



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura

Campo de conocimiento: Tecnología

MECANISMOS DE VENTILACIÓN NATURAL EN EDIFICIOS CORPORATIVOS EN LA CIUDAD DE MÉXICO

Tesis que para optar por el grado de

Maestro en Arquitectura, Campo de Tecnología

Presenta

César Ignacio Santos Morell

Director de Tesis

Mtro. Antonio Bautista Kuri – Facultad de Arquitectura

Comité Sinodal

Dra. Gemma Luz Verduzco Chirino – Facultad de Arquitectura

Arq. Héctor Ferreiro León – Facultad de Arquitectura

Mtro. Leonardo Zeevaert Alcántara – Facultad de Arquitectura

Mtro. Arturo Valeriano Flores – Facultad de Arquitectura

México, Distrito Federal, Ciudad Universitaria

Diciembre del 2015



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México y su comunidad, por hacer esto posible desde mis estudios como universitario y consolidar este proceso.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo para el desarrollo de esta investigación tanto en México como en el extranjero.

Al programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura de la UNAM por el apoyo en todo momento desde la elección del tema hasta el proceso de titulación.

Al Mtro. Antonio Bautista Kuri por su apoyo, compromiso y dedicación al desarrollo del tema y a la posibilidad de seguir desarrollándome en diferentes aspectos de la arquitectura

A la Dra. Gemma por sus consejos, el aporte de su conocimiento y la constante perseverancia para mejorar en todos los aspectos de trabajo.

Al Mtro. Héctor Ferreiro León por el aporte al tema en sus clases y revisiones.

Al Mtro. Leonardo Zeevaeret Alcántara, al Mtro. Arturo Valeriano por la asesoría, consejos y aporte de las materias impartidas para el tema de investigación.

A la Universidad Politécnica de Catalunya, a la Dra. Helena Coch por su aceptación y constante apoyo para poder realizar una estancia de investigación. Al profesor Jaume Roset y al Mtro. Luis por compartir su conocimiento y apoyo durante mi estancia.

A Dafne Rosales Juárez por ser ese apoyo, consejera, amiga, compañera de vida que está en cada uno de mis pasos y decisiones. Gracias por todo, chaparra.

A mi familia, mi papá César Santos que me cuida día a día, mi hermana María Fernanda Santos por ser mi mejor amiga y a un ángel que desde el cielo me cuida y protege, mi mamá Guadalupe Morell.

RESUMEN

La presente investigación aborda el estudio de los sistemas de ventilación natural, la chimenea solar como un componente arquitectónico de un sistema pasivo de climatización y la ventilación artificial como método conjunto de ventilación en edificios de oficina de gran altura en la ciudad de México, utilizando como ejemplo de aplicación las oficinas del nuevo edificio de posgrado de la Universidad Nacional Autónoma de México UNAM.

Se implementa la chimenea solar como sistema pasivo de ventilación, ya que por medio de la captación de la radiación solar a través de ella, se llega a generar el movimiento o flujo del aire a través del espacio donde ingresa el viento. Mediante dicha chimenea, también se produce su salida, logrando condiciones de confort y habitabilidad para el usuario en el espacio ocupado.

El estudio del estado del arte de la ventilación natural y del “efecto de chimenea” para el componente arquitectónico de la chimenea solar con el complemento de los sistemas mecánicos, nos permite plantear un sistema de ventilación para satisfacer las necesidades de confort del usuario y reducir el uso energético de los sistemas mecánicos, pero que se consideran dentro del proyecto para su uso e implementación en el espacio mediante estrategias previas de diseño del edificio.

Lo anterior, pues ya que el 80% del impacto sobre la gestión de los recursos que utilizará un edificio a lo largo de su vida se determinan en la fase del anteproyecto o de diseño, por lo que al tomar en cuenta los factores de la responsabilidad de habitabilidad y el uso correcto de los recursos podremos lograr una adecuada eficiencia energética y condiciones de confort en los espacios diseñados.

Se desarrolla un modelo de simulación del espacio a ventilar mediante los sistemas analizados, en un programa computacional de cálculo energético (Design Builder), el cual nos permite por medio de parámetros CFD¹ determinar rangos de confort, ahorro energético, caudales del viento y establecer los valores de diseño de la chimenea para valorar resultados de las diferentes variables mediante módulos de análisis y gráficas comparativas, todo esto con el objeto de su aplicación en la arquitectura.

¹ Computational fluid dynamics

Palabras clave: Ventilación natural, chimenea solar, eficiencia energética, confort.

Índice

Introducción.....	5
Capítulo 1. Marco Teórico	10
1.1 Ventilación natural	11
1.2 Características físicas de la ventilación	13
1.2.1 Ventilación por el efecto Stack	13
1.2.2 Ventilación por conducción del viento	14
1.2.3 Flujo de aire por aberturas	15
1.3 Sistemas de ventilación natural	15
1.3.1 Ventilación unilateral	16
1.3.2 Ventilación cruzada	16
1.3.3 Ventilación efecto chimenea	17
1.3.4 Ventilación combinada	18
1.4 Limpieza y calidad del aire.....	18
1.5 Modelos y cálculos de ventilación natural.....	19
1.5.1 Cálculos mediante software	19
1.5.2 Modelos de cálculos numéricos	19
1.6 Eficiencia energética en la ventilación natural	19
1.7 Chimenea solar.....	20
1.7.1 Estado del arte de la chimenea solar	23
1.7.1.1 Cálculos físico matemáticos	24
1.7.1.2 Modelos a escala	24
1.7.1.3 Modelos en software	24
1.7.1.4 Parámetros de diseño de una chimenea solar	25
1.8 Metodología del diseño bioclimático	25
1.8.1 Metodología Olgyay	25
1.8.2 Metodología Givoni	26
1.8.3 Metodología Szokolay	26
1.8.4 Metodología Kean Yeang.....	27
1.8.5 Metodología Morillón.....	27
1.8.6 Metodología Freixanet.....	28

1.9 Sistemas mecánicos.....	29
1.10 Conclusiones capítulo 1.....	31
Capítulo 2. El confort en la ventilación	33
2.1 Relación térmica ser vivo-ambiente.....	35
2.2 Condiciones para el confort térmico	36
2.3 Índices de confort	38
2.4 Conclusiones capítulo 2.....	39
Capítulo 3. Experimentación comparativa de sistemas de ventilación natural	40
Introducción	41
3.1 Metodología de la experimentación de sistemas de ventilación natural	41
3.2 Software de simulación.....	43
3.2.1 Design Builder	43
3.2.2 EnergyPlus.....	44
3.2.3 CFD.....	44
3.3 Análisis del sitio	45
3.3.1 Caso de estudio	45
3.4 Cálculo térmico – primera parte.....	55
3.5 Desarrollo de simulación – Segunda parte	56
3.5.1 Modelo en 3D del conjunto en design builder	56
3.5.2 Componente arquitectónico Chimenea solar como sistema pasivo de ventilación	59
3.6 Conclusiones capítulo 3.....	64
Capítulo 4. Análisis de Resultados.....	66
4.1 Análisis de resultados del cálculo térmico – primera parte de la experimentación	67
4.1.1 Temperatura interior resultado del Cálculo Térmico con cálculo matemático Qload día cálido en la oficina OFS4 del segundo nivel.....	67
4.1.2 Temperatura interior resultado del Cálculo Térmico con cálculo matemático Qload día frío en la oficina OFS4 del segundo nivel.....	68
4.2 Resultado de la simulación 1 edificio existente. Ventilación natural actual (VNA).....	70

4.2.1 Temperatura interior por planta edificio “E” Ventilación natural actual (VNA)	70
4.2.2 Ganancias internas por planta edificio “E” estado actual	71
4.2.3 Temperatura Oficina S4 segundo nivel OFS4	72
4.2.4 Comparativa de ganancias internas Oficinas S4 y oficinas N6 por planta	73
4.3 Resultados de la simulación 4 Chimenea solar	74
4.3.1 Análisis de resultados oficina OS4 con la incorporación de la chimenea solar. (CFD).....	74
4.3.2 Análisis de la velocidad de del viento y su distribución	77
4.3.3 Análisis de las diferentes chimeneas con la variable de altura en el tiro en la fachada sur.....	78
4.4 Resultados y comparativas de las diferentes simulaciones. VNA, VC, VAA, VCH	79
Capítulo 5. Conclusiones y recomendaciones.....	81
Bibliografía	85

Introducción

De todo lo que usamos en nuestra vida diaria, la energía es fundamental para el desarrollo del hombre. Es un recurso necesario para el correcto funcionamiento de una edificación y aunque su consumo y producción son costosos, generando altos daños ambientales, es primordial en el día a día de nuestras ciudades.

Uno de los aspectos que más nos llevan a utilizar la energía en la arquitectura, es el uso de sistemas de aire acondicionado en edificaciones verticales, “que representan aproximadamente el 40% consumo total energético de un edificio”.²

En el caso de México, el consumo energético por sistemas de climatización en edificios de oficina, representa el 35% del consumo total de energía de igual modo que en otras partes del mundo³. Al reducir estos gastos, podremos decir que se ayuda a una reducción de la huella de carbono CO₂ por la producción y consumo de la energía y por ende una reducción de daño al medio ambiente y ahorro en la economía del usuario por el costo de ésta.

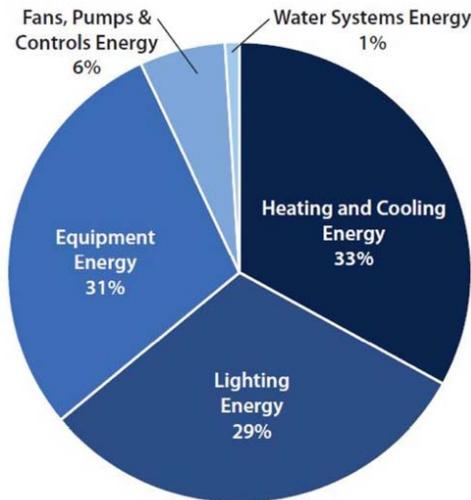


Gráfico 1.1: Gráfico sobre el consumo general en edificios de oficina según su ámbito.

Fuente: US Department of energy's reference building energy models for existing large commercial buildings built after 1980, across 16 US cities, in various climates

En el caso de la construcción de edificios de gran altura son cada día más necesarios para la densificación de las ciudades y de los terrenos, ya que concentran mayor cantidad de

² Fuente: US Department of energy's reference building energy models for existing large commercial buildings.

³ Fuente: Saint Global Ecophone, "Impacto sobre la regulación térmica en oficinas". México, 2013.

personas en un menor espacio y por esto, se disponen menos recursos para la infraestructura de ellos, aunque representen una serie de problemas desde el punto de vista energético debido a la climatización al tener una gran demanda de energía y a estas grandes alturas no es común tener sistemas manuales de abertura de ventanas que faciliten los sistemas pasivos de climatización.

Este tipo de edificación son de gran aportación para la reducción de un daño ecológico ya que se reduce el gran impacto a grandes extensiones de tierra y es más fácil generar criterios y estrategias de diseño bioclimáticos en ellos⁴. Pero uno de sus problemas ha sido el diseño de envolventes herméticas y cerradas al exterior por lo que no consideran la ventilación natural como un recurso de climatización.

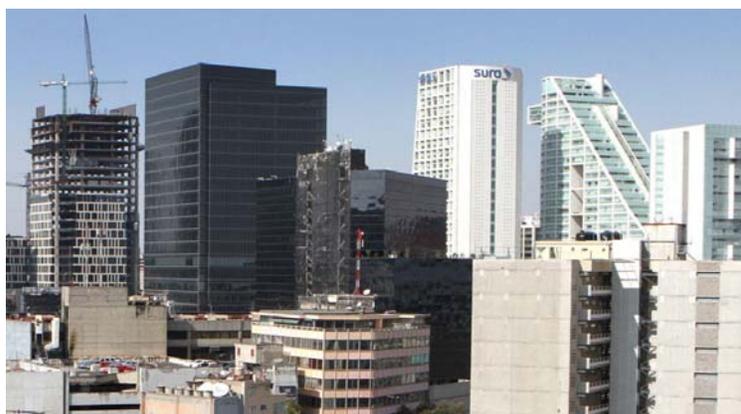


Imagen 2.1: Entorno urbano de edificios corporativos de gran altura en la calle de Reforma de la ciudad de México.

Fuente: skyscraperlife.com

La dependencia que se encarga de dar la información relacionada en energía en los Estados Unidos, *US Energy Information Administration*, pronostica que en los próximos 15 años el consumo energético mundial incrementará de manera considerable en países en vía de desarrollo. Según Butler (2008) indica que los edificios representan casi la mitad del consumo mundial de energía y en esta misma proporción son los que más generan gases de efecto invernadero.

⁴ Huitrón, R. Bioclimática vertical CN + 4N : climatización natural para edificaciones de más de 4 niveles.

Dado esto y el alto costo por el uso de energía eléctrica, es necesario empezar a buscar maneras de climatización con el uso de recursos naturales para disminuir estos costos y efectos.

Para saber el porqué del desarrollo de esta investigación, se analiza el estado de la construcción de edificios corporativos de la ciudad de México donde se deben conocer diferentes aspectos sobre su edificación que se muestra en el gráfico 1 donde se indica el porcentaje que representa para el PIB Nacional, el porcentaje de edificación en la ciudad de México, los metros cuadrados que se destinan a la construcción de edificios corporativos y como se da el consumo energético en un edificio corporativo mostrado en el gráfico 2.

La construcción de edificios corporativos en la ciudad de México está en constante crecimiento y como parte de su desarrollo se observa lo siguiente:

- Representa el 7% del PIB Nacional
- El 20% de la construcción del país se da en el Distrito Federal
- El 15% de la construcción en el DF está destinadas a edificios corporativos.⁵



Gráfico 1.2: Porcentajes de la construcción en México sobre la economía nacional y el total de m2 construidos en el DF destinados a oficinas. Fuente: elaboración propia con datos de la (CMIC) Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción.

⁵ Fuente: Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción CMIC 2011

Fuente: INEGI, SCNM Sistema de Cuentas Nacionales de México Producto Interno Bruto por entidad federativa

Fuente: Revista OBRAS "Mexican Business web" <http://www.obrasweb.mx/construccion/2013/04/01/el-df-construye-un-millón-de-metros-de-edificios-a-y-a> CB Richard Ellis

El consumo energético en edificios corporativos del Distrito Federal⁶



Gráfico 2: Porcentajes sobre el reparto del consumo energético en edificios corporativos.

Fuente: elaboración propia con datos de Saint Global Ecophone.

Por lo tanto, esta investigación busca profundizar en el estudio de estrategias de diseño para la climatización de un edificio mediante la ventilación natural con el uso de la chimenea solar como sistema pasivo, el ahorro energético obtenido por su aplicación y el confort térmico en el usuario al interior del edificio, pero con el respaldo de los sistemas mecánicos de climatización al interior en caso de ser necesario, considerando los espacios e instalaciones para su ubicación y evitar adaptaciones posteriores que afecten el diseño del edificio como se observa en la Figura 3.

Los estudios de los diferentes temas a investigar han sido generados por diferentes autores en cada uno de ellos, los cuales se analizan para determinar conclusiones que den una nueva aportación a la investigación.

⁶ Fuente: Saint Global Ecophone, "Impacto sobre la regulación térmica en oficinas". México, 2013



Figura 3: Equipos de ventana ubicados en la fachada de un edificio por una mala estrategia de diseño de climatización. Sistemas unitarios de expansión directa

Fuente: www.que.es

Como principios fundamentales de esta investigación, podemos identificar los siguientes factores: la ventilación natural, la chimenea solar como elemento arquitectónico de un sistema pasivo de ventilación aplicada a un espacio y el confort térmico, analizando diferentes días del año en donde se tienen las mayores y menores temperaturas a lo largo de éste.

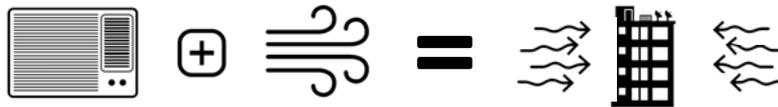


Figura 4: Iconografía esquemática del sistema. Desarrollo: propio

Fuente de imágenes: thenounproject.com

Dentro de este tema de investigación y dado lo descrito a considerar, podemos analizar los diferentes tipos de literatura dentro de la ventilación.

-Ventilación Natural: Sistemas pasivos de ventilación, chimenea solar, metodología del diseño bioclimático, confort.

-Sistemas mecánicos

Finalmente, esta investigación hace un breve estudio de los sistemas de ventilación natural, con el comportamiento y principios básicos del viento y se profundiza en el desarrollo de la chimenea solar como elemento arquitectónico a un método de sistema pasivo de ventilación a un espacio arquitectónico.

Capítulo 1. Marco Teórico

En la actualidad existen diversos estudios sobre la ventilación natural en edificios de oficinas de gran altura, en ellos se tiene información desarrollada a lo largo de los últimos años donde se muestran las aplicaciones de manera experimental, teórica, simulación a escala, simulaciones en software y de aplicación casos reales.

En el caso de la chimenea solar, los estudios realizados llevan a una amplia difusión bibliográfica referente a su eficiencia energética aunque existen muy pocos casos de su aplicación a la arquitectura en donde nuevas investigaciones muestran principios de ésta en un espacio arquitectónico⁷.

1.1 Ventilación natural

La ventilación natural es la manera por la cual se puede suministrar aire natural a un espacio interior o cerrado eliminando el uso de los sistemas mecánicos, buscando la renovación del aire interior para mejorar las condiciones de la calidad del aire que ingresa, contribuyendo significativamente al confort térmico en las personas que lo habitan, esto con ciertas condiciones del aire que entra. En algunos casos, diferentes autores mencionan que la ventilación natural es aquella que se da sin el uso de energía eléctrica o cualquier otro apoyo mecánico⁸ y se logra por medio de diferencia de presiones que son originadas por dos diferentes fuerzas naturales que actúan separadas o en conjunto⁹. El viento externo y las diferencias de temperatura en el interior y exterior que se conocen como efecto *Stack* o chimenea.¹⁰

Esta se logra por el uso de las fuerzas motrices naturales del viento y la diferencia de temperatura para conseguir un flujo de ventilación para edificios. La forma simple de ventilación natural se limita a menudo a pequeña escala, casas o pequeños edificios de pocos niveles, proyectando construcciones poco profundas donde el ambiente interno está expuesto al exterior directamente a través de los respiraderos o ventanas operables.

7 Fuente: Parámetros de la chimenea solar. Juan Carlos León, Barcelona, España 2014

8 Fuente: GRATIA, E., BRUYÈRE, I. and DE HERDE, A., 2004. How to use natural ventilation to cool narrow office buildings. *Building and Environment*, 39(10), 1157-1170.

9 Fuente: OLGAY, V., 1963. *Design with climate. Bioclimatic approach to architectural regionalism: Some chapters based on cooperative research with Aladar Olgyay.*

10 Fuente: THOMAS, L., MARINO, B. and LINDEN, P., 2006. Ventilación natural de dos habitaciones: modelado en el laboratorio y resultados experimentales

Se caracterizan por su nula dependencia de energéticos convencionales, tales como combustibles fósiles y electricidad, contribuyendo de manera contundente al ahorro y uso razonable de recursos no renovables.

Al momento en que se inicia el desarrollo del diseño de un edificio se deben estudiar los sistemas naturales o pasivos más usados o conocidos en su gran mayoría para la ventilación de las edificaciones a diseñar.

En un inicio, se deberán usar todas las estrategias posibles para que se tenga una ventilación natural o pasiva donde se logre el confort interior de los espacios con un correcto manejo del flujo al interior, controlando la calidad del aire, la iluminación, la transmisión del calor que ingrese, humedad y velocidad del aire para no afectar los espacios y lograr calidad espacial.

La velocidad del aire interior, la temperatura y la calidad del aire tendrían respuestas más rápidas a los cambios en las condiciones externas. Por lo tanto, en su forma más simple, es poco probable ofrecer condiciones aceptables en climas severos que se caracterizan por veranos calurosos e inviernos fríos para su ventilación natural.

Entre los sistemas pasivos de climatización, los cuales han ido evolucionando y adaptándose según las necesidades del clima en donde se pretendan aplicar, está el de la chimenea solar, que es un sistema que puede proporcionar el sistema adecuado para edificaciones verticales de gran altura.

En el estudio de los sistemas de ventilación, se deben considerar diferentes factores para poder determinar cuál será el mejor o más adecuado para su implementación como parte del diseño del edificio. Debemos tomar en cuenta en principio las diferentes épocas del año y cómo afectarán a nuestro edificio, conocer el comportamiento de todos los climas tanto fríos en invierno, como cálidos en verano y qué antagonismo se tendrá en el sistema elegido según la fecha climática para su implementación. Para lograr una eficiente ventilación natural es necesario de manera rigurosa un conocimiento adecuado de las condiciones climáticas del sitio, como la orientación, ubicación y todo lo relacionado con su entorno.

En estos casos, diseñar una gran abertura, no garantiza que se tendrá una ventilación eficiente, ya que los sistemas de ventilación se caracterizan por el caudal de aire que lo hacen entrar o salir de un edificio, que renueva el aire interior y puede refrigerar a los ocupantes con el movimiento de aire que genera.

En casi todas las construcciones de edificios, existe el intercambio de aire con el exterior aun cuando sus aberturas estén cerradas y esto se da ya que muchos de sus materiales constructivos cuentan con mínimas fisuras o aberturas microscópicas, que dejan que el aire pase a través de ellos. A esto se le llama infiltración, es decir, ventilación no necesaria¹¹.

1.2 Características físicas de la ventilación

La ventilación debe cumplir con tres aspectos fundamentales.¹²

- Enfriamiento: por medio de la renovación del aire caliente en el interior.
- Confort térmico: por el contacto que el viento provoca en la piel con una velocidad adecuada para disipar el calor.
- Calidad del aire: por el intercambio del aire del exterior e interior. Renovación.

