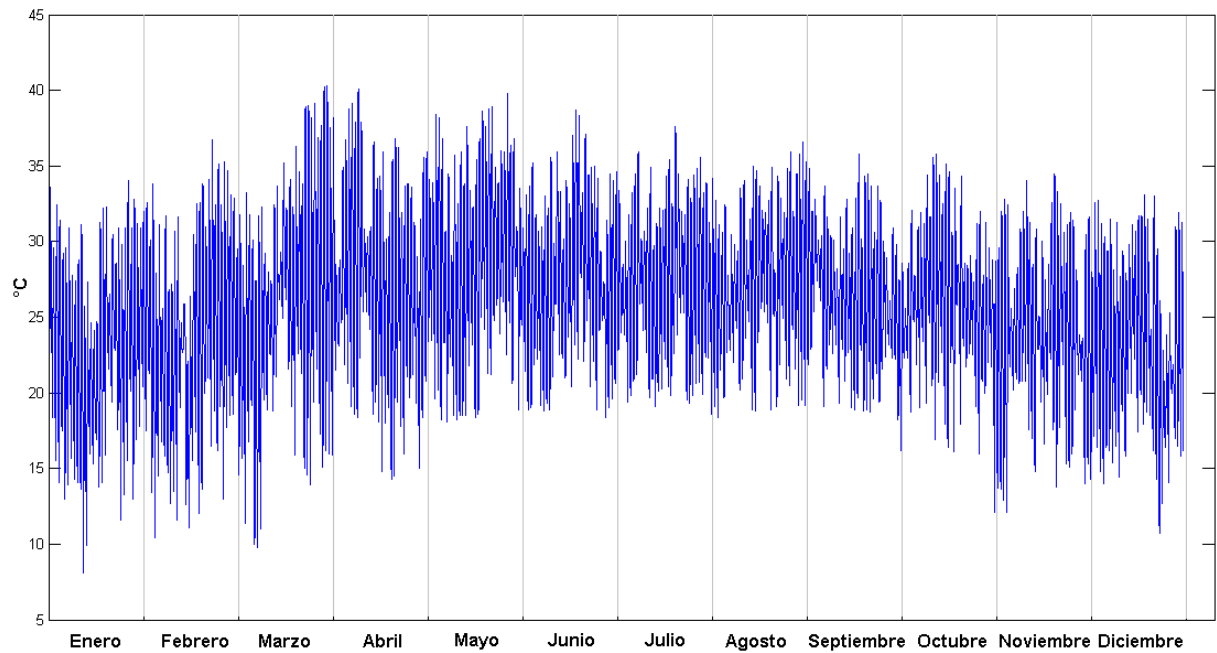
Figura 28.- Día promedio de Enero: a) datos b) gráfica.

En la gráfica 4 se muestran las temperaturas de los días promedio de cada mes del año.



Gráfica 4.-Temperatura ambiente promedio para un día de cada mes.

En la gráfica 5 se muestran las temperaturas para cada día del año.



Gráfica 5.-Temperatura ambiente promedio para un día de cada año.

Para el cálculo del ángulo de incidencia se tomaron las mediciones de la dirección del viento y se introdujeron en un programa en Fortran (Anexo 2).

3.3.- Cálculo de la velocidad del viento

Con los datos ingresados en Matlab se calculan el coeficiente de presión del viento, su densidad y la presión estática mediante las ecuaciones 3, 5 y 6. Con base en estos valores se obtiene la diferencia de presiones, entre las dos zonas, que se necesita para hallar el valor del flujo másico y posteriormente de la velocidad del viento. Para el análisis de la chimenea solar es necesario, en primer lugar, conocer la temperatura del aire en el interior de la chimenea para poder calcular la nueva densidad del aire, este valor se estima con base en la ecuación 14 y requiere los datos de irradiación, densidad, calor específico, densidad y la constante de enfriamiento. Para procesar los datos en Matlab se abre el programa y se da click en el botón “Import Data” (Figura 29).

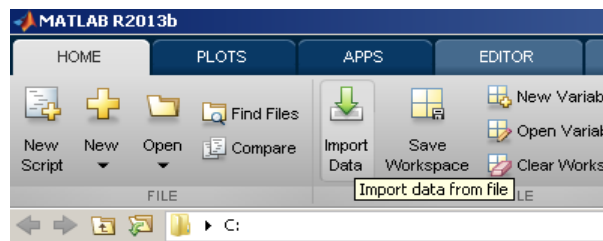


Figura 29.- Importación de datos.

Se elige el archivo y aparece una ventana para confirmar la importación de datos. (Figura 30).

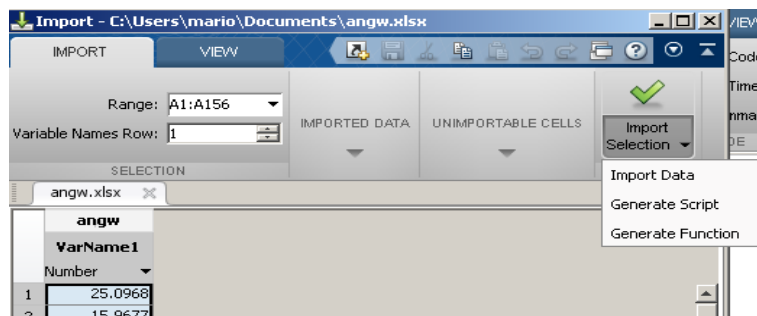


Figura 30.- Confirmación de la Importación de datos.

Se declaran las variables que se utilizarán y se ingresan las ecuaciones. (Figura 31)

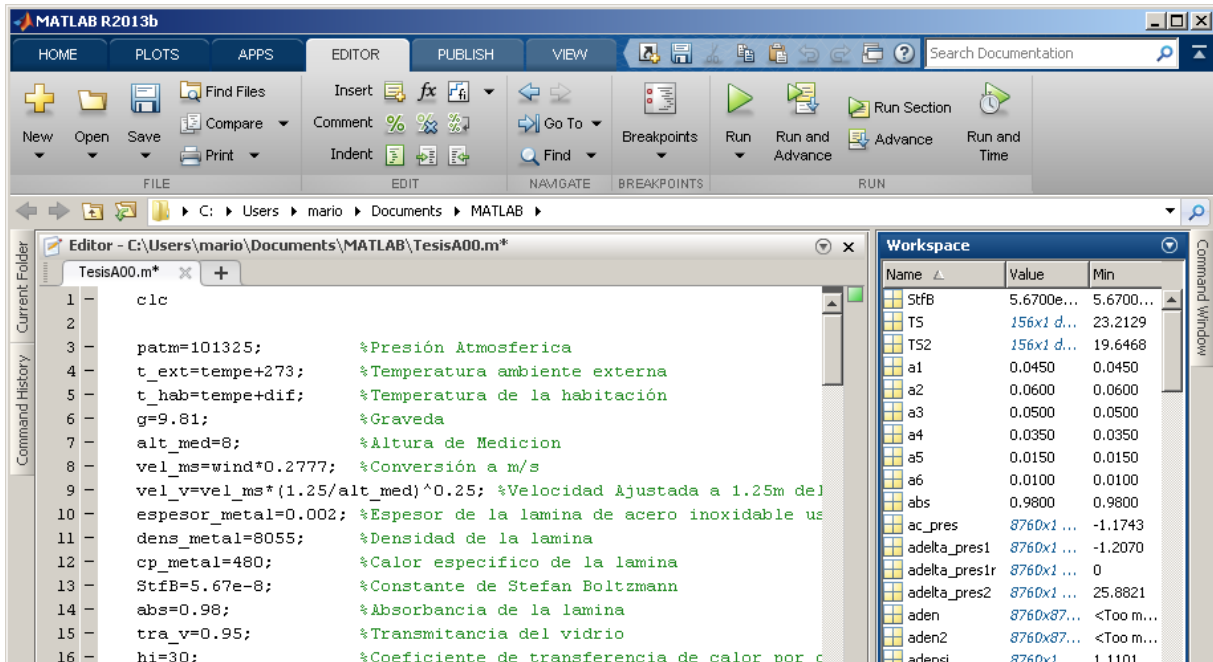


Figura 31.- Declaración de variables y ecuaciones.

3.4.- Pendiente de la curva de calentamiento

Es necesario conocer la temperatura de la placa absorbadora de la chimenea solar expuesta al sol para poder calcular la temperatura del aire en el interior de la chimenea. Para ello se utiliza la ecuación 7 que requiere conocer el valor de k que es una constante de transferencia de calor cuyo valor puede obtenerse a través de la ecuación 11. Esta ecuación emplea la pendiente de la curva de calentamiento de una placa negra expuesta al sol durante un tiempo determinado y dado que se desconocen los valores de temperatura y la gráfica de calentamiento de la placa absorbadora se optó por tomar la gráfica de comportamiento de la temperatura del techo negro de un automóvil expuesto a lámparas de luz UV que simulan la luz solar proporcionadas por la entidad Real Automóvil Club de Catalunya (RACC, 2015) en cuyo informe se menciona que los principales incrementos de temperatura se experimentan dentro de los primeros 20 minutos (Figura 32). Para hallar la pendiente

se dividió la gráfica en secciones de 100 segundos hasta llegar a los 20 minutos y se calculó la pendiente entre estas secciones para después obtener un promedio.

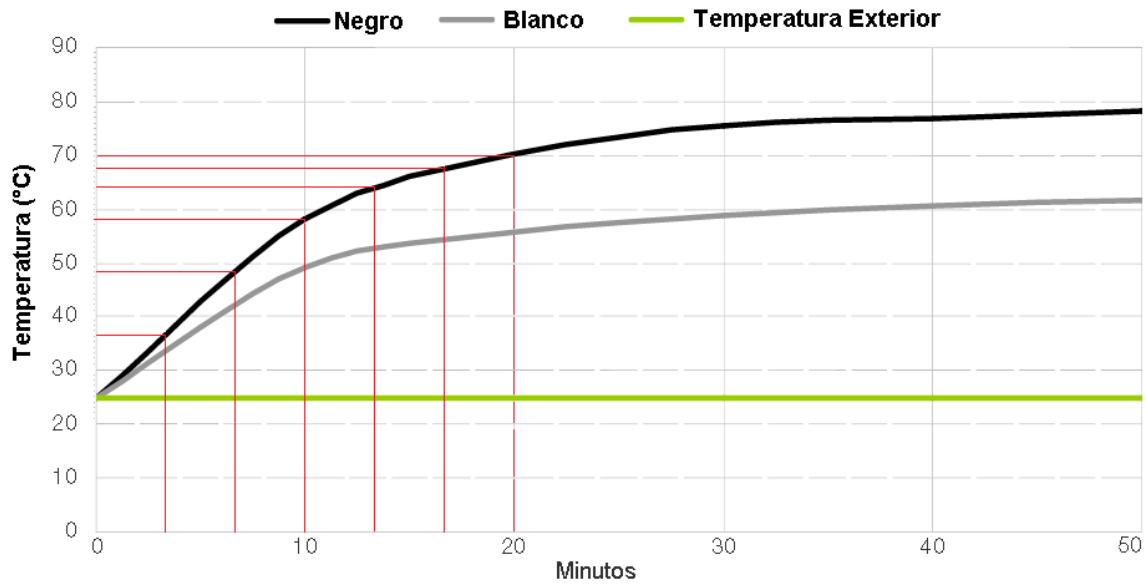


Figura 32.- Discretización de la curva de calentamiento del techo negro de un automóvil (RACC, 2015).

En este capítulo se expuso la metodología para el manejo de las bases de datos con la terminación .epw que se utilizarán en el modelo matemático así como su ingreso en el programa de procesamiento de datos MatLab además de la obtención de la curva de calentamiento para calcular la temperatura de la placa absorbadora de la chimenea.

Capítulo 4.- Resultados

En esta sección se presenta un análisis realizado en Matlab para una habitación de 3.5m de largo y ancho por 2.5 de alto del piso terminado al plafón en la que se consideró una velocidad del viento promedio de 2.04 km/h, humedad relativa de 68%, una presión atmosférica de 1013.25 hPa y una temperatura de 28°C. Para el caso de ventilación cruzada se tomaron en cuenta aberturas de 0.9 m por 1.2 m y para el caso de la chimenea se consideró una abertura de 0.2 m por 0.5 m en el techo y una altura de 1.5 m. Análisis preliminares demostraron que aberturas más grandes reducían la velocidad del viento en el canal de la chimenea y aberturas más pequeñas la incrementaban (Figura 7) , sin embargo, por cuestiones prácticas se optó por utilizar las medidas antes mencionadas debido a que equivalen a las medidas aproximadas de una bovedilla entera. Figura 33.

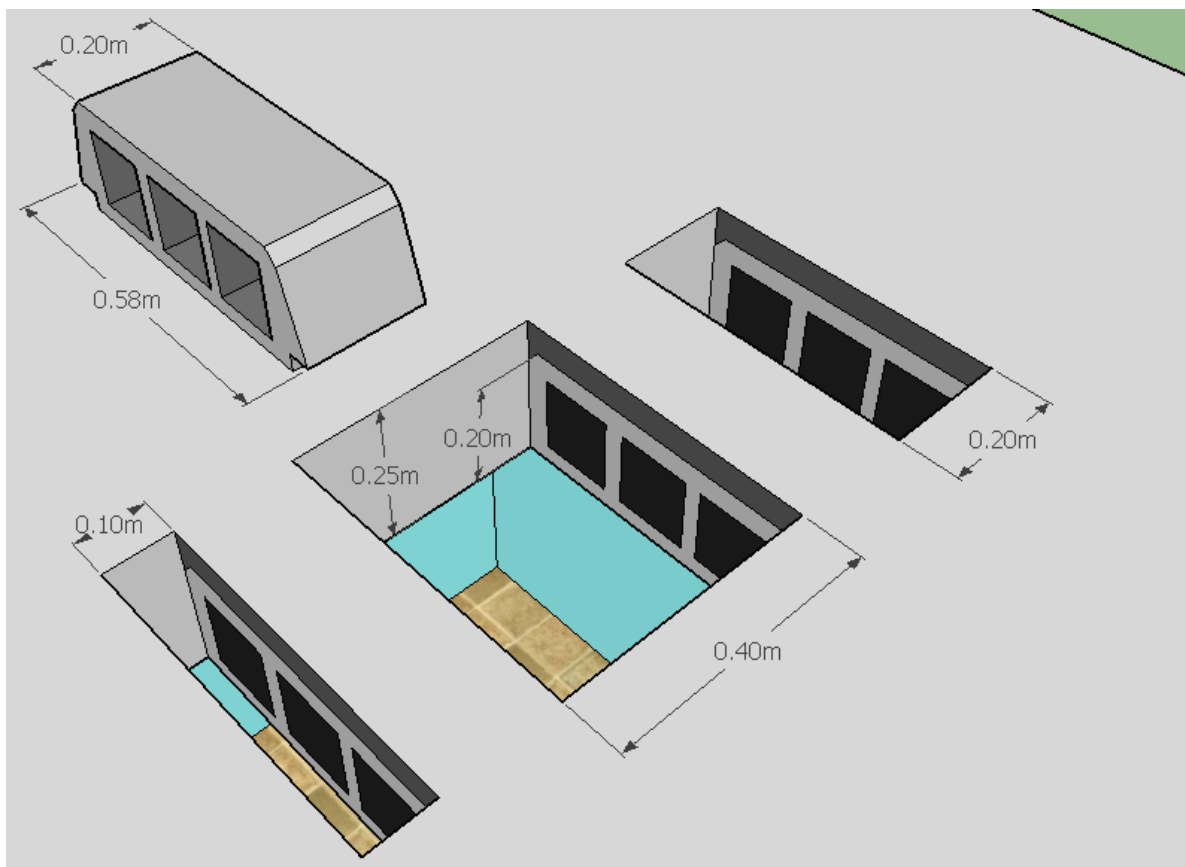
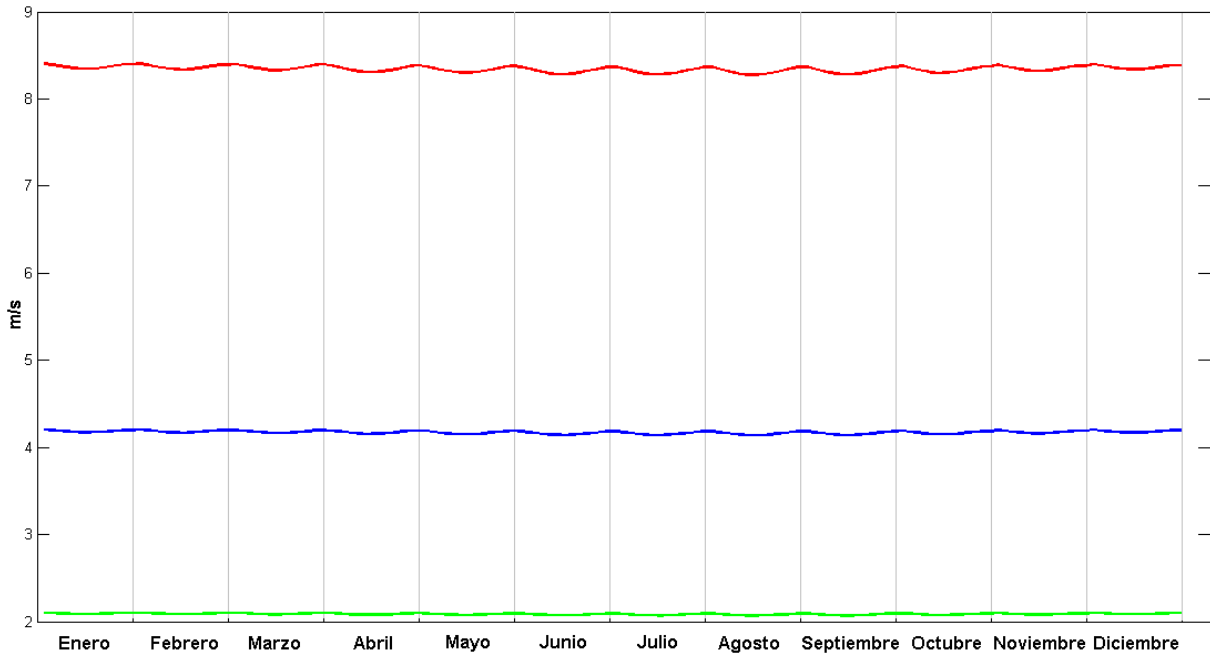


Figura 33.- Comparación de las dimensiones de las posibles aberturas.



Gráfica 6.- Velocidades de viento en la chimenea con aberturas a distintas anchuras: 0.1m (rojo), 0.2m (azul) y 0.4m (verde).

Como se mencionó anteriormente se utilizaron dimensiones de 0.5m por 0.2 por cuestiones prácticas y porque si bien se podrían llegar a conseguir teóricamente velocidades de alrededor de 8.4 m/s en el canal de la chimenea con una abertura de 0.5m por 0.1m, también se producirían zonas de turbulencia en la zona de entrada de la chimenea, ya que esta no tiene el diseño adecuado en forma de embudo invertido que poseen las chimeneas solares gigantes que se utilizan para la producción de energía eléctrica con lo cual se reduciría la velocidad final del viento en el canal de la chimenea. Adicionalmente existe la posibilidad de que el aire se caliente demasiado rápido en el canal de la chimenea ocasionando que dicho aire cálido se dirija al interior de la habitación elevando la temperatura de la misma consiguiéndose el efecto contrario al deseado.

4.1.- Análisis de una habitación con dos ventanas

Utilizando el análisis por zonas se establece la zona 1 como el interior de la habitación y la zona 2 como la del exterior. En la Figura 34 se muestran las

dimensiones de la habitación y en la figura 35 la trayectoria que seguiría el viento en el interior de la misma.