La ventilación natural en espacios arquitectónicos, se da como ya se ha mencionado, por las diferencias de presión que se crean por la disposición de los huecos dispuestos en las fachadas de los edificios. Esto como resultado del viento externo o las diferencias de temperatura entre el exterior y el interior, ya sea actuando cada una de ellas de manera individual o de manera conjunta.¹³

A continuación, se estudian diferentes conceptos del comportamiento físicos del viento aplicados en la ventilación natural.

1.2.1 Ventilación por el efecto Stack

La ventilación natural por el efecto Stack, es producido por las diferentes temperaturas entre el exterior y el interior en los diferentes espacios, lo que provoca las fuerzas que conducen el flujo del aire que se da por medio de calentamiento solar en la edificación causando las diferencias de densidad en el aire que provocan las diferencias de presión en el aire interior del edificio.¹⁴

11 Fuente: AWBI, H.B., 2003. Ventilation of buildings. 2ed. London etc.: Spon.

12 Fuente: GIVONI, B, 1992 Comfort, climate analysis building design guidelines. Energy and Buildings, 18 (1), 11-23.
VALDES, O. 1999. Ventilación de los edificios. Un enfoque integrados y energético.

13 Fuente: ALLARD, F., ALVAREZ, S. 1988. Fundamentals of natural ventilation in buildings. Ed James & James, Londres.

14 Fuente: LINDEN, P., 1999. The fluid mechanics of natural ventilation. ANNUAL REVIEW OF FLUID MECHANICS.

Esto de manera natural, al calentarse el aire asciende y se acumula a lo alto del espacio y el aire frío tiende a estar en la parte baja del espacio. En la Figura 1.1 podemos observar cómo se da la distribución de las presiones según la posición de aberturas

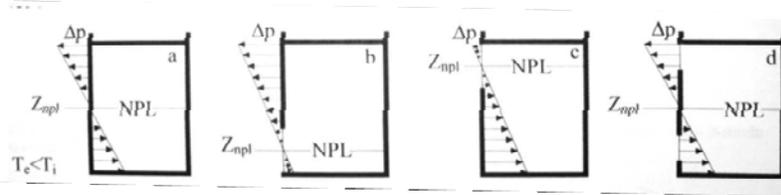


Figura 1.1 Esquema Neutral Pressure Level, diferentes configuraciones de aberturas en un espacio

Fuente: YARKE, Eduardo

1.2.2 Ventilación por conducción del viento

El movimiento del aire es creado por la flotabilidad, las diferencias de presión modificadas por la inercia y la fricción.¹⁵ En donde se definen los patrones de flujo del movimiento del aire.

- Laminar
- Turbulencia
- Separado

El viento al impactar a un edificio crea zonas de presión alta en la cara donde pega, posteriormente el viento rodea al edificio y se crean las zonas de baja presión tanto en caras laterales como en la posterior, como se observa en la Figura 1.2.¹⁶

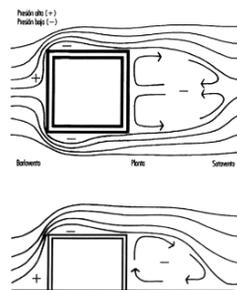


Figura 1.2 Comportamiento del viento alrededor de un edificio mostrando las diferentes presiones

.Fuente: Freixanet, Víctor. Ventilación natural.

¹⁵ Fuente: BOUTET, T.S., 18987. Controlling air movement. NY., M.C. Graw Hill.

¹⁶ Fuente: AGUILAR, BERNARDO. Ventilación natural para edificios en altura en la ciudad de Lima Perú. Barcelona. 2013

Con estas diferencias de presión se puede manejar la entrada y salida del viento dentro de los espacios del edificio según la ubicación de las aberturas.

La relación de la entrada y salida de las aberturas determinan la velocidad del viento al interior, en el caso de que la abertura de entrada es más pequeña que la de salida, se tendrá un incremento en la velocidad.

1.2.3 Flujo de aire por aberturas

La relación de la entrada y salida de las aberturas determinan la velocidad del viento al interior, en el caso de que la abertura de entrada sea más pequeña que la de salida, se tendrá un incremento en la velocidad.

La ubicación de las ventanas de ingreso del viento es de suma importancia dentro de un espacio, ya que eso determinará el flujo del aire a su interior Figura 1.3. La distribución en el espacio, su velocidad y las de salida no influyen de manera importante en dicho flujo.

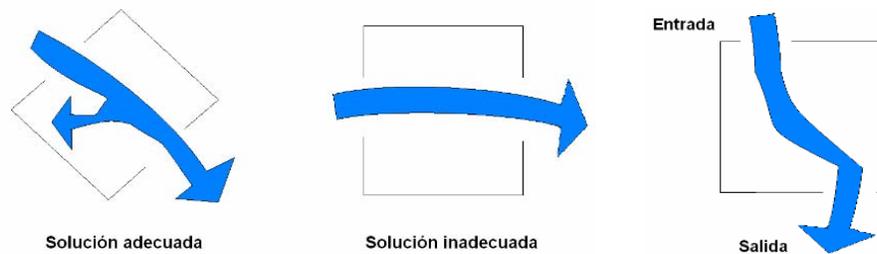


Figura 1.3: Ubicación de la abertura de entrada de aire en relación a la de su salida en un espacio.

Fuente: Atlas de ventilación natural. Dr. David Morillón Gálvez

1.3 Sistemas de ventilación natural

Con el conocimiento de los fundamentos físicos del viento y el flujo de éste, se pueden establecer diferentes sistemas o métodos de ventilación natural, en donde varios autores consideran tres como los principales:¹⁷

¹⁷ Fuente: AWBI, HAZIM. 2010. Basic concepts for natural ventilation of buildings. University of Reading. UK

1.3.1 Ventilación unilateral

Es el tipo de ventilación más común y más usada en la ventilación natural. Consiste en una simple abertura en una sola pared en donde tanto el aire que ingresa como el que sale se da por la misma abertura que puede ser una ventana o algún tipo de mecanismo de ventilación.

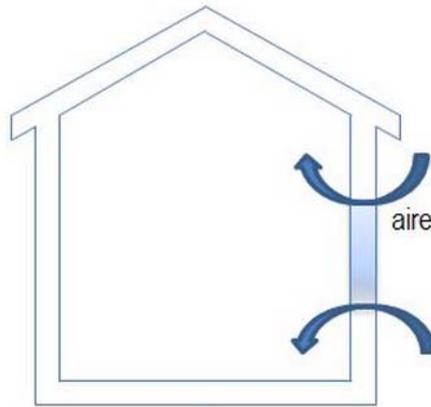


Figura 1.4: Ventilación unilateral. La ventilación se da por una sola abertura.

Fuente: cimadelglaciar.com

1.3.2 Ventilación cruzada

Consiste en la colocación de aberturas en los lados opuestos de dos fachadas, con esto se favorece el movimiento de aire de un espacio, la presión positiva en el edificio hace que el movimiento del aire se dé a través de los cuartos, esto si las ventanas a ambos lados de la sala están abiertas. El principio de la ventilación cruzada es, como todos los principios de ventilación natural, basarse en la exigencia de garantizar un clima interior confortable y fresco. Esto se hace con un consumo mínimo de energía y de bajo costo.

El flujo interior del aire depende de las aberturas y de la dimensión de estas en la parte que dan hacia el viento y en la cara opuesta, de la localización y del diseño de los diferentes elementos en las aberturas, capaces de conducir el viento en el interior de la edificación.

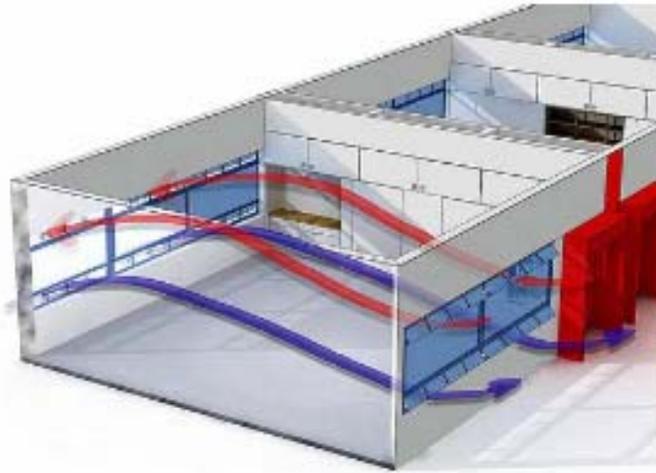


Figura 1.5: Ubicación adecuada de los espacios para aprovechar la ventilación cruzada

Fuente: Atlas de ventilación natural. David Morillón

Elaboración: Jaime Andrews, Universidad de Chile

1.3.3 Ventilación efecto chimenea

Esta se da al ingresar el aire del exterior por un punto bajo de la fachada y la abertura para la extracción del aire se encuentra en un punto más alto y opuesto del aire ingresado, todo esto se da debido a la diferencia de presiones, diferencia entre densidad del aire del interior y exterior como se explicó en la ventilación Stack.

El uso adecuado de este sistema se da cuando la diferencia de temperaturas entre el aire exterior y el aire interior es alta, ya que si la temperatura de ambas es similar, no trabaja de manera adecuada ya que no existe una gran diferencia de presiones y densidad.

La tipología de diseño en edificios más usada con este sistema son aquellos que cuentan con un patio central en el esquema del edificio, donde en la envolvente o fachadas principales ingresa el viento frío y en las fachadas que dan hacia el patio central o atrio se encuentran las aberturas en alto para la salida del aire caliente el cual de manera natural por estar a una temperatura más elevada irá a la parte superior de dicho patio o atrio para ser finalmente expulsado del edificio.

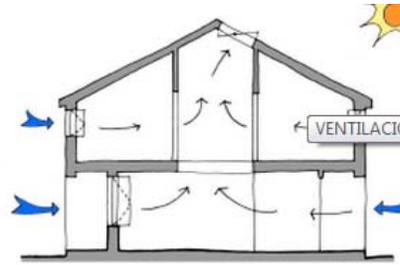


Figura 1.6: Funcionamiento de la ventilación por efecto chimenea en una vivienda.

Fuente: www.casa-pasiva.es

1.3.4 Ventilación combinada

Esta consiste en hacer una mezcla de los anteriores sistemas, a la vez en el edificio, esto debido a los diferentes espacios los cuales cada uno de ellos tendrá diferente configuración para su aplicación de algún sistema de ventilación.¹⁸

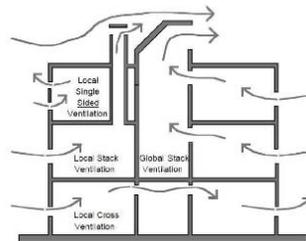


Figura 1.7: Ventilación natural combinada en un edificio según el espacio a ventilar.

Fuente: Emmerich. 2001

1.4 Limpieza y calidad del aire

La cantidad de aire requerida por una persona depende básicamente del tipo de actividad que desarrolle y de la calidad de aire disponible. Un aire puro contiene aproximadamente una proporción de 0.03% de CO₂ aunque en zonas urbanas esta concentración puede elevarse hasta 0.07 o 0.1%. Donde los efectos nocivos se presentan al rebasar la última

18 Fuente: SANTAMOURIS, M. WOUTERS, P. 2006. Building ventilation: the state of the art

cifra. Un adulto en reposo emite 0.015 m³/h de CO₂ tendremos que una persona requiere 30 m³/h de aire puro, pero esta cifra se puede elevar hasta 50 m³/h si es aire urbano.¹⁹

1.5 Modelos y cálculos de ventilación natural

Una vez que se ha analizado las características físicas de la ventilación y los diferentes sistemas de ventilación, podemos dar paso a los diferentes procesos para la realización de modelos y cálculos de la ventilación natural. Algunos de estos modelos son previos al diseño y son fundamentales para un correcto uso de la ventilación natural a nuestro favor, ya que con el apoyo de éstos, se pueden obtener mejores resultados al implementar los sistemas y estrategias de ventilación y estos son:

1.5.1 Cálculos mediante software

Los modelos de simulación se desarrollan por medio de CFD Computational Fluid Dynamics, herramientas de cálculo que realizan simulaciones de manera virtual, en donde utiliza modelos matemáticos y algoritmos que intervienen en los procesos similares a la realidad, son las herramientas más avanzadas para el cálculo de fluidos donde logra obtener resultados sobre la distribución del aire, velocidad, presiones, temperaturas de los espacios y del viento así como su flujo.²⁰

1.5.2 Modelos de cálculos numéricos

Estos se dan con base en cálculos numéricos con datos tabulados y guías prácticas para el diseño del edificio, donde ofrecen datos estimados para los parámetros para determinar posición, orientación y definición del proyecto. Basándose en cálculos matemáticos y fórmulas que implican teoría y experimentos.²¹

1.6 Eficiencia energética en la ventilación natural

Para lograr la eficiencia energética de un edificio, se debe considerar la ventilación natural como premisa de diseño, donde será base para el punto de partido del proyecto de nuestra

19 Fuente: FUENTES, FREIXANET, VICTOR. RODRIGUES, MANUEL. 2004. Ventilación natural, cálculos básicos para arquitectura. UAM, Azcapotzalco, México D.F.

20 Fuente: DESIGNBUILDER.COM

21 Fuente: YARKE, E. 2005. Ventilación natural en edificios: fundamentos y métodos de cálculo para aplicación de Ingenieros y Arquitectos. Buenos Aires. Nobuko.

edificación, ya que al considerarlo podremos implementar de manera adecuada los sistemas pasivos y así lograr la máxima reducción del consumo energético por los sistemas mecánicos.

En principio, la eficiencia energética se define como un punto de equilibrio, es decir, el máximo rendimiento con el menor gasto posible. Al implementar los sistemas de ventilación natural como la chimenea solar, se aporta la climatización del edificio con el menor consumo energético.

Algunos puntos a considerar en el diseño para lograr la eficiencia de los sistemas son: Regulación, zonificación, aislamiento térmico, control de los sistemas.

Es importante considerar esto, ya que los edificios en altura deben plantear una climatización mixta de los sistemas naturales con los sistemas mecánicos de ventilación por lo que una correcta planeación del uso de ambos sistemas, repercutirá en la eficiencia energética total del edificio.

1.7 Chimenea solar

Sistema para el mejoramiento de la ventilación pasiva de edificios en donde se usa como método la convección del aire calentado por la energía solar de modo pasivo. Su sistema consiste en un eje vertical que utiliza energía solar para realzar la ventilación natural del apilado de pisos en un edificio. A este sistema se le puede conocer como sistema de ventilación inducido por el sol.²²

Cuando el aire con mayor temperatura o caliente se eleva es porque es más ligero que el aire frío. En el momento en que el aire caliente sube a la parte más alta del edificio, o la azotea y un pequeño vacío se genera en la parte inferior del edificio y este absorbe el aire fresco por medio de unas ventanas abiertas que se encuentren cerca del piso y esto crea un flujo de aire natural. Debido a su naturaleza, este efecto necesita una diferencia de altura entre las ventanas que se usan para la entrada y salida del aire.

22 Fuente: SANTAMOURIS, M. WOUTERS, P. 2006. Building ventilation: the state of the art

En el caso de las ventanas en el techo se utilizan para dejar el aire utilizado fuera de nuestro interior, mientras que las ventanas que se encuentran en la zona inferior, toman aire fresco del ambiente en el edificio.

La succión creada en la base de la chimenea se puede utilizar para ventilar y para refrescar el edificio. En buena parte de los lugares donde se implementa es más sencillo utilizar y aprovechar los vientos dominantes del sitio, pero en días calmados y calientes este tipo de chimenea puede dar la ventilación donde de otra manera no habría ningún otro tipo de ventilación.

Dentro del sistema de ventilación por medio de la chimenea, se dan muchas variaciones y por ende se deberán considerar los siguientes aspectos básicos para su diseño y uso:

- Área del colector solar: la superficie se puede situar en la parte superior de la chimenea y puede incluir el eje del tiro entero. La orientación, aislamiento, tipo de pintura, las características térmicas de este elemento son cruciales para captar, conservar y utilizar la energía solar.
- El eje principal de la ventilación: la localización, la altura, la sección representativa y las características térmicas de esta estructura son también muy importantes. En donde se encuentra el acristalamiento donde se recibe la radiación solar, captándola y generando un efecto invernadero en el tiro.
- Los orificios de entrada y salida: las dimensiones, localización así como aspectos aerodinámicos de estos elementos son también significativos en el rendimiento.

Los métodos usuales utilizados en referencia a cálculos y conceptos de utilización son las paredes trombe como se observa en la Figura 1.8. Un muro Trombe o muro Trombe-Michel es un muro o pared orientada al sol, construida con materiales que puedan acumular calor bajo el efecto de masa térmica y siendo algunos de estos materiales tales como piedra, hormigón, adobe o agua, con lo cual se logra el calentamiento y combinado con un espacio de aire, una lámina de vidrio y ventilaciones formando un colector solar térmico²³. Dobles fachadas y cubiertas solares.

23 Fuente: David Wright. (2008). The Passive Solar Primer. Sustainable Architecture. Edit Schiffer. Atglen, Pa

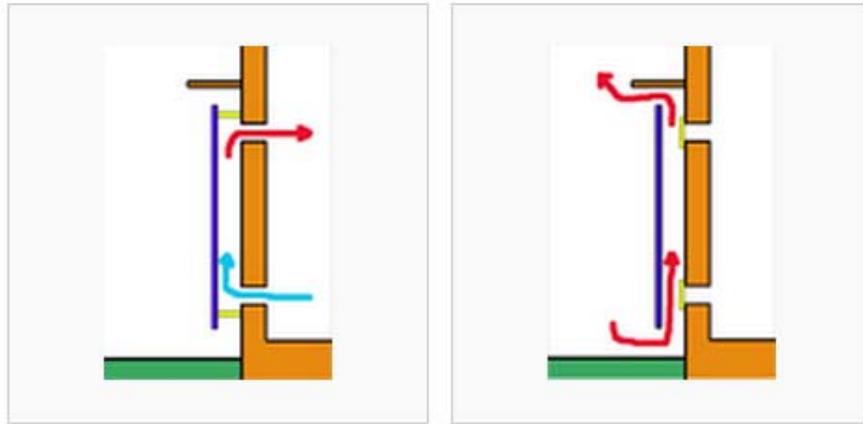


Figura 1.8: Esquema del funcionamiento de ventilación por muro trombe, como principio de la chimenea solar.
<http://www.aurestudio.es/muro-trombe/>

En la figura 1.9 podemos observar un esquema de los principios básicos de la chimenea, en la cual muestra una abertura de entrada, un caudal de salida y un tiro ubicado en la cubierta donde el recorrido del aire puede ser en un eje vertical o realizando un recorrido sobre la cubierta.²⁴

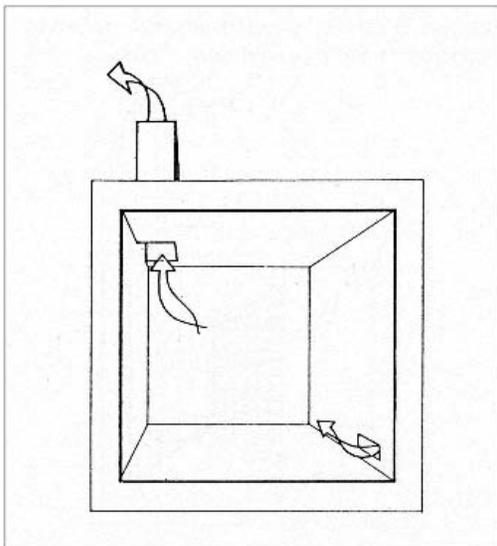


Ilustración 3 Efecto Chimenea. Fuente: Clima, Lugar y Arquitectura. Serra, Rafael.

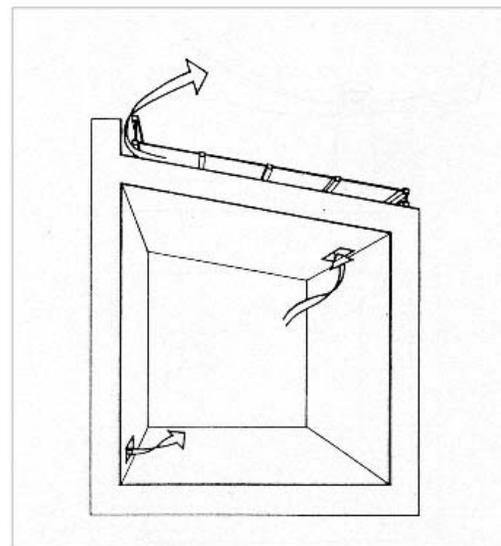


Ilustración 2 Efecto de cámara solar Fuente: Clima, Lugar y Arquitectura. Serra, Rafael.

Figura 1.9: Esquema del funcionamiento de ventilación por efecto chimenea en un espacio único.
Fuente: Clima, lugar y Arquitectura. Serra, Rafael.

24 Fuente: SERRA, RAFAEL. Clima, lugar y Arquitectura

En un prototipo de una chimenea solar como componente arquitectónico (Figura 1.10) se muestra el cuerpo del sistema con efecto chimenea donde se busca calentar el elemento vidriado para generar una alta temperatura al interior y generar la expulsión del aire a través de ésta por convección.



Imagen 1.10: Modelo de chimenea solar en azotea de una vivienda sin tiro en fachada.

Fuente: fotovoltáica.com

Este sistema utiliza como fuente de ingreso los captadores de viento (entrada de aire). Son una parte importante del sistema para dar ventilación al interior de los edificios. Existen diferentes variables en este sistema en donde se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Unidireccionales
- Bidireccionales
- Pluridireccionales.