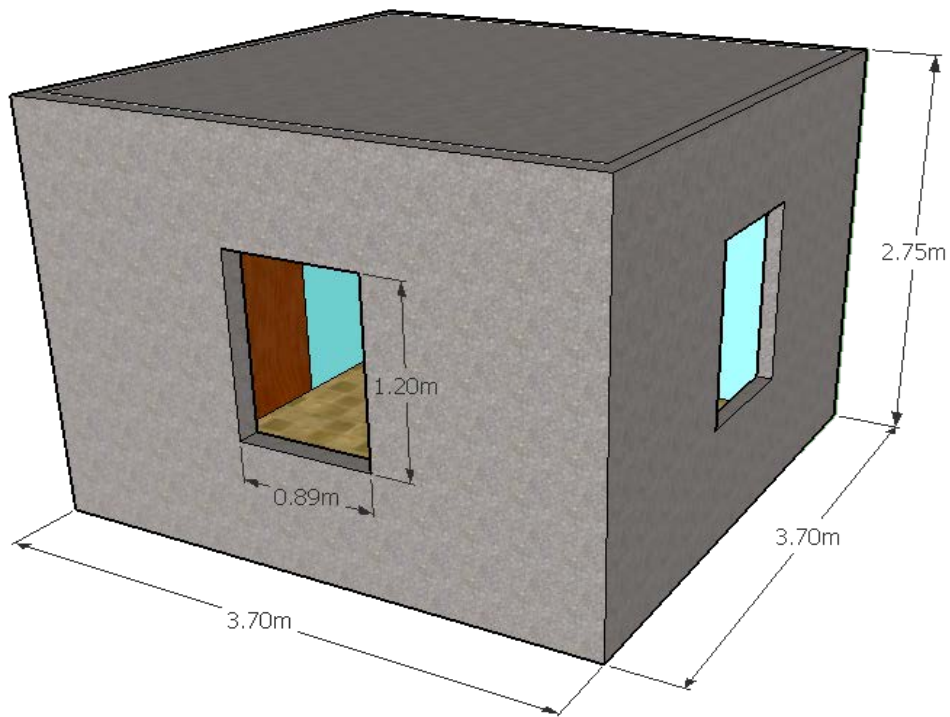


Figura 34.- Dimensiones de la habitación analizada.

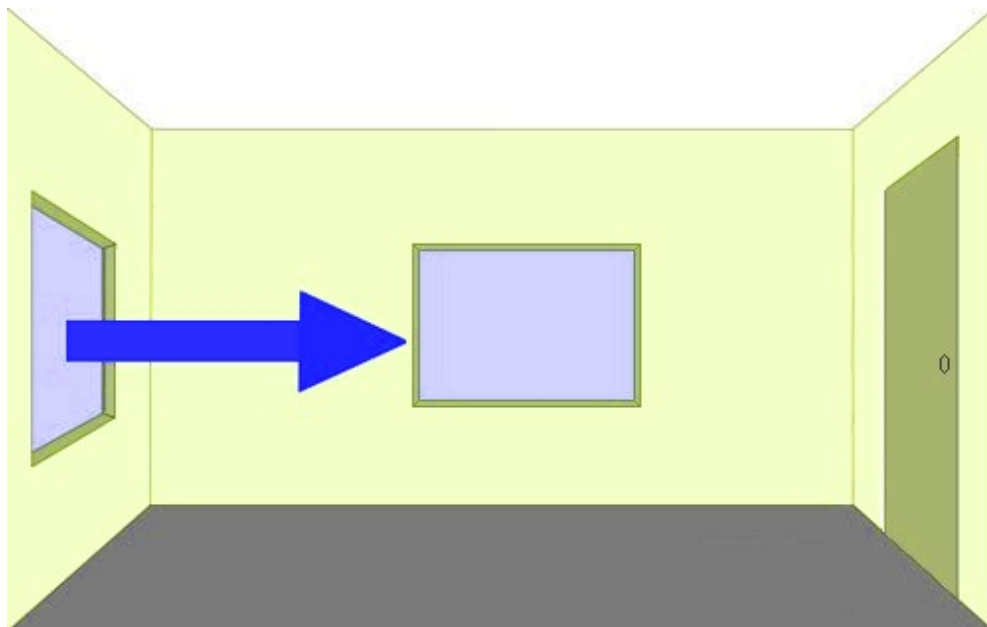
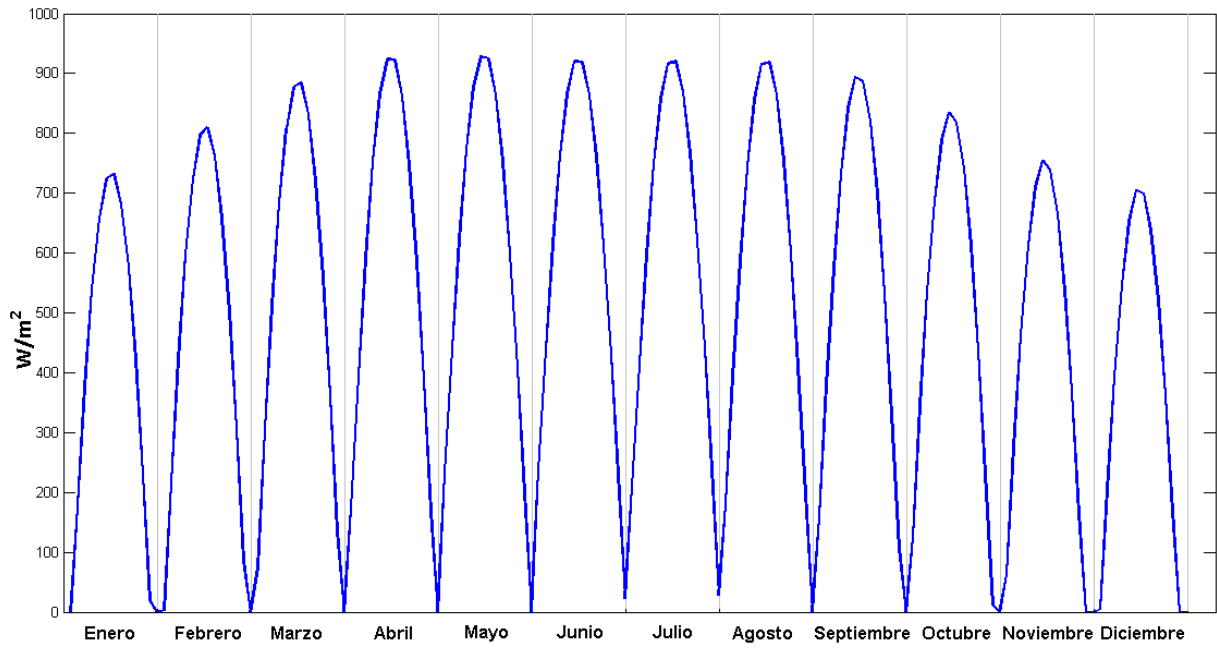


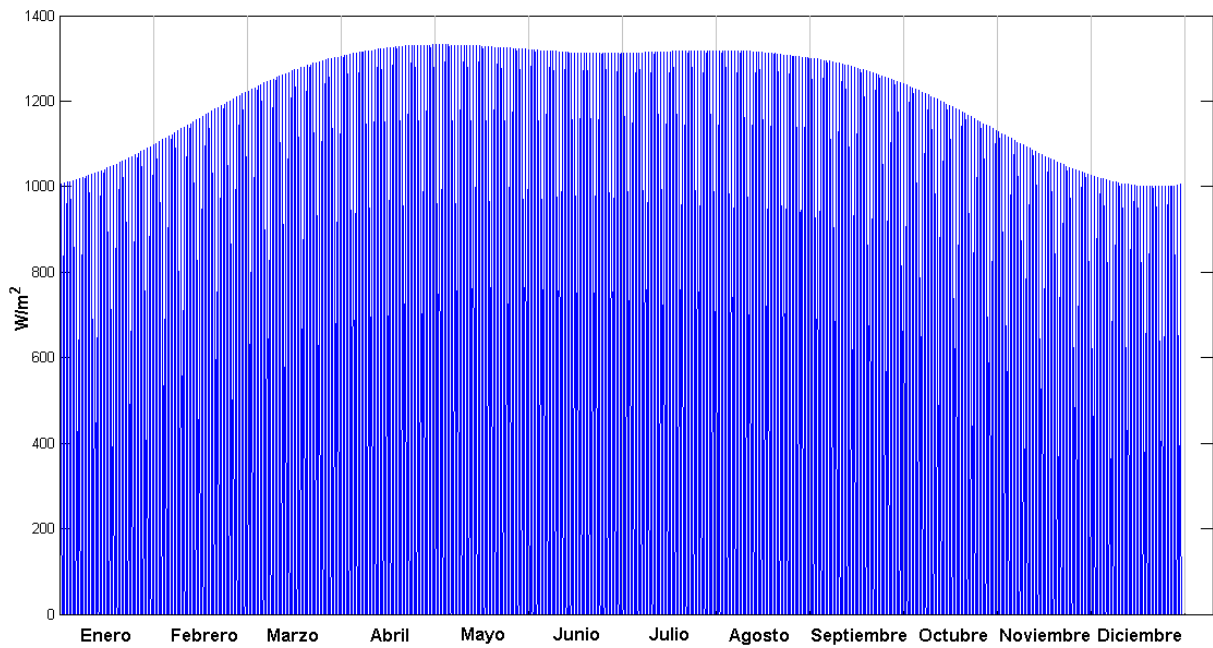
Figura. 35.-Trayectoria del viento en el interior de la habitación.

La gráfica 5 muestra la irradiación solar de un día promedio para cada mes.



Gráfica 7.-Radiación solar para el día promedio de cada mes.

La gráfica 7 muestra la irradiación solar para todo el año.



Gráfica 8.-Radiación Solar para cada día del año.

Con base en los valores de temperatura, humedad relativa y presión atmosférica se inicia el cálculo de variables como la densidad del aire y la presión estática para hallar la diferencia de presiones entre las dos zonas mediante la ecuación 3.

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{(0.34848)P_{ATM} - (0.009h_r)\exp(0.061t)}{273.15 + t} \\ &= \frac{0.34848(101325 \text{ Pa}) - (0.009)(68\%)\exp(0.061 * 28.21^\circ\text{C})}{273.15 + 28.21^\circ\text{C}} \\ &= 1.1338 \text{ Kg/m}^3 \end{aligned}$$

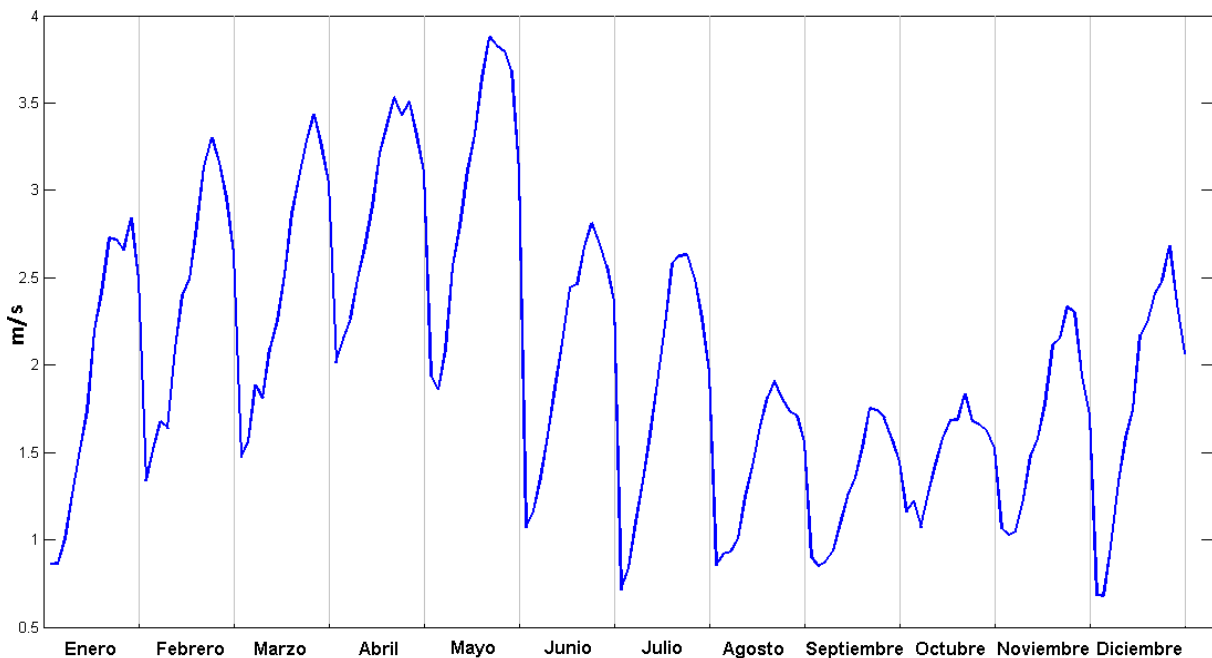
La Presión Estática P_{ST} es la suma de la Presión Total P_T y la Presión Dinámica P_D

$$P_{ST} = P_T + P_D = P_T + \rho gh \quad (\text{Ec. 19})$$

$$= 101325 \text{ Pa} + (1.1338\text{Kg/m}^3)(9.81\text{m/s}^2)(1.5\text{m}) = 1013.40 \text{ hPa}$$

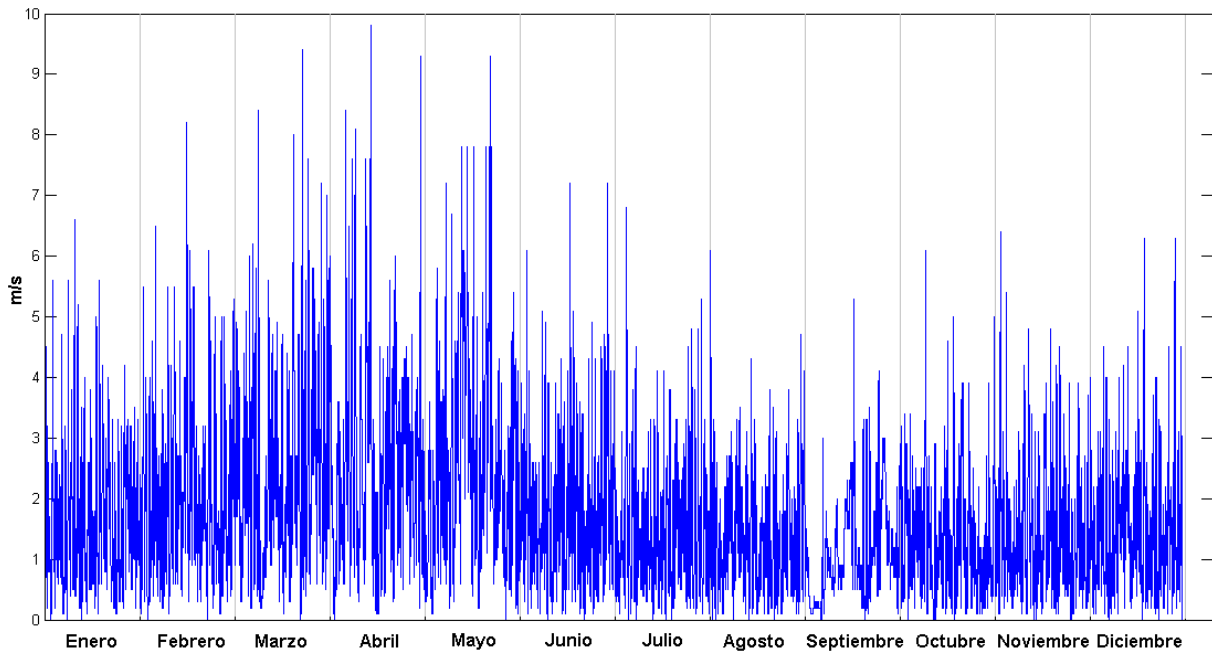
4.1.1.- Velocidad del Viento.

En la gráfica 6 se observan las velocidades del viento externas promedio para un día típico de cada mes del año.



Gráfica 9.-Velocidad del viento para el día promedio de cada mes.

En la gráfica 6 se observan las velocidades del viento externas para todo el año.



Gráfica 10.-Velocidad del viento para cada día del año.

La velocidad del viento esta expresada en km/h y ha sido tomada a 8 m sobre el nivel del mar, sin embargo, la velocidad cercana al suelo se ve afectada por elementos como edificaciones, y fauna, debido a lo cual es necesario hacer una corrección. Utilizando el perfil de velocidades del viento (Yarke, 2005) tenemos.

$$v_z = v_{z0} \left[\frac{z}{z_0} \right]^\alpha \quad (\text{Ec. 20})$$

Donde v_z es la velocidad del viento a una altura z en m/s, v_{z0} es la velocidad del viento a una altura de referencia z_0 en m/s y α es el exponente que depende del terreno (0.25 para zonas urbanas)

$$v_z = (2.04 \text{ Km/h})(0.277) \left[\frac{1\text{m}}{8\text{m}} \right]^{0.25} = 0.356\text{m/s}$$

4.1.2.- Diferencia de Presiones.

Se obtiene la diferencia de presiones mediante la ecuación 6.

$$\begin{aligned}\Delta P_{ij} &= [P_i - \rho g(h_o - h_i)] - [P_j - \rho g(h_o - h_i)] + C_p \frac{\rho v^2}{2} \\ \Delta P_{ij} &= [10135 \text{ Pa} - (1.1338 \text{ Kg/m}^3)(9.81 \text{ m/s}^2)(1.25 \text{ m} - 0 \text{ m})] \\ &\quad - [10135 \text{ Pa} - (1.1338 \text{ Kg/m}^3)(9.81 \text{ m/s}^2)(1.25 \text{ m} - 0 \text{ m})] \\ &\quad + 0.5 \left(\frac{(1.1338 \text{ Kg/m}^3)(0.356 \text{ m/s})}{2} \right)^{0.5} \\ \Delta P_{ij} &= 0.0793 \text{ Pa}\end{aligned}$$

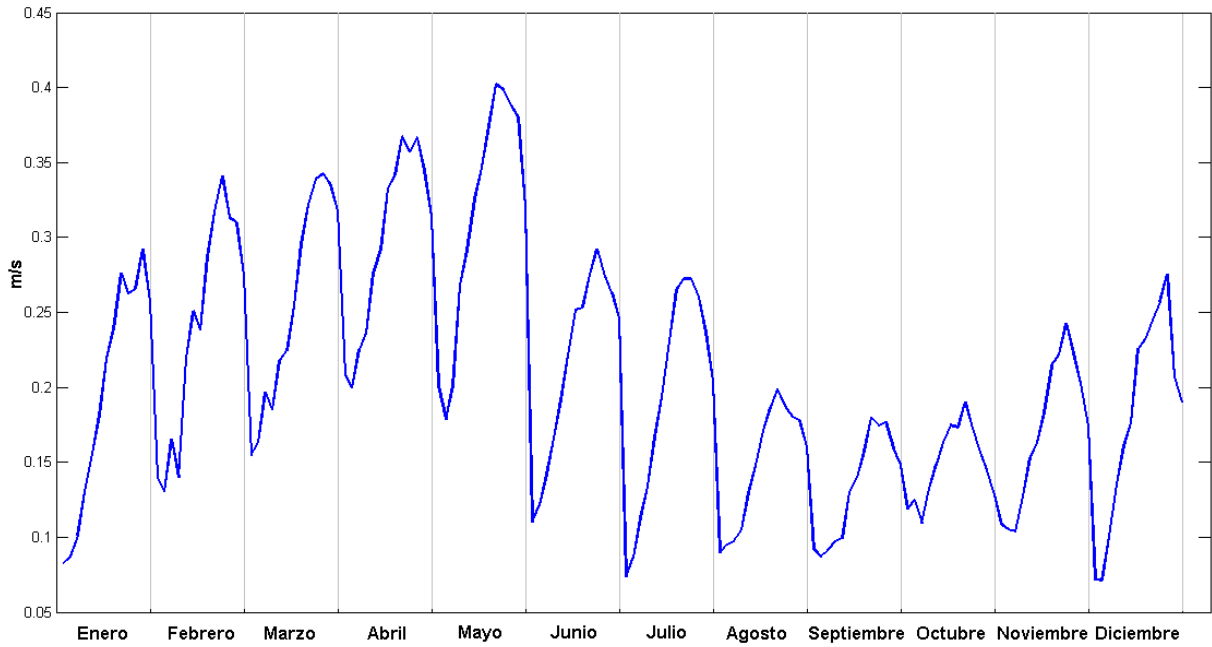
4.1.3.- Flujo Másico y Velocidad del viento.