1.7.1 Estado del arte de la chimenea solar

En relación al estado del arte se tienen diferentes investigaciones relacionadas con la chimenea solar, y aunque en su mayoría están enfocados a cálculos y modelos, hay poco desarrollo en su aplicación en la arquitectura.²⁵

Dentro de estos estudios se pueden identificar tres planteamientos de la chimenea solar:

²⁵ Fuente: Parámetros de la chimenea solar. Juan Carlos León, Barcelona, España 2014

1.7.1.1 Cálculos físico matemáticos

Bansal et al. Realiza estudios del comportamiento del flujo de aire en una chimenea, donde analiza el flujo del aire dentro del sistema y hace otros cálculos en formato pequeño sobre el flujo del aire.

Mathur et al. Determina la relación directa del incremento de flujo de aire con el aporte de la radiación solar.

Shi-Chew. Determina la importancia del uso del aislamiento externo para acumular energía dentro del ducto de la chimenea.

1.7.1.2 Modelos a escala

Alfonso Oliveira. Se realiza una evaluación del comportamiento de una chimenea común contra una chimenea solar, por medio de la captación solar en donde se modeló por software y en prototipos construidos, pero no aplicado a un espacio arquitectónico.

1.7.1.3 Modelos en software

Wang, Yang. Li, Jing-yin. Realizan modelos teórico integral se desarrolló teniendo en cuenta la variación por hora de la radiación solar. Se analizan los efectos de la chimenea colector y radios en la potencia de salida de la SCPP, y los resultados revelan que existe una limitación en el radio máximo del colector para la salida de potencia máxima alcanzable del aire.²⁶

Fasel, Hermann. Meng Fanlong. Las centrales de chimenea solar son investigadas numéricamente utilizando ANSYS Fluent y un in-house desarrollado mediante la Dinámica de Fluidos Computacional código (CFD). Leyes de escala de análisis se verifican considerando una amplia gama de escalas con alturas de la torre entre 1 m (modelo de laboratorio sub-escala) y 1000 m. Un modelo con aproximadamente 6 m de altura de la torre se encuentra en construcción en la Universidad de Arizona. Simulaciones de alta resolución en función del tiempo detallado del flujo en el colector y la chimenea del modelo proporcionan una visión detallada de la dinámica de fluidos y los mecanismos de

26 Fuente: www.sciencedirect.com 2014. Annual performance analysis of the chimney power plant in Sinkiang.

transferencia de calor. Tanto transversal y rollos de convección longitudinales se identifican en el colector, lo que indica la presencia de una inestabilidad de Rayleigh-Bénard-Poiseuille. Separación local se observa cerca de la entrada de la chimenea. El flujo dentro de la chimenea es completamente turbulento.²⁷

1.7.1.4 Parámetros de diseño de una chimenea solar

En el 2013 el Arquitecto mexicano Juan Carlos León realiza una investigación sobre la definición de parámetros de diseño de los componentes de la chimenea solar aplicados a un único espacio arquitectónico. En ella plantea el análisis de la chimenea y el confort que puede lograr. Analiza la eficiencia del dispositivo según las variables de sus componentes.

1.8 Metodología del diseño bioclimático

El objetivo del diseño bioclimático es minimizar lo más posible el daño e impacto que ocasionamos al medio ambiente con nuestras actividades diarias.

Tiene como principio la construcción de espacios con sistemas termodinámicos que sean eficientes, que se logre habitar el espacio interior de manera confortable con la utilización de los recursos naturales y economizar al máximo los servicios como el consumo eléctrico y otros.

En la segunda mitad del siglo XX surgen diferentes pensadores sobre este tema que desarrollan estrategias y metodologías para su implementación en el diseño arquitectónico, haciendo una gran aportación a la arquitectura, a la conservación del medio ambiente y a la utilización de los recursos naturales.

Algunos de estos métodos analizados son los siguientes:

1.8.1 Metodología Olgay

Esta propone que el procedimiento deseable será trabajar con y no contra las fuerzas de la naturaleza y hacer uso de sus potencialidades para crear mejores condiciones de vida. La metodología se divide en 4 pasos:

27 Fuente: www.sciencedirect.com 2013. CFD Analysis for sloar chimney power plants

1. Análisis climático: análisis de los elementos climáticos de una localidad dada. Datos anuales de temperatura, humedad, radiación y efectos del viento.
2. Evaluación biológica: debe basarse en las sensaciones humanas. La graficación de los datos climáticos en la carta bioclimática a intervalos regulares mostrará un diagnóstico de la región y se determinarán tablas de datos horarios.
3. Soluciones tecnológicas: Se buscan dar soluciones tecnológicas: selección del sitio, orientación, determinación de sombras, forma de la casa, movimientos de aire, balance de temperatura interior.
4. Expresión arquitectónica: A través de los resultados obtenidos, se deberá desarrollar los conceptos arquitectónicos y equilibrados de acuerdo a la importancia de los diferentes elementos.

1.8.2 Metodología Givoni

En 1969 este arquitecto publica su libro *Man, Climate and Architecture*, en el cual da una interpretación bioclimática de la arquitectura donde se estudia la relación existente entre arquitectura y hombre.

En el plantea la relación entre el confort humano, el clima y la arquitectura entendiendo arquitectura como el edificio que contiene y protege al hombre y a sus actividades.

Su trabajo llega a la síntesis en un climograma realizado sobre un diagrama psicométrico donde traza una zona de confort para invierno y verano. Luego propone otras zonas donde es posible alcanzar el confort mediante la incorporación y/o aplicación de estrategias de diseño pasivo.

1.8.3 Metodología Szokolay

De manera muy puntual, propone cuatro etapas para el diseño bioclimático y estas son:

1. Estudios preliminares: Tiene como objetivo la recopilación concisa, identificación de restricciones, estudio de condiciones climatológicas y la definición de los esquemas espaciales, así como la definición de una propuesta energética.
2. Anteproyecto: Tiene como objetivo la generación de ideas y la formulación y prueba de hipótesis de diseño.

3. Proyecto: Se detallan decisiones de diseño, teniendo en cuenta de las consecuencias energéticas. Se elaboran planos, detalles y especificaciones.
4. Evaluación final: Se hacen análisis térmicos, de ventilación, lumínicos y estimación del uso de la energía para todos los propósitos. Se da una propuesta espacial y energética definitiva.

1.8.4 Metodología Kean Yeang

Kean Yeang consideraba que se debe replantear la forma de diseñar y construir, con esto sugiere una nueva metodología de tipo ambientalista, la cual se define entre vínculos del medio edificado y su ambiente exterior como parte fundamental del proceso de diseño.

Considera que el flujo de energía y materia en el medio edificado, son un modelo de uso del contexto de la vida útil del edificio. El modelo de uso comprende:

- Producción.
- Construcción.
- Funcionamiento.
- Recuperación.

La metodología bioclimática debe ser parte de la práctica constante del diseño, es necesario crear normas, reglamentaciones y/o políticas que aseguren un diseño sustentable e integral.

1.8.5 Metodología Morillón

Para el Doctor Morillón para que un edificio sea sustentable, debe de ser bioclimático, esto significa hacer uso eficiente de la energía, utilizar alternativas y lograr autosuficiencia.

En donde las etapas básicas del proceso de diseño son:

- Recopilación de datos y procesamiento de la información
- Diagnóstico
- Definición de estrategias de climatización
- Recomendaciones de diseño
- Anteproyecto
- Evaluación térmica

- Toma de decisiones
- Proyecto definitivo

1.8.6 Metodología Freixanet

Laboratorio de Arquitectura Bioclimática de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco del Dr. Víctor Armando Fuentes Freixanet y consiste en lo siguiente:

1. Objetivos
2. Análisis del sitio y del entorno
 - 2.1 Medio Natural
 - 2.2 Medio Artificial
 - 2.3 Medio socio-cultural
3. Análisis del usuario
 - 3.1 Bienestar y confort
 - 3.2 Necesidades y requerimientos
4. Definición de estrategias de diseño
5. Definición de conceptos de diseño bioclimático
6. Anteproyecto
7. Evaluación
8. Proyecto arquitectónico
9. Construcción
10. Evaluación de la obra
11. Conceptos de diseño

Se consideran diferentes puntos de desarrollo en cada uno de los puntos que desarrolla en su metodología, los cuales abarcan no solo factores climáticos, si no también humanos, económicos, sociales y del usuario.

1.9 Sistemas mecánicos

Los estudios indican que el primer sistema de aire acondicionado, fue inventado por un granjero norteamericano, ya que descubrió una caverna en la cual salía aire extremadamente frío, en donde construyó un sistema de ductos y por medio de molinos de viento, introdujo aire fresco al interior de su casa y con esto mantener temperaturas frescas.

28

La Sociedad Americana de Aire Acondicionado, Refrigeración y Calefacción (ASHRAE) es una sociedad internacional técnica dedicada a mejorar la calidad de vida a través de los avances tecnológicos relacionados a la calefacción, refrigeración, aire acondicionado y ventilación (HVAC).

Aire acondicionado (A.A.)

- Sistemas unitarios de expansión directa. (unidades de ventana, equipos paquete “minisplits”
- Sistemas por agua (fan & coil) se puede usar como calefacción mostrados en la Figura 1.10
- Sistemas combinados agua – aire
- Sistemas por aire (Expansión directa) 60% económico



Figura 1.11: Equipos Unidad Ventana en fachada y equipos de azotea, Fan & coil, Combinado Aire.

Fuente: es.123.rf.com

²⁸ Bautista, Antonio. Calculo de sistemas de aire acondicionado en sistema internacional S.I. Tesis para obtener el grado de Maestro en Arquitectura (Tecnología) Facultad de Ingeniería, UNAM, México, D.F. 1997



Figura 1.12: Unidad manejadora de aire, schiller.

Fuente: es.123.rf.com

Marcas de equipos:

Trane, carrier, york, lennox, mc quay, lg, mitsubishi.

Otras maneras de diferenciar los sistemas mecánicos de ventilación son las siguientes:

1. Sistemas de impulsión
2. Sistemas de extracción
3. Extracción e impulsión
4. Calefacción (Cal.) artic circle.
5. Aire lavado (A.L.) flakt, ac, carrier
6. Ventilación por inyección de aire (V.I.)

Se dará una breve explicación de los tres primeros sistemas, que están muy relacionados con los sistemas de A.A. explicados al principio del capítulo.

Los puntos 2 y 3 dan la posibilidad de recuperar el calor por medio del intercambio de aire. En el sistema del punto 3, el calor que se llega a recuperar se puede usar para que se caliente el aire renovado a través de unos intercambiadores con placas.

Para hablar de cómo funciona el sistema con intercambio de aire se lleva acabo de la siguiente manera:

El aire que se llega a extraer y es caliente, se traslada por medio de un ducto o canal y surte el calor a las placas, al salir el aire estará más frío el cual saldrá por el intercambiador. Luego del otro lado donde se encuentran las placas del intercambiador que se conducen por ductos separados, se absorberá el calor y saldrá con una temperatura más elevada y el aire seguirá siendo limpio, no contaminado. La aplicación de este sistema en su principio

de funcionamiento genera que se capte el 100% de la diferencia de temperatura, siempre y cuando el intercambiador tenga el largo necesario.

Los sistemas de ventilación se deberán diseñar con la consigna de que su mantenimiento sea más sencillo, fácil, donde las necesidades de limpieza de sus elementos sean rápido y lo menos costoso. La mayoría de estos sistemas de ventilación cuentan con un rendimiento del 75 al 90% esto en relación a los sistemas de intercambiadores y sistemas de ventiladores.

Cuando se genera la construcción de nuevos edificios de gran altura y estos cada vez son más cerrados con envolventes herméticas, la utilización de sistemas naturales y/o pasivos por medio de pequeñas ventilas, rendijas o ventanas son insuficientes para suministrar aire al interior y esto no es una cuestión de lujo, es una necesidad para un adecuado desarrollo al interior del espacio, el problema es el costo que los sistemas artificiales representan y se requiere de una inversión fuerte al inicio del proyecto, y durante el uso diario del edificio.

Es por eso que aunque esta inversión de inicio es costosa, siempre se deberá considerar el uso de un sistema natural alterno y poder conjuntarlo con un mecánico cuando el pasivo no sea suficiente, pero al estudiar y analizar los sistemas naturales, se logrará reducir el consume energético al máximo.

En el caso de los sistemas mecánicos o artificiales, cuando no se les da el mantenimiento adecuado y de manera regular, afectaran tanto la calidad del aire al interior como probablemente la salud de los usuarios de ese espacio ventilado.

1.10 Conclusiones capítulo 1

La ventilación en arquitectura se denomina como la renovación del aire del interior de una edificación mediante extracción o inyección de aire.

Aunque la ventilación natural es sólo aplicable a ciertos climas, un sistema de ventilación híbrida, utilizando una estrategia de ventilación natural y combinando con un sistema mecánico, aunado al diseño bioclimático del edificio, puede extender la utilidad de la ventilación natural en las condiciones climáticas más severas.

Dos de los retos asociados con el diseño de la ventilación combinada está determinando en el rendimiento del sistema pasivo y maximizar el periodo de funcionamiento de este sistema.

Se deberá complementar el estudio del diseño con otras ramas y lograr un trabajo multidisciplinario como es el estudio de dinámica de fluidos computacional y simulación térmica dinámica.

A lo largo de este capítulo se estudian las diferentes características físicas de la ventilación, se estudia las características de la chimenea solar y su funcionamiento a través del “efecto chimenea” método de ventilación pasiva y su estado del arte, así como los sistemas de ventilación natural, las metodologías de diseño bioclimático que se conocen, en donde se analizan según las estrategias que implementan cada uno de los autores. Esto como punto de partida para la integración de los tres sistemas a estudiar para la integración de una estrategia de diseño en un edificio corporativo de gran altura.

Capítulo 2. El confort en la ventilación

Históricamente el concepto de confort térmico fue definido por Fanger, usando el concepto de voto de promedio predicho (Predicted mean vote PMV). El índice PMV predice la sensación térmica en una escala de siete valores, donde -3 representa muy frío, 0 representa neutral y +3 representa muy cálido. Los ingenieros de La Sociedad Americana de Calefacción, refrigeración y Aire Acondicionado han desarrollado el estándar ASHRAE 55, el cual está basado en el modelo PVM, para determinar el confort térmico en espacios climatizados mecánicamente.

El estándar ASHRAE 55 contiene una definición muy sintética del confort térmico, el cual no puede ser fácilmente aplicado a edificios ventilados naturalmente, inclusive si estos se encuentran en zonas climáticas templadas (Brager & de Dear 2000). En 2004 ASHRAE publicó un método adicional para determinar las condiciones de confort aceptables en edificios ventilados naturalmente. Sin embargo el artículo aun especifica que si el espacio posee una estrategia de modo mixto e incluye algún tipo de climatización mecánica, entonces el edificio deberá adherirse a los estrictos estándares para espacios climatizados mecánicamente.

Basados en estas experiencias o en criterios de validez, diferentes normativas o autores dan también distintos límites para las condiciones de temperaturas internas, humedades relativas, tensión de vapor o velocidad en el movimiento del aire interior como indicación de cuáles son los límites que no deberían superarse al utilizar ventilación natural o, en el caso del acondicionamiento mecánico o en el movimiento del aire interior , para satisfacer los requerimiento de un porcentaje alto de personas.

Evidentemente no es lo mismo pensar en ventilación natural que en movimiento de aire interior producido por equipos de aire acondicionado y por ello encontramos en un extremo permisivo de estos límites del entorno de bienestar termo físico la mayor flexibilidad propuesta por Givonni cuando plantea como tolerables temperaturas internas de hasta 28,5°C con aire en movimiento a velocidad de hasta 2m/s y una humedad relativa inferior al 90% y del lado opuesto los parámetros establecidos por el estándar ASHRAE 55 para la categoría de oficinas climatizadas con aire acondicionado , donde se indican temperaturas operativas entre 24,5°C y 26°C, humedades relativas que no superen el 60% y velocidades del orden de los 0,2 m/s.²⁹

²⁹ Aguilar, Bernardo. 2014. Ventilación natural para edificios en altura, en la ciudad de Lima, Peru pp26-27

Si bien es cierto que la renovación de aire es de vital importancia, en términos de confort los cambios de aire no nos ayudan en casi nada. El confort se logra cuando el flujo de aire pega sobre el cuerpo (piel) de los usuarios; sin embargo la velocidad máxima del aire en los interiores es de 1.5 m/s arriba de esta velocidad el viento se vuelve incómodo.³⁰

2.1 Relación térmica ser vivo-ambiente

El medio ambiente determina los comportamientos del ser humano, su cultura, asentamientos, alimentación y habitabilidad. Podemos definir al confort como al estado físico y mental en el cual el hombre expresa satisfacción con el medio ambiente circundante³¹. Según ASHRAE (Figura 2.1) varios factores intervienen en el estado mental del humano, el ambiente y el espacio arquitectónico para determinar un adecuado confort.

Relación ser humano / ambiente / arquitectura

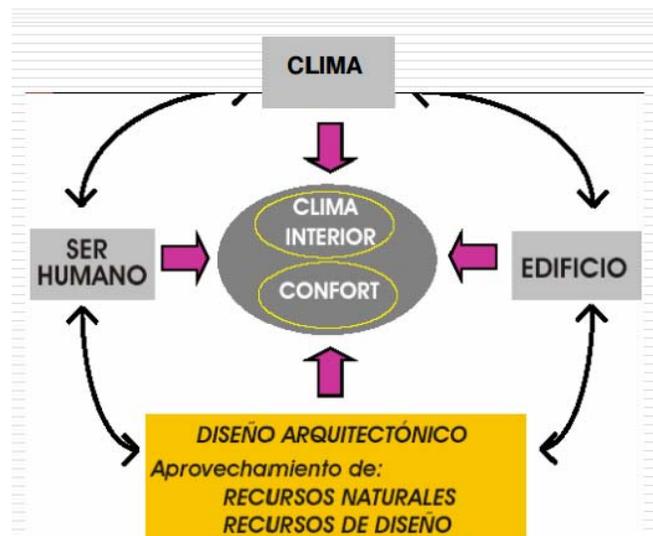


Figura 2.1.: Diagrama de confort. Parámetros que intervienen para su óptimo resultado.

Fuente: ASHRAE

³⁰ Fuentes, Freixanet, Víctor. Rodríguez, MANUEL. 2004. Ventilación natural, cálculos básicos para arquitectura. UAM, Azcapotzalco, México D.F.

³¹ ANSI/ASHRAE Standard 55, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy

2.2 Condiciones para el confort térmico

1. Sensación de neutralidad térmica: es la combinación instantánea de la temperatura de la piel y la del centro del cuerpo.
2. Balance de energía del cuerpo: calor producido por el metabolismo y esto es igual a la pérdida de calor del cuerpo.

Intercambio energéticos

Ser humano genera 80 W

Transformación= trabajo 20% calor 80%

Parámetros	Ambientales	Temperatura del aire Humedad relativa Velocidad del aire Temperatura radiante
Factores usuario	Personales	Sexo Edad Peso Actividad –metabolismo Vestimenta Estado de salud Historial térmico Tiempo de permanencia
Factores	Arquitectónicos	Adaptabilidad del espacio Contexto visual al exterior

Tabla 2.2: Variabilidad temporal y espacial.

Fuente: Datos basados en Szokolay, Steven.

El confort puede dividirse en dos grupos principales:

1. Factores internos:
 - Raza, sexo, edad, características físicas y biológicas, salud física o mental, estado de ánimo, grado de actividad metabólica, experiencia y asociación de ideas.
2. Factores externos
 - Grado de arropamiento, tipo y color de la vestimenta, temperatura del aire, temperatura radiante, humedad del aire, radiación, velocidad del viento,

niveles lumínicos, niveles acústicos, calidad del aire, olores, ruidos, elementos visuales.

El cuerpo humano debe mantener una constante en su temperatura corporal entre 36.5 °C y 37.5°C en cualquier condición climática.

A continuación se desglosa un listado sobre el grado metabólico promedio para un hombre adulto.

ACTIVIDAD	TOTAL	BASAL	MUSCULAR
Sueño profundo	70	70	0
Descanso acostado	88	88	0
Descanso sentado	115	92	23
Trabajo ligero sentado	130	92	38
Trabajo ligero de pie	150	92	58
Caminar despacio	160	92	68
Trabajo de escritorio	210	93	117
Trabajo de oficina en pie	235	93	142
Trabajo medio	265	93	172
Trabajo medio pesado	300	93	207
Trabajo pesado	400	94	306
Trabajo pesado de 8 horas	440	94	346
Trabajo muy pesado (máx. 30 min)	1500	94	1160

Tabla 2.3: Grado metabólico promedio para un hombre adulto (Watts)

Fuente: Datos basados en Szokolay, Steven.

El metabolismo, al ser un factor interno de suma importancia, es parte de la obtención de confort, se mide en unidades met; 1 met=58.15 W/m². El m² se refiere a la superficie corporal considerando que el hombre cuenta con 1.8 m² y mujeres 1.6 m². Es decir, 1 met=100W totales para una persona promedio.

El equilibrio térmico es una condición necesaria para el confort del ser humano. La interacción del ser vivo con el ambiente se da por medio de intercambios energéticos:

- Evaporación: es un proceso físico que consiste en el paso lento y gradual de un estado líquido hacia un estado gaseoso, tras haber adquirido suficiente energía para vencer la tensión superficial.

- Radiación: En ausencia de un medio, existe una transferencia neta de calor por radiación entre dos superficies a diferentes temperaturas, debido a que todas las superficies con temperatura finita emiten energía en forma de ondas electromagnéticas.
- Convección: se caracteriza porque se produce por medio de un fluido (líquido o gas) que transporta el calor entre zonas con diferentes temperaturas.

La importancia de la percepción del ambiente por parte del ser humano repercute en las acciones que se tomen, además estas definen la adaptabilidad en un espacio.

2.3 Índices de confort

- Índices teóricos: derivan de las relaciones establecidas en la ecuación de cálculo térmico.
- Temperatura operativa o resultante: temperatura a la que debe estar el aire y las paredes de un local para que una persona intercambie la misma cantidad de calor sensible que el local dado.
- Empírico (respuestas subjetivas):
- Modelo adaptativo, Humphreys, aliciems. Variables físicas + la dimensión psicológica de la adaptación y las expectativas y preferencias de los usuarios / contexto real. Según este modelo, definir una zona cuya característica principal es la de no ser zona fija o constante depende de la situación del entorno físico, características del ocupante y la interacción entre el entorno y el ocupante.

Otros puntos a considerar deberán ser:

- Calidad del aire
- Confort térmico propiamente dicho
- Confort global
- Confort local

A lo largo de la implementación de los diferentes sistemas de climatización se valora el estudio y aplicación del siguiente software, tanto para el diseño bioclimático y sistemas pasivos, como el desarrollo de los sistemas mecánicos, con los cuales podremos determinar algunos rangos de confort.

- Design builder - Energy plus
- Biosol

(Computational Fluid Dynamics) sistema de modelado dinámico o el modelado del flujo de aire mayor para optimizar el diseño de los edificios y el control.

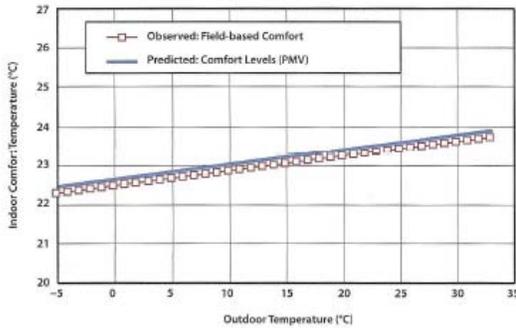


Gráfico 2.4. Rangos de confort climatización mecánica

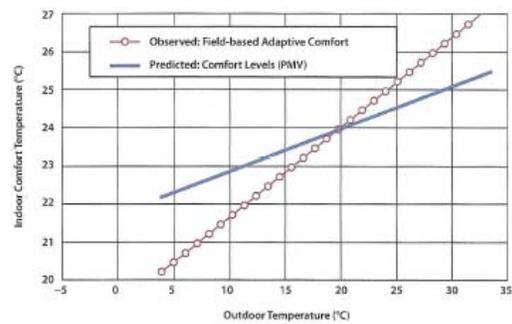


Gráfico 2.5 Rangos de confort climatización natural

Fuente: Antony Wood, Ruba Salib. 2013. Natural ventilation in high rise office buildings. CTBUH Sustainability Working Group. Routledge

2.4 Conclusiones capítulo 2

El objetivo de la climatización es buscar diferentes aspectos como son la renovación del aire, la calidad del aire y el confort del usuario, entre otros. Diferentes autores, instituciones y estudios, muestran múltiples parámetros para el confort de un usuario, dependiendo de la situación geográfica, las condiciones climatológicas pero principalmente la disposición y sensación del usuario que habita un espacio.

Aunque se tienen valores similares mínimos y máximos para llegar a la zona de confort, es importante que esta siempre vaya a depender de múltiples factores, los cuales, forman parte de todo un análisis del espacio a diseñar y del usuario para poder llegar a los puntos máximos y obtener parámetros de habitabilidad.

**Capítulo 3. Experimentación comparativa de sistemas de
ventilación natural**

Introducción:

Esta investigación estudia y compara los sistemas de ventilación natural y artificial para edificios corporativos en la ciudad de México, con la incorporación de un sistema pasivo de ventilación “el sistema de chimenea solar”. Se pretende que con la utilización de este sistema como parte alterna a una estrategia de ventilación natural, se disminuya el consumo del sistema mecánico a lo largo del año; dado que la investigación que se realiza, muestra que el 40% del consumo energético de un edificio es por el uso de climatización mecánica, es necesario la utilización de nuestros recursos naturales para la disminución de la energía y la producción de CO₂ en el ambiente.

Dos de los retos asociados con el diseño de la ventilación con el sistema de la chimenea solar, están determinados por el rendimiento de éste y poder maximizar el periodo de su funcionamiento. El 80% de la gestión de recursos de un edificio se determina en la fase del anteproyecto y proyecto, es por eso que se propone el estudio de la chimenea solar como mecanismo de ventilación por medio de simulación por computadora, para después aplicarlo en una construcción, esto, posterior a un análisis de implementación de estrategias de ventilación natural al edificio en la etapa de anteproyecto.

La experimentación se realiza en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona (ETSAB) de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC) en Barcelona, España. Lugar donde se realiza una estancia de investigación con la tutoría de la Dra. Helena Coch Roura coordinadora del Máster del departamento de Arquitectura, Energía y Medio Ambiente y el apoyo del Dr. Jaume Roset y el M. en Arq. Luis Barajas.

Desde México se tiene la tutoría del Mtro. Antonio Bautista Kuri y la asesoría de la Mtra. Perla Santana.

3.1 Metodología de la experimentación de sistemas de ventilación natural

La metodología desarrollada es la experimental, donde se realiza un análisis cualitativo y cuantitativo para la obtención de resultados.

Primera parte (cualitativa):

Se estudia a fondo las características físicas del viento, los sistemas de ventilación natural y el sistema de chimenea solar, esto, dentro del marco teórico y el estado del arte.

Como complemento de la investigación se estudia de manera breve los sistemas mecánicos de climatización y el confort térmico por medio de la ventilación, el uso de la carta psicométrica y el análisis de los cálculos matemáticos para un cálculo térmico.

Segunda parte (cuantitativa):

Se define el caso de estudio donde se realiza el análisis del sitio, se obtiene información relacionada con los planos arquitectónicos, medidas y materiales del espacio, en donde se realizan diferentes mediciones para determinar el funcionamiento actual del edificio relacionado con la eficiencia de la ventilación natural y el confort térmico. Estas mediciones se desarrollan en dos partes, la primera mediante el cálculo térmico de un espacio del caso de estudio para determinar las ganancias térmicas y las temperaturas internas en dos días del año, los que presentan temperatura más alta y más baja, los cuales serán nuestras primeras variables y se obtienen con la siguiente ecuación:

$$Q_{load} = Q_{cond} + Q_{shg} + Q_{vent} + Q_{inf} + Q_{met} + Q_{light}$$

[Ver anexo 1 para desarrollo del cálculo térmico]

Relación de variables:

1. Q_{load} = Temperatura interior del espacio en mayo (día cálido)
2. Q_{load} = Temperatura interior del espacio en enero (día frío)

En la segunda parte se desarrollan simulaciones computacionales en el espacio elegido en el día más cálido con el uso del software Design Builder (se describe en el punto 3.2.1) implementando la chimenea solar en el diseño arquitectónico para mostrar por medio de gráficos, imágenes de CFD (se describe en el punto 3.2.3) y mediante planos de corte e imágenes 3d del volumen para observar el funcionamiento del sistema, el comportamiento, distribución y la velocidad del viento, El ahorro energético que puede representar y el confort y temperatura interior del espacio.

Se dan medidas absolutas y unitarias de la chimenea con el fin de dar síntesis en los resultados, esto quiere decir, que para poder ser más específicos con éstos, se desarrolla en una oficina en particular del segundo piso del edificio E de posgrado y donde se simulan los diferentes sistemas de ventilación, para obtener nuestras siguientes variables a través de la comparación de los diferentes sistemas. En donde estas variables son:

3. Ventilación natural actual (VNA)
4. Ventilación cruzada (VC)
5. Ventilación mecánica (sistema fan & coil) (VAA)
6. Ventilación con la chimenea solar (VCH)

Haciendo la relación de variables 3 a 6 mediante gráficas comparativas en la temperatura interior.

VNA ----- VC ----- VAA ----- VCH

Estas simulaciones se realizan con el fin de analizar la eficiencia de cada uno de los sistemas de ventilación estudiados, compararlos y comprobar, si con la chimenea solar, se logra una eficiencia en la ventilación y en el confort en un espacio orientado al sur donde se incorpore el componente arquitectónico en la fachada.

3.2 Software de simulación

3.2.1 Design Builder

Design Builder combina la simulación computacional energética avanzada con la tecnología de modelado más avanzada mediante un diseño modular. Desarrollado en el Reino Unido, incluye un modelador 3-D como elemento central y 8 módulos que se interrelacionan para proporcionar los análisis más detallados sobre el comportamiento energético del edificio. En el caso de la investigación, el principal módulo será el CFD para el análisis de resultados³².

Se construye alrededor de las necesidades de datos de energyplus, el cual, es el programa de simulación energética de los edificios de los Estados Unidos del Departamento de Energía para la calefacción edificio modelado, refrigeración, iluminación, ventilación y otros flujos de energía.

³² Fuente: www.Design Builder.com

Se basa en las características y capacidades de BLAST y DOE-2 más populares, pero también incluye muchas capacidades de simulación innovadoras, tales como pasos de tiempo de menos de una hora, los sistemas modulares y plantas integradas con la simulación basada en zona de calor, flujo de aire multizona, térmica confort, y sistemas fotovoltaicos.³³

3.2.2 EnergyPlus

Es un programa de simulación independiente de interfaz gráfica, el cual actúa como motor de cálculo y es donde entra en juego con Design Builder donde se integran fuertemente dentro del ambiente para que pueda llevar a cabo simulaciones.

El motor de cálculo de Design Builder es Energy Plus, el cual teniendo como base de datos al primero, obtiene esta información y hace la simulación energética y de todos los módulos que sean requeridos para sus resultados.

3.2.3 CFD

Las propiedades físicas de los fluidos están gobernadas por tres leyes fundamentales de la conservación: La conservación de la masa, el momento y la energía. Estas leyes pueden interpretarse en términos de ecuaciones diferenciales, La “Dinámica de Fluidos Computacional” o “Computational Fluid Dynamics” CFD es un método numérico para determinar una solución a las ecuaciones que gobiernan el flujo de un cuerpo líquido o gaseoso prediciendo esta solución a través del espacio y/o el tiempo, para obtener la descripción numérica de todo el campo del fluido de interés.

Proporciona datos de diseño detallados acerca de los flujos de aire y las distribuciones de temperatura en el espacio, dentro y fuera de los edificios, utilizando algoritmos por medio de un grupo de modelos matemáticos que permiten calcular la temperatura, la velocidad y otras características de fluidos contenidos en un ámbito determinado

Los programas de CFD convencionales requieren una gran experiencia y conocimiento para configurar correctamente la geometría y las condiciones de contorno. Design Builder simplifica el proceso aprovechando la geometría detallada del modelo térmico y ofreciendo

³³ Fuente: www.Design_Builder.com

opciones para la configuración sencilla de las condiciones de contorno como las temperaturas superficiales, flujos de calor o caudales de aire a partir de los resultados de una simulación con EnergyPlus.

3.3 Análisis del sitio

3.3.1 Caso de estudio

Ubicación

Ciudad de México o Distrito Federal, es la capital de México. La ciudad se localiza en la zona sur de la cuenca de México, en el paralelo $19^{\circ} 25' 10''$ latitud $99^{\circ} 08' 44''$ y una altura media de 2,240 metros.

El sitio del proyecto está ubicado en el sur de la ciudad, en el campus de ciudad universitaria UNAM, dentro del Centro Cultural Universitario, en el nuevo edificio de posgrado en la delegación Coyoacán. El edificio se encuentra limitado por la av. Insurgentes, la reserva ecológica del Pedregal y el nuevo edificio de posgrado de Economía (Figura 3.1).

Localización del edificio: Latitud: $19^{\circ} 20' 01''$, Longitud: $99^{\circ} 11' 54''$, Altitud 2268 mts.

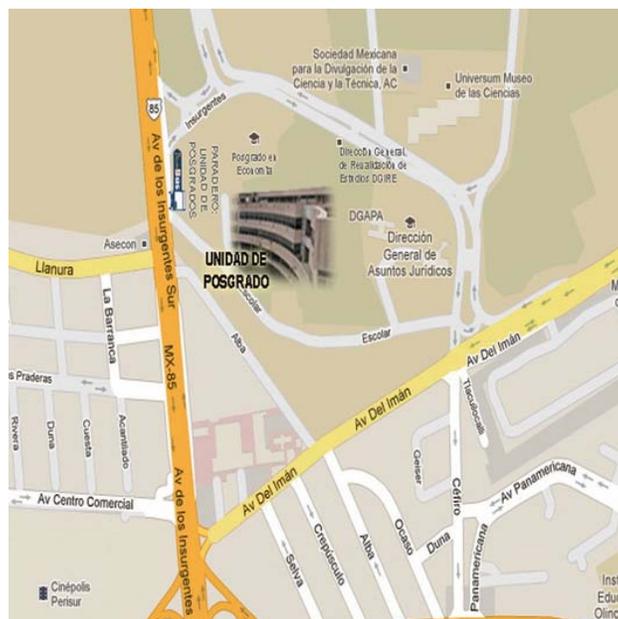


Figura 3.1: ubicación de la nueva unidad de posgrado en el centro cultural universitario de la UNAM

Fuente: google earth

Información climatológica. Análisis del clima

El clima de la ciudad de México en su mayoría presenta clima templado subhúmedo como se observa en la Figura 3.2. La temperatura media anual es de 16° en donde la temperatura media mayor a 25° llegando hasta los 30, se da de marzo a mayo y las más bajas entre los 5° en enero. Las lluvias se presentan en verano, donde la precipitación anual en la región seca es de 600 mm y en la parte templada húmeda es de 1,200 mm.



Figura 3.2: mapa climatológico de la ciudad de MÉXICO
Fuente: Elaborado con base en INEGI www.cuentame.inegi.org.mx

Mecanismos de ventilación natural
en edificios corporativos en la ciudad de México

Promedios mensuales y anuales de la temperatura ambiente en °C, donde se muestra el promedio del mes más frío y más cálido en la ciudad de México.

SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL

NORMALES CLIMATOLÓGICAS

ESTADO DE: DISTRITO FEDERAL PERIODO: 1981-2010

ESTACION: 00009070 CAMPO EXP. COYOACAN LATITUD: 19°21'08" N. LONGITUD: 099°10'20" W. ALTURA: 2.260.0 MMNM.

ELEMENTOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
TEMPERATURA MAXIMA													
NORMAL	21.5	23.5	25.9	27.1	26.9	25.5	24.0	24.0	23.1	22.3	22.7	21.5	24.1
MAXIMA MENSUAL	23.5	26.3	28.1	29.3	30.5	28.6	25.7	26.1	25.3	24.6	25.0	23.0	
AÑO DE MAXIMA	2007	2003	1991	1998	1998	1998	2007	1997	2006	1995	2004	1993	
MAXIMA DIARIA	27.5	31.0	32.0	33.0	34.0	35.0	28.5	29.0	30.0	29.0	27.0	27.0	
FECHA MAXIMA DIARIA	21/2007	27/2007	12/2006	30/1993	10/1995	07/1994	04/1986	29/2000	16/2006	19/2004	05/1989	31/1985	
AÑOS CON DATOS	15	18	18	17	19	18	19	20	19	19	16	10	
TEMPERATURA MEDIA													
NORMAL	13.3	14.9	17.0	18.7	19.3	19.1	18.0	18.2	17.6	16.9	15.2	13.6	16.5
AÑOS CON DATOS	15	18	15	17	19	18	19	20	18	19	16	10	
TEMPERATURA MINIMA													
NORMAL	5.1	6.4	8.0	10.2	11.6	12.6	11.9	12.3	12.3	10.6	7.6	5.8	9.5
MINIMA MENSUAL	2.3	3.1	5.1	8.7	10.3	11.5	10.4	10.9	10.2	8.8	5.4	4.7	
AÑO DE MINIMA	1986	1983	1986	1983	1985	1982	1985	1984	1985	1989	1984	2006	
MINIMA DIARIA	-2.3	0.5	0.5	8.0	7.0	8.0	8.0	8.0	4.0	2.0	-1.0	-2.0	
FECHA MINIMA DIARIA	14/1986	14/1983	24/1986	03/1985	06/1985	02/1985	29/1985	20/1991	17/1981	25/1989	22/2002	26/1989	
AÑOS CON DATOS	15	18	18	17	19	18	19	20	18	19	16	10	
PRECIPITACION													
NORMAL	7.7	5.9	10.6	22.1	59.3	162.0	184.2	178.6	157.9	63.6	13.9	0.9	876.7
MAXIMA MENSUAL	25.0	25.5	75.4	107.7	136.7	251.3	286.6	321.1	317.0	135.6	67.3	3.8	
AÑO DE MAXIMA	1994	2007	1991	1985	2001	2003	1992	2006	1995	1984	1992	1997	
MAXIMA DIARIA	25.0	19.2	13.7	47.0	57.5	90.8	65.9	82.5	65.0	49.3	24.7	3.5	
FECHA MAXIMA DIARIA	23/1994	05/2007	11/2007	10/1985	22/2001	22/1994	14/1992	25/2007	19/2007	01/1984	02/1992	18/1997	
AÑOS CON DATOS	22	21	20	20	23	21	21	21	20	20	19	12	
EVAPORACION TOTAL													
NORMAL													
AÑOS CON DATOS													
NUMERO DE DIAS CON LLUVIA													
NORMAL	1.3	2.0	3.0	6.8	11.0	16.7	21.2	20.3	19.5	9.5	3.4	0.8	115.7
AÑOS CON DATOS	22	21	20	20	23	21	21	21	20	20	19	12	
HIELO													
NORMAL	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.5
AÑOS CON DATOS	22	22	21	21	23	21	23	21	20	20	20	13	
GRANIZO													
NORMAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.2	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.7
AÑOS CON DATOS	22	22	21	21	23	21	23	21	20	20	20	13	
TORRENTA E.													
NORMAL	0.4	0.0	0.0	0.2	0.6	0.4	1.2	1.8	1.1	1.1	0.4	0.0	7.2
AÑOS CON DATOS	22	22	21	21	23	21	23	21	20	20	20	13	

Tabla 3.3: Normales climatológicas de las temperaturas máximas, mínimas y promedio mensuales la ciudad de México.

Fuente: CONAGUA www.smn.cna.gob.mx

Vientos dominantes

Los datos obtenidos son un promedio registrados en el observatorio meteorológico del colegio de geografía de la UNAM, con datos desde el 2006 hasta el 2012.

Tomando en cuenta que el mes con mayor temperatura es el mes de mayo y enero el mes con menor temperatura, se toma esta información para determinar el comportamiento y procedencia de los vientos dominantes en estos meses.

DÍA/MES	ENE		MAY	
	DIRECCIÓN	VELOCIDAD	DIRECCIÓN	VELOCIDAD
1	N	0.9	ENE	0.7
2	NW	1.8	W	0.9
3	NW	1.2	SSW	1.0
4	NNW	0.4	NW	0.9
5	WNW	0.8	W	1.1
6	NNW	0.7	SE	0.9
7	WSW	0.4	NNW	0.8
8	SSW	0.6	WNW	0.8
9	WSW	0.5	N	0.7
10	W	0.5	NW	0.7
11	SW	0.7	NNW	0.7
12	S	0.5	SSE	0.7
13	NNW	0.7	NW	1.3
14	WSW	0.4	SE	1.3
15	N	0.6	ENE	0.9
16	W	0.3	SSE	1.4
17	NW	0.4	W	1.0
18	N	0.4	S	1.2
19	ENE	0.4	NW	1.1
20	WSW	0.4	SSE	1.1
21	NE	0.4	ENE	1.4
22	WNW	0.4	NW	1.4
23	ENE	0.4	NW	1.0
24	WSW	0.7	WNW	0.7
25	SW	0.8	NNW	0.7
26	WSW	0.6	N	1.0
27	NW	1.0	NW	1.4
28	NW	0.7	WNW	1.2
29	NW	1.3	WSW	1.3
30	NW	0.7		1.3
31	NNW	0.6		1.1

Se observa en la tabla que en el mes de enero la velocidad del viento menor promedio registrada es de 0.3 m/s y la mayor presenta una velocidad de 1.8 m/s.

En el caso del mes de mayo observamos que la velocidad del viento menor promedio registrada es de 0.7 m/s de manera repetida y la mayor es de 1.4 m/s en varias ocasiones.

En ambos casos podemos observar que los vientos dominantes y la dirección de estos provienen mayormente de noroeste.

Tabla 3.4: Dirección de vientos dominantes en ciudad universitaria.

Fuente: Observatorio Meteorológico, Colegio de Geografía UNAM

Rangos de confort

Dentro del estudio del marco teórico se determinan diferentes valores para el confort, ya sea para el uso de la ventilación natural o la mecánica y diferentes autores indican que el confort depende de múltiples factores como son ambientales, físico, mentales y otros. En este caso, para el cálculo térmico que se realiza, se establecen los siguientes parámetros para la ciudad de México.

En la tabla 3.5 se observa que el mes con mayor rango de confort es mayo, el cual es el analizado para el cálculo térmico y con esto se puede determinar los rangos aceptables para cada uno de los sistemas, como se observa en la gráfica 3.6.