Se sustituye en la ecuación 5.

$$\begin{aligned}\dot{m} &= \rho C_d A \left(\frac{2 \Delta P_{ij}}{\rho} \right)^n \\ &= (1.1338 \text{ Kg/m}^3)(0.6)(1.08 \text{ m}^2) \left(\frac{(2)(0.0793 \text{ Pa})}{1.1338 \text{ Kg/m}^3} \right)^{0.5} = 0.2557 \text{ Kg/s}\end{aligned}$$

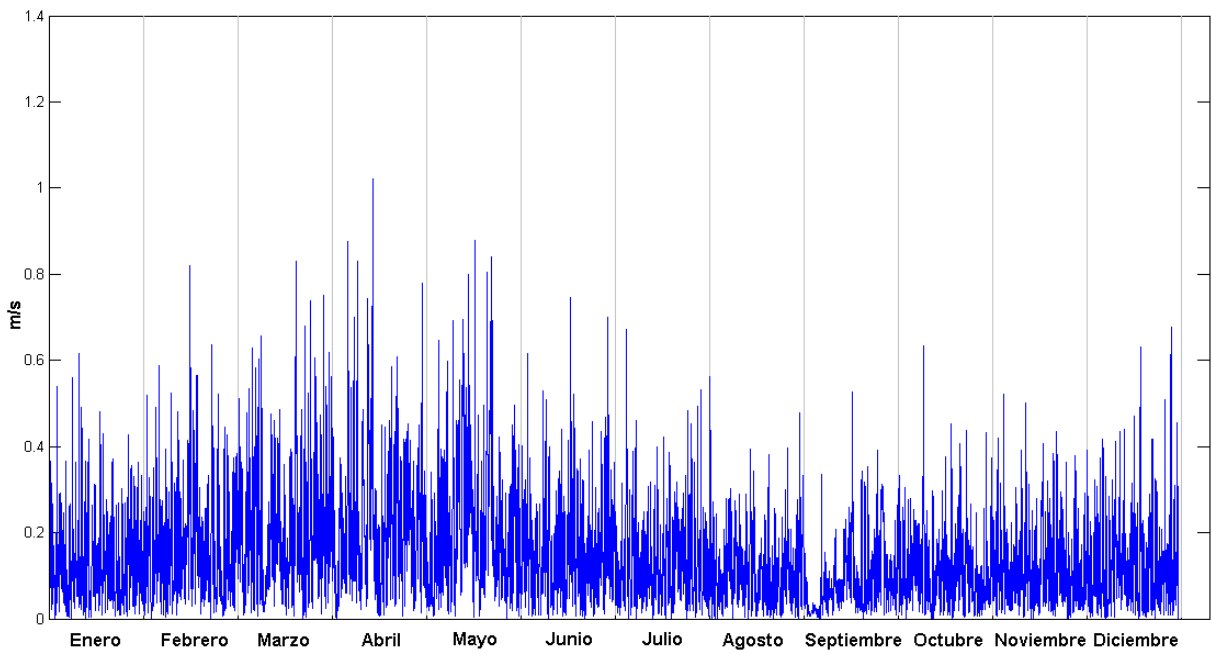
Despejando la ecuación 4 se obtiene la velocidad dividiendo el flujo másico entre la densidad y el área de la ventana de 1.08 m² (Gráfica 7).

$$v = \frac{\dot{m}}{\rho A} = \frac{0.2557 \text{ kg/s}}{(1.1338 \text{ Kg/m}^3)(1.2 \text{ m}^2)} = 0.2081 \text{ m/s}$$



Gráfica 11.-Velocidades calculadas en el interior de la habitación.

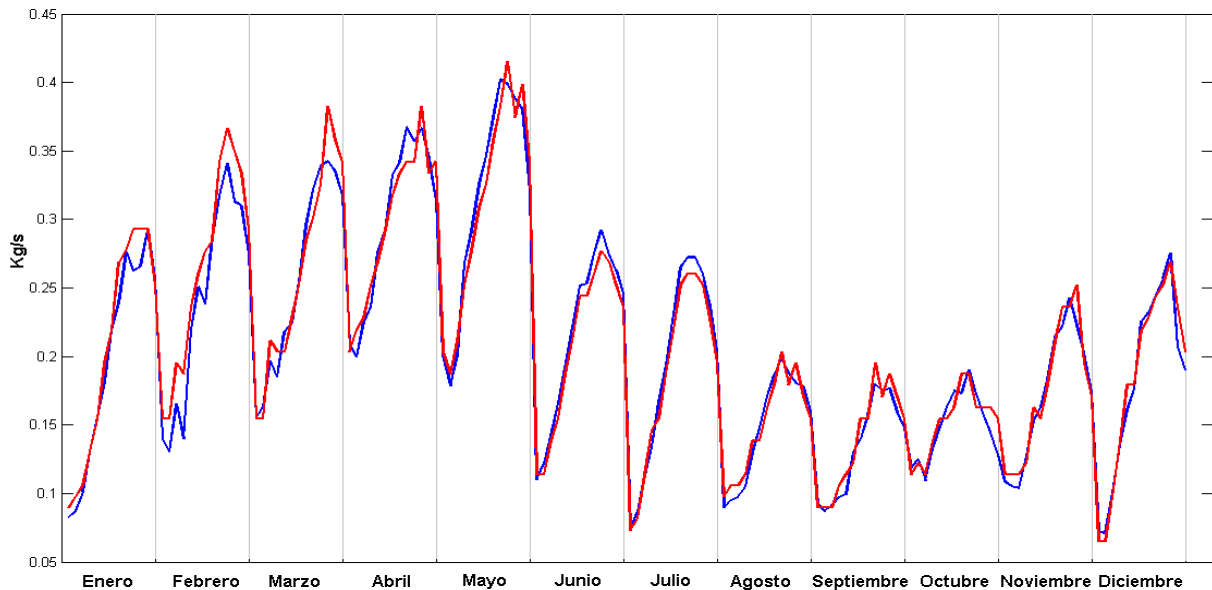
En la gráfica 6 se observan las velocidades en el interior de la habitación para todo el año.



Gráfica 12.-Velocidades calculadas en el interior de la habitación para cada día del año.

4.2.- Comparación de resultados con el software Cool-Vent

Se realizaron simulaciones en el software Cool-Vent para analizar las velocidades del viento en el interior de la vivienda con ventilación cruzada obteniéndose gráficas similares a las generadas por las ecuaciones del software (Gráfica 8).



Gráfica 3.-Velocidad calculada (azul) y velocidad del Cool-Vent (rojo)

4.3.- Análisis habitación con una ventana y chimenea solar

Se establece la zona 1 como el interior de la chimenea y la zona 2 como el interior de la habitación. La figura 32 muestra la dirección del viento en la habitación.

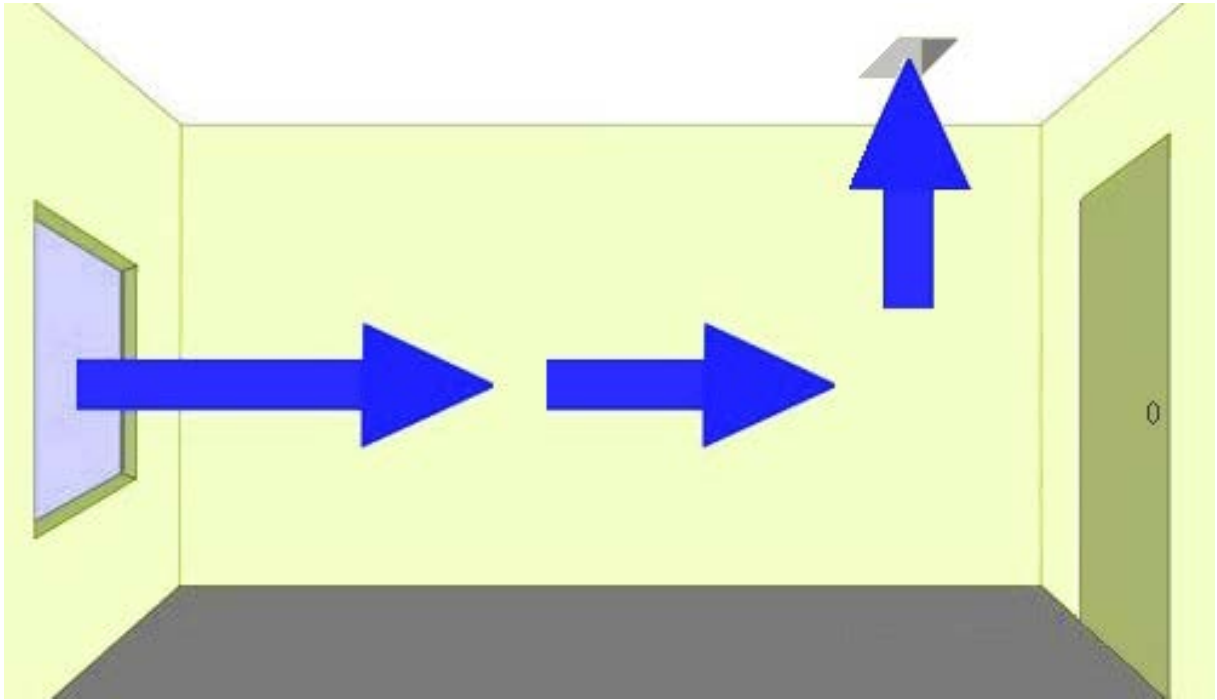
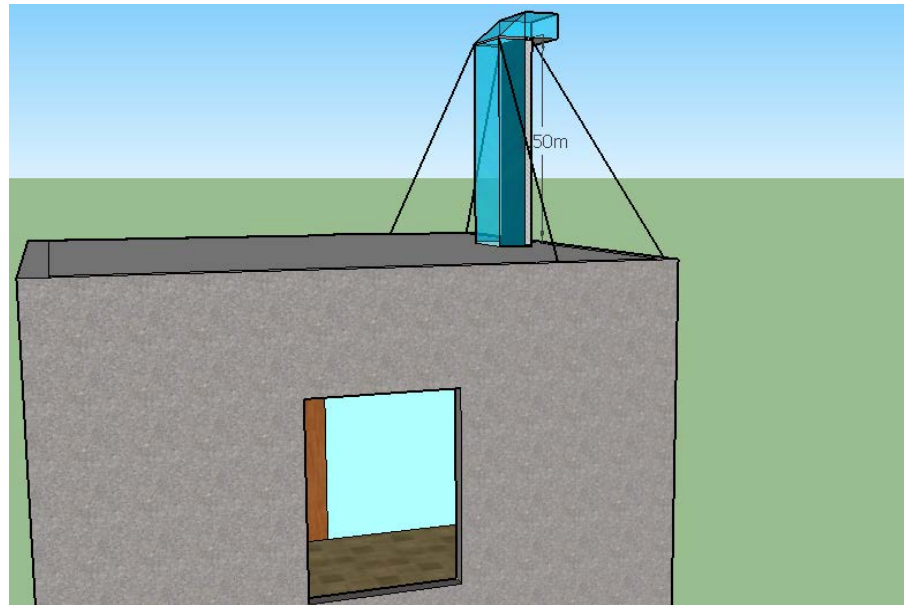
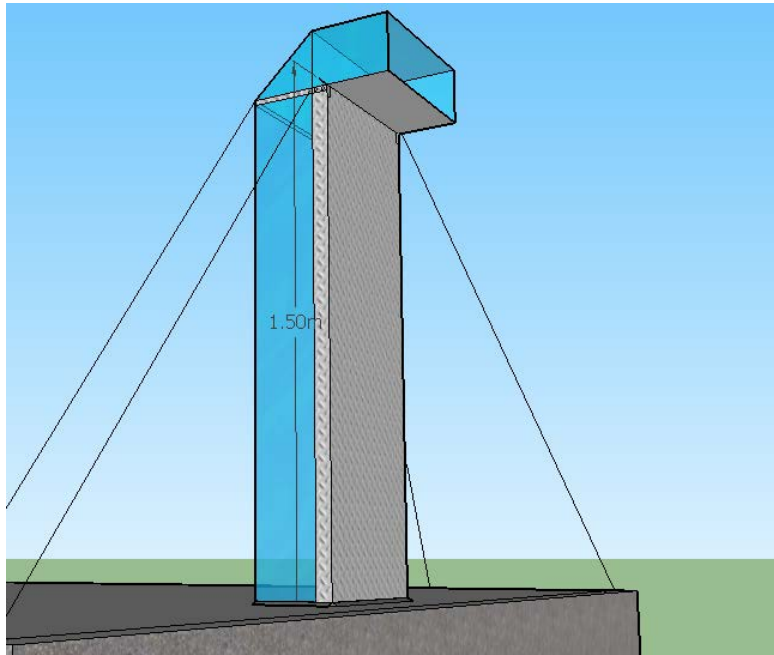


Fig. 36.-Dirección del viento en la habitación (de la ventana hacia la chimenea).



a)



b)

Figuras 37a y 37b.- Representación de la chimenea Solar instalada.

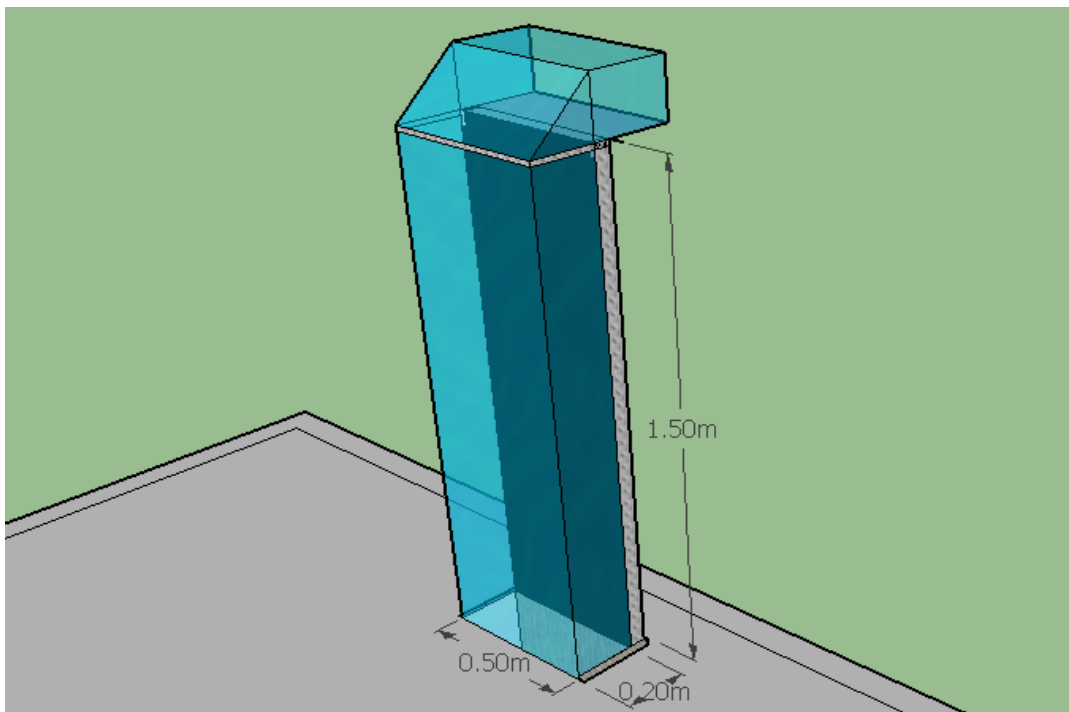


Figura. 38.-Dimensiones de la chimenea.

4.3.1.- Cálculo de la temperatura de la placa y de aire en la chimenea

Para conocer la densidad del aire se calculan primero las pendientes de la curva de calentamiento y se sustituyen en la ecuación 11 con una duración de 1200 segundos

$$a1= (35-26)/200; a2= (48-36)/200;$$

$$a3= (58-48)/200; a4= (65-58)/200;$$

$$a5= (68-65)/200; a6= (70-68)/200;$$

$$\text{Pendiente}=0.0358$$

$$k = \frac{\ln(\text{Pendiente})}{t} = \frac{\ln 0.0358}{1200s} = 0.0033$$

Se sustituye en la ecuación 7

$$T_{\text{placa}} = Ta + \frac{\tau \alpha}{\rho C p e} \frac{I_s}{k} = 28.6^{\circ}C + \frac{(0.95)(0.98)(722.8W/m^2)}{8055kg/m^3 * 480J/KgK * 0.003m * 0.0033} = 54.3^{\circ}C$$

Threlkeld (1973) proporciona valores para los coeficientes de transferencia, conductancias y conductividades para diversos materiales de los cuales se consideran los coeficientes de transferencia calorífica en superficies h_{iu} y h_{ou} de 15.354 W/m²K y 27.433 W/m²K, conductividades térmicas C de 6.653 W/m²K para el aire y 2.274 W/m²K para la conductancia térmica k de un vidrio de 3mm de grosor.

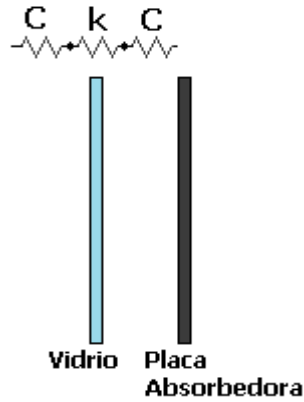


Figura. 39.-Resistencias térmicas consideradas para el cálculo de U_t .

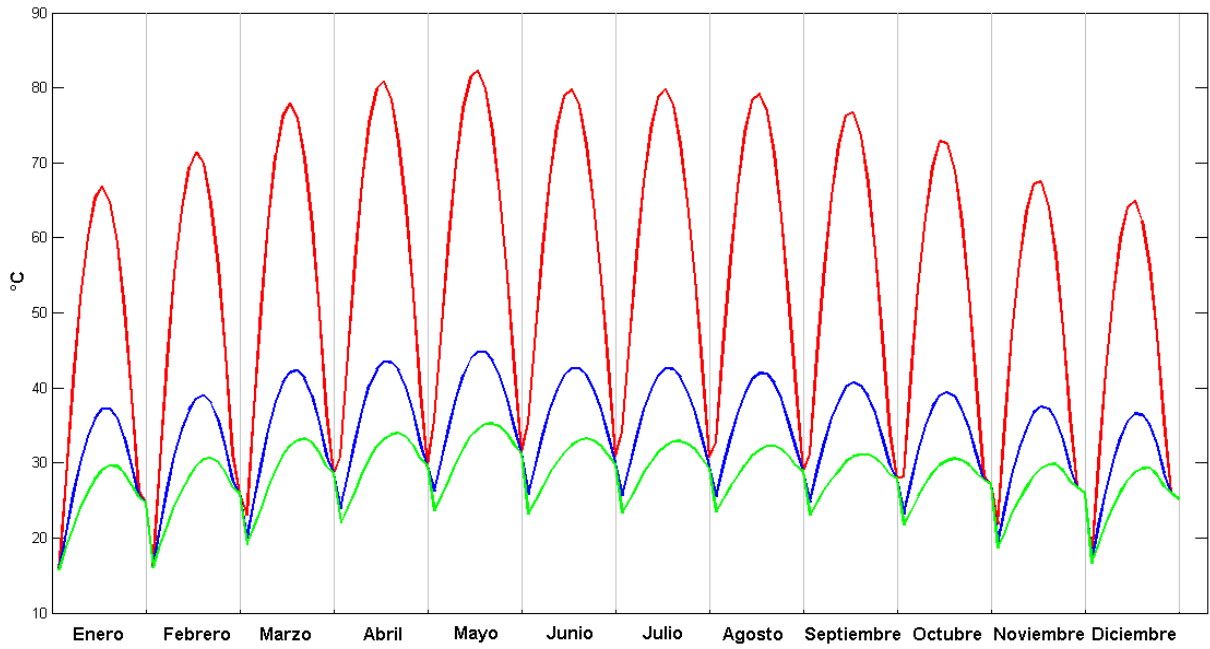
Sustituyendo valores en la ecuación 15 tenemos.

$$\begin{aligned}
 R_t &= \frac{1}{h_{ui}} + \frac{1}{C} + \frac{1}{kw} + \frac{1}{C} + \frac{1}{h_{ou}} \\
 &= \frac{1}{15.354 \frac{W}{m^2K}} + \frac{1}{6.653 \frac{W}{m^2K}} + \frac{0.1}{2.274 \frac{W}{m^2K}} + \frac{1}{6.653 \frac{W}{m^2K}} \\
 &\quad + \frac{1}{28.433 \frac{W}{m^2K}} \\
 &= 0.4448 \frac{m^2K}{W}
 \end{aligned}$$

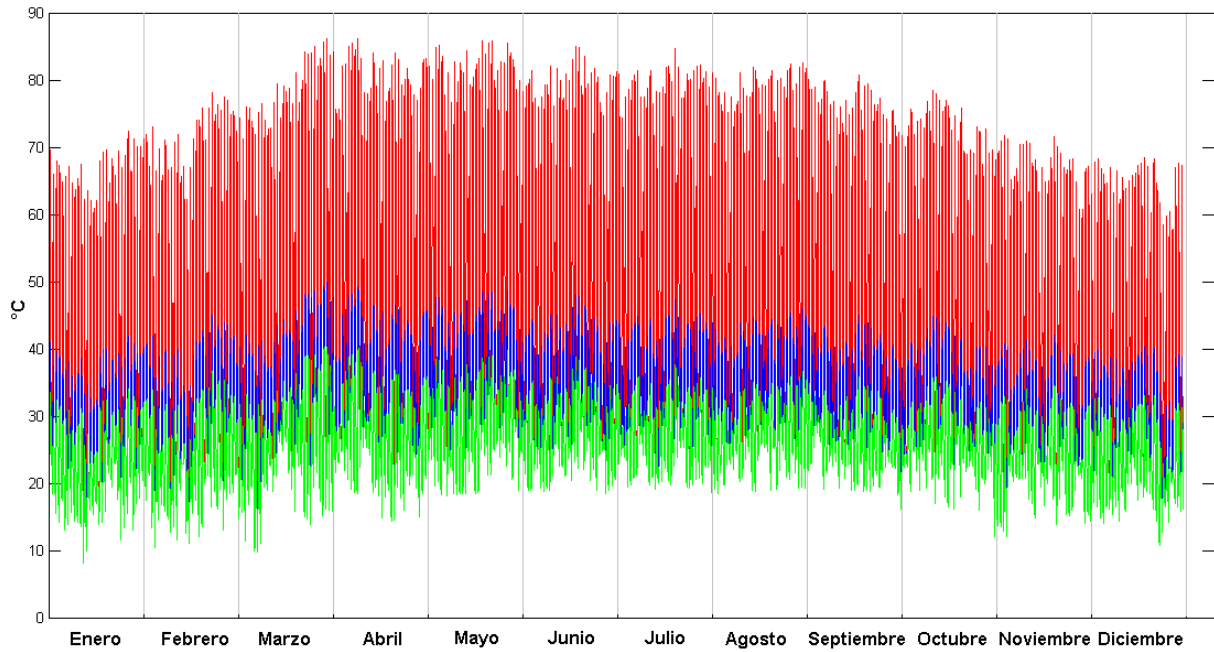
$$U_t = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{0.4448 \frac{m^2K}{W}} = 2.2479 \frac{W}{m^2K}$$

De la ecuación 14 tenemos:

$$\begin{aligned}
 T_{Aire} &= T_P - \frac{\tau \alpha I - U_t(T_P - T_{Amb})}{h_i} \\
 &= 46.9^\circ C - \frac{(0.95 * 0.98 * 722.8 W/m^2) - 2.24 W/m^2K(54.3^\circ C - 28.21^\circ C)}{30} \\
 &= 34.84^\circ C
 \end{aligned}$$



Gráfica 14.- Temperaturas: Placa de chimenea (Rojo), Aire en la chimenea (azul) y Ambiente (Verde).



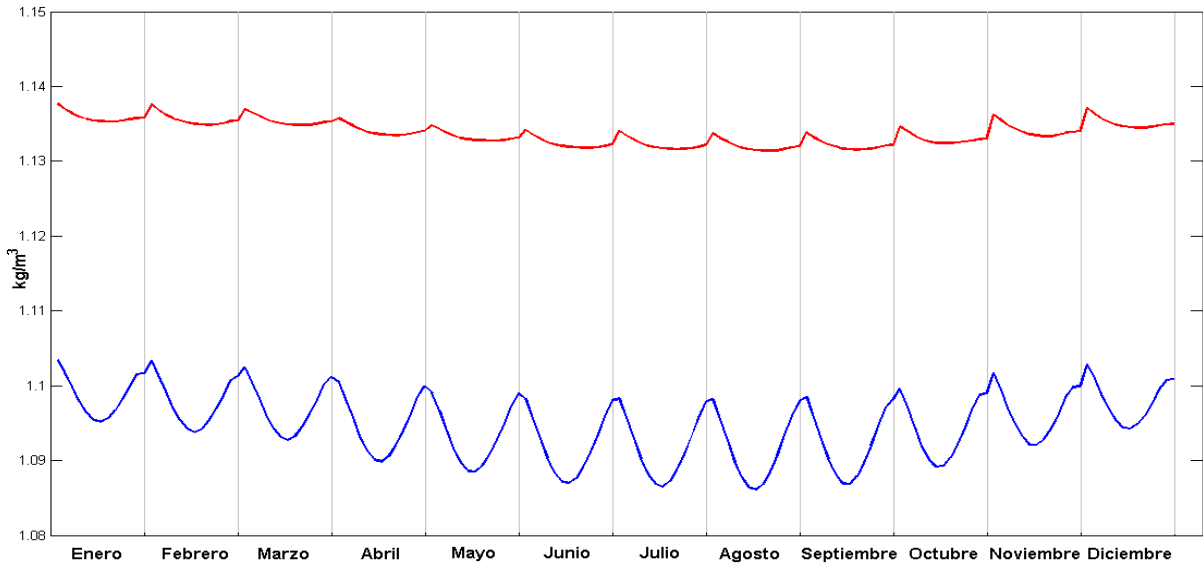
Gráfica 15.- Temperaturas: Placa de chimenea (Rojo), Aire en la chimenea (azul) y Ambiente (Verde) para todo el año.

4.3.2.-Cálculo de la densidad

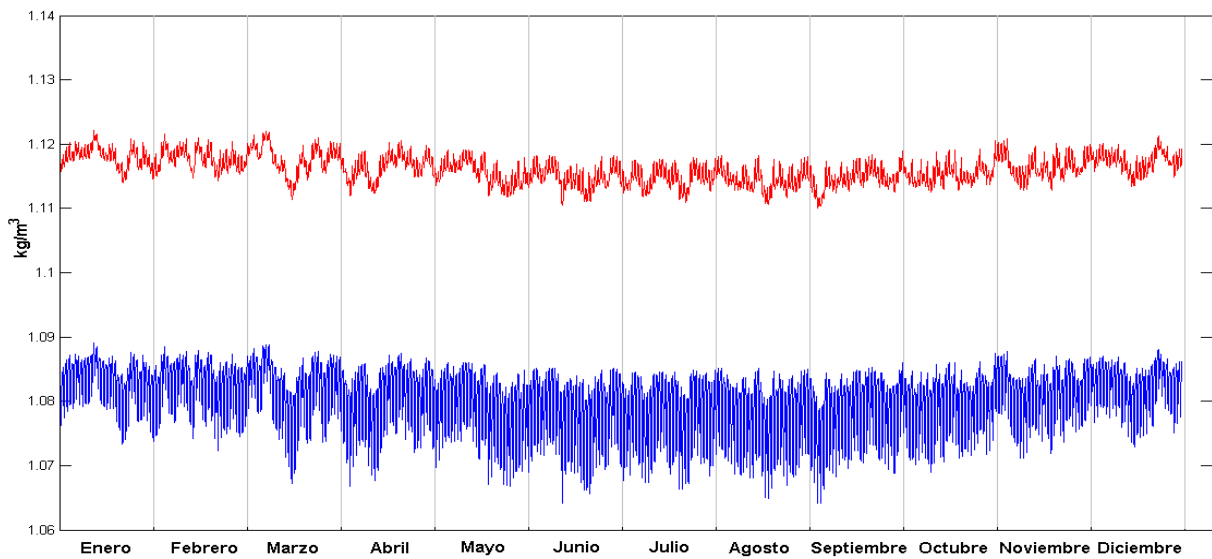
$$\rho = \frac{(0.34848)P_{ATM} - (0.009h_r)\exp(0.061t)}{273.15 + t}$$

$$= \frac{0.34848(101325 \text{ Pa}) - (0.009)(68.48\%)\exp(0.061 * 33.86^\circ\text{C})}{273.15 + 33.86^\circ\text{C}}$$

$$= 1.0948 \text{ Kg/m}^3$$



Gráfica 16.-Densidad del aire exterior (azul) y en la chimenea solar (rojo)



Gráfica 17.-Densidad del aire exterior (azul) y en la chimenea solar (rojo) para todo el año

4.3.2.- Diferencia de Presiones

La Presión Estática se calcula ahora a 2.5m y se observa una variación de 10 Pa.

$$\begin{aligned} P_{ST} &= P_T + P_D = P_T + \rho gh \\ &= 101325 \text{ Pa} + (1.0677\text{Kg/m}^3)(9.81\text{m/s}^2)(2.5\text{m}) = 1013.50 \text{ hPa} \end{aligned}$$

Diferencia de presiones

$$\begin{aligned} \Delta P_{ij} &= [P_i - \rho g(h_o - h_i)] - [P_j - \rho g(h_o - h_i)] + C_p \frac{\rho v^2}{2} \\ &= [10135 \text{ Pa} - (1.0948\text{Kg/m}^3)(9.81\text{m/s}^2)(2.5\text{m} - 2.5\text{m})] \\ &\quad - [10135 \text{ Pa} - (1.1338\text{Kg/m}^3)(9.81\text{m/s}^2)(1.25\text{m} - 0\text{m})] \\ &\quad + 0.5 \left(\frac{(1.0948\text{Kg/m}^3)(0.3370\text{/s})}{2} \right)^{0.5} = 26.875 \text{ Pa} \end{aligned}$$

4.3.3.- Cálculo del flujo másico y velocidad del viento

$$\begin{aligned} \dot{m} &= \rho C_d A \left(\frac{2\Delta P_{ij}}{\rho} \right)^n \\ &= (1.0875 \text{ Kg/m}^3)(0.6)(0.1 \text{ m}^2) \left(\frac{(2)(26.697 \text{ Pa})}{1.0875\text{Kg/m}^3} \right)^{0.5} = 0.4572 \text{ Kg/s} \end{aligned}$$

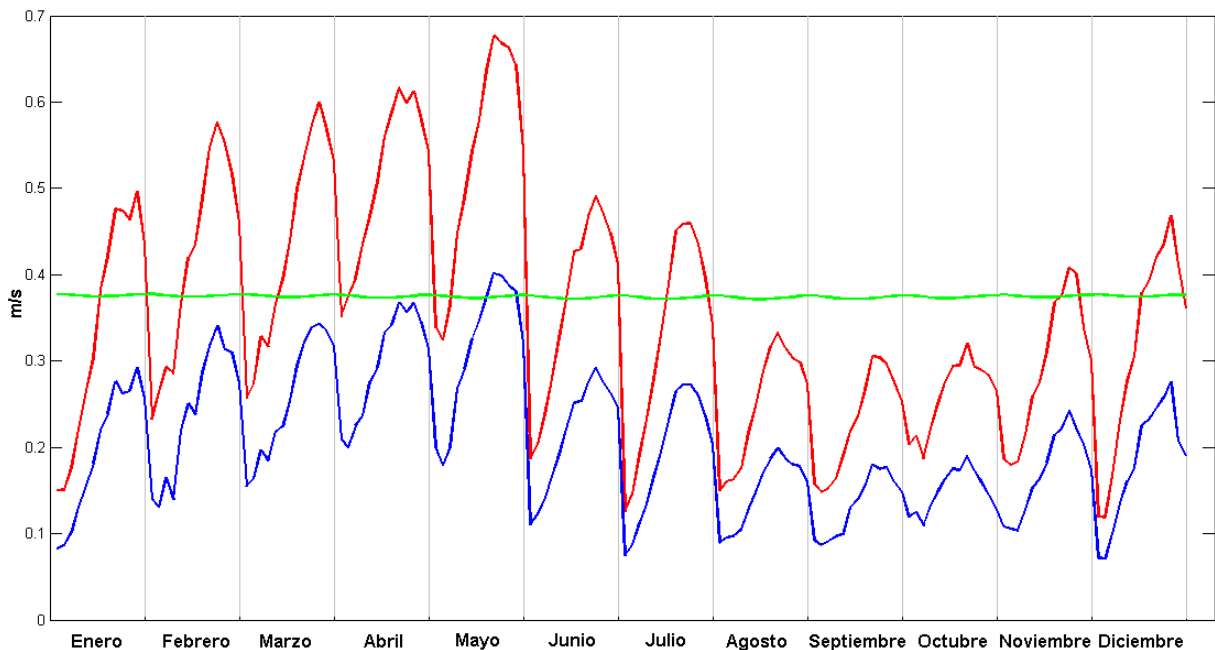
Nuevamente se utiliza el flujo másico para obtener la velocidad del viento considerando el área transversal de la chimenea de 0.1 m².

$$v = \frac{\dot{m}}{(\rho)(A)} = \frac{0.4603 \text{ kg/s}}{(1.0875 \text{ Kg/m}^3)(0.1\text{m}^2)} = 4.1711 \text{ m/s}$$

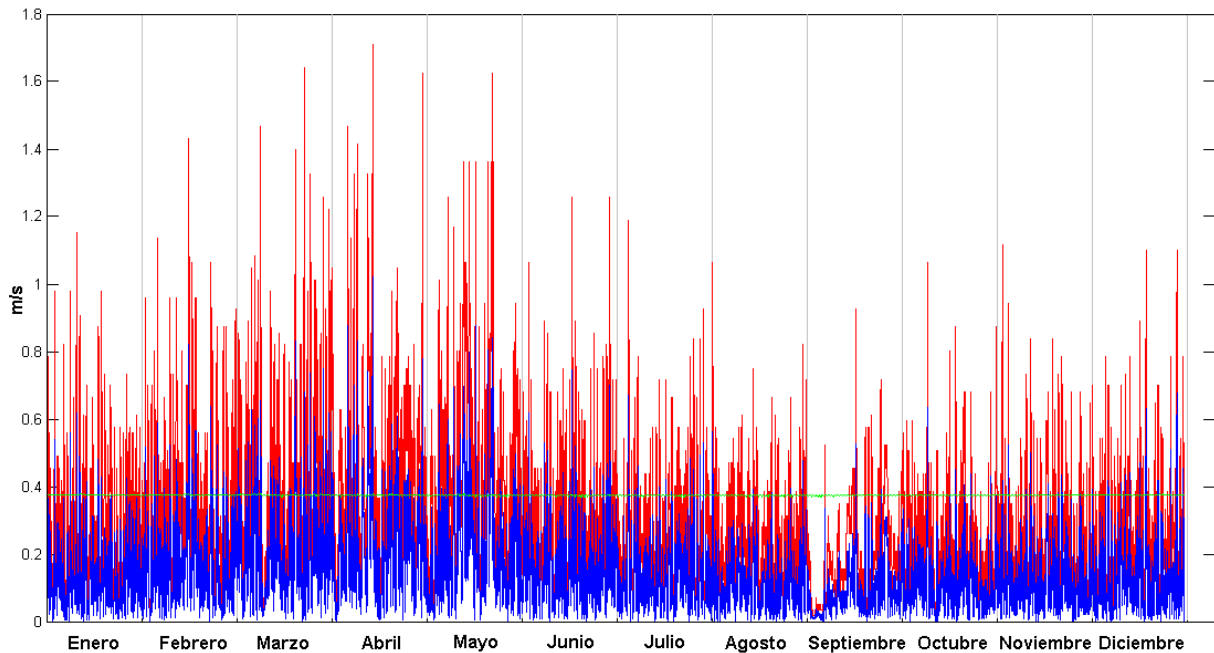
Para hallar la velocidad en la habitación se considera el área transversal de la ventana de 1.08 m².

$$v = \frac{\dot{m}}{(\rho)(A)} = \frac{0.4603 \text{ kg/s}}{(1.0875 \text{ Kg/m}^3)(0.1\text{m}^2)} = 0.3746 \text{ m/s}$$

Se puede observar un cambio significativo con respecto a la velocidad obtenida mediante la ventilación cruzada de 0.20 m/s y a pesar de seguir siendo un valor muy pequeño, pasa de ser un viento imperceptible a empezar a sentirse, además de entrar en la escala de Beaufort cuyo límite inferior es 0.277 m/s, además, como se verá más adelante, su efecto en la sensación de confort junto con la humedad constituye una diferencia notable y decisiva. En la gráfica 10 se observan las diferentes velocidades calculadas.



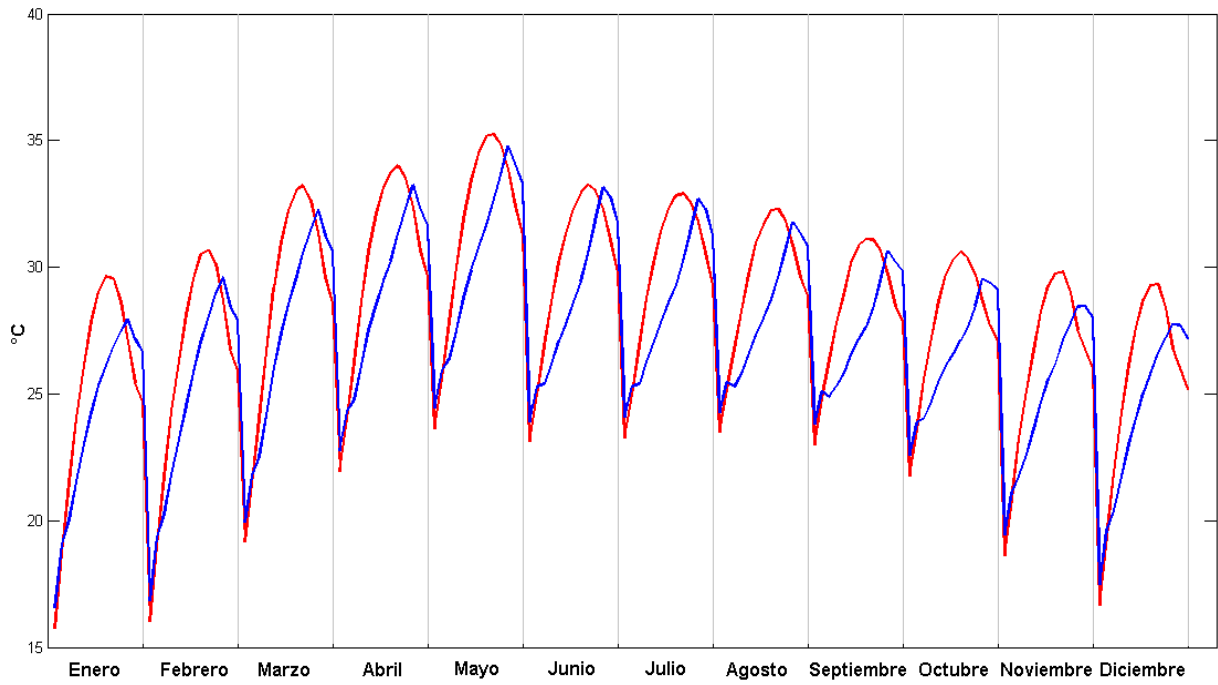
Gráfica 18.-Velocidad del viento en la habitación: con chimenea (verde), sin chimenea (rojo) y exterior (azul)



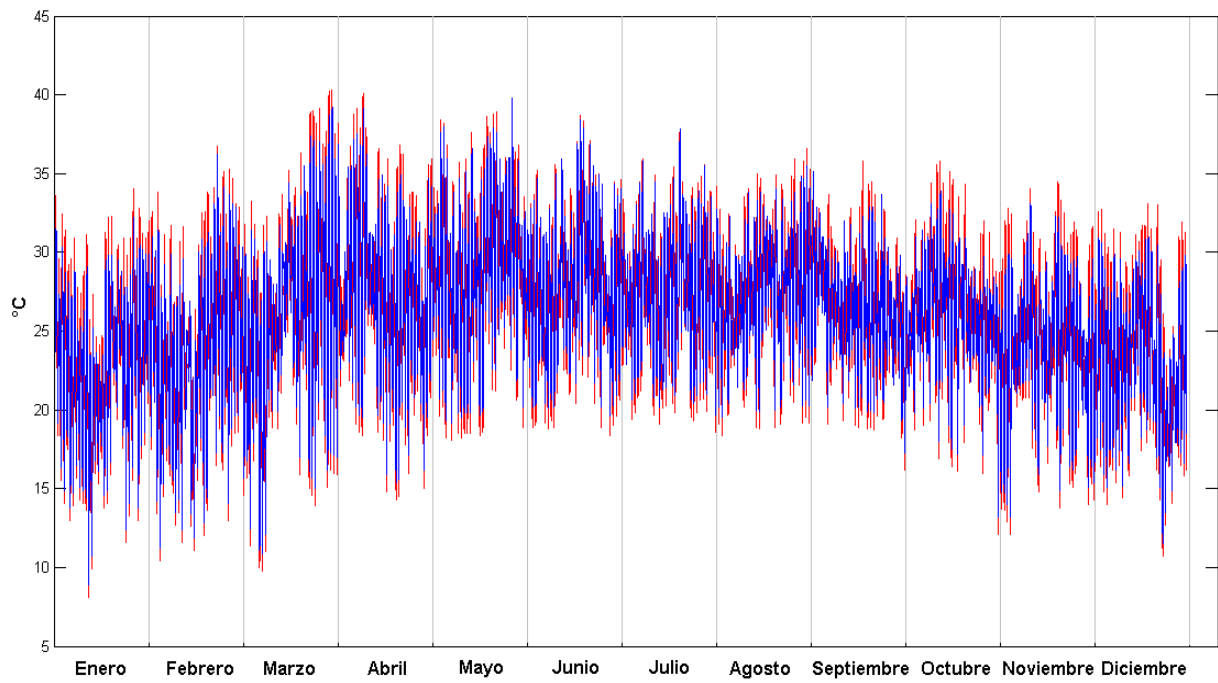
Gráfica 19.- Velocidad del viento en la habitación: con chimenea (verde), sin chimenea (rojo) y exterior (azul)

4.4.- Análisis de Confort

Considerando las características del análisis anterior y considerando las mediciones de temperatura en el interior de una vivienda de interés social se determinan la temperatura radiante media y el IMV para los casos sin chimenea y con chimenea. Para el caso de la radiación se consideró un porcentaje de radiación solar en el interior del 5% pese a estar en la sombra debido a la radiación difusa y la que pueda entrar por las ventanas. En la gráfica 12 se muestran los valores de temperatura interna y externa.