Localidad	México Df	Lat. [°]	19.2	Long. [°]	99.11	Altitud (m)	2268	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Tem med								12.9	14.7	16.6	19.0	20.5	20.0	18.1	18.5	17.8	16.1	15.2	13.9
Tn [°C]								21.6	22.2	22.7	23.5	24.0	23.8	23.2	23.3	23.1	22.6	22.3	21.9
Oscilación								21.2	23.2	23.0	20.6	20.6	17.2	15.3	15.2	15.1	17.1	19.6	18.3
Amplitud Zconfort								4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	3.5	3.0	3.0	3.0	3.5	4.0	3.5
Rango mín confort								17.6	18.2	18.7	19.5	20.0	20.3	20.2	20.3	20.1	19.1	18.3	18.4
Rango máx confort								25.6	26.2	26.7	27.5	28.0	27.3	26.2	26.3	26.1	26.1	26.3	25.4

Tabla 3.5: Rangos de confort para el mes de mayo en la ciudad de México

Fuente: Elaboración propia en el programa BIOSOL

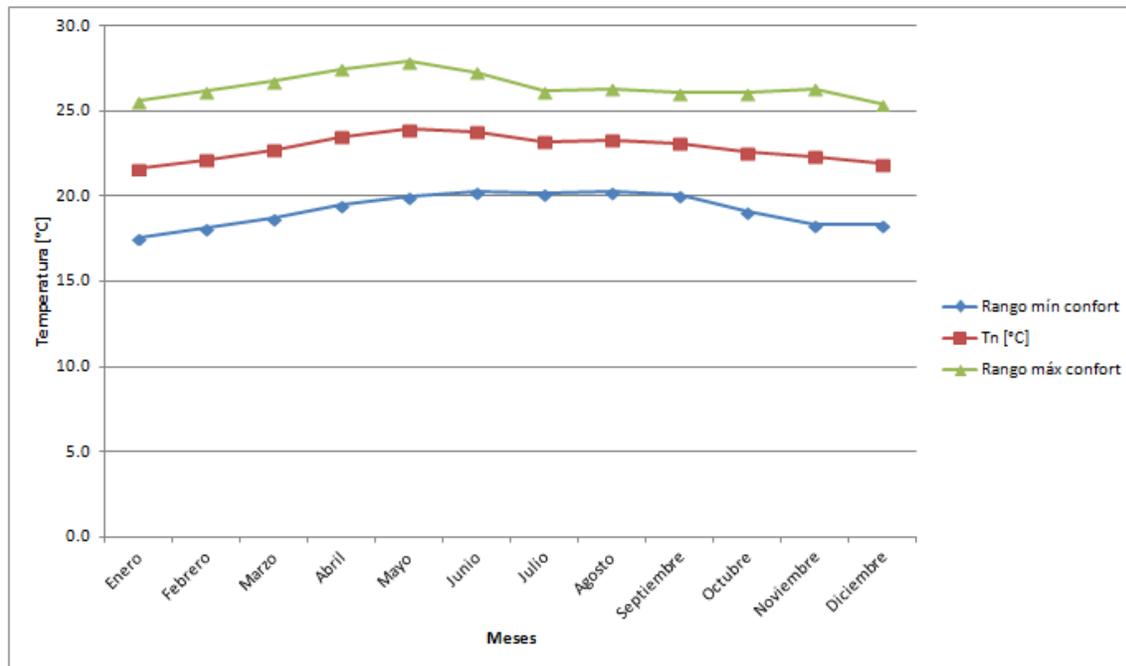


Gráfico 3.6: Gráfica de resultados del rango de confort para el mes de mayo en la ciudad de México

Fuente: Elaboración propia en el programa BIOSOL

Sitio a intervenir

El proyecto que se utiliza para el desarrollo del cálculo térmico, es el nuevo edificio de la unidad de posgrado de la UNAM. Este complejo, fue construido con la intención de albergar los diferentes programas de posgrado de la universidad, con el fin de conjuntar las diferentes áreas de conocimiento.

Información del sitio

La nueva unidad de posgrado cuenta con 32mil 284 m² de infraestructura, 10 mil 242 m² de obra exterior y 10 mil 100 en vialidades, así como dos estacionamientos unos de 10 mil 387 m² en tres niveles y otro de mil m² para un total de 484 cajones.³⁴

Proyectado y construido entre 2012 y 2013 por la Dirección General de Obras y Conservación (DGO) el conjunto consiste en 11 cuerpos, de los cuales los cinco exteriores están destinados a fines académicos contando con sótano, planta baja y tres niveles. Los cuerpos interiores los cuales también son cinco cuerpos, están destinados a actividades académico-administrativas y cuentan con planta baja y dos niveles. El último cuerpo fue destinado a los auditorios, biblioteca y un centro informativo digital.

Cabe mencionar que el análisis y propuesta, se realizara solamente en uno de estos cuerpos el cual corresponde al edificio E del conjunto y éste se describirá más adelante.

Ubicación

Ubicado en el circuito de posgrado, en el Centro Cultural Universitario al sur dentro de Ciudad Universitaria, en la delegación Coyoacán, C.P. 04510, México D.F. Este edificio se encuentra limitado por la av. Insurgentes, la reserva ecológica del Pedregal y el nuevo edificio del posgrado de Economía.

³⁴ Fuente: <http://www.eluniversal.com.mx/cultura/71701.html>

Levantamiento fotográfico nueva unidad de posgrado UNAM

En la Figura 3.7 muestra la ubicación del lugar a intervenir dentro del espacio escultórico de ciudad universitaria, donde colinda al oeste con la Av. de los insurgentes.



Figura 3.7: Ubicación del terreno, vista aérea en Ciudad Universitaria.

Fuente: google earth

En la Figura 3.8 se muestra el entorno del nuevo edificio de posgrado con el nuevo edificio de posgrado de Economía.



Figura 3.8: Edificios de posgrado economía y nueva unidad de posgrado de la UNAM.

Fuente: elaboración propia

Levantamiento fotográfico edificio E (Caso de estudio)

La fachada del edificio E (figura 3.9) se orienta hacia el sur, cuenta con ventanas de persiana que pretenden permitir la ventilación natural pero dado que no se tiene ningún tipo de protección al frente, el aire que ingresa al interior es demasiado caliente generando una temperatura muy alta al interior que hace que no se esté dentro de la zona de confort.



Figura 3.9: Fachada principal edificio E. Caso de estudio Fuente: elaboración propia



Figura 3.10: Fachada principal vista oeste. Fuente: propia

Esto se sabe, ya que se tuvo la oportunidad de entrevistar a los usuarios, los cuales deben tener ventiladores en sus cubículos constantemente prendidos y ya cuentan con persianas

llamadas “Black out” las cuales tiene abajo la mayoría del día para evitar la incidencia del sol.

En la Figura 3.10 se observa la vista lateral del edificio E, donde vemos la composición de la fachada con tres niveles, que a lo largo de ellos, se dividen con dos materiales diferentes, prefabricados de concreto y cancelería y vidrio con ventanas de persiana.

La parte inferior de los prefabricados en la parte norte (Figura 3.11) sirve como antepecho del nivel inferior y de muros bajos. El segundo elemento formado por ventanas a todo lo largo como función de iluminación y ventilación natural.



Figura 3.11: Fachada posterior, orientada al norte.

Fuente: elaboración propia

El acceso a oficinas se da en las fachadas oriente tanto en el primer nivel como en el segundo nivel (Figura 3.12) por medio de un vestíbulo que se conecta a todo el conjunto.



Figura 3.12: Vista lateral, acceso al segundo nivel del edificio E oficinas caso de estudio.

Fuente: elaboración propia

Proyecto arquitectónico

El espacio a calcular es la oficina sur 4 que se nombra OFS4 (Figura 3.14) ubicada en el segundo piso del edificio E de la nueva unidad de posgrado, dentro de un espacio subdividido en varias oficinas.

La fachada principal está orientada al sur y una parte orientada hacia el este, compuesta por un muro bajo de concreto prefabricado y la otra mitad por una ventana acristalada dividida en tres secciones con dos fijos y una parte de ventilas de persiana como se observa en el levantamiento fotográfico.

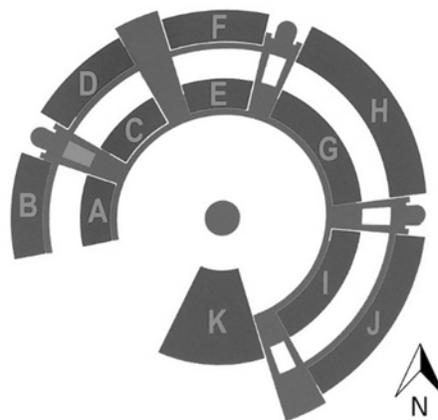


Figura 3.13: Planta de conjunto de la nueva unidad de posgrado de la UNAM

Fuente: Esquema del edificio UNAM

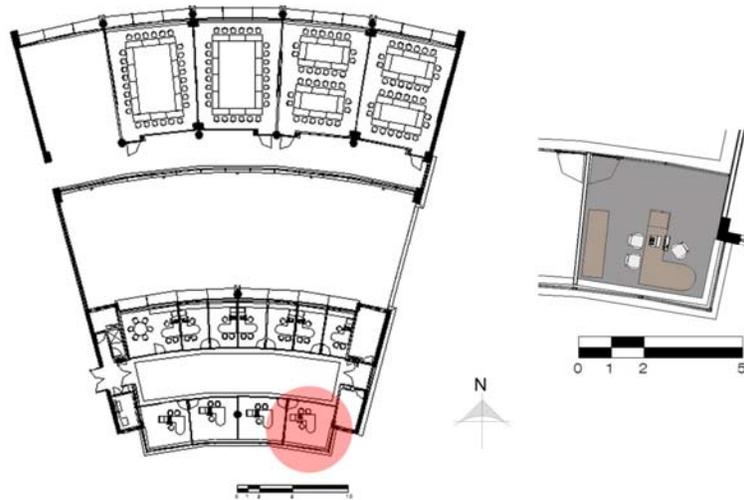


Figura 3.14 y 3.15: Planta arquitectónica segundo nivel edificio E y planta de oficina sur 4. (OFS4)

Fuente: Planos arquitectónicos del posgrado

METODO de trabajo (Cuantitativa)

3.4 Cálculo térmico – primera parte

El cálculo a realizar utiliza la ecuación Q_{load} , con la cual se determina la ganancia térmica en un espacio, con la suma de la cantidad de flujo de calor por conducción, flujo de calor por radiación directa, flujo de calor por ventilación, flujo de calor por infiltración, flujo de calor por las personas y por el flujo de los equipos eléctricos, se obtiene el cálculo térmico. En el punto **3.3 Análisis del sitio – Proyecto arquitectónico** se hizo el estudio del espacio para obtener las medidas reales, materiales que lo componen y así conocer los porcentajes de emitanancia, absorción, peso volumétrico, conductividad térmica y su capacitancia para poder desarrollar la ecuación.

$$Q_{load} = Q_{cond} + Q_{shg} + Q_{vent} + Q_{inf} + Q_{met} + Q_{light}$$

3.16: Ecuación A. Cálculo de flujo de calor

- Q_{cond} = Flujo de calor por conducción
- Q_{shg} = Flujo de calor por radiación directa
- Q_{vent} = Flujo de calor por ventilación
- Q_{inf} = Flujo de calor por infiltración
- Q_{met} = Flujo de calor por las personas

- Q_{light} = Flujo de calor por equipos eléctricos

Nota: [Ver anexo 1 para desarrollo del cálculo térmico]

El desarrollo de esta ecuación y la relación de variables que la componen, nos lleva a la obtención de las primeras variables, que son, las temperaturas internas del espacio analizado por hora durante el día cálido y el día frío.

El cálculo se realiza en la oficina OFS4 del segundo nivel, la cual está orientada al sur y por el diseño de su fachada recibe la mayor parte del día la radiación solar directa. El día del cálculo es el 7 de mayo para el día cálido y el 5 de enero para el día frío, ya que el estudio de las normales meteorológicas en el punto **3.1 Caso de estudio - Información de temperaturas medias a lo largo del año**, muestran que es uno de los días con mayor temperatura en el ambiente.

3.5 Desarrollo de simulación – Segunda parte

El edificio a simular es el presentado en el proyecto arquitectónico de este capítulo. El modelado se realiza tomando como base los planos arquitectónicos del edificio.

Edificio: Edificio E, Unidad de Posgrado UNAM

Niveles: 3

- Descripción: Oficinas en los tres niveles (planta baja y dos niveles)
- Estructura: Concreto armado, muros y columnas de concreto. Losa reticular
- Acabados en fachada: Prefabricados de concreto, cancelas de aluminio y vidrio de 6mm, muros de concreto aparente.

3.5.1 Modelo en 3D del conjunto en design builder

El modelo se realizó con el apoyo del M. en Arq. Luis Matías Barajas Saldaña del cual recibí el curso del programa en la Escuela Politécnica de Cataluña de Barcelona (ETSAB) de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC) en el departamento de física durante mi estancia de investigación.

El proceso de modelado llevó dos meses y posteriormente se realizaron las simulaciones, las cuales se llevaron a cabo durante el mes de noviembre de 2014, mejorando el modelo y los datos

de la envolvente, espacios interiores y los materiales del edificio para obtener datos reales en la simulación.

Los modelos del contexto son desarrollados volumétricamente ya que influyen directamente en el edificio a analizar, afectando ya sea la radiación solar directa, los vientos dominantes y otros aspectos climáticos.

Una vez obtenido el modelo, se desarrolla nuestra segunda etapa de variables, las simulaciones de los diferentes sistemas los cuales son:

Simulación 1: Simulación del edificio existente. Ventilación natural actual (VNA).

Simulación 2: Simulación del edificio existente. Ventilación cruzada (VC).

Simulación 3: Simulación ventilación mecánica. Ventilación mecánica (sistema fan & coil) (VAA).

Simulación 4: Simulación del edificio actual con la incorporación de la chimenea solar.

Ventilación con la chimenea solar (VCH).

La relación de variables de las cuatro simulaciones se da de modo gráfico, haciendo una comparativa de las temperaturas internas totales del edificio y la temperatura interna de la oficina OFS4 del segundo nivel del día cálido elegido, las ganancias internas por radiación y las variables de la chimenea solar según la altura de su tiro como única variable en su diseño.

(Temperatura interior edificio VNA)

+

(Temperatura interior edificio VC)

+

(Temperatura interior edificio VAA)

+

(Temperatura interior edificio VCH)

=

Comparativa de temperaturas interiores en el edificio

Comparativa de temperaturas interiores en la oficina OFS4 segundo nivel

Comparativa de ganancias internas

Gráfico 3.17: Relación de variables de los diferentes sistemas de ventilación

Para obtener las simulaciones se realizan 2 modelos en 3d. El primero nos sirve como base para tres simulaciones configuradas de la siguiente manera:

El primer modelo se realiza para las simulaciones del estado actual del edificio como se observa en la Figura 3.19 y 3.20. La segunda simulación, toma como base al primer modelo al cual se incorporan rejillas en la parte superior de los muros internos para lograr una ventilación cruzada (Figura 3.21). La tercera simulación, toma como base también al primero modelo, pero se realizan cambios en la composición de la fachada donde todas las ventanas son cerradas al 100% y se realiza la simulación del sistema mecánico. Por último, se realiza el segundo modelo, incorporando el componente de chimenea solar en la fachada sur en cada una de las oficinas del primero y segundo nivel, explicado más adelante en el punto 3.5.2.

El modelo del conjunto se observa en la Figura 3.19 y Figura 3.20, las cuales muestran los diferentes edificios que rodean al edificio "E", por lo que los resultados a obtener presentan una gran aproximación a la realidad por considerar el contexto y los componentes reales del edificio.

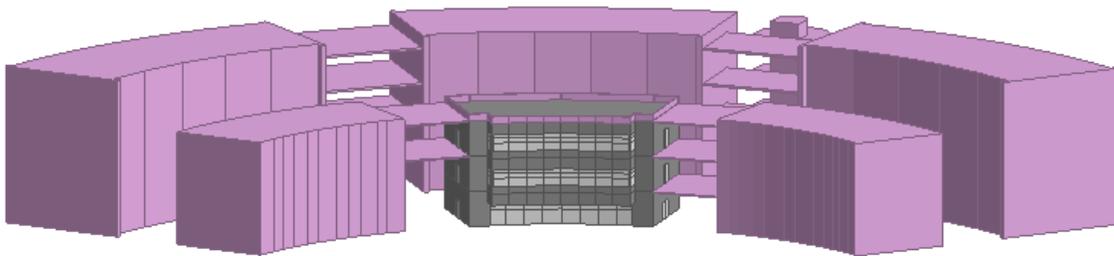


Figura 3.19: Modelo 3d en el programa Design Builder. Nueva unidad de posgrado, contexto y edificio E.

Fuente: elaboración propia en Design Builder



Figura 3.20: Edificio “E” Imagen 3d. Modelo del caso de estudio. Volumetría general y del contexto.

Fuente: elaboración propia en Design Builder

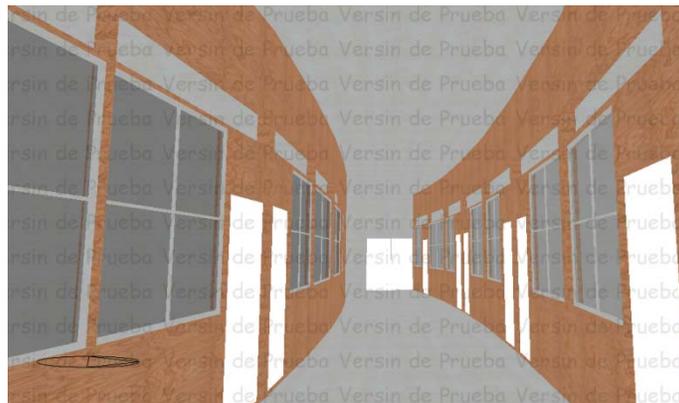


Figura 3.21: Modelo de simulación 2. Interior del espacio con rejillas en la parte superior de los muros internos para ventilación cruzada

Fuente: elaboración propia en Design Builder

3.5.2 Componente arquitectónico Chimenea solar como sistema pasivo de ventilación

La chimenea solar como componente arquitectónico cumple con principios físicos como parte de su funcionamiento, los cuales de manera conjunta generan el movimiento del aire por convección a través de ella.

Los diferentes elementos que la componen tienen características particulares para su operación en donde a través de la captación de la radiación solar que pasa a través de un muro acristalado, se genera un efecto invernadero elevando la temperatura por el calentamiento de los muros internos de color negro generando una alta radiación térmica (principios de la ley de Stefan-Boltzmann), elevando la temperatura del aire dentro de ella y así por medio de convección, la diferencia de temperaturas y presiones, el aire caliente asciende a través de ella succionando el aire interior más frío del espacio.

El modelo dos, consiste en la incorporación de la chimenea solar (Figura 3.22) como componente arquitectónico en el edificio (Figura 3.23). Al conocer las características físicas del comportamiento del viento estudiado en el marco teórico, los principios básicos, el funcionamiento de la chimenea solar y los parámetros de diseño, se puede intervenir el espacio para simular el comportamiento del viento y su aplicación en la arquitectura.

Los componentes de la chimenea son:

- Abertura de salida
- Tiro de la chimenea
- Cámara de aire
- Abertura de extracción de aire
- Acristalamiento
- Acabados

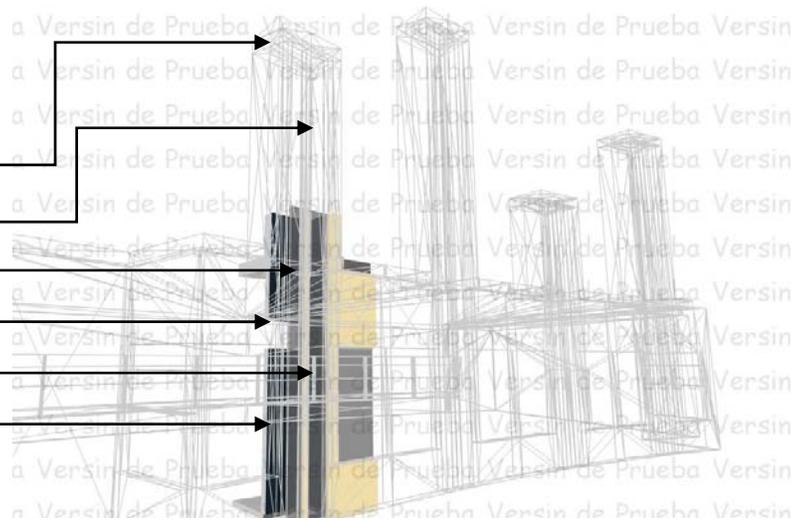


Figura 3.22: Esquema de los componentes de la chimenea solar

Fuente: elaboración propia en Design Builder

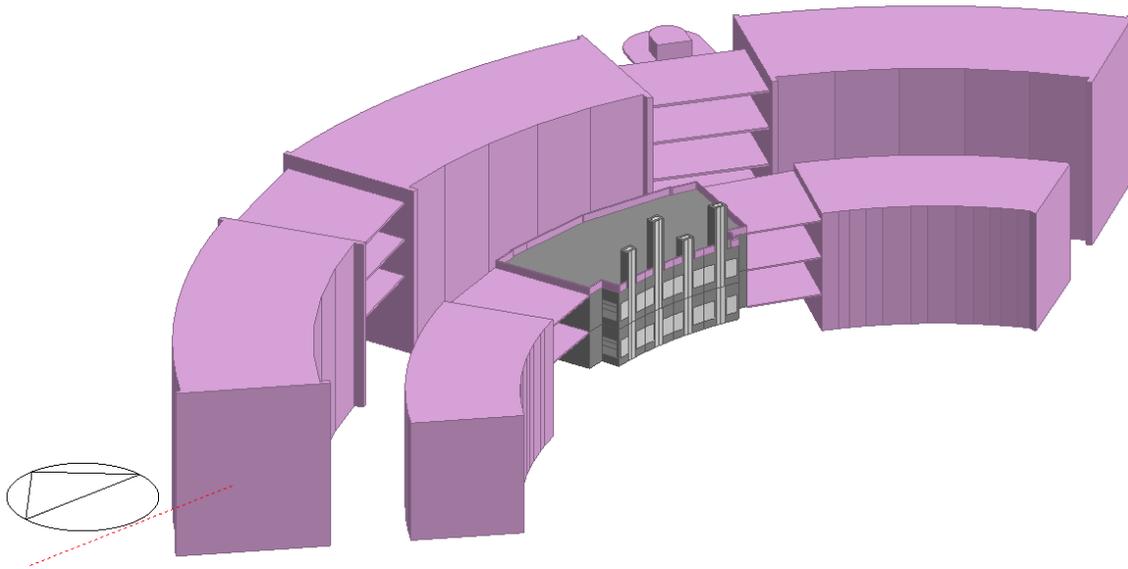


Figura 3.23: Volumen del edificio E y su contexto con la aplicación del componente de la chimenea solar en la fachada sur.