Gráfica 20.-Temperaturas Internas (Rojo) y Externa (Azul).



Gráfica 21.-Temperaturas Internas (Rojo) y Externa (Azul) para cada día del año.

$$TG = (1.360 * 26.97^{\circ}\text{C} - 2.358)(0.0747 * \ln(36\text{W}/\text{m}^2) + 0.5617) = 26.38^{\circ}\text{C}$$

$$\begin{aligned} \text{TRM} &= TG + 1.9\sqrt{(v)}(TG - TS) \\ &= 26.38^{\circ}\text{C} + (1.9)\sqrt{(0.2\text{m}/\text{s})}(26.38^{\circ}\text{C} - 26.97^{\circ}\text{C}) = 25.94^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

Mediante las gráficas 1 y 2 se obtiene el factor de corrección de 0.0045 para una velocidad de 0.2 m/s con 0.5 *clo* con actividad baja e IMV de 1.15. La corrección por diferencia de temperaturas es de 0.075

$$\begin{aligned} \text{IMV} &= \text{IMV}_{\text{tab}} + (F_H)(H_R - 50) + (\text{TMR} - \text{TS})(F_R) \\ &= 1.15 + (0.0045)(68 - 50) + (25.94^{\circ}\text{C} - 26.97^{\circ}\text{C})(0.07) = 1.16 \end{aligned}$$

Se calculan nuevamente la temperatura radiante media y el índice de valoración medio para la misma habitación con la chimenea

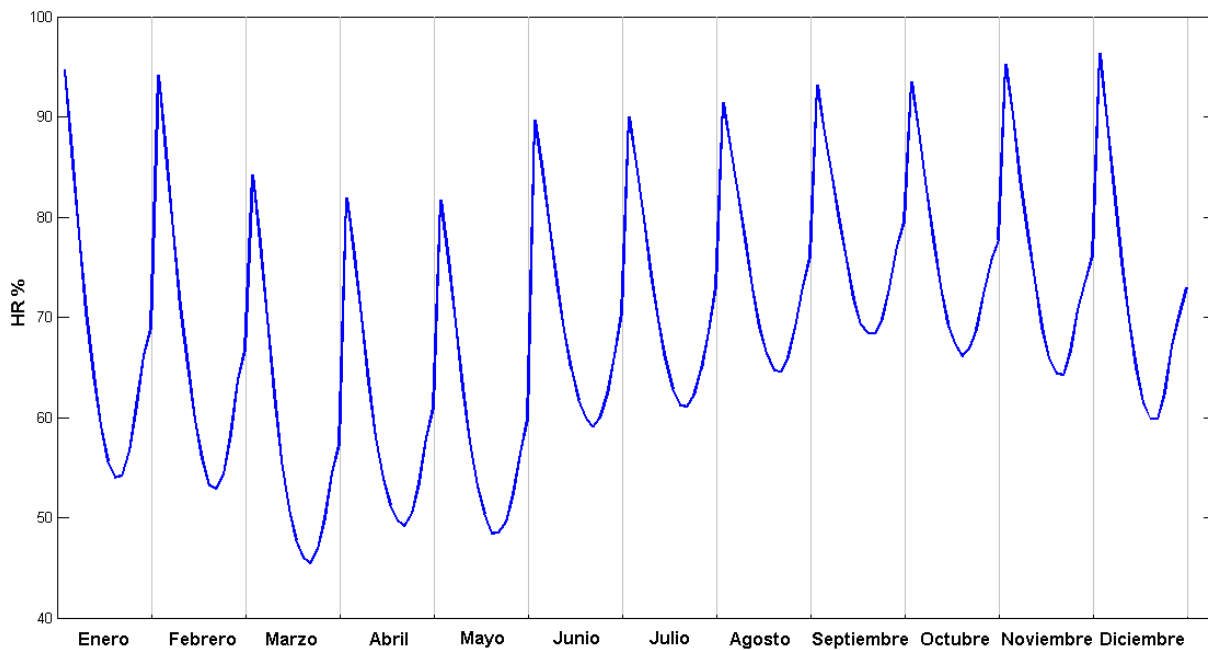
$$\begin{aligned} \text{TRM}_2 &= TG + 1.9\sqrt{(v)}(TG - TS) \\ &= 26.38^{\circ}\text{C} + (1.9)\sqrt{(0.3746\text{m}/\text{s})}(26.38^{\circ}\text{C} - 26.97^{\circ}\text{C}) = 25.69^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{IMV} &= \text{IMV}_{\text{tab}} + (F_H)(H_R - 50) + (\text{TMR} - \text{TS})(F_R) \\ &= 0.68 + (0.0050)(68 - 50) + (25.94^{\circ}\text{C} - 25.69^{\circ}\text{C})(0.055) = 0.7086 \end{aligned}$$

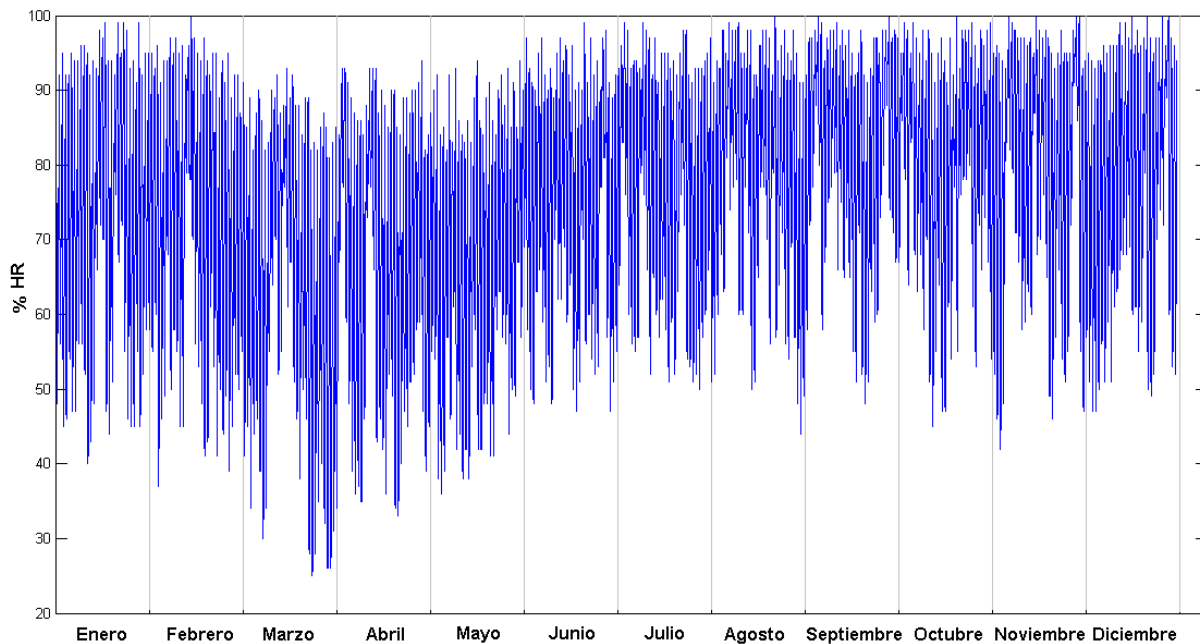
Aunque las velocidades del viento son pequeñas a pesar del funcionamiento de la chimenea, la disminución en el porcentaje de humedad para los meses más calurosos influye para mantener bajo el porcentaje de desconfort. En la gráfica 13 se puede notar el comportamiento de la humedad promedio para cada mes del año.

Estos valores son promedios que incluyen valores negativos generados por velocidades del viento en la habitación cuando el sol ya se ha ocultado. La gráfica 14

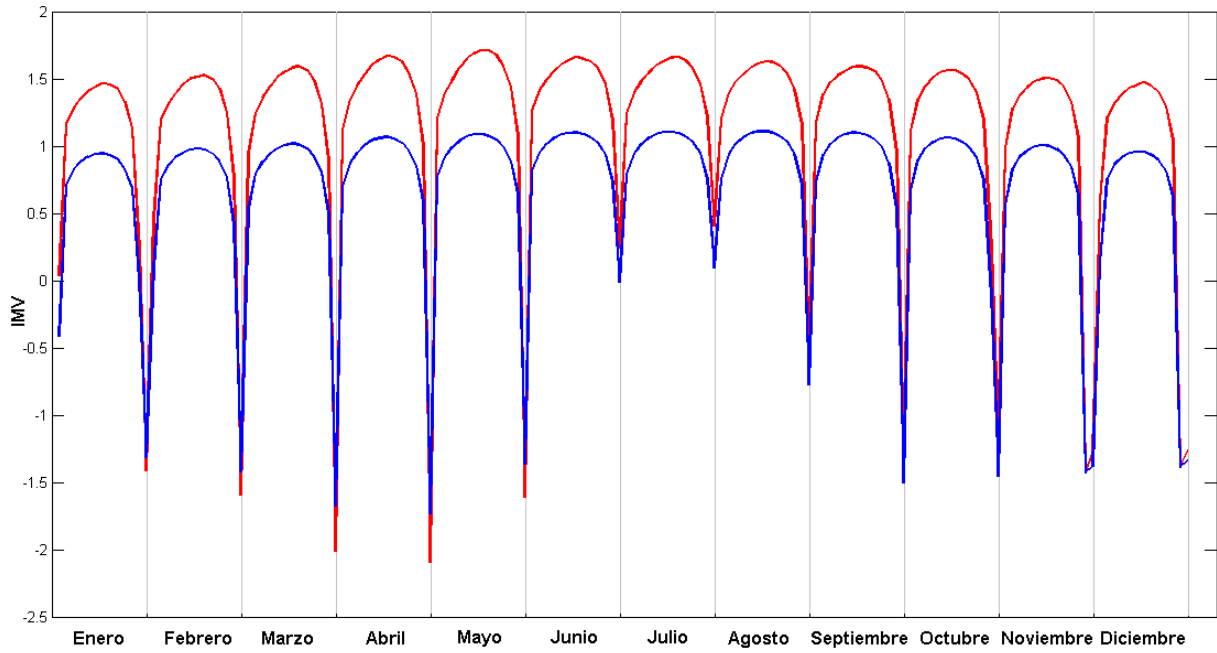
muestra los valores de IMV para cada día del mes y la gráfica 15 muestra los valores a distintas horas para dos meses del año.



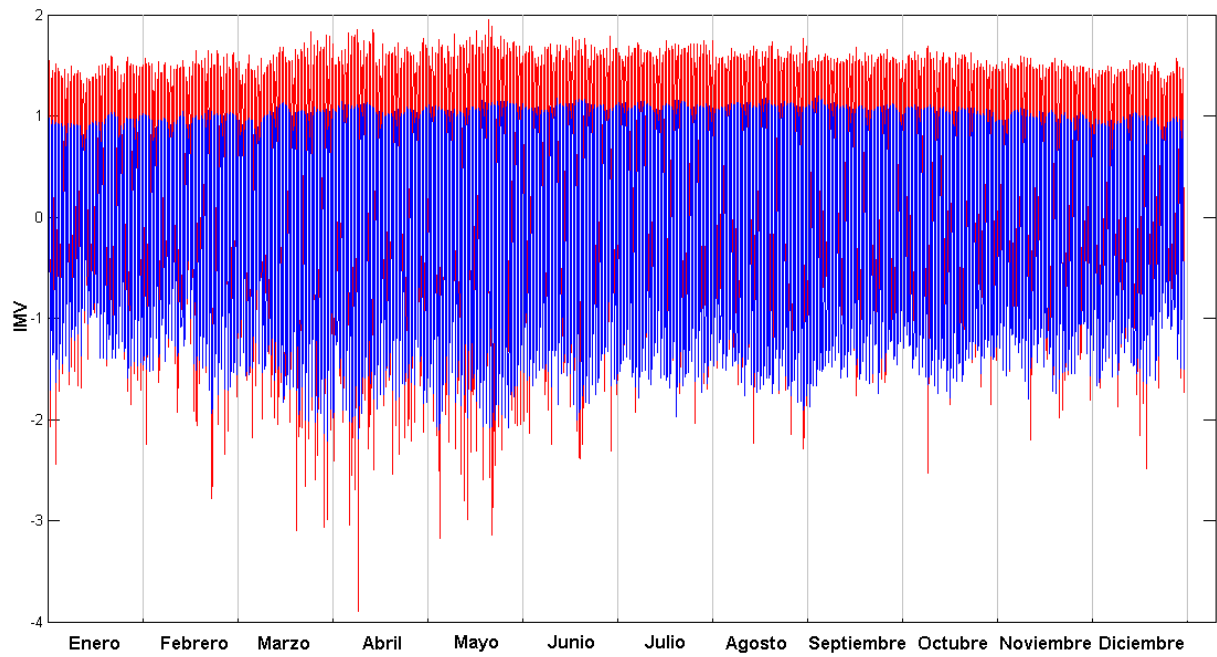
Gráfica 22.-Humedad para un día promedio de cada mes.



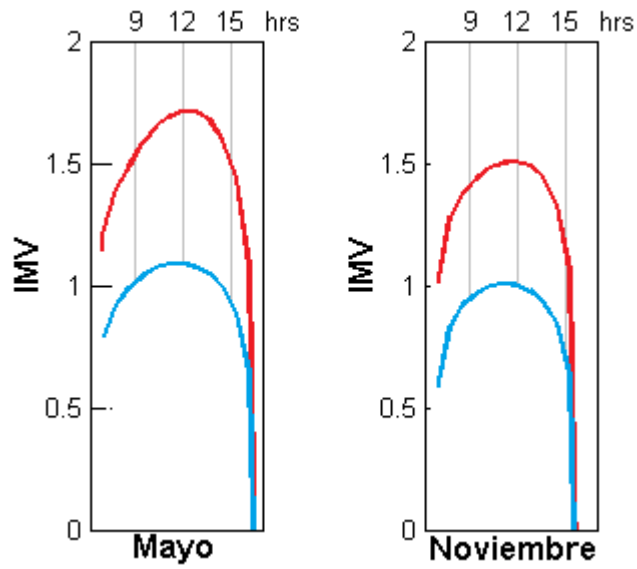
Gráfica 23.-Humedad para cada día del año.



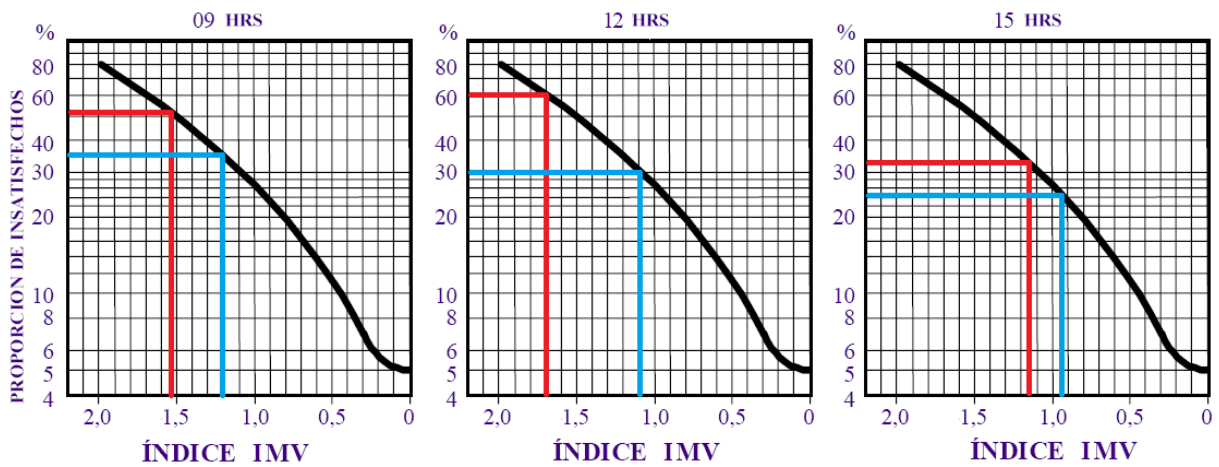
Gráfica 24.- Índices de valoración promedio de un día promedio década mes.



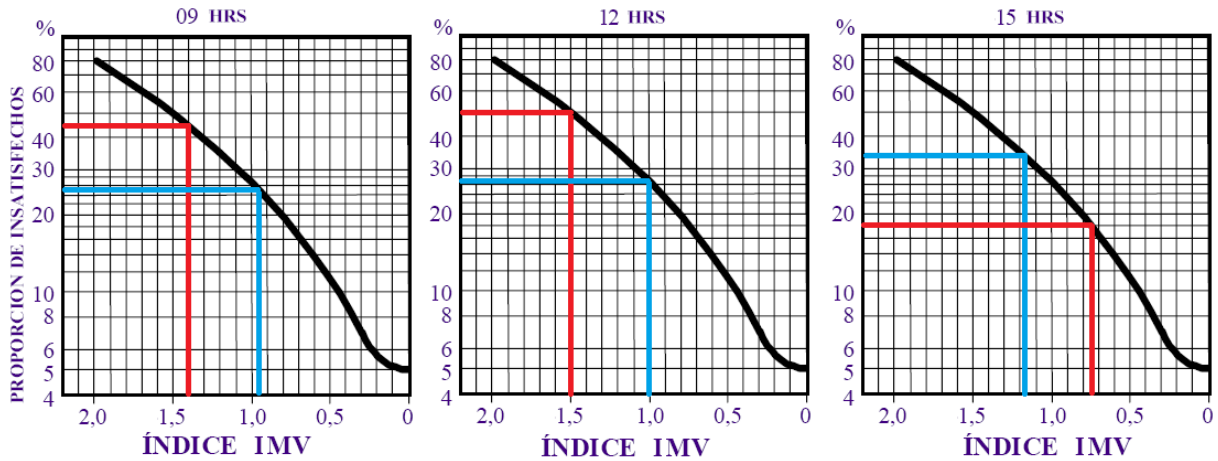
Gráfica 25.- Índices de valoración para cada día del año.



Gráfica 26.-Comparación de IMV para mayo y noviembre.



Gráfica 27.-Porcentajes de Insatisfacción para el mes de Mayo.



Gráfica 28.- Porcentajes de Insatisfacción para el mes de Noviembre.

En este capítulo se utilizó la metodología de Fanger para la evaluación del confort térmico utilizando los resultados de las ecuaciones de la velocidad del viento en el interior de la habitación con la chimenea y sin esta. De las gráficas 27 y 28 se concluye que la chimenea ayuda a reducir el desconfort térmico de la habitación de manera significativa presentando mejores resultados en los meses calurosos.

Conclusiones

Las chimeneas solares son dispositivos de ventilación pasiva que se presentan como alternativas a los problemas de ventilación en las viviendas producto de un diseño deficiente. Presentan una gran ventaja con respecto a los mecanismos de ventilación activa como aires acondicionados y ventiladores en el aspecto energético dado que no requieren más que la energía del sol para funcionar y crear una corriente de aire en el interior de la vivienda relativamente superior a la originada con un diseño de ventilación cruzada deficiente que caracteriza a las viviendas de interés social construidas actualmente.

El software llamado Cool-Vent es capaz de calcular las velocidades del aire en el interior de la vivienda de manera sencilla, sin embargo, su utilidad se ve limitada al requerir de datos con un formato específico de difícil adquisición, en este trabajo se estableció una metodología para poder ecuaciones clásicas de mecánica de fluidos para poder utilizarlas con cualquier base de datos que contenga mediciones de temperatura, humedad, radiación solar, dirección y velocidad del viento con la que se disponga, ya sea que provenga de alguna institución o sean medidas con alguna estación meteorológica. Cabe mencionar que los valores obtenidos mediante estas ecuaciones propuestas poseen una ligera variación con respecto a las que se obtienen mediante instrumentos de medición, sin embargo, se optó por estas debido a que valores más precisos requieren de sistemas complejos de ecuaciones que generalmente requieren de una gran capacidad de procesamiento que en ocasiones pueden demorar varias horas, es por eso que este modelado representa una alternativa funcional y práctica con respecto a otros métodos de cálculo.

Adicionalmente se demostró teóricamente como el incremento en la velocidad del aire interior ayuda a mejorar las condiciones de habitabilidad en el cuarto donde se coloque una chimenea solar a través del Índice de Valoración Medio que toma en cuenta elementos como las variables atmosféricas y el metabolismo.