Fuente: elaboración propia en Design Builder

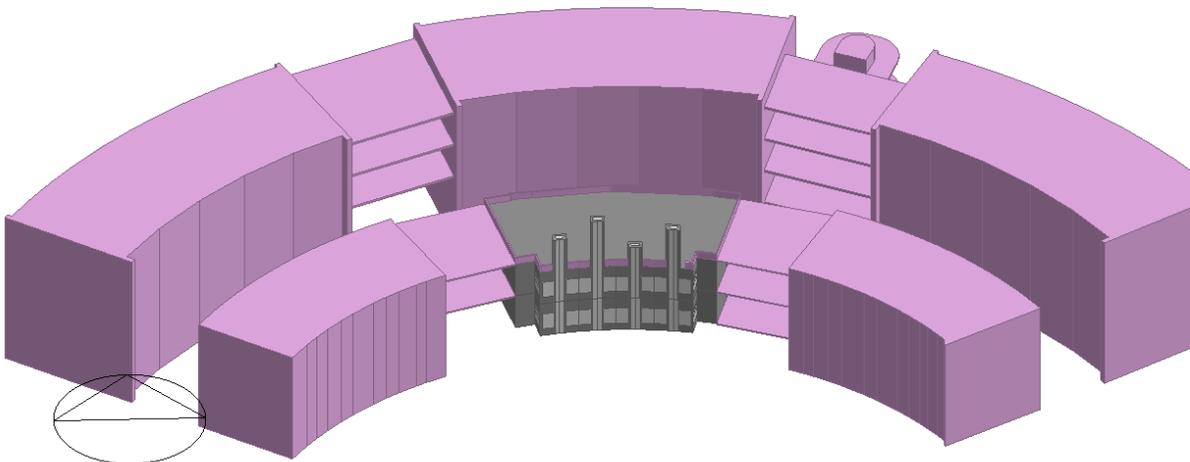


Figura3.24: Vista aérea del edificio E con la incorporación del componente de la chimenea solar y su contexto

Fuente: elaboración propia en Design Builder

Una vez obtenidos los modelos tridimensionales, se realiza la primera simulación con el modelo uno, la cual consiste en determinar la temperatura interior con el diseño actual, para conocer su

comportamiento térmico y las temperaturas interiores. En la Figura 3.25 se muestra el modelo con los acabados actuales del edificio los cuales se determinan en las tablas de valores de cerramientos de Design Builder, donde interviene cada uno de los materiales tanto en muros externos, internos y losas.

Se muestra el edificio ya con valores y características de materiales que componen el edificio, fecha de simulación y datos climáticos para su simulación.



Figura3.25: Simulación del edificio E con valores reales de materiales y ubicación de sitio. Modelo uno.

Fuente: elaboración propia en Design Builder

En la imagen 3.26 se ve el frente del edificio y el contexto que lo rodea producto de la simulación, donde se generan los primeros resultados para conocer la temperatura interior del edificio. En la imagen 3.27 se muestra los espacios interiores de la planta de segundo nivel y la oficina sur 4 (OFS4).



Figura 3.26: Simulación del edificio “E” con valores reales de materiales para conocer su comportamiento térmico actual.

Fuente: elaboración propia en Design Builder

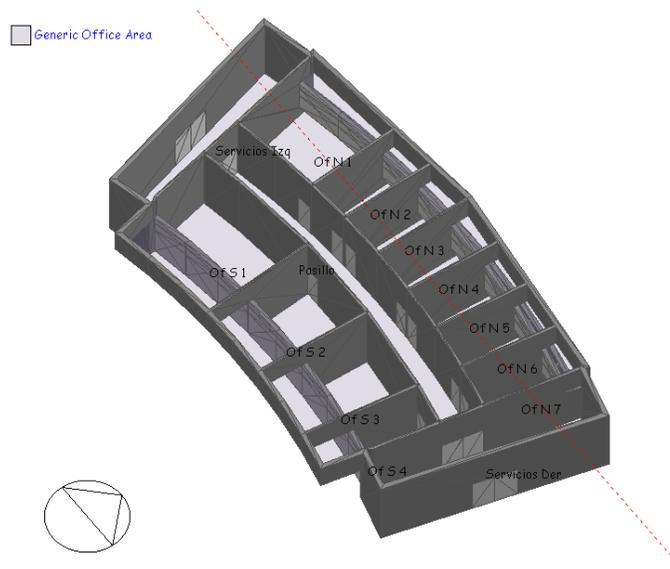


Figura 3.27: Planta segundo nivel edificio “E” dividido por oficinas, pasillo y servicios.

Fuente: elaboración propia en Design Builder

Se realiza la simulación del modelo dos “chimenea solar” donde se obtiene resultados del comportamiento del viento, distribución del aire, dirección del viento, y el comportamiento de la chimenea solar, su temperatura, captación de la radiación solar y el comportamiento del viento. Se observan los modelos renderizados del edificio “E” con la incorporación de la chimenea (Figura 3.28 y Figura 3.29) en las oficinas sur del primer nivel y segundo para su análisis y su relación con las variables de los diferentes sistemas de ventilación. En los resultados se muestran las imágenes de CFD para ver su funcionamiento.

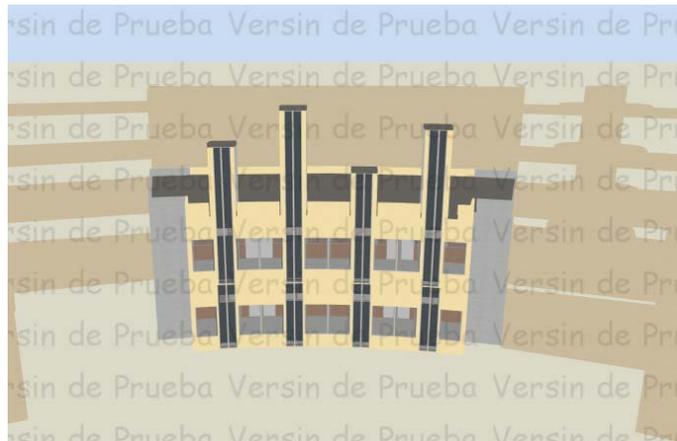


Figura 3.28: Simulación 4 para la obtención de resultados por el uso del componente de chimenea solar.

Fuente: elaboración propia en Design Builder



Figura 3.29: Perspectiva producto de la simulación del edificio "E" con la incorporación del componente de la chimenea solar en fachada.

Fuente: elaboración propia en Design Builder

3.6 Conclusiones capítulo 3

El desarrollo del capítulo describe la metodología del experimento de manera cuantitativa y cualitativa. Describe paso a paso los métodos a utilizar y los procedimientos de la experimentación a realizar para la obtención de resultados. Donde se analiza la relación de las diferentes variables por los métodos de ventilación propuestos.

Se realiza el análisis del sitio, se analizan los aspectos climáticos que intervienen en el edificio y se genera el análisis del caso de estudio.

Se desarrollan los diferentes modelos del edificio, se generan las simulaciones de los diferentes tipos de sistemas de ventilación natural propuestos y se realiza la simulación de un sistema mecánico de climatización.

Como parte fundamental, se realiza el modelo y la simulación del componente arquitectónico propuesto “la chimenea solar” como sistema pasivo de ventilación, donde se indican sus componentes y sus fundamentos de su funcionamiento.

4.1 Análisis de resultados del cálculo térmico – primera parte de la experimentación

4.1.1 Temperatura interior resultado del Cálculo Térmico con cálculo matemático Qload día cálido en la oficina OFS4 del segundo nivel

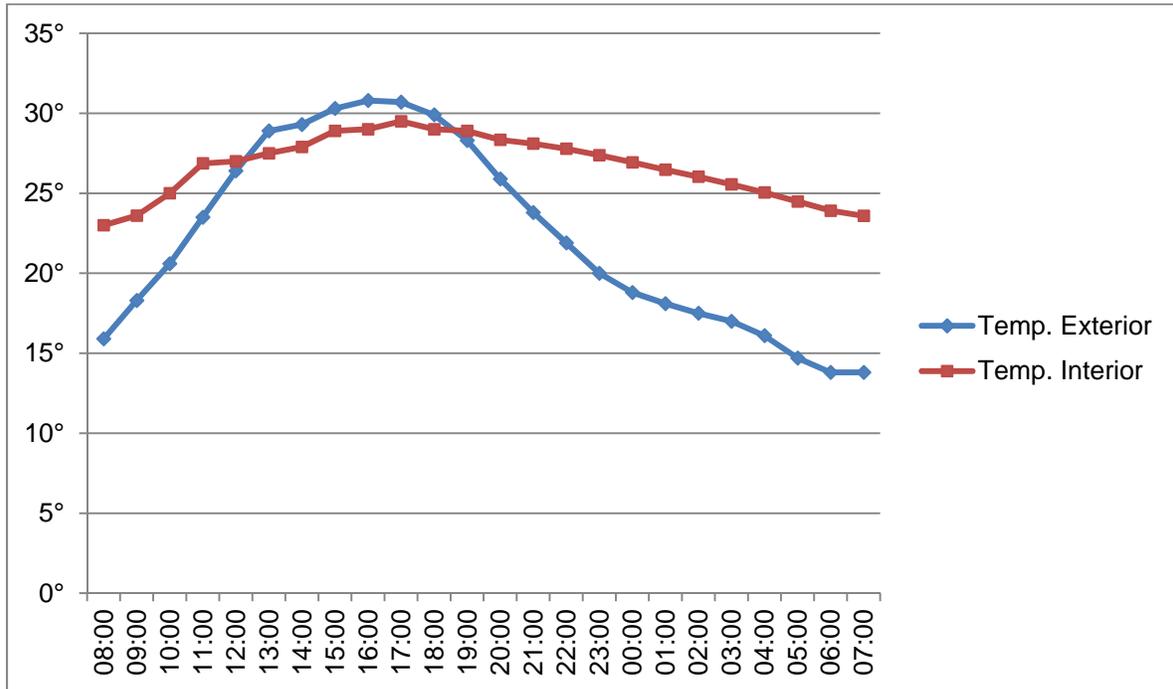


Gráfico 4.1 Gráfica comparativa de temperaturas internas y externas del espacio analizado por hora el día 7 de mayo producto del cálculo térmico. Día cálido

Fuente: elaboración propia. Ecuación Qload

NOTA: Ver anexo 1 para procedimiento de cálculo térmico Qload

Análisis de resultado Gráfica 4.1

La gráfica muestra la temperatura interior del espacio hora por hora durante un día cálido el día 7 de mayo en la oficina OFS4 del segundo nivel, llegando a una temperatura máxima de 29.63 C° a las 17:00 horas. Cabe mencionar que este cálculo se realizó con las ventanas cerradas (*Qvent Flujo de calor por ventilación*), ya que al considerarlas abiertas, la temperatura incrementaba considerablemente como se observa a las 17:00 hrs donde se propuso la apertura de las ventanas. Según el estudio del diagrama de confort Olgyay la temperatura del espacio rebasa la zona de confort, lo cual justifica el implemento de los diferentes tipos de ventilación natural para probar su eficiencia.

4.1.2 Temperatura interior resultado del Cálculo Térmico con cálculo matemático Qload día frío en la oficina OFS4 del segundo nivel

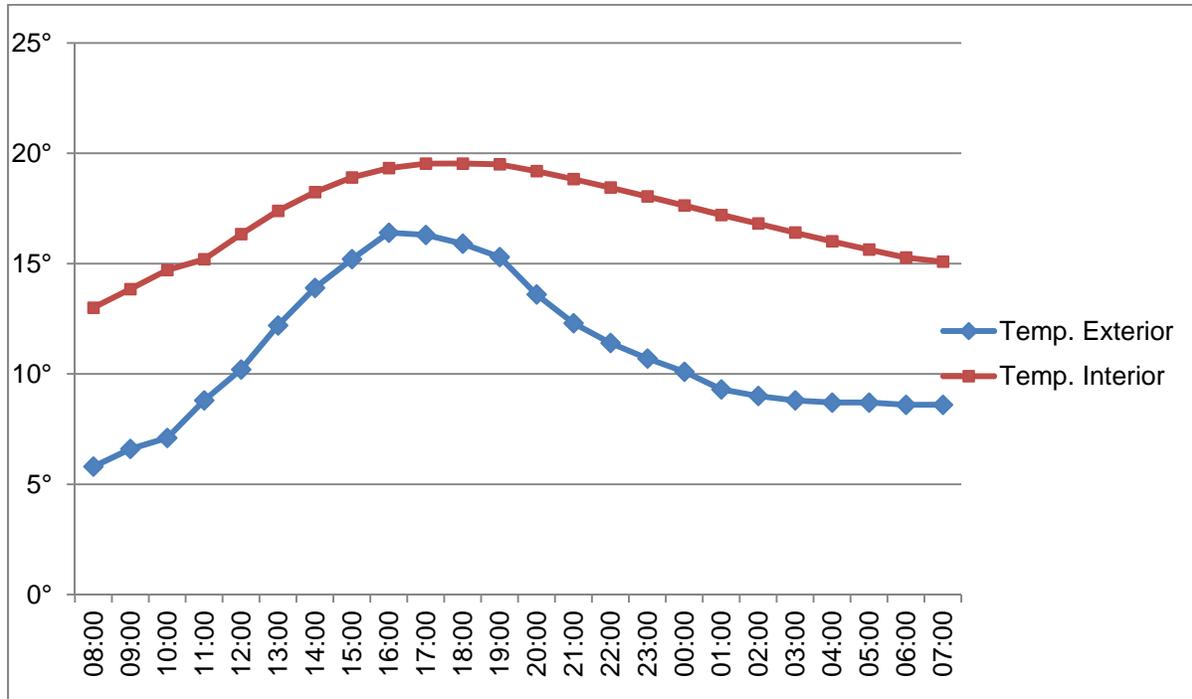


Gráfico 4.2 Gráfica comparativa de temperaturas internas y externas del espacio analizado por hora el día 5 de enero producto del cálculo térmico. Día frío

Fuente: elaboración propia. Ecuación Qload

NOTA: Ver anexo 2 para procedimiento de cálculo térmico Qload

Análisis de resultado Gráfica 4.2

En el caso de la gráfica 4.2 se muestra la temperatura interior de la oficina OFS4 mostrado hora por hora durante el día frío 5 de mayo. Donde se observa que la temperatura mayor presentada es de 19.73 C° a las 16:00 horas por lo que se encuentra por debajo de la zona de confort. En el caso del cálculo. En este caso, el cálculo por el flujo de calor por ventilación Q_{vent} , se consideró con las ventanas cerradas por el ingreso del aire frío.

El diagrama de confort Olgay aplicado con datos generados para análisis de confort para el mes de mayo, muestra que la zona de confort indicando es de $TP=23.58$. En donde el rango más alto para el confort es de 28.00 C° con una humedad relativa del 40% y el menor como de 21.08 C° . En algunos casos se encuentra fuera del rango de confort dependiendo la humedad relativa. (Gráfico 4.3)

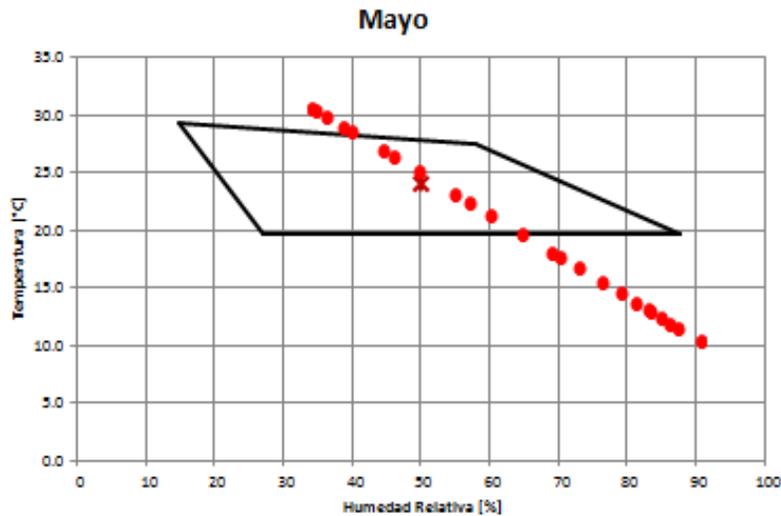


Gráfico 4.3: Gráfica bioclimática de confort Olgay para el mes de mayo
Fuente: Calculada en biosol con datos de las normales meteorológicas

Diagrama de confort Olgay aplicado con datos generados para análisis de confort para el mes de enero, Gráfico 4.4 donde se ve considerablemente temperaturas más bajas a las de mayo.

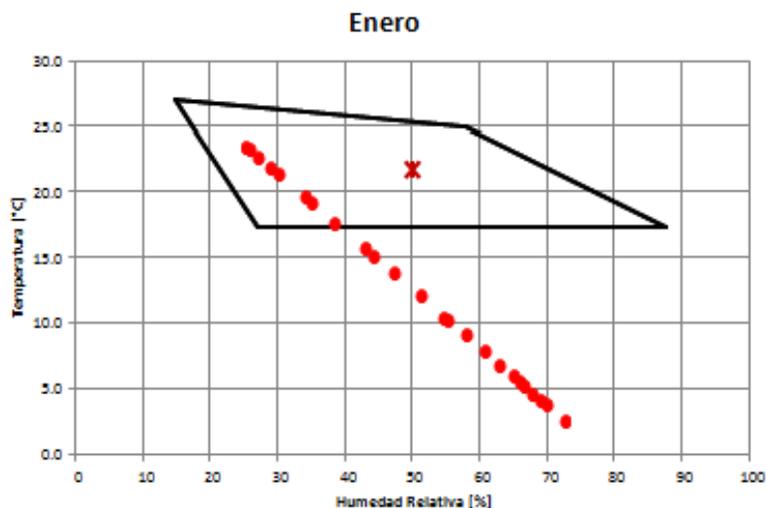


Gráfico 4.4: Gráfica de confort Olgay para el mes de enero

Fuente: Calculada en biosol con datos de las normales meteorológicas

4.2 Resultado de la simulación 1 edificio existente. Ventilación natural actual (VNA)

4.2.1 Temperatura interior por planta edificio “E” Ventilación natural actual (VNA)

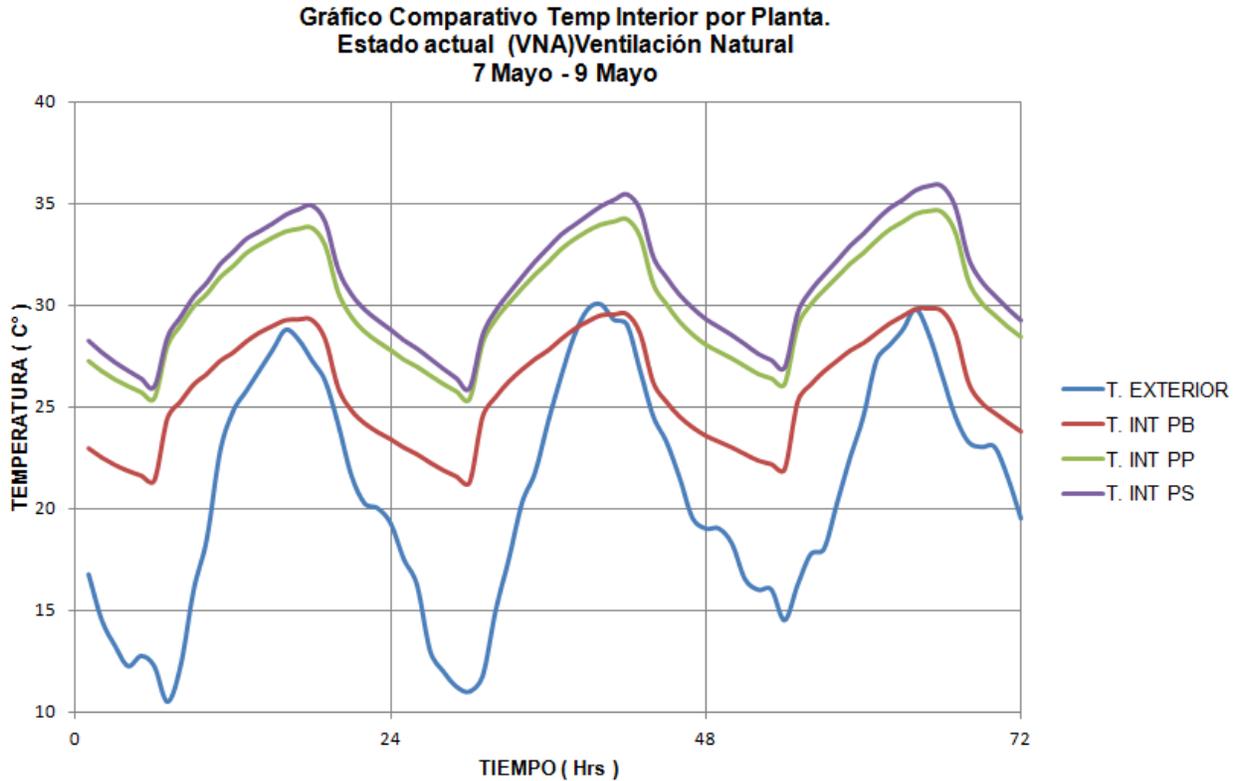


Gráfico 4.5 Gráfica comparativa de temperaturas internas por plante edificio “E” del día 7 de mayo al día 9 de mayo

Fuente: elaboración propia. Simulación y cálculo en DesignBuilder

Análisis de resultado gráfica 4.5

El resultado de la simulación 1 (Design Builder), muestra en la gráfica la comparativa de la temperatura interior general en todo el edificio en un periodo de 3 días para ver el comportamiento durante un rango más largo, del 7 de mayo al 9 de mayo.

Se observa que la planta que presenta mayor temperatura es la planta del segundo nivel (PS-planta segunda) llegando hasta 35 C° a las 17:00 horas y la que menos temperatura presenta es

la planta baja (PB). Esto, producto del arremetimiento de la fachada sur en PB respecto a los otros dos niveles.

Se menciona que en el cálculo realizado, se consideraron las ventanas abiertas y se observa el incremento considerable de la temperatura, caso contrario al resultado obtenido en la gráfica 4.1 (Qload). Donde se dejaron cerradas y presenta una temperatura más baja en el caso de la oficina OFS4.

4.2.2 Ganancias internas por planta edificio “E” estado actual

**Gráfico Comparativo Ganancias Internas por ventanas exteriores por Planta
7 Mayo - 9 Mayo**

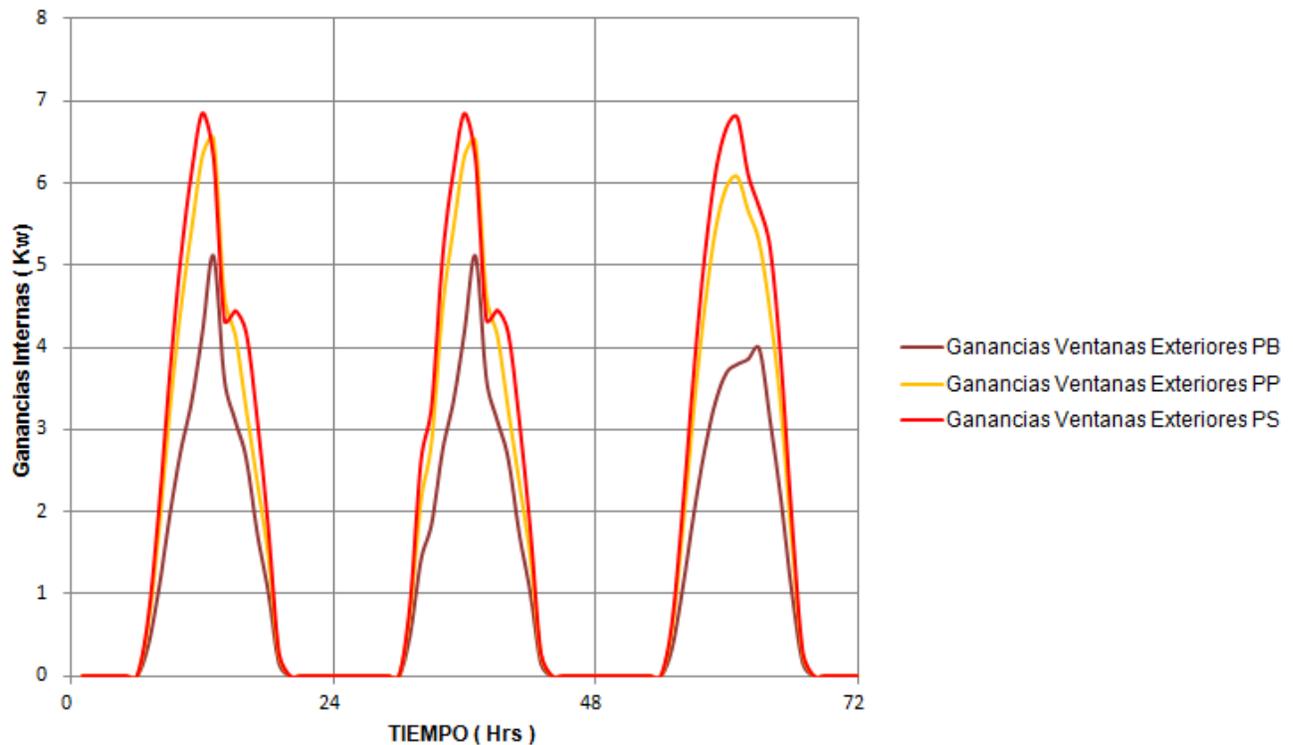


Gráfico 4.6 Gráfica comparativa de las ganancias internas en ventanas por plante edificio “E” del día 7 de mayo al día 9 de mayo Fuente: elaboración propia. Simulación y cálculo en Design Builder

Análisis de resultado gráfica 4.6

Se representa la ganancia interna (Kw) a lo largo de los tres días de análisis, que acumula cada uno de los diferentes niveles. En donde el segundo presenta la ganancia más elevada

respecto a las otras dos plantas lo que genera las altas temperaturas mostradas en la gráfica anterior. La planta baja muestra la menor ganancia a lo largo de los tres días.

Una vez que se conocen las temperaturas interiores del edificio actual, se procede al análisis de la oficina Sur 4 de los tres niveles, la cual se ha denominado OFS4. En donde se analiza su temperatura interior y sus ganancias internas en los días cálidos.

4.2.3 Temperatura Oficina S4 segundo nivel OFS4

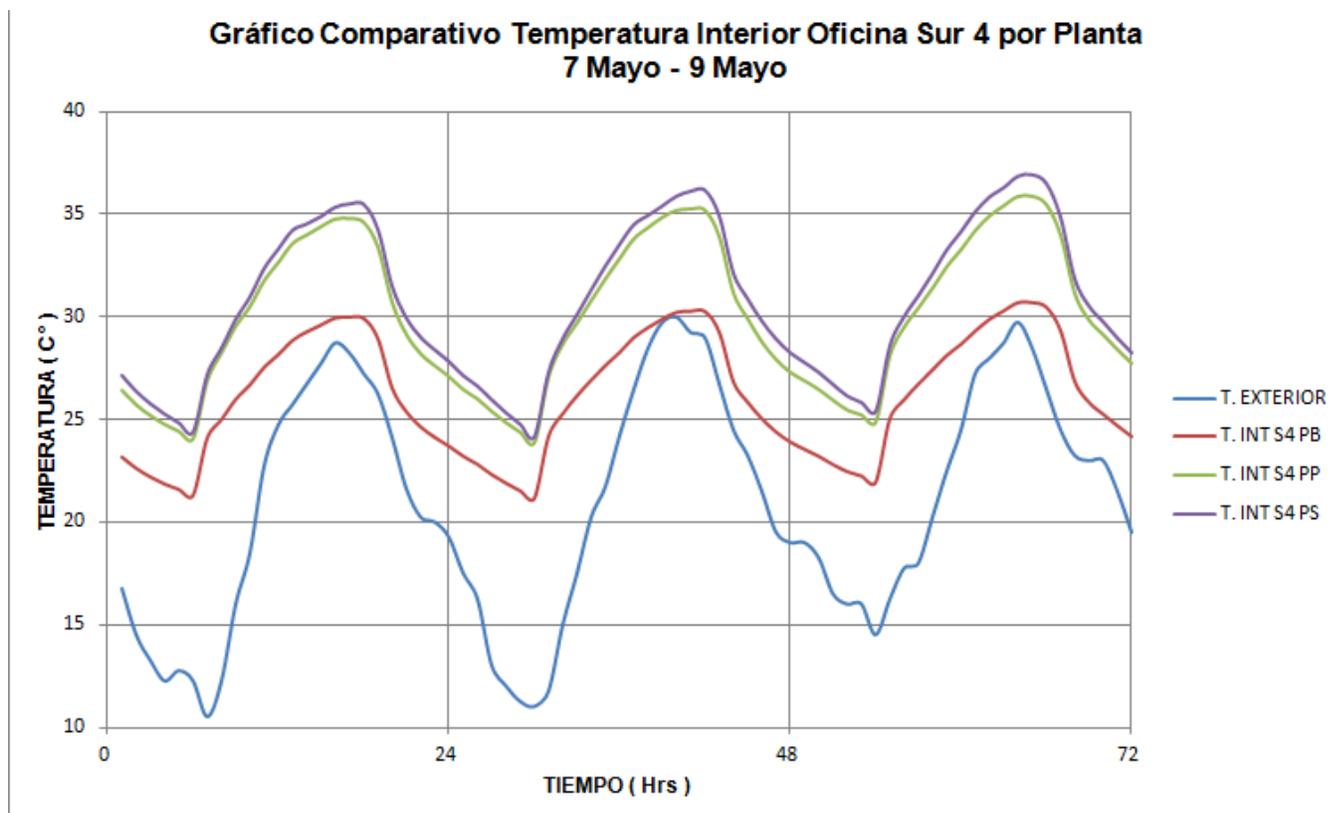


Gráfico 4.7 Gráfica comparativa temperatura interior por plante OFS4, de mayo del 7 al día 9 de mayo
Fuente: elaboración propia. Simulación y cálculo en Design Builder

Análisis de resultado gráfica 4.7

El resultado muestra la temperatura interior de las oficinas S4 por planta, siendo la del piso segundo (T. INT S4 PS) la más elevada durante los tres días, llegando hasta una temperatura de 35.6 C°. Lo cual demuestra gráficamente la inconformidad de los usuarios del espacio actual

los cuales fueron entrevistados y en donde se deja de utilizar por consecuencia de las altas temperaturas.

4.2.4 Comparativa de ganancias internas Oficinas S4 y oficinas N6 por planta

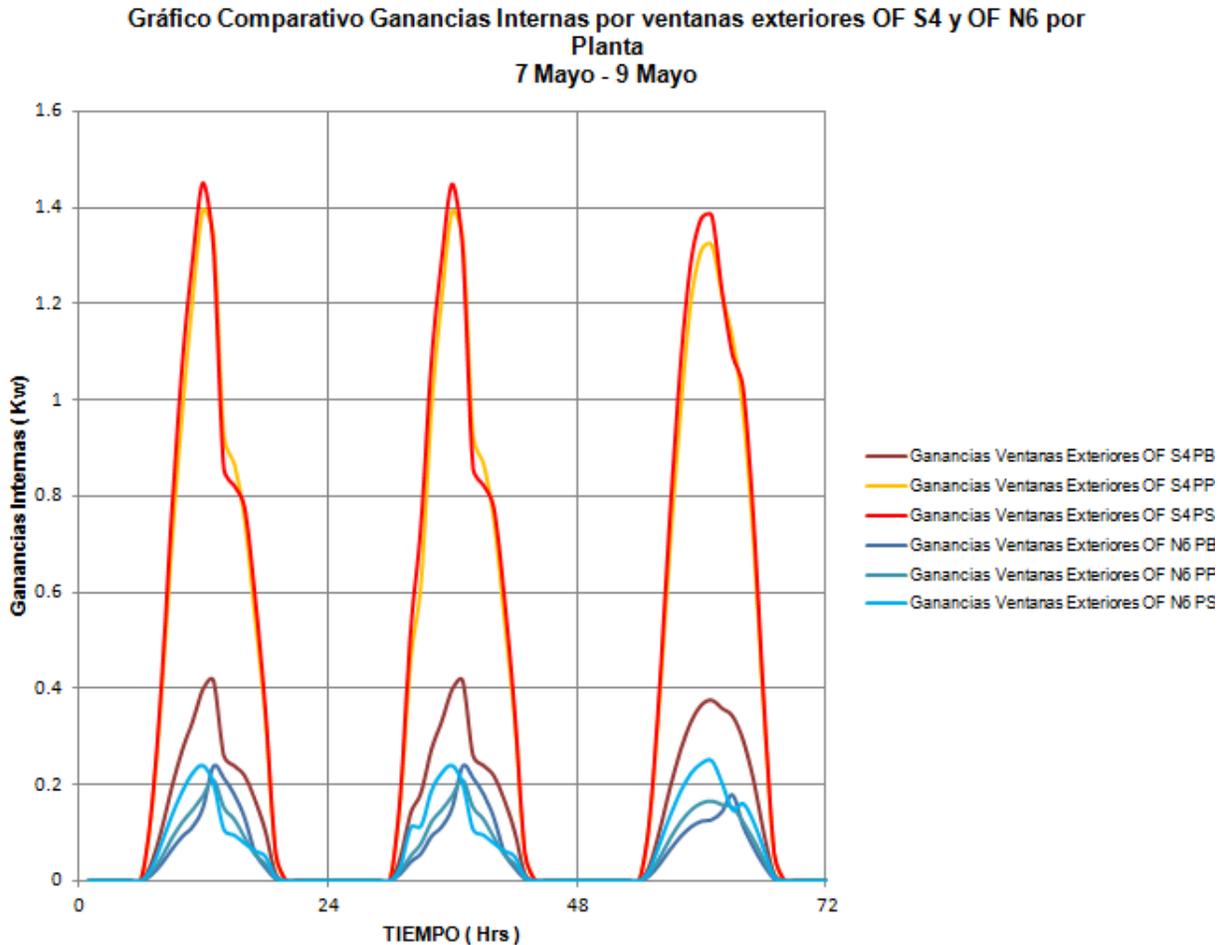


Gráfico 4.8 Gráfico comparativa de las ganancias internas en ventanas en la oficina S4 y la oficina N6 orientada al norte por nivel del 7 al 9 de mayo

Fuente: elaboración propia. Simulación y cálculo en Design Builder

Análisis de resultado gráfica 4.8

Las oficinas OF S4 muestran un incremento de 1.4 Kw en comparación con las oficinas ubicadas al norte OF N6 con una ganancia de 0.4 Kw a lo largo del día en los diferentes niveles. Esto

demuestra que las oficinas norte al no recibir radiación directa y tener a su favor los vientos dominantes, presentan un mejor estado de confort en comparación a las del sur.

4.3 Resultados de la simulación 4 Chimenea solar

Una vez realizado los estudios y análisis de las temperaturas del edificio y en particular de la oficina sur 4 del segundo nivel, se muestran los resultados obtenidos gráficamente de las temperaturas al interior por la incorporación de la chimenea solar en la OFS4 del segundo nivel.

Se generan imágenes de CFD que muestran resultados del comportamiento del viento, velocidades, temperaturas interiores y el funcionamiento de la chimenea solar.

4.3.1 Análisis de resultados oficina OS4 con la incorporación de la chimenea solar. (CFD)

La simulación se realizó el día 7 de mayo a las 17:00 horas ya que los resultados previos mostraban ser una de las horas con mayor temperatura registrada a lo largo del día. Tomando como base los datos climáticos que contiene design builder sobre la ciudad de México, la Figura 4.9 muestra las temperaturas interiores por la aplicación de la chimenea solar y rejillas en los muros interiores de las oficinas.

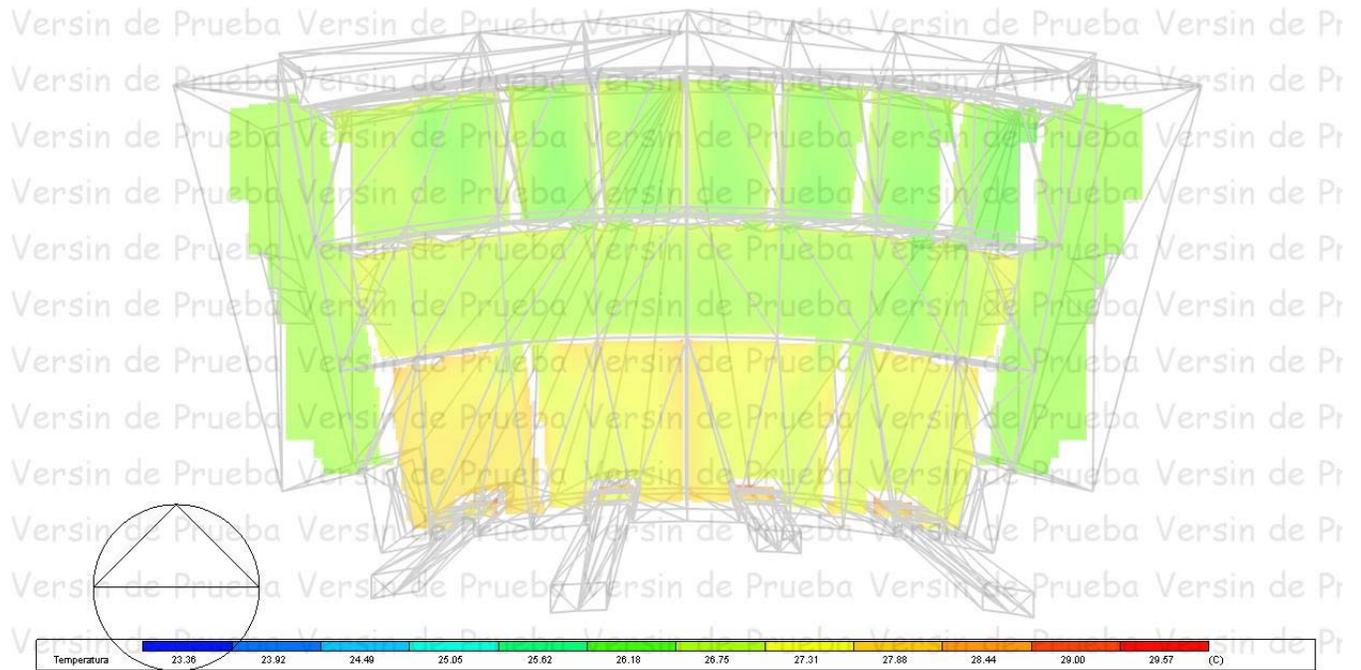


Figura 4.9 Imagen tridimensional de las temperaturas interiores en la planta del segundo nivel con la incorporación de la chimenea solar.

Fuente: elaboración propia. Simulación y cálculo en Design Builder

Análisis de resultados Figura 4.9

La temperatura interior de las oficinas Norte están en el rango de los 25 y 26 C°, en el caso de las oficinas sur, la temperatura media es de 27.3 C°, lo cual demuestra que la incorporación de la chimenea solar reduce las temperaturas internas analizadas previamente.

Corte del espacio

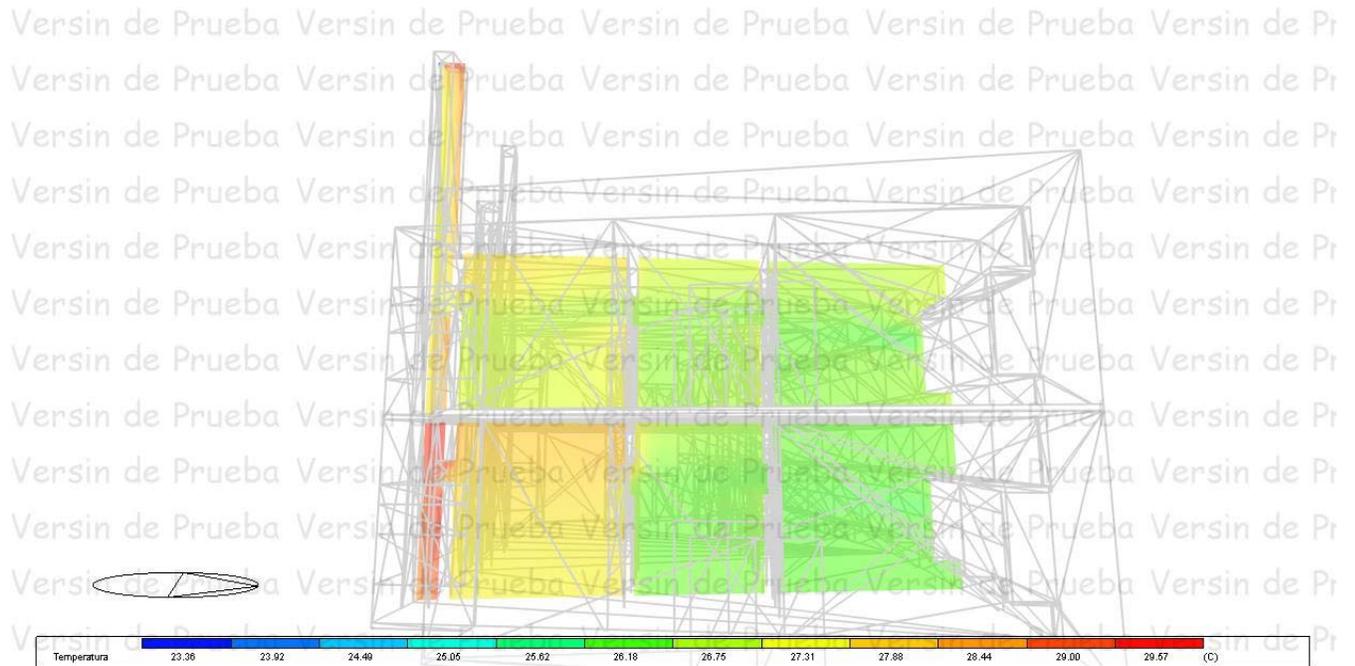


Figura 4.10 Imagen tridimensional de las temperaturas interiores en la corte del segundo nivel con la incorporación de la chimenea solar.

Fuente: elaboración propia. Simulación y cálculo en Design Builder

En la figura 4.10 se muestra una sección de las oficinas norte y las oficinas sur del primero y segundo nivel, donde se ven los rangos de temperatura interna.

En el caso de la chimenea solar, se ve la elevación de la temperatura en su interior (cámara de aire) lo que genera la elevación de temperatura del aire, mejorando los resultados de temperatura en la oficina sur 4 del segundo nivel, pero no así en la oficina del primer nivel.