Anexo 1

Código para calcular día promedio de cada mes en Fortran95:

```
program temperaturas
implicitnone
integer,parameter::n=744
real,dimension(n)::tempe
integer::mes,incr,i,a,b,c,d,e,f,g,h,j,k,l,m,o,x
real::dato1,dato2

open(unit=9,file="temperaturas.dat.txt",action="read") !se abren los archivos
open(unit=8,file="temperaturas.out.txt",action="write")

do i=1,n          ! Se leen los archivos
read(9,*)tempe(i)
end do

mes=31 ! Se definen los días que tiene el mes a evaluar
incr=24 ! Se define el incremento para el valor posicional
a=7    ! Puntos de inicio para cada hora
b=8
c=9
d=10
e=11
f=12
g=13
h=14
j=15
k=16
l=17
m=18
o=19

!+++++
dato1=0 ! Variables Temporales
```

dato2=0

do i=1,mes ! 7 AM

dato1=tempe(a) ! Cálculo de promedios:

dato2=dato1+dato2 ! Posición 7 de la lista= dato7, Posició 31= dato 31

a=a+incr! dato7+0...dato7+dato31...dato31+dato55...

end do! incrementos

tempe(1)=dato2/mes

!+++++

dato1=0

dato2=0

do i=1,mes ! 8 AM

dato1=tempe(b)

dato2=dato1+dato2

b=b+incr

end do

tempe(2)=dato2/mes

!+++++

dato1=0

dato2=0

do i=1,mes! 9 AM

dato1=tempe(c)

dato2=dato1+dato2

c=c+incr

end do

tempe(3)=dato2/mes

!+++++

dato1=0

```
dato2=0
```

```
do i=1,mes! 10 AM  
  dato1=tempe(d)  
  dato2=dato1+dato2  
  d=d+incr  
end do
```

```
tempe(4)=dato2/mes
```

```
!+++++
```

```
dato1=0
```

```
dato2=0
```

```
do i=1,mes! 11 AM  
  dato1=tempe(e)  
  dato2=dato1+dato2  
  e=e+incr  
end do
```

```
tempe(5)=dato2/mes
```

```
!+++++
```

```
dato1=0
```

```
dato2=0
```

```
do i=1,mes      ! 12 PM  
  dato1=tempe(f)  
  dato2=dato1+dato2  
  f=f+incr  
end do
```

```
tempe(6)=dato2/mes
```

```
!+++++
```

```
dato1=0
```


dato2=0

do i=1,mes ! 1 PM

dato1=tempe(g)

dato2=dato1+dato2

g=g+incr

end do

tempe(7)=dato2/mes

!+++++

dato1=0

dato2=0

do i=1,mes ! 2 PM

dato1=tempe(h)

dato2=dato1+dato2

h=h+incr

end do

tempe(8)=dato2/mes

!+++++

dato1=0

dato2=0

do i=1,mes ! 3 PM

dato1=tempe(j)

dato2=dato1+dato2

j=j+incr

end do

tempe(9)=dato2/mes

!+++++

dato1=0

dato2=0

do i=1,mes ! 4 PM

dato1=tempe(k)

dato2=dato1+dato2

k=k+incr

end do

tempe(10)=dato2/mes

!+++++

dato1=0

dato2=0

do i=1,mes ! 5 PM

dato1=tempe(l)

dato2=dato1+dato2

l=l+incr

end do

tempe(11)=dato2/mes

!+++++

dato1=0

dato2=0

do i=1,mes ! 6 PM

dato1=tempe(m)

dato2=dato1+dato2

m=m+incr

end do

tempe(12)=dato2/mes

!+++++

dato1=0

```
dato2=0

do i=1,mes      ! 7 PM
  dato1=tempe(o)
  dato2=dato1+dato2
  o=o+incr
end do

tempe(13)=dato2/mes

!+++++

do x=1,13      !Proceso de Escritura
  write(8,*)tempe(x)
end do

print*,"Promedios Calculados"

close(9)! se cierran los archivos
close(8)

end program temperaturas
```

Anexo 2

Código para calcular el ángulo de incidencia:

```
programangulos
implicitnone
integer,parameter::n=156
real,dimension(n)::tempe
integer::i,u,w
u=0
w=1

open(unit=9,file="temperaturas.dat.txt",action="read") !se abren los archivos
open(unit=8,file="temperaturas.out.txt",action="write")

do i=1,n
read(9,*)tempe(i) ! se leen los valores del archivo
end do

do while (u<n)
if (tempe(w)<=90) then
tempe(w)=90-tempe(w)

else if (tempe(w)>270) then
a=tempe(w)-270
tempe(w)=180-a

else
tempe(w)=tempe(w)-90
end if
u=u+1
w=w+1
end do

print*, "T minima:",tempe(1)
```

```
print*, "T minima:", tempe(2)
```

```
do i=1,n  
  write(8,*)tempe(i)  
end do
```

```
close(9)  
close(8)  
end program angulos
```

Anexo 3

Código del modelo propuesto:

```
clc

patm=101325;           %Presión Atmosférica
t_ext=tempe+273;      %Temperatura ambiente externa
t_hab=tempe+dif;      %Temperatura de la habitación
g=9.81;               %Gravedad
alt_med=8;            %Altura de Medición
vel_ms=wind*0.2777;   %Conversión a m/s
vel_v=vel_ms*(1.25/alt_med)^0.25; %Velocidad Ajustada a 1.25m del suelo
espesor_metal=0.002; %Espesor de la lamina de acero inoxidable usada como
absorbedor
dens_metal=8055;      %Densidad de la lamina
cp_metal=480;         %Calor especifico de la lamina
StfB=5.67e-8;        %Constante de Stefan Boltzmann
abs=0.98;             %Absorbancia de la lamina
tra_v=0.95;          %Transmitancia del vidrio
hi=30;               %Coeficiente de transferencia de calor por convección
ind=((radi/100).^5)+0.01; %Niveles de Radiación difusa y ganada por las
ventanas

c0=1.248; c1=-0.703; c2=-1.175; c3=0.131; c4=0.769; c5=0.071; c6=0.717;
c_pres=log(c0+c1*sind(ang/2)+c2.*sind(ang).^2+c4*cosd(ang/2)+c6.*cosd(ang/2)
).^2); %Coeficiente de Presión

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

den=(0.34848*(patm/100)-0.009.*hum.*exp(0.061*(tempe)))/(273.15+(tempe));
densi=den(:,61); %Selección de la columna donde se generaron los valores
dentro de la matriz
pres_st=patm+(densi*g*1.25); %Cálculo de la presión estática

delta_pres1=((pres_st-(densi.*g).*(1.25-0))-(pres_st-(densi.*g).*(1.25-
0)))+(c_pres.*((densi.*vel_v.^2)/2));
q=densi.*0.6*1.08.*((2*delta_pres1./densi).^0.5); %Flujo Másico 1
vx=q/(densi*1.08); %Velocidad del viento en la habitación
vel_int=vx(:,1); %Selección de la columna donde se generaron los
valores dentro de la matriz
vc=cool/(densi*1.08); %Velocidad del COOL VENT a partir del flujo másico
vel_cool=vc(:,1); %Selección de la columna donde se generaron los
valores dentro de la matriz
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

a1=(35-26)/200; a2=(48-36)/200; a3=(58-48)/200; %Pendientes
a4=(65-58)/200; a5=(68-65)/200; a6=(70-68)/200;
k=(log((a1+a2+a3+a4+a5+a6)/6))/(-1000); %Coeficiente de enfriamiento
```

```

t_placa=t_ext+((tra_v*abs*radi)/(dens_metal*espesor_metal*cp_metal*k));
%Temperatura de la placa en K
t_p=t_placa-273; %Temperatura de la placa en °C

t_viento=t_placa-(((tra_v*abs*radi)-(2.23.*(t_placa-t_ext)))/hi);
t_v=t_viento-273; %Temperatura del viento en °C
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

den2=(0.34848*(patm/100)-0.009.*hum.*exp(0.061*(t_v)))/(273.15+(t_v));
densi2=den2(:,60); %Selección de la columna donde se generaron los valores
dentro de la matriz
pres_st2=patm+(densi2*g*2.5); %Cálculo de la presión estática

delta_pres2=((pres_st2-(densi2.*g).*(2.5-2.5))-(pres_st-(densi.*g).*(1.25-
0))+c_pres.*((densi2.*vel_int.^2)/2));
q2=densi2.*0.6*0.1.*((2*delta_pres2./densi2).^0.5); %Flujo Másico 1
vx2=q2/(densi2*0.1); %Velocidad del viento en el canal de la chimenea solar
vxr=q2/(densi*1.08); %Velocidad del viento en la habitación con la chimenea
solar
vel_int2=vx2(:,1); %Selección de la columna donde se generaron los
valores dentro de la matriz
v_room=vxr(:,1); %Selección de la columna donde se generaron los
valores dentro de la matriz
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

t_glo=(1.360.*t_hab-2.358).*(0.0747.*log(ind)+0.5617); %Temperatura de
Globo

trm=(t_glo+(1.9.*sqrt(vel_int).*(t_glo-t_hab))); %Temperatura radiante
media de la habitación sin chimenea
imv=1.15+(hum-50)*0.0045+(trm-(t_hab))*0.07; %Índice de valoración
medio (IMV) para
%habitación sin chimenea
trm2=(t_glo+(1.9.*sqrt(v_room).*(t_glo-t_hab))); %Temperatura radiante
media de la habitación con chimenea
imv2=0.68+(hum-50)*(0.005)+(trm2-(t_hab))*0.05; %IMV para habitación con
chimenea
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%Valores para todo el año

at_ext=g_tempe+273; %Temperatura ambiente externa
at_hab=g_tempe+g_dif3; %Temperatura de la habitación
avel_ms=g_wind*0.2777; %Conversión a m/s
avel_v=avel_ms*(1.25/alt_med)^0.25; %Velocidad Ajustada a 1.25m del suelo
aaind=((g_radi/100).^5)+0.01;

ac_pres=log(c0+c1*sind(g_an3/2)+c2.*sind(g_an3).^2+c4*cosd(g_an3/2)+c6.*cos
d(g_an3/2).^2); %Coeficiente de Presión
%
aden=(0.34848*(patm/100)-
0.009.*g_hum.*exp(0.061*(g_tempe)))/(273.15+(g_tempe));

```

```

adensi=aden(:,2150); %Selección de la columna donde se
generaron los valores dentro de la matriz
apres_st=patm+(adensi*g*1.25); %Cálculo de la presion estática

adelta_pres1=((apres_st-(adensi.*g).*(1.25-0))-(apres_st-
(adensi.*g).*(1.25-0))+ac_pres.*((adensi.*avel_v.^2)/2));
adelta_pres1r=sqrt((adelta_pres1).^2);
aq=adensi.*0.6*1.08.*((2*adelta_pres1r./adensi).^0.5); %Flujo Másico 1
avx=aq/(adensi*1.08); %Velocidad del viento en la habitación
avel_int=avx(:,271)
%_____

at_placa=at_ext+((tra_v*abs*g_radi)/(dens_metal*espesor_metal*cp_metal*k));
at_p=at_placa-273; %Temperatura de la placa en °C

at_viento=at_placa-(((tra_v*abs*g_radi)-(2.23.*(at_placa-at_ext)))/hi);
at_v=at_viento-273; %Temperatura del viento en °C
%_____

aden2=(0.34848*(patm/100)-0.009.*g_hum.*exp(0.061*(at_v)))/(273.15+(at_v));
adensi2=aden2(:,2150);
apres_st2=patm+(adensi2*g*2.5); %Cálculo de la presion estática

adelta_pres2=((apres_st2-(adensi2.*g).*(2.5-2.5))-(apres_st-
(adensi2.*g).*(1.25-0))+ac_pres.*((adensi2.*avel_int.^2)/2));
aq2=adensi2.*0.6*0.1.*((2*adelta_pres2./adensi2).^0.5); %Flujo Másico 1
avx2m=aq2/(adensi2*0.1);
avx2=avx2m(:,271);
avxrm=aq2/(adensi2*1.08);
avxr=avxrm(:,271);
avel_int2=avx2(:,1);
av_room=avxr(:,1);
%_____

at_glo=(1.360.*at_hab-2.358).*(0.0747.*log(aind)+0.5617);

atrm=(at_glo+(1.9.*sqrt(avel_int).*(at_glo-at_hab)));
aimv=1.15+(g_hum-50)*0.0045+(atrm-(at_hab))*0.07;
atrm2=(at_glo+(1.9.*sqrt(av_room).*(at_glo-at_hab)));
aimv2=0.68+(g_hum-50)*(0.005)+(atrm2-(at_hab))*0.05;

figure(1)
plot(t_p, 'red', 'linewidth', 2) %Temperatura de la placa
hold on
plot(t_v, 'blue', 'linewidth', 2) %Temperatura del viento
hold on
plot(tempe, 'green', 'linewidth', 2) %Temperatura ambiente

figure(2)
plot(hum, 'blue', 'linewidth', 2) %Humedad promedio para cada día del mes

figure(3)
plot(tempe, 'blue', 'linewidth', 2) %Temperatura ambiente

```



```

holdon
plot(t_hab,'red','linewidth',2) %Temperatura de la habitación

figure(4)
plot(densi,'blue','linewidth',2) %Densidad del viento en la habitación
holdon
plot(densi2,'red','linewidth',2) %Densidad del viento en el canal de la
chimenea solar

figure(5)
plot(vel_v,'blue','linewidth',2) %Velocidad del viento externa
holdon
plot(vel_int,'red','linewidth',2) %Velocidad del viento en la habitación
sin chimenea
holdon
plot(v_room,'green','linewidth',2) %Velocidad del viento en la habitación
con chimenea

figure(6)
plot(vel_int,'blue','linewidth',2) %Velocidad del viento en la habitación
sin chimenea
holdon
plot(vel_cool,'red','linewidth',2) %%Velocidad del viento en la habitación
obtenida mediante el cool-vent

figure(7)
plot(imv,'blue','linewidth',2) %IMV para habitación sin chimenea
holdon
plot(imv2,'red','linewidth',2) %IMV para habitación con chimenea

figure(8)
plot(t_v,'blue','linewidth',2) %Temperatura del viento en el canal de
la chimenea
holdon
plot(t_p,'red','linewidth',2) %Temperatura de la placa absorbadora de
la chimenea
holdon
plot(t_hab,'magenta','linewidth',2)%Temperatura de la habitación
hold on
plot(tempe,'green','linewidth',2) %Temperaturaambiente

figure(9)
plot(radi,'blue','linewidth',2) %Irradiación de un día promedio de cada
mes del año

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Valores para todo el año

figure(10)
plot(at_p,'red') %Temperatura de la placa
hold on
plot(at_v,'blue') %Temperatura del viento
hold on

```

```

plot(g_tempe, 'green') %Temperatura ambiente

figure(11)
plot(g_hum, 'blue') %Humedad promedio para cada dia del mes

figure(12)
plot(g_tempe, 'red') %Temperatura ambiente
hold on
plot(at_hab, 'blue') %Temperatura de la habitación

figure(13)
plot(adensi, 'red') %Densidad del viento en la habitación
hold on
plot(adensi2, 'blue') %Densidad del viento en el canal de la chimenea solar

figure(14)
plot(avel_v, 'red') %Velocidad del viento externa
hold on
plot(avel_int, 'blue') %Velocidad del viento en la habitación sin chimenea
hold on
plot(av_room, 'green') %Velocidad del viento en la habitación con chimenea

figure(15)
plot(avel_int, 'blue') %Velocidad del viento en la habitación sin chimenea

figure(16)
plot(aimv, 'red') %IMV para habitación sin chimenea
hold on
plot(aimv2, 'blue') %IMV para habitación con chimenea

figure(17)
plot(at_v, 'blue') %Temperatura del viento en el canal de la chimenea
hold on
plot(at_p, 'red') %Temperatura de la placa absorbadora de la chimenea
hold on
plot(at_hab, 'magenta') %Temperatura de la habitación
hold on
plot(g_tempe, 'green') %Temperatura ambiente

figure(18)
plot(g_radi, 'blue') %Irradiación de un dia promedio de cada mes del año

figure(19)
plot(g_tempe, 'blue') %Irradiación de un dia promedio de cada mes del año

figure(20)
plot(g_wind, 'blue') %Irradiación de un dia promedio de cada mes del año

```

Anexo 4 Tablas de IMV

Clothing		Operative temperature °C	Relative air velocity m/s								
clo	m ² °C/W		< 0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00	
0	0	27	-2,55	-2,55							
		28	-1,74	-1,76							
		29	-0,93	-1,02	-2,23	-2,62					
		30	-0,14	-0,28	-1,42	-1,75					
		31	0,63	0,46	-0,60	-0,88					
		32	1,39	1,21	0,21	0,01					
		33	2,12	1,97	1,04	0,89					
		34		2,73	1,87	1,78					
0,25	0,039	26	-1,92	-1,94	-2,29	-2,57					
		27	-1,30	-1,36	-1,67	-1,92	-2,31	-2,62			
		28	-0,69	-0,78	-1,05	-1,26	-1,60	-1,87	-2,10	-2,89	
		29	-0,08	-0,20	-0,42	-0,60	-0,89	-1,12	-1,31	-1,97	
		30	0,53	0,39	0,21	0,06	-0,17	-0,36	-0,51	-1,05	
		31	1,12	0,99	0,84	0,73	0,55	0,41	0,29	-0,13	
		32	1,71	1,58	1,49	1,41	1,28	1,18	1,09	0,80	
		33	2,29	2,19	2,13	2,08	2,01	1,95	1,90	1,73	
0,50	0,078	25	-1,54	-1,59	-1,84	-2,04	-2,34	-2,57			
		26	-1,04	-1,12	-1,34	-1,51	-1,78	-1,98	-2,15		
		27	-0,55	-0,64	-0,83	-0,98	-1,22	-1,40	-1,54	-2,03	
		28	-0,05	-0,15	-0,32	-0,45	-0,65	-0,81	-0,93	-1,35	
		29	0,45	0,34	0,20	0,09	-0,09	-0,22	-0,32	-0,67	
		30	0,94	0,83	0,72	0,63	0,49	0,38	0,29	0,01	
		31	1,44	1,33	1,24	1,17	1,06	0,98	0,91	0,69	
		32	1,92	1,83	1,76	1,71	1,64	1,58	1,54	1,38	
0,75	0,116	24	1,26	-1,31	-1,51	-1,65	-1,87	-2,03	-2,17		
		25	-0,84	-0,91	-1,08	-1,21	-1,41	-1,56	-1,67	-2,05	
		26	-0,42	-0,51	-0,66	-0,77	-0,95	-1,08	-1,18	-1,52	
		27	-0,01	-0,10	-0,23	-0,33	-0,49	-0,60	-0,69	-0,98	
		28	0,41	0,32	0,20	0,11	-0,02	-0,12	-0,19	-0,45	
		29	0,83	0,73	0,63	0,56	0,45	0,37	0,30	0,09	
		30	1,25	1,15	1,07	1,01	0,93	0,86	0,81	0,63	
		31	1,66	1,57	1,51	1,47	1,40	1,35	1,31	1,18	
1,00	0,155	23	-1,06	-1,12	-1,28	-1,39	-1,56	-1,68	-1,78	-2,08	
		24	-0,71	-0,77	-0,91	-1,02	-1,17	-1,28	-1,37	-1,65	
		25	-0,35	-0,42	-0,54	-0,64	-0,78	-0,88	-0,96	-1,21	
		26	0,01	-0,06	-0,17	-0,26	-0,38	-0,47	-0,55	-0,76	
		27	0,37	0,29	0,20	0,12	0,01	-0,06	-0,13	-0,32	
		28	0,74	0,66	0,57	0,51	0,41	0,35	0,30	0,13	
		29	1,10	1,02	0,95	0,90	0,82	0,76	0,72	0,58	
		30	1,46	1,39	1,33	1,29	1,22	1,18	1,14	1,03	
1,50	0,233	18	-1,67	-1,70	-1,84	-1,93	-2,07	-2,17	-2,25	-2,49	
		20	-1,11	-1,16	-1,27	-1,36	-1,48	-1,57	-1,63	-1,84	
		22	-0,55	-0,60	-0,70	-0,77	-0,88	-0,95	-1,01	-1,18	
		24	0,02	-0,04	-0,12	-0,18	-0,27	-0,33	-0,38	-0,52	
		26	0,60	0,53	0,46	0,42	0,35	0,30	0,26	0,15	
		28	1,17	1,11	1,06	1,02	0,97	0,94	0,91	0,82	
		30	1,76	1,70	1,67	1,64	1,61	1,58	1,57	1,51	
		32	2,34	2,30	2,28	2,27	2,26	2,24	2,23	2,20	
2,00	0,310	14	-1,84	-1,87	-1,98	-2,06	-2,18	-2,26	-2,32	-2,49	
		16	-1,39	-1,43	-1,52	-1,59	-1,69	-1,77	-1,82	-1,98	
		18	-0,93	-0,97	-1,06	-1,12	-1,21	-1,27	-1,32	-1,46	
		20	-0,46	-0,52	-0,59	-0,64	-0,72	-0,77	-0,82	-0,94	
		22	0,01	-0,05	-0,11	-0,15	-0,22	-0,27	-0,30	-0,41	
		24	0,48	0,43	0,38	0,34	0,28	0,24	0,22	0,13	
		26	0,97	0,91	0,87	0,84	0,80	0,76	0,74	0,67	
		28	1,45	1,40	1,37	1,35	1,32	1,29	1,27	1,23	

Tabla 5.- Nivel de Actividad 46.4 W/m²

Clothing		Operative temperature °C	Relative air velocity m/s								
clo	m ² °C/W		<0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00	
0	0	26	-1,62	-1,62	-1,96	-2,34					
		27	-1,00	-1,00	-1,36	-1,69					
		28	-0,39	-0,42	-0,76	-1,05					
		29	0,21	0,13	-0,15	-0,39					
		30	0,80	0,68	0,45	0,26					
		31	1,39	1,25	1,08	0,94					
		32	1,96	1,83	1,71	1,61					
		33	2,50	2,41	2,34	2,29					
0,25	0,039	24	-1,52	-1,52	-1,80	-2,06	-2,47				
		25	-1,05	-1,05	-1,33	-1,57	-1,94	-2,24	-2,48		
		26	-0,58	-0,61	-0,87	-1,08	-1,41	-1,67	-1,89	-2,66	
		27	-0,12	-0,17	-0,40	-0,58	-0,87	-1,10	-1,29	-1,97	
		28	0,34	0,27	0,07	-0,09	-0,34	-0,53	-0,70	-1,28	
		29	0,80	0,71	0,54	0,41	0,20	0,04	-0,10	-0,58	
		30	1,25	1,15	1,02	0,91	0,74	0,61	0,50	0,11	
		31	1,71	1,61	1,51	1,43	1,30	1,20	1,12	0,83	
0,50	0,078	23	-1,10	-1,10	-1,33	-1,51	-1,78	-1,99	-2,16		
		24	-0,72	-0,74	-0,95	-1,11	-1,36	-1,55	-1,70	-2,22	
		25	-0,34	-0,38	-0,56	-0,71	-0,94	-1,11	-1,25	-1,71	
		26	0,04	-0,01	-0,18	-0,31	-0,51	-0,66	-0,79	-1,19	
		27	0,42	0,35	0,20	0,09	-0,08	-0,22	-0,33	-0,68	
		28	0,80	0,72	0,59	0,49	0,34	0,23	0,14	-0,17	
		29	1,17	1,08	0,98	0,90	0,77	0,68	0,60	0,34	
		30	1,54	1,45	1,37	1,30	1,20	1,13	1,06	0,86	
0,75	0,116	21	-1,11	-1,11	-1,30	-1,44	-1,66	-1,82	-1,95	-2,36	
		22	-0,79	-0,81	-0,98	-1,11	-1,31	-1,46	-1,58	-1,95	
		23	-0,47	-0,50	-0,66	-0,78	-0,96	-1,09	-1,20	-1,55	
		24	-0,15	-0,19	-0,33	-0,44	-0,61	-0,73	-0,83	-1,14	
		25	0,17	0,12	-0,01	-0,11	-0,26	-0,37	-0,46	-0,74	
		26	0,49	0,43	0,31	0,23	0,09	0,00	-0,08	-0,33	
		27	0,81	0,74	0,64	0,56	0,45	0,36	0,29	0,08	
		28	1,12	1,05	0,96	0,90	0,80	0,73	0,67	0,48	
1,00	0,155	20	-0,85	-0,87	-1,02	-1,13	-1,29	-1,41	-1,51	-1,81	
		21	-0,57	-0,60	-0,74	-0,84	-0,99	-1,11	-1,19	-1,47	
		22	-0,30	-0,33	-0,46	-0,55	-0,69	-0,80	-0,88	-1,13	
		23	-0,02	-0,07	-0,18	-0,27	-0,39	-0,49	-0,56	-0,79	
		24	0,26	0,20	0,10	0,02	-0,09	-0,18	-0,25	-0,46	
		25	0,53	0,48	0,38	0,31	0,21	0,13	0,07	-0,12	
		26	0,81	0,75	0,66	0,60	0,51	0,44	0,39	0,22	
		27	1,08	1,02	0,95	0,89	0,81	0,75	0,71	0,56	
1,50	0,233	14	-1,36	-1,36	-1,49	-1,58	-1,72	-1,82	-1,89	-2,12	
		16	-0,94	-0,95	-1,07	-1,15	-1,27	-1,36	-1,43	-1,63	
		18	-0,52	-0,54	-0,64	-0,72	-0,82	-0,90	-0,96	-1,14	
		20	-0,09	-0,13	-0,22	-0,28	-0,37	-0,44	-0,49	-0,65	
		22	0,35	0,30	0,23	0,18	0,10	0,04	0,00	-0,14	
		24	0,79	0,74	0,68	0,63	0,57	0,52	0,49	0,37	
		26	1,23	1,18	1,13	1,09	1,04	1,01	0,98	0,89	
		28	1,67	1,62	1,58	1,56	1,52	1,49	1,47	1,40	
2,00	0,310	10	-1,38	-1,39	-1,49	-1,56	-1,67	-1,74	-1,80	-1,96	
		12	-1,03	-1,05	-1,14	-1,21	-1,30	-1,37	-1,42	-1,57	
		14	-0,68	-0,70	-0,79	-0,85	-0,93	-0,99	-1,04	-1,17	
		16	-0,32	-0,35	-0,43	-0,48	-0,56	-0,61	-0,65	-0,77	
		18	0,03	-0,00	-0,07	-0,11	-0,18	-0,23	-0,26	-0,37	
		20	0,40	0,36	0,30	0,26	0,20	0,16	0,13	0,04	
		22	0,76	0,72	0,67	0,64	0,59	0,55	0,53	0,45	
		24	1,13	1,09	1,05	1,02	0,98	0,95	0,87		

Tabla 6.- Nivel de Actividad 58 W/m²

Clothing		Operative temperature °C	Relative air velocity m/s								
clo	m ² °C/W		< 0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00	
0	0	25	-1,33	-1,33	-1,59	-1,92					
		26	-0,83	-0,83	-1,11	-1,40					
		27	-0,33	-0,33	-0,63	-0,88					
		28	0,15	0,12	-0,14	-0,36					
		29	0,63	0,56	0,35	0,17					
		30	1,10	1,01	0,84	0,69					
		31	1,57	1,47	1,34	1,24					
		32	2,03	1,93	1,85	1,78					
0,25	0,039	23	-1,18	-1,18	-1,39	-1,61	-1,97	-2,25			
		24	-0,79	-0,79	-1,02	-1,22	-1,54	-1,80	-2,01		
		25	-0,42	-0,42	-0,64	-0,83	-1,11	-1,34	-1,54	-2,21	
		26	-0,04	-0,07	-0,27	-0,43	-0,68	-0,89	-1,06	-1,65	
		27	0,33	0,29	0,11	-0,03	-0,25	-0,43	-0,58	-1,09	
		28	0,71	0,64	0,49	0,37	0,18	0,03	-0,10	-0,54	
		29	1,07	0,99	0,87	0,77	0,61	0,49	0,39	0,03	
		30	1,43	1,35	1,25	1,17	1,05	0,95	0,87	0,58	
0,50	0,078	18	-2,01	-2,01	-2,17	-2,38	-2,70				
		20	-1,41	-1,41	-1,58	-1,76	-2,04	-2,25	-2,42		
		22	-0,79	-0,79	-0,97	-1,13	-1,36	-1,54	-1,69	-2,17	
		24	-0,17	-0,20	-0,36	-0,48	-0,68	-0,83	-0,95	-1,35	
		26	0,44	0,39	0,26	0,16	-0,01	-0,11	-0,21	-0,52	
		28	1,05	0,98	0,88	0,81	0,70	0,61	0,54	-0,31	
		30	1,64	1,57	1,51	1,46	1,39	1,33	1,29	1,14	
		32	2,25	2,20	2,17	2,15	2,11	2,09	2,07	1,99	
0,75	0,116	16	-1,77	-1,77	-1,91	-2,07	-2,31	-2,49			
		18	-1,27	-1,27	-1,42	-1,56	-1,77	-1,93	-2,05	-2,45	
		20	-0,77	-0,77	-0,92	-1,04	-1,23	-1,36	-1,47	-1,82	
		22	-0,25	-0,27	-0,40	-0,51	-0,66	-0,78	-0,87	-1,17	
		24	0,27	0,23	0,12	0,03	-0,10	-0,19	-0,27	-0,51	
		26	0,78	0,73	0,64	0,57	0,47	0,40	0,34	0,14	
		28	1,29	1,23	1,17	1,12	1,04	0,99	0,94	0,80	
		30	1,80	1,74	1,70	1,67	1,62	1,58	1,55	1,46	
1,00	0,155	16	-1,18	-1,18	-1,31	-1,43	-1,59	-1,72	-1,82	-2,12	
		18	-0,75	-0,75	-0,88	-0,98	-1,13	-1,24	-1,33	-1,59	
		20	-0,32	-0,33	-0,45	-0,54	-0,67	-0,76	-0,83	-1,07	
		22	0,13	0,10	0,00	-0,07	-0,18	-0,26	-0,32	-0,52	
		24	0,58	0,54	0,46	0,40	0,31	0,24	0,19	0,02	
		26	1,03	0,98	0,91	0,86	0,79	0,74	0,70	0,58	
		28	1,47	1,42	1,37	1,34	1,28	1,24	1,21	1,12	
		30	1,91	1,86	1,83	1,81	1,78	1,75	1,73	1,67	
1,50	0,233	12	-1,09	-1,09	-1,19	-1,27	-1,39	-1,48	-1,55	-1,75	
		14	-0,75	-0,75	-0,85	-0,93	-1,03	-1,11	-1,17	-1,35	
		16	-0,41	-0,42	-0,51	-0,58	-0,67	-0,74	-0,79	-0,96	
		18	-0,06	-0,09	-0,17	-0,22	-0,31	-0,37	-0,42	-0,56	
		20	0,28	0,25	0,18	0,13	0,05	0,00	-0,04	-0,16	
		22	0,63	0,60	0,54	0,50	0,44	0,39	0,36	0,25	
		24	0,99	0,95	0,91	0,87	0,82	0,78	0,76	0,67	
		26	1,35	1,31	1,27	1,24	1,20	1,18	1,15	1,08	
2,00	0,310	10	-0,77	-0,78	-0,86	-0,92	-1,01	-1,06	-1,11	-1,24	
		12	-0,49	-0,51	-0,58	-0,63	-0,71	-0,76	-0,80	-0,92	
		14	-0,21	-0,23	-0,29	-0,34	-0,41	-0,46	-0,49	-0,60	
		16	0,08	0,06	-0,00	-0,04	-0,10	-0,15	-0,18	-0,27	
		18	0,37	0,34	0,29	0,26	0,20	0,17	0,14	0,05	
		20	0,67	0,63	0,59	0,56	0,52	0,48	0,46	0,39	
		22	0,97	0,93	0,89	0,87	0,83	0,80	0,78	0,72	
		24	1,27	1,23	1,20	1,18	1,15	1,13	1,11	1,06	

Tabla 7.- Nivel de Actividad 69.6 W/m²

Clothing		Operative temperature °C	Relative air velocity m/s								
clo	m ² °C/W		< 0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00	
0	0	24	-1,14	-1,14	-1,35	-1,65					
		25	-0,72	-0,72	-0,95	-1,21					
		26	-0,30	-0,30	-0,54	-0,78					
		27	0,11	0,11	-0,14	-0,34					
		28	0,52	0,48	0,27	0,10					
		29	0,92	0,85	0,69	0,54					
		30	1,31	1,23	1,10	0,99					
		31	1,71	1,62	1,52	1,45					
0,25	0,039	22	-0,95	-0,95	-1,12	-1,33	-1,64	-1,90	-2,11		
		23	-0,63	-0,63	-0,81	-0,99	-1,28	-1,51	-1,71	-2,38	
		24	-0,31	-0,31	-0,50	-0,66	-0,92	-1,13	-1,31	-1,91	
		25	-0,01	0,00	-0,18	-0,33	-0,56	-0,75	-0,90	-1,45	
		26	0,33	0,30	0,14	0,01	-0,20	-0,36	-0,50	-0,98	
		27	0,64	0,59	0,45	0,34	0,16	0,02	-0,10	-0,51	
		28	0,95	0,89	0,77	0,68	0,53	0,41	0,31	-0,04	
		29	1,26	1,19	1,09	1,02	0,89	0,80	0,72	0,43	
0,50	0,078	18	-1,36	-1,36	-1,49	-1,66	-1,93	-2,12	-2,29		
		20	-0,85	-0,85	-1,00	-1,14	-1,37	-1,54	-1,68	-2,15	
		22	-0,33	-0,33	-0,48	-0,61	-0,80	-0,95	-1,06	-1,46	
		24	0,19	0,17	0,04	-0,07	-0,22	-0,34	-0,44	-0,76	
		26	0,71	0,66	0,56	0,48	0,35	0,26	0,18	-0,07	
		28	1,22	1,16	1,09	1,03	0,94	0,87	0,81	0,63	
		30	1,72	1,66	1,62	1,58	1,52	1,48	1,44	1,33	
		32	2,23	2,19	2,17	2,16	2,13	2,11	2,10	2,05	
0,75	0,116	16	-1,17	-1,17	-1,29	-1,42	-1,62	-1,77	-1,88	-2,26	
		18	-0,75	-0,75	-0,87	-0,99	-1,16	-1,29	-1,39	-1,72	
		20	-0,33	-0,33	-0,45	-0,55	-0,70	-0,82	-0,91	-1,19	
		22	0,11	0,09	-0,02	-0,10	-0,23	-0,32	-0,40	-0,64	
		24	0,55	0,51	0,42	0,35	0,25	0,17	0,11	-0,09	
		26	0,98	0,94	0,87	0,81	0,73	0,67	0,62	0,47	
		28	1,41	1,36	1,31	1,27	1,21	1,17	1,13	1,02	
		30	1,84	1,79	1,76	1,73	1,70	1,67	1,65	1,58	
1,00	0,155	14	-1,05	-1,05	-1,16	-1,26	-1,42	-1,53	-1,62	-1,91	
		16	-0,69	-0,69	-0,80	-0,89	-1,03	-1,13	-1,21	-1,46	
		18	-0,32	-0,32	-0,43	-0,52	-0,64	-0,73	-0,80	-1,02	
		20	0,04	0,03	-0,07	-0,14	-0,25	-0,32	-0,38	-0,58	
		22	0,42	0,39	0,31	0,25	0,16	0,10	0,05	-0,12	
		24	0,80	0,76	0,70	0,65	0,57	0,52	0,48	0,35	
		26	1,18	1,13	1,08	1,04	0,99	0,95	0,91	0,81	
		28	1,55	1,51	1,47	1,44	1,40	1,37	1,35	1,27	
1,50	0,233	10	-0,91	-0,91	-1,00	-1,08	-1,18	-1,26	-1,32	-1,51	
		12	-0,63	-0,63	-0,71	-0,78	-0,88	-0,95	-1,01	-1,17	
		14	-0,34	-0,34	-0,43	-0,49	-0,58	-0,64	-0,69	-0,84	
		16	-0,05	-0,06	-0,14	-0,19	-0,27	-0,33	-0,37	-0,50	
		18	0,24	0,22	0,15	0,11	0,04	-0,01	-0,05	-0,17	
		20	0,53	0,50	0,45	0,40	0,34	0,30	0,27	0,17	
		22	0,83	0,80	0,75	0,72	0,67	0,63	0,60	0,52	
		24	1,13	1,10	1,06	1,03	0,99	0,96	0,94	0,87	
2,00	0,310	10	-0,37	-0,38	-0,44	-0,49	-0,56	-0,61	-0,65	-0,76	
		12	-0,13	-0,14	-0,20	-0,25	-0,31	-0,35	-0,39	-0,49	
		14	0,11	0,09	0,04	0,00	-0,05	-0,09	-0,12	-0,21	
		16	0,36	0,34	0,29	0,25	0,20	0,17	0,14	0,06	
		18	0,60	0,58	0,54	0,51	0,46	0,43	0,41	0,34	
		20	0,85	0,83	0,79	0,77	0,73	0,70	0,68	0,62	
		22	1,11	1,08	1,05	1,03	0,99	0,97	0,95	0,91	
		24	1,36	1,34	1,31	1,29	1,27	1,25	1,23	1,19	

Tabla 8.- Nivel de Actividad 81.2 W/m²

Clothing		Operative temperature °C	Relative air velocity m/s								
clo	m ² °C/W		< 0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00	
0	0	23	-1,12	-1,12	-1,29	-1,57					
		24	-0,74	-0,74	-0,93	-1,18					
		25	-0,36	-0,36	-0,57	-0,79					
		26	0,01	0,01	-0,20	-0,40					
		27	0,38	0,37	0,17	0,00					
		28	0,75	0,70	0,53	0,39					
		29	1,11	1,04	0,90	0,79					
		30	1,46	1,38	1,27	1,19					
0,25	0,039	16	-2,29	-2,29	-2,36	-2,62					
		18	-1,72	-1,72	-1,83	-2,06	-2,42				
		20	-1,15	-1,15	-1,29	-1,49	-1,80	-2,05	-2,26		
		22	-0,58	-0,58	-0,73	-0,90	-1,17	-1,38	-1,55	-2,17	
		24	-0,01	-0,01	-0,17	-0,31	-0,53	-0,70	-0,84	-1,35	
		26	0,56	0,53	0,39	0,29	0,12	-0,02	-0,13	-0,51	
		28	1,12	1,06	0,96	0,89	0,77	0,67	0,59	0,33	
		30	1,66	1,60	1,54	1,49	1,42	1,36	1,31	1,14	
0,50	0,078	14	-1,85	-1,85	-1,94	-2,12	-2,40				
		16	-1,40	-1,40	-1,50	-1,67	-1,92	-2,11	-2,26		
		18	-0,95	-0,95	-1,07	-1,21	-1,43	-1,59	-1,73	-2,18	
		20	-0,49	-0,49	-0,62	-0,75	-0,94	-1,08	-1,20	-1,59	
		22	-0,03	-0,03	-0,16	-0,27	-0,43	-0,55	-0,65	-0,98	
		24	0,43	0,41	0,30	0,21	0,08	-0,02	-0,10	-0,37	
		26	0,89	0,85	0,76	0,70	0,60	0,52	0,46	0,25	
		28	1,34	1,29	1,23	1,18	1,11	1,06	1,01	0,86	
0,75	0,116	14	-1,16	-1,16	-1,26	-1,38	-1,57	-1,71	-1,82	-2,17	
		16	-0,79	-0,79	-0,89	-1,00	-1,17	-1,29	-1,39	-1,70	
		18	-0,41	-0,41	-0,52	-0,62	-0,76	-0,87	-0,96	-1,23	
		20	-0,04	-0,04	-0,15	-0,23	-0,36	-0,45	-0,52	-0,76	
		22	0,35	0,33	0,24	0,17	0,07	-0,01	-0,07	-0,27	
		24	0,74	0,71	0,63	0,58	0,49	0,43	0,38	0,21	
		26	1,12	1,08	1,03	0,98	0,92	0,87	0,83	0,70	
		28	1,51	1,46	1,42	1,39	1,34	1,31	1,28	1,19	
1,00	0,155	12	-1,01	-1,01	-1,10	-1,19	-1,34	-1,45	-1,53	-1,79	
		14	-0,68	-0,68	-0,78	-0,87	-1,00	-1,09	-1,17	-1,40	
		16	-0,36	-0,36	-0,46	-0,53	-0,65	-0,74	-0,80	-1,01	
		18	-0,04	-0,04	-0,13	-0,20	-0,30	-0,38	-0,44	-0,62	
		20	0,28	0,27	0,19	0,13	0,04	-0,02	-0,07	-0,21	
		22	0,62	0,59	0,53	0,48	0,41	0,35	0,31	0,17	
		24	0,96	0,92	0,87	0,83	0,77	0,73	0,69	0,58	
		26	1,29	1,25	1,21	1,18	1,14	1,10	1,07	0,99	
1,50	0,233	10	-0,57	-0,57	-0,65	-0,71	-0,80	-0,86	-0,92	-1,07	
		12	-0,32	-0,32	-0,39	-0,45	-0,53	-0,59	-0,64	-0,78	
		14	-0,06	-0,07	-0,14	-0,19	-0,26	-0,31	-0,36	-0,48	
		16	0,19	0,18	0,12	0,07	0,01	-0,04	-0,07	-0,19	
		18	0,45	0,43	0,38	0,34	0,28	0,24	0,21	0,11	
		20	0,71	0,68	0,64	0,60	0,55	0,52	0,49	0,41	
		22	0,97	0,95	0,91	0,88	0,84	0,81	0,79	0,72	
2,00	0,310	10	-0,08	-0,08	-0,14	-0,18	-0,24	-0,29	-0,32	-0,41	
		12	0,14	0,12	0,07	0,03	-0,02	-0,06	-0,09	-0,17	
		14	0,35	0,33	0,29	0,25	0,20	0,17	0,14	0,07	
		16	0,57	0,54	0,50	0,47	0,43	0,40	0,38	0,31	
		18	0,78	0,76	0,73	0,70	0,66	0,63	0,61	0,56	
		20	1,00	0,98	0,95	0,93	0,89	0,87	0,85	0,80	
		22	1,23	1,20	1,18	1,16	1,13	1,11	1,10	1,06	