4.3.2 Análisis de la velocidad de del viento y su distribución

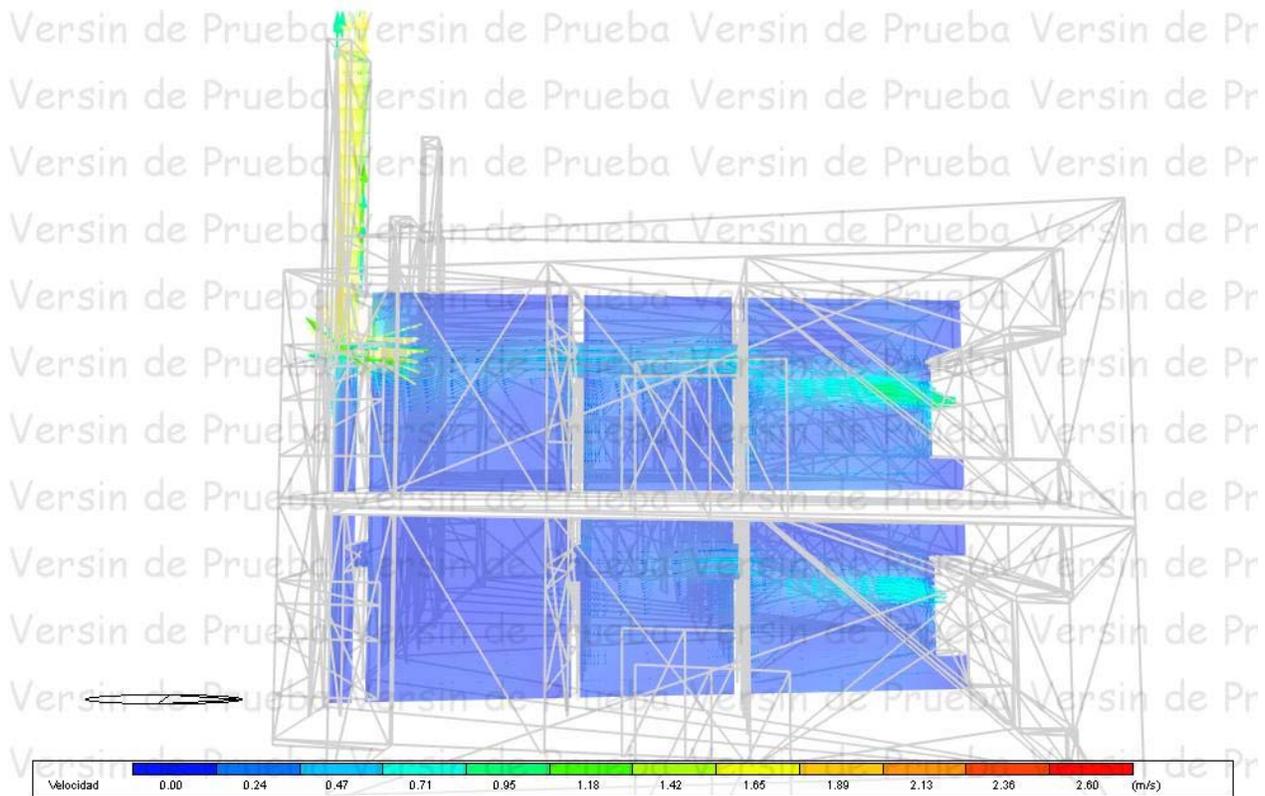


Figura 4.11 Sección tridimensional de la distribución y velocidad del viento en el interior del espacio con la incorporación de la chimenea solar.

Fuente: elaboración propia. Simulación y cálculo en Design Builder

Análisis de la simulación Figura 4.11

Se observa una sección del edificio que pasa por las oficinas OS4 del primero y segundo nivel con la distribución del viento, su velocidad y la dirección. En el caso del segundo nivel el ingreso del viento se da por la fachada norte con promedio de velocidad de s 0.8 m/s, ya dentro de la oficina OFS4 se observan las flechas en color verde y amarillo con dirección al hueco de extracción de la chimenea donde los vientos muestran un incremento en la velocidad del viento hasta de 1.65 m/s. Lo que significa que la succión del viento caliente se está generando de manera correcta al interior de la oficina, elevando su velocidad al salir de la chimenea con una velocidad de 2 m/s.

4.3.3 Análisis de las diferentes chimeneas con la variable de altura en el tiro en la fachada sur.

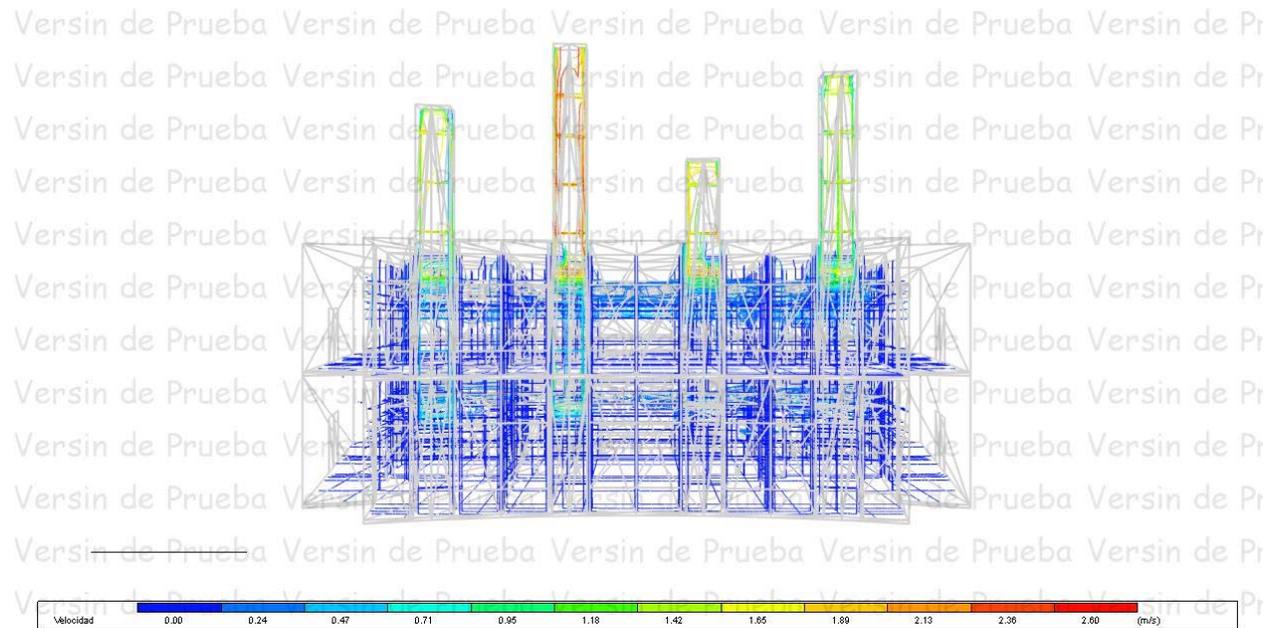


Figura 4.12 Sección tridimensional de la distribución y velocidad del viento en el interior de las chimeneas

Fuente: elaboración propia. Simulación y cálculo en Design Builder

Se observa en la figura 4.12 de izquierda a derecha las diferentes alturas de las chimeneas incorporadas al espacio, siendo esto, la única variable en la composición de la chimenea, en donde la primera cuenta con una altura de 4 mts, la segunda de 6 mts, la tercera de 2.5 mts y la cuarta OFS4, de 5 mts.

En el caso de la segunda, es la que presenta mayor velocidad del viento para su expulsión siendo la que mayor temperatura interior genera para la convección de este, con rangos que llegan a los 2.5 m/s.

En la oficina OFS4 la última del lado derecho, muestra una aceleración con rangos que van en su parte de extracción de 1.65 m/s hasta 2 m/s en el hueco de salida.

Esto muestra que la variable en la altura de la chimenea influye directamente en la velocidad de succión del viento interno del espacio, con lo cual genera mejor comportamiento térmico y confort al interior.

4.4 Resultados y comparativas de las diferentes simulaciones. VNA, VC, VAA, VCH

En esta gráfica se muestran los resultados comparativos de los diferentes sistemas propuestos:

- Temperatura interior edificio VNA Ventilación natural, estado actual
- Temperatura interior edificio VC Ventilación cruzada
- Temperatura interior edificio VAA Ventilación aire acondicionado
- Temperatura interior edificio VCH Ventilación chimenea solar

**Gráfico Comparativo Temp Interior Oficina Sur 4 Planta Segunda
de Sistemas de Ventilación
7 Mayo - 9 Mayo**

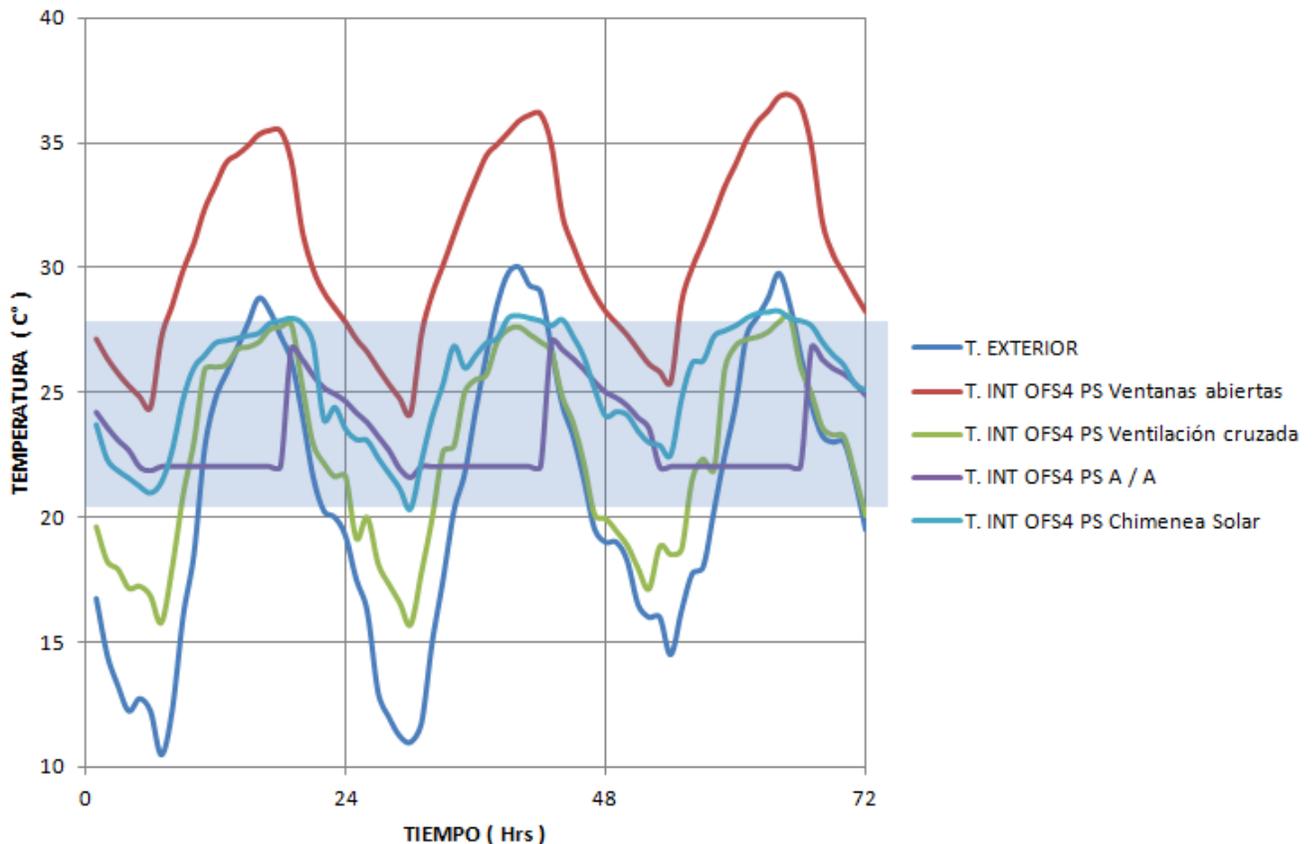


Gráfico 4.13 Gráfico comparativa de las temperaturas internas en la oficina sur 4 del segundo nivel del Edificio E con los diferentes sistemas simulados

Fuente: elaboración propia. Simulación y cálculo en Design Builder

Análisis de la gráfica 4.13

En la gráfica observamos las altas temperaturas registradas del estado actual del edificio, en donde haciendo el cálculo térmico y la simulación en Design Builder, se comprueban las condiciones del espacio que pueden llegar a más de 30 C°

En cuanto a la propuesta de la ventilación cruzada con la incorporación de rejillas en los muros internos se nota una disminución considerable en la temperatura del espacio analizado, teniendo temperaturas que van desde los 24 C° hasta los 28 C° en horario laboral.

Los resultados de la temperatura interior por la incorporación de la chimenea solar, mostrados de manera visual con anterioridad, reflejan en gráfica, similitud con los niveles de temperatura de la ventilación cruzada, aunque en el caso de la chimenea, las velocidades del viento son mayores por lo que contribuyen de manera más significativa en el confort del usuario por el contacto que este tendrá en la piel del usuario como se analiza en el marco teórico.

Capítulo 5. Conclusiones y recomendaciones

- Los valores del viento al ingresar al espacio, al ser un edificio de tres niveles, consideran la magnitud de las variaciones del comportamiento del viento al interior en cada uno de los espacios en cada nivel. Esto se puede observar de manera gráfica y precisa con el comportamiento dentro del edificio.
- El análisis de este edificio nos lleva a concluir que las estrategias de diseño de ventilación natural no fueron analizadas al máximo, por lo que las simulaciones y los cálculos determinan las mejoras que pudieron incorporarse al diseño previo o anteproyecto para lograr las condiciones de confort adecuadas para los usuarios.
- En el caso de la chimenea se define que con la incorporación de esta al espacio, su ubicación orientada al centro de la fachada sur, la ubicación de la abertura de entrada en el tercio superior al interior de la fachada sur donde conecta con la chimenea, la altura del tiro, y la ubicación de la abertura de entrada en el primer tercio del muro contrario al sur, determina el comportamiento del viento al interior, así como su velocidad de entrada, de distribución y de salida.
- Según la ubicación de las aberturas y de la chimenea, se observa la distribución del viento al interior.
- La presión del aire mostrará diferentes parámetros y niveles de velocidad según la altura del nivel en el que ingresa.
- El modelo de comprobación, muestra que la temperatura del viento al ingresar, la temperatura interior en su distribución y la salida en el tiro de la chimenea en cada nivel del edificio llegan a estar en el rango de confort analizado.
- La aplicación de la chimenea solar en un edificio de tres niveles en un clima templado como es el de la ciudad de México y aplicando principios básicos y medidas interiores del espacio, puede llegar a **disminuir hasta 3 grados la temperatura interior**, logrando estar en la zona de confort
- El uso del sistema pasivo determina la disminución del sistema mecánico.
- El índice de confort interior se establece por medio de la metodología Givoni, obtenido con los dos sistemas según la carta psicométrica.
- Se hacen recomendaciones de sistemas alternos en cada nivel como parasoles, o sistemas pasivos de ventilación de apoyo, como ventilación unilateral, ventilación cruzada y otros que se exponen en el marco teórico.

Recomendaciones

- El sistema propuesto se usará para que se aproveche al máximo la ventilación natural en todas las estaciones, mientras que la función de ventilación mecánica se podrá utilizar en verano en caso de no lograr el rango de confort deseado, pero dando un análisis completo hasta agotar las posibilidades de una ventilación pasiva con los sistemas mencionados en el capítulo 1 y así tener los interiores con ventilación pasiva en todo momento.
- Cuando el sistema pasivo se ejecuta, el otro sistema mecánico no operará. De acuerdo con la literatura estudiada, los usuarios de un espacio transversal ventilado sentirán un mayor nivel de comodidad que las de un espacio con ventilación unilateral. Esto se comprueba, haciendo el estudio de diseño bioclimático, las estrategias de diseño, la implementación de estrategias de sistemas pasivos y realizando el estudio de cálculo térmico.
- De modo que la implementación de estas estrategias y sistemas lo podemos resumir en las siguientes acciones:

Temporada de climatización: El sistema funciona en el modo de ventilación mecánica. Cuando el aire de la habitación no logre el grado de confort deseado, según los rangos de confort aceptables en el estudio que se realizó.

El enfriamiento: Se plantea la estrategia para que funcione en modo de ventilación pasiva a lo largo del año, con la utilización y la implementación de las estrategias de diseño pasivo estudiado. (Chimeneas de aire y ventilación cruzada).

- Los sistemas estudiados y que se utilizarán para el control en tiempo real en los espacios seleccionados, se simplifican, basado físicamente o por datos en contraste con los que no se tomaron en cuenta al momento del diseño del edificio.
- Cuando se da la creación de un sistema de ventilación simplificado cuyo parámetro se obtiene a partir de la identificación del sistema con mediciones o de datos validados antes de la concepción del espacio, estos resultados de la simulación de construcción de los modelos simplificados validados son de gran importancia práctica y serían necesarios

con el fin de facilitar la aplicación de los controles en modelos predictivos en los edificios reales.

- Pero dado que no se tuvieron estos estudios previos para la realización del edificio, se necesitan estudios experimentales (software) para explorar e identificar posibles ahorros de energía con estrategias de climatización de modo híbrido y dar información sobre las características únicas del espacio estudiado y poder transferirlo a otros módulos.
- En este trabajo se presenta un extenso estudio experimental considerando una escala completa puesta a punto en una sección del edificio de posgrado.

Bibliografía

- Allard, Francis, et al. Natural Ventilation in Buildings, A Design Handbook.
- James & James. London, England. 1988. ASHRAE Handbook Fundamentals. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc. Atlanta, USA, 2001
- Baird, George. The Architectural Expression of Environment control Systems. Spoon Press. London 2001.
- Beazley, Mitchell. Contemporary Windows, Octopus Publishing Group Ltd; Great Britain 2003.
- Boutet, Terry. Controlling Air Movement. Mc Graw Hill, New York 1987
- Carrier System Design Manual, Carrier air-conditioning company, Syracuse
- Croome, Derek & Robert, Brain. Air-Conditioning and Ventilation of Buildings, Pergamon Press. Oxford, U.K. 1981
- Fuentes Freixanet, Víctor. Ventilación Natural – cálculos básicos para arquitectura. Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco, México, D.F. 2004
- García, Roberto. Fuentes Freixanet. Víctor. Viento y Arquitectura. Editorial Trillas, México D.F. 1995
- Greden, L V, Glicksman, L R, y López-Betanzos, G. Reducing the risk of natural ventilation with flexible design. ASME, International Solar Energy Conference. Denver, CO, USA, 2006
- Greden, L V, Glicksman, L R, y López-Betanzos, G. Reducing the risk of natural ventilation with flexible design. ASME, International Solar Energy Conference. Denver, CO, USA, 2006
- Hagan, Susan. Taking Shape; A new contract between architecture and nature, Ed. Architectural Press 2001
- Izard, Jean Louis y Guyot, Alain. Arquitectura Bioclimática. Gustavo GILI. México D.F. 1983

-Kaemper, H, Hottinger, M y Gonzenbach, W. *Tratado de calefacción y ventilación de edificios, incluyendo el abastecimiento de agua caliente y las instalaciones de humectación del aire y de disipación de nieblas*. Gustavo Gili, 1988

-Lawson, Tom. *Building Aerodynamics*,. Imperial College Press, London, England, 2001

-Morillón, D, Sandoval, L, Aguado, G, y Silva, V. Tiempo de renovación del aire de un espacio en función de la velocidad del viento y la relación entre el área de la abertura de entrada y la de salida. 1990

-Morillón, David. *Atlas del bioclima de México*. UNAM 2004

-Morillón, D. Oropeza, I. Atlas de la ventilación natural para la República Mexicana. Potencial para ahorrar energía en la climatización de edificios. Instituto de Ingeniería, 2009

-Pfeiffer, A, Dorer, y Weber, V A. Modeling of cowl performance in building simulation tools using experimental data and computational fluid dynamics, *Building and Environment*. 2006

-Rodríguez V, Manuel, et al. *Estudios de Arquitectura Bioclimática. Anuario 2002*. Limusa-UNAM, México, D.F. 2002

-Yeang, Ken. *The skyscraper bioclimatically considered*, Ed. Wiley Academy, 1996

-Yeang, Ken. *Designing with nature: the ecological basics of architectural design*, Ed. Mc. Graw-Hill, New York, 1995

Consulta de tesis

-Aguilar, Teófilo, Bernardo. Ventilación natural para edificios en altura, en la ciudad de Lima, Perú. Tesis realizada para el master de integración de energías renovables en arquitectura, fundación politécnica de Cataluña. Barcelona 2014.

-Bautista, Antonio. Calculo de sistemas de aire acondicionado en sistema internacional S.I. Tesis para obtener el grado de Maestro en Arquitectura (Tecnología). Facultad de Ingeniería, UNAM, México, D.F. 1997

-Huitrón, Raúl. Bioclimática vertical CN+4N: climatización natural para edificaciones de más de 4 niveles Tesis para obtener el grado de maestría en arquitectura, Facultad de Arquitectura, UNAM, México, D.F. 2004

-Vargas, Gloria Angélica. Sistemas en fachadas, hacia la bioclimática vertical en la ciudad de México Tesis para obtener el grado de maestría en arquitectura, Facultad de Arquitectura, UNAM, México, D.F. 2008

-León, Juan. Parámetros de diseño de la chimenea solar. Tesina para la obtención del master de Arquitectura, Energía y Medio Ambiente. ETSAB Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, España. 2014

-López, María Eugenia. Interacción de sistemas pasivos y activos en el diseño translúcido de fachadas de edificios. Tesis para obtener el grado de maestría en arquitectura, Facultad de Arquitectura, UNAM, México, D.F. 2009

Mesografía

www.conae.gob.mx Consejo Nacional de Energía en México

www.sener.gob.mx Secretaría de Energía

www.sma.df.gob.mx Secretaría del medio ambiente

www.inegi.gob.mx Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Información

www.iingen.unam.mx Instituto de Ingeniería UNAM

www.fide.org.mx Fideicomiso para el ahorro de energía eléctrica

<http://www.cmic.org/> Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción

Programas Computacionales

-Design Builder www.designbuilder.co.uk

-Energy Plus www.energyplus.com