Tabla 9.- Nivel de Actividad 92.8 W/m²

Clothing		Operative temperature °C	Relative air velocity m/s								
clo	m ² °C/W		<0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00	
0	0	22	-1,05	-1,05	-1,19	-1,46					
		23	-0,70	-0,70	-0,86	-1,11					
		24	-0,36	-0,36	-0,53	-0,75					
		25	-0,01	-0,01	-0,20	-0,40					
		26	0,32	0,32	0,13	-0,04					
		27	0,66	0,63	0,46	0,32					
		28	0,99	0,94	0,80	0,68					
		29	1,31	1,25	1,13	1,04					
		0,25	0,039	16	-1,79	-1,79	-1,86	-2,09	-2,46		
18	-1,28			-1,28	-1,38	-1,58	-1,90	-2,16	-2,37		
20	-0,76			-0,76	-0,89	-1,06	-1,34	-1,56	-1,75	-2,39	
22	-0,24			-0,24	-0,38	-0,53	-0,76	-0,95	-1,10	-1,65	
24	0,28			0,28	0,13	0,01	-0,18	-0,33	-0,46	-0,90	
26	0,79			0,76	0,64	0,55	0,40	0,29	0,19	-0,15	
28	1,29			1,24	1,16	1,10	0,99	0,91	0,84	0,60	
30	1,79			1,73	1,68	1,65	1,59	1,54	1,50	1,36	
0,50	0,078			14	-1,42	-1,42	-1,50	-1,66	-1,91	-2,10	-2,25
		16	-1,01	-1,01	-1,10	-1,25	-1,47	-1,64	-1,77	-2,23	
		18	-0,59	-0,59	-0,70	-0,83	-1,02	-1,17	-1,29	-1,69	
		20	-0,18	-0,18	-0,30	-0,41	-0,58	-0,71	-0,81	-1,15	
		22	0,24	0,23	0,12	0,02	-0,12	-0,22	-0,31	-0,60	
		24	0,66	0,63	0,54	0,46	0,35	0,26	0,19	-0,04	
		26	1,07	1,03	0,96	0,90	0,82	0,75	0,69	0,51	
		28	1,48	1,44	1,39	1,35	1,29	1,24	1,20	1,07	
		0,75	0,116	12	-1,15	-1,15	-1,23	-1,35	-1,53	-1,67	-1,78
14	-0,81			-0,81	-0,89	-1,00	-1,17	-1,29	-1,39	-1,70	
16	-0,46			-0,46	-0,56	-0,66	-0,80	-0,91	-1,00	-1,28	
18	-0,12			-0,12	-0,22	-0,31	-0,43	-0,53	-0,61	-0,85	
20	0,22			0,21	0,12	0,04	-0,07	-0,15	-0,21	-0,42	
22	0,57			0,55	0,47	0,41	0,32	0,25	0,20	0,02	
24	0,92			0,89	0,83	0,78	0,71	0,65	0,60	0,46	
26	1,28			1,24	1,19	1,15	1,09	1,05	1,02	0,91	
1,00	0,155			10	-0,97	-0,97	-1,04	-1,14	-1,28	-1,39	-1,47
		12	-0,68	-0,68	-0,76	-0,84	-0,97	-1,07	-1,14	-1,38	
		14	-0,38	-0,38	-0,46	-0,54	-0,66	-0,74	-0,81	-1,02	
		16	-0,09	-0,09	-0,17	-0,24	-0,35	-0,42	-0,48	-0,67	
		18	0,21	0,20	0,12	0,06	-0,03	-0,10	-0,15	-0,31	
		20	0,50	0,48	0,42	0,36	0,29	0,23	0,18	0,04	
		22	0,81	0,78	0,73	0,68	0,62	0,57	0,53	0,41	
		24	1,11	1,08	1,04	1,00	0,95	0,91	0,88	0,78	
		1,50	0,233	10	-0,29	-0,29	-0,36	-0,42	-0,50	-0,56	-0,60
14	0,17			0,17	0,11	0,06	-0,01	-0,05	-0,09	-0,20	
18	0,64			0,62	0,57	0,54	0,49	0,45	0,42	0,34	
22	1,12			1,09	1,06	1,03	1,00	0,97	0,95	0,89	
26	1,61			1,58	1,56	1,55	1,52	1,51	1,50	1,46	
2,00	0,310	10	0,15	0,15	0,09	0,06	0,00	-0,03	-0,06	-0,15	
		14	0,54	0,53	0,49	0,46	0,41	0,38	0,36	0,29	
		18	0,94	0,92	0,89	0,86	0,83	0,81	0,79	0,74	
		22	1,35	1,32	1,30	1,28	1,26	1,24	1,23	1,19	
		26	1,76	1,74	1,73	1,72	1,70	1,70	1,69	1,66	

Tabla 10.- Nivel de Actividad 104.4 W/m²

Clothing		Operative temperature °C	Relative air velocity m/s							
clo	m ² °C/W		< 0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00
0	0	18		-2,00	-2,02	-2,35				
		20		-1,35	-1,43	-1,72				
		22		-0,69	-0,82	-1,06				
		24		-0,04	-0,21	-0,41				
		26		0,59	0,41	0,26				
		28		1,16	1,03	0,93				
		30		1,73	1,66	1,60				
		32		2,33	2,32	2,31				
0,25	0,039	16		-1,41	-1,48	-1,69	-2,02	-2,29	-2,51	
		18		-0,93	-1,03	-1,21	-1,50	-1,74	-1,93	-2,61
		20		-0,45	-0,57	-0,73	-0,98	-1,18	-1,35	-1,93
		22		0,04	-0,09	-0,23	-0,44	-0,61	-0,75	-1,24
		24		0,52	0,38	0,28	0,10	-0,03	-0,14	-0,54
		26		0,97	0,86	0,78	0,65	0,55	0,46	0,18
		28		1,42	1,35	1,29	1,20	1,13	1,07	0,90
		30		1,88	1,84	1,81	1,76	1,72	1,68	1,57
0,50	0,078	14		-1,08	-1,16	-1,31	-1,53	-1,71	-1,85	-2,32
		16		-0,69	-0,79	-0,92	-1,12	-1,27	-1,40	-1,82
		18		-0,31	-0,41	-0,53	-0,70	-0,84	-0,95	-1,31
		20		-0,07	-0,04	-0,14	-0,29	-0,40	-0,50	-0,81
		22		0,46	0,35	0,27	0,15	0,05	-0,03	-0,29
		24		0,83	0,75	0,68	0,58	0,50	0,44	0,23
		26		1,21	1,15	1,10	1,02	0,96	0,91	0,75
		28		1,59	1,55	1,51	1,46	1,42	1,38	1,27
0,75	0,116	10		-1,16	-1,23	-1,35	-1,54	-1,67	-1,78	-2,14
		12		-0,84	-0,92	-1,03	-1,20	-1,32	-1,42	-1,74
		14		-0,52	-0,60	-0,70	-0,85	-0,97	-1,06	-1,34
		16		-0,20	-0,29	-0,38	-0,51	-0,61	-0,69	-0,95
		18		0,12	0,03	-0,05	-0,17	-0,26	-0,32	-0,55
		20		0,43	0,34	0,28	0,18	0,10	0,04	-0,15
		22		0,75	0,68	0,62	0,54	0,48	0,43	0,27
		24		1,07	1,01	0,97	0,90	0,85	0,81	0,68
1,00	0,155	10		-0,68	-0,75	-0,84	-0,97	-1,07	-1,15	-1,38
		12		-0,41	-0,48	-0,56	-0,68	-0,77	-0,84	-1,05
		14		-0,13	-0,21	-0,28	-0,39	-0,47	-0,53	-0,72
		16		0,14	0,06	0,00	-0,10	-0,16	-0,22	-0,39
		18		0,41	0,34	0,28	0,20	0,14	0,09	-0,04
		20		0,68	0,61	0,57	0,50	0,44	0,40	0,28
		22		0,96	0,91	0,87	0,81	0,76	0,73	0,62
		24		1,24	1,20	1,17	1,12	1,08	1,05	0,94
1,50	0,233	10		-0,04	-0,11	-0,16	-0,24	-0,29	-0,33	-0,46
		14		0,39	0,33	0,29	0,23	0,18	0,15	0,04
		18		0,82	0,78	0,75	0,70	0,66	0,64	0,56
		22		1,27	1,24	1,22	1,18	1,16	1,14	1,08
2,00	0,310	10		0,34	0,30	0,26	0,21	0,18	0,15	0,07
		14		0,70	0,66	0,64	0,60	0,57	0,55	0,49
		18		1,07	1,04	1,02	0,99	0,97	0,95	0,90
		22		1,45	1,42	1,42	1,39	1,38	1,37	1,33

Tabla 11.- Nivel de Actividad 116 W/m²

Clothing		Operative temperature °C	Relative air velocity m/s							
clo	m ² °C/W		< 0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00
0	0	14				-1,92	-2,49			
		16				-1,36	-1,87			
		18				-0,80	-1,24			
		20				-0,24	-0,61			
		22				0,34	0,04			
		24				0,93	0,70			
		26				1,52	1,36			
		28				2,12	2,02			
0,25	0,039	12				-1,19	-1,53	-1,80	-2,02	
		14				-0,77	-1,07	-1,31	-1,51	-2,21
		16				-0,35	-0,61	-0,82	-1,00	-1,61
		18				0,08	-0,15	-0,33	-0,48	-1,01
		20				0,51	0,32	0,17	0,04	-0,41
		22				0,96	0,80	0,68	0,57	0,24
		24				1,41	1,29	1,19	1,11	0,87
		26				1,87	1,78	1,71	1,65	1,45
0,50	0,078	10				-0,78	-1,00	-1,18	-1,32	-1,79
		12				-0,43	-0,64	-0,79	-0,92	-1,34
		14				-0,09	-0,27	-0,41	-0,52	-0,90
		16				0,26	0,10	-0,02	-0,12	-0,45
		18				0,61	0,47	0,37	0,28	0,00
		20				0,96	0,85	0,76	0,68	0,45
		22				1,33	1,24	1,16	1,10	0,91
		24				1,70	1,63	1,57	1,53	1,38
0,75	0,116	10				-0,19	-0,34	-0,45	-0,54	-0,83
		12				0,10	-0,03	-0,14	-0,22	-0,48
		14				0,39	0,27	0,18	0,11	-0,12
		16				0,69	0,58	0,50	0,44	0,24
		18				0,98	0,89	0,82	0,77	0,59
		20				1,28	1,20	1,14	1,10	0,95
1,00	0,155	10				0,22	0,12	0,04	-0,02	-0,22
		14				0,73	0,64	0,58	0,53	0,38
		18				1,24	1,18	1,13	1,09	0,97
		22				1,77	1,73	1,69	1,67	1,59
1,50	0,233	10				0,76	0,70	0,66	0,62	0,52
		14				1,17	1,12	1,09	1,06	0,98
		18				1,58	1,54	1,52	1,50	1,44
2,00	0,310	10				1,14	1,10	1,07	1,05	0,99
		14				1,48	1,45	1,43	1,41	1,36
		18				1,84	1,81	1,80	1,79	1,75

Tabla 12.- Nivel de Actividad 174 W/m²

Clothing		Operative temperature °C	Relative air velocity m/s							
clo	m ² °C/W		< 0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00
0	0	12						-2,22	-2,66	
		14						-1,55	-1,93	
		16						-0,86	-1,20	-2,51
		18						-0,18	-0,46	-1,57
		20						0,52	0,29	-0,63
		22						1,22	1,04	0,33
		24						1,94	1,81	1,29
0,25	0,039	26						2,66	2,58	2,26
		10						-1,06	-1,29	-2,09
		12						-0,57	-0,78	-1,50
		14						-0,08	-0,27	-0,90
		16						0,41	0,25	-0,29
		18						0,91	0,78	0,31
		20						1,42	1,31	0,93
0,50	0,078	22						1,93	1,84	1,55
		24						2,45	2,39	2,17
		10						-0,06	-0,19	-0,62
		12						0,33	0,21	-0,18
		14						0,72	0,61	0,27
		16						1,11	1,02	0,73
		18						1,51	1,43	1,18
0,75	0,116	20						1,91	1,85	1,64
		22						2,32	2,27	2,11
		10						0,60	0,52	0,25
		12						0,92	0,84	0,61
		14						1,24	1,18	0,97
		16						1,57	1,51	1,33
		18						1,90	1,85	1,70
1,00	0,155	20						2,23	2,19	2,07
		10						1,04	0,99	0,81
		14						1,60	1,55	1,41
1,50	0,233	18						2,16	2,13	2,03
		10						1,61	1,58	1,48
		14						2,05	2,02	1,95
2,00	0,310	10						1,95	1,94	1,88
		14						2,32	2,31	2,26

Tabla 13.- Nivel de Actividad 232 W/m²

Bibliografía

Allard F., Santamouris M. (1998) Natural Ventilation in Buildings: A Design Handbook, New York, Estados Unidos.

Alter, L. (2008). Windation Generator Inspired by Ancient Wind Catchers. Recuperado de: <http://www.treehugger.com/renewable-energy/windation-generator-inspired-by-ancient-wind-catchers.html>

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Condition Engineers, Inc. (ASHRAE), (2004) Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, Estados Unidos, Atlanta.

ASEPEYO. (2005). Confort Térmico. Asistencia Sanitario Económica para Empleados y Obreros, Mutualidad de Previsión Social España. Barcelona, España.

Bassiouny R., Koura N. (2008). An analytical and numerical study of solar chimney use for room natural ventilation. Energy and Buildings, 40, 865–873

Castejón E., (1983) NTP 74: Confort térmico - Método de Fanger para su evaluación, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), Barcelona, España, 1983.

Çengel, Y., Boles M. (2012) Termodinámica. Edit. McGraw Hill, México.

Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), Instrumentos Meteorológicos: Dirección del viento, (s.f.) Recuperado el 10 de Agosto de 2016, de:

http://www.bvsde.paho.org/cursoa_meteoro/lecc5/lecc5_2.html

Comisión Nacional de Vivienda, Glosario, (s.f.) Recuperado el 25 de Abril de 2016, de: <http://www.conavi.gob.mx/glosario>.

Cool Vent, The Natural Ventilation Simulation Tool by MIT, About Cool-Vent, (s.f.) Recuperado el 27 de Febrero de 2016, de: <http://coolvent.mit.edu/documentation/>

Chen Z. (2003). An experimental investigation of a solar chimney model with uniform wall heat flux, *Building and Environment* 38, 893 – 906

Di Ruscio, N, El Genio Argentino de la “Casa Solar”: Elías Rosenfeld, (s.f.) Recuperado el 4 de Abril de 2016, de:
<http://nicolasdiruscio.com.ar/wordpress/?p=1293>

Gil S., Ley del enfriamiento de Newton, (s.f.) Recuperado el 28 de Octubre de 2016, de:
<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/estadistica/otros/enfriamiento/enfriamiento.htm>

Incropera, F. (1999) *Fundamentos de Transferencia de Calor*, Edit. Prentice Hall México.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2015) *Principales Resultados de la Encuesta Intercensal 2015 Estados Unidos Mexicanos*, México.

ISO, Bseniso 07730 1995 moderate thermal environments determination of the pmv and ppd indices an. (s.f.) Recuperado el 28 de Octubre de 2016, de:
<http://www.slideshare.net/karimhashim/bs-en-iso-07730-1995-moderate-thermal-environments-determination-of-the-pmv-and-ppd-indices-an-52151640>

ITM José C Paz. (2016). Estación Meteorológica Automática. Recuperado de:
<http://tiempoenjcpaz.com.ar/hoylescont/19.html>

Janssen John. (1999) The History of Ventilation and Temperature Control. ASHRAE Journal.

Kirchner, A. (2005). Determinación del índice de estrés térmico WBGT durante la celebración del 20º Campeonato Europeo de Atletismo en Barcelona. Universidad de Barcelona, España

Leuca. (2016). Ventilación de Galpones. Recuperado de:
<http://www.viarural.com.uy/agricultura/silos/leuca/ventilacion-de-galpones.htm>

Mathur J., Bansal N. (2006). Experimental investigations on solar chimney for room ventilation. Solar Energy, 80, 927–935

Mealla L., Condori M., Saravia L. (2001). Estudio y modelización de un nuevo diseño de chimenea solar. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, 5, 0329-5184

Menchaca M. (2012) Study of Airflow Thermal Stratification in Naturally Ventilated Rooms, Instituto Tecnológico de Massachusetts, Estados Unidos.

Morillón G., D. (1993). BIOCLIMÁTICA. Sistemas Pasivos de Climatización. Guadalajara: Universidad de Guadalajara.

Mundo HVACR. Chimeneas solares, ventilación natural (s.f.) Recuperado el 28 de Abril de 2015, de:
<https://www.mundohvacr.com.mx/mundo/2013/08/chimeneas-solares-ventilacion-natural/>

Mundo HVACR. Utilidad y uso de la ventilación bioclimática (s.f.) Recuperado el 28 de Abril de 2015, de:

<https://www.mundohvacr.com.mx/mundo/2014/06/utilidad-y-uso-de-la-ventilacion-bioclimatica/>

Narváez J., Quezada K., Villavicencio P. (2015). Criterios Bioclimáticos Aplicados a los cerramientos verticales y horizontales para la vivienda en Cuenca. Tesis. Universidad de Cuenca. Cuenca. Ecuador

Neila, J. (2014). CAPTADORES DE VIENTO EN EL DESIERTO. Recuperado de: <http://sostenibilidadjavierneila.blogspot.mx/2014/09/captadores-de-viento-en-el-desierto.html>

NOAA. (2016). JetStream Max: Beaufort Wind Force Scale. Recuperado de: http://www.srh.noaa.gov/jetstream/ocean/beaufort_max.html

NREL. (2009). Zion Visitor Center. Recuperado de: http://greenbuildingbrain.org/items/zion_visitor_center

Ong K. (2003). A mathematical model of a solar chimney. *Renewable Energy*, 28, 1047–1060

Peña L., Becerra L. (2010) Impacto de la Nueva Fórmula de la Densidad del Aire CIPM-2007, Centro Nacional de Metrología, México.

RACC (2015) Efecto de la radiación solar en la temperatura interior del vehículo. Recuperado de:

<chrome-extension://oemmndcblboiebfnladdacbdm/adm/http://s01.s3c.es/imagen/doc/2015-08-06/estudio-sol-coche-racc.pdf>

Rodríguez R., Benito Á., Portela A. (2004) Meteorología y Climatología Unidad Didáctica, Edit. FECYT, España

Sánchez J., Salmerón J.S., Sánchez F.J., Álvarez S. Molina J.L. (2012) Ventilación natural: estudio aerodinámico mediante CFD de extractores pasivos y captadores de viento, Revista ingeniería de la Construcción, 40-56

Soto, J. El Método de Fanger. Norma UNE-EN ISO 7730, (s.f.) Recuperado el 27 de Junio de 2016, de:

http://tecno.sostenibilidad.org/index.php?option=com_content&task=view&id=424&Itemid=50

Swami M., Chandra S. (1987) Procedures for Calculating Natural Ventilation Airflows Rates in Buildings, Florida Solar Energy Center, Estados Unidos.

Tippens P., (2001) Física, Conceptos y Aplicaciones, Edit. McGraw Hill, Sexta Edición, México.

Threlkeld, I. (1973) Ingeniería del Ámbito Térmico, Edit. Prentice Hall, España.

Windfinders. (2016). Distribución de la Dirección del Viento en %. Recuperado de: https://es.windfinder.com/windstatistics/merida-rejon_airport

Yarke, E. (2005) Ventilación natural de edificios: fundamentos y métodos de cálculo para aplicación de ingenieros y arquitectos. Edit. Nobuko, Argentina

Zhai X.Q., Z.P. Song, R.Z. Wang. (2011). A review for the applications of solar chimneys in buildings. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15, 3757–3